

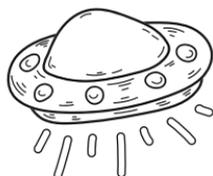
ЯКОВ ПЕРЕЛЬМАН



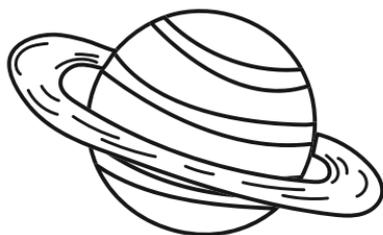
Занимательная Астрономия



ЯКОВ ПЕРЕЛЬМАН



ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ



Москва 2019

УДК 087.5:52

ББК 22.6

П27

В оформлении переплета использованы иллюстрации:
Mascha Tace, ONYXprj, Nostalgia for Infinity / Shutterstock.com
Используется по лицензии от Shutterstock.com

При оформлении книги использованы иллюстрации по лицензии:
от shutterstock.com:

aleisha, Alexandr III, ALEXEY FILATOV, Alfonso de Tomas, Alice Vacca, alinabel, Amanita Silvicora, Anatolev, Anatolir, Andrew Rybalko, Andrii Antonov, Andrii Stepaniuk, anioK, AntiMartina, apartment, ArtChi, ArtMari, Artspace, Artur Balytskyi, AWesley-Floyd, BeRad, Bhonard, bioraven, BiterBig, blambca, Bluehoustudio, BlueRingMedia, bojo6666, Boyko.Pictures, Chaliya, chanwangrong, charnsitr, Chatchada Thaprik, Cherkas, Columba, crazydesign, Crystal Eye Studio, Crystal-K, Cute Designs, dalmingo, David-Teamen, dedMazay, Denis Cristo, Designua, Dim Tik, Dimonika, Dinesan Pudusery, Dovgaliuk Igor, Dusan Pavlic, E.Druzhinina, eakgaraj, Egor Poprotskii, Elegant Solution, elmm, Emanuel Arrieta Loaiciga, Ikgokusto, forden, Fouad A. Saad, frees, freesoulproduction, Genestro, Giuseppe R, Golden Sikorka, GraphicsRF, Grimgram, gst, Happy Together, HappyJack, HappyPictures, Helga Khorimarko, Hoika Mikhail, Huza, hvostik, i5tyle, Ico Maker, Iconic Bestiary, Iggosha, IgorKrapar, Ilyafs, Inna Bigun, intueri, IXIES, jara3000, Javid 8, jcpgraphic, jorgen mclemann, judyjump, Kab Diana, Kasa_s, kerl_aa, Kirasolly, Kit8.net, Klara Viskova, Kniazeff, Koldunova Anna, Koryaba, Kostenyukova Nataliya, koyash07, Krol, kulyk, Lana_Samcorp, layerace, lena_nikolaeva, Lilu330, Lindwa, Lorelyn Medina, Luisa Venturoli, lukpedclub, Macrovector, Maik Hildebrandt, Maisei Raman, mapichai, margocha8, Maria Zvonkova, Mario Breda, mart, MatiasDelCarmine, matrioshka, Meggi, mejnak, Melok, Memo Angeles, MicroOne, Mjak, Mjgraphics, Mjosedesign, molcay, moobeer, NadineVeresk, Nasky, nataka, Natalia Andreychenko, Natykach Natalia, Nickvector, Ninya Pavlova, NotionPic, On Lollipops, Ongsa S, Orange Vectors, Pan JJ, pASob, Patchamol Jensatienwong, Photos by D, PinkPeng, polygraphus, Pretty Vectors, ProStockStudio, Ratchanee Sawasdjira, REANew, robuart, RomanYa, Ron Leishman, Rvector, Sabelskaya, Sea Owl, Selena1981, Shaliapina, Shumadinac, Silver Owl, Sincere, Sira Anamwong, Snezhana Togoi, Spreadthesign, Stocklifemag, Studio_G, studiostoks, studiovin, Sudowoodo, Suiraton, sunsinger, Swill Klitch, T.SALAMATIK, tai11, takiwa, Tatsiana Hrak, This Is Me, Tim the Finn, Tomacco, toyotoyo, Trilogy99, udaix, Uncle Leo, user friendl, ValentinaKru, Vector by, Vector Tradition, vectoraart, VectorMine, Vectorpocket, Vectors bySkop, VectorShop, Vertyr, Victor Brave, Visual Generation, vlastas, wan wei, Wikky17, wonlopcolors, Yulia Glam, Yulia Markova, yusufdemirci

Перельман, Яков.

П27 Занимательная астрономия / Яков Перельман. — Москва : Эксмо, 2019. — 320 с. : ил. — (Захватывающая наука Якова Перельмана).

ISBN 978-5-04-094411-8

Книга знаменитого популяризатора науки Якова Перельмана, посвященная удивительному и загадочному звездному миру, в увлекательной форме познакомит юных читателей с астрономией, ее открытиями и достижениями.

Предлагаемый сборник состоит из двух частей. В первой части читатель познакомится со всеми далекими мирами Солнечной системы. Во второй части читателя ждет знакомство с некоторыми теоретическими аспектами астрономической науки.

В данное издание вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звездам и тяготению.

УДК 087.5:52

ББК 22.6

© Я.И. Перельман, текст
© ООО «Аудиономикс», 2018
© Оформление.

ISBN 978-5-04-094411-8

ООО «Издательство «Эксмо», 2019



Содержание



ВВЕДЕНИЕ	6
-----------------------	----------

ЧАСТЬ I. ВСЕ ДАЛЕКИЕ МИРЫ	8
--	----------

Описание 1. Далекие солнца и миры	10
Описание 2. План и масштаб Солнечной системы	12
Описание 3. Венера — мир тропического зноя.....	18
Описание 4. Меркурий — мир величайших крайностей....	26
Описание 5. Земля, вознесенная на небо.....	30
Описание 6. Марс — мир холодных пустынь.....	33
Описание 7. Миры-карлики между Марсом и Юпитером...	42
Описание 8. Миры-великаны Юпитер и Сатурн, полузастывшие солнца	46
Описание 9. Уран — «опрокинутый» мир.....	58
Описание 10. Нептун — отдаленнейшая из планет	61

ЧАСТЬ II. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ НАУКА	64
--	-----------

Глава 1. Земля, ее форма и движения	66
--	-----------

Кратчайший путь на Земле и на карте	66
Градус долготы и градус широты.....	75
Куда отправился Амундсен?	76
Пять родов счета времени	78
Продолжительность дня	85
Необычайные тени	90
Задача о двух поездах.....	92
Стороны горизонта по карманным часам	94
Белые ночи и черные дни	98
Смена света и тьмы	101
Загадка полярного Солнца.....	103
Когда начинаются времена года	104
Три «если бы».....	108
Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером?	121
На один метр дальше.....	122
С разных точек зрения	123
Неземное время	127
Где начинаются месяцы и годы?	130
Сколько пятниц в феврале?	133





Глава 2. Луна и ее движения	134
Молодой или старый месяц?	134
Луна на флагах	136
Загадки лунных фаз	137
Двойная планета	139
Почему Луна не падает на Солнце?	142
Видимая и невидимая стороны Луны	144
Вторая Луна и луна Луны	150
Почему на Луне нет атмосферы?	152
Размеры лунного мира	156
Лунные пейзажи	158
Лунное небо	161
Для чего астрономы наблюдают затмения?	170
Почему затмения повторяются через 18 лет?	177
Возможно ли?	181
Что не всем известно о затмениях	182
Какая на Луне погода?	184
 Глава 3. Планеты	 186
Планеты при дневном свете	186
Планетная азбука	188
Чего нельзя изобразить	190
Почему на Меркурии нет атмосферы?	194
Фазы Венеры	198
Великие противостояния	200
Планета или меньшее Солнце?	202
Исчезновение колец Сатурна	204
Астрономические анаграммы	206
Планета дальше Нептуна	209
Планеты-карлики	212
Наши ближайшие соседи	216
Попутчики Юпитера	217
Чужие небеса	218
 Глава 4. Звезды	 230
Почему звезды кажутся звездами?	230
Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно?	232
Видны ли звезды днем?	236
Что такое звездная величина?	240





Звездная алгебра	242
Глаз и телескоп	246
Звездная величина Солнца и Луны	247
Истинный блеск звезд и Солнца	250
Самая яркая звезда из известных	252
Звездная величина планет на земном и чужом небе	253
Почему телескоп не увеличивает звезды?	256
Как измерили поперечники звезд?	260
Гиганты звездного мира	263
Неожиданный расчет	264
Самое тяжелое вещество	265
Почему звезды называются неподвижными?	270
Меры звездных расстояний	274
Система ближайших звезд	277
Масштаб Вселенной	280

Глава 5. Тяготение.....282

Из пушки вверх	282
С циркулем по планетным путям	286
Падение планет на Солнце	292
Наковальня Вулкана	296
Границы Солнечной системы	298
Ошибка в романе Ж. Верна	299
Как взвесили Землю?	300
Из чего состоят недра Земли?	303
Вес Солнца и Луны	304
Вес и плотность планет и звезд	307
Тяжесть на Луне и на планетах	309
Рекордная тяжесть	311
Тяжесть в глубине планет	312
Лунные и солнечные приливы	314
Луна и погода	317





→ Введение

Астрономия — счастливая наука: она, по выражению французского ученого Араго, не нуждается в украшениях. Достижения ее настолько захватывающие, что не приходится прилагать особых забот для привлечения к ним внимания. Однако наука о небе состоит не только из удивительных откровений и смелых теорий. Ее основу составляют факты обыденные, повторяющиеся изо дня в день. Люди, не принадлежащие к числу любителей неба, в большинстве случаев довольно смутно знакомы с этой прозаической стороной астрономии и проявляют к ней мало интереса, так как трудно сосредоточить

внимание на том, что всегда перед глазами. Будничная часть науки о небе, ее первые, а не последние страницы и составляют главным образом (но не исключительно) содержание «Занимательной астрономии». Она стремится прежде всего помочь читателю в уяснении основных астрономических фактов. Это не значит, что книга представляет нечто вроде учебника. Способ обработки материала существенно отличает ее от учебной книги. Полупознакомые обыденные факты облечены здесь в необычную, нередко парадоксальную форму, показаны с новой, неожиданной сто-





роны, чтобы обострить внимание к ним и освежить интерес. Изложение по возможности освобождено от специальных терминов и от того технического аппарата, который часто становится преградой между астрономической книгой и читателем. Популярным книгам нередко ставят в упрек, что по ним ничему серьезно научиться нельзя. Упрек до известной степени справедлив и подерживается (если иметь в виду сочинения в области точного естествознания) обычно избегать в популярных книгах всяких числовых расчетов. Между тем читатель только тогда действительно овладевает материалом книги, когда научается, хотя бы в элементарном объеме, оперировать с ним численно. Поэтому в «Занимательной астрономии», как и в других своих книгах той же серии, составитель не избегает простейших расчетов и заботится лишь о том, чтобы они предлагались в расчлененной форме и были вполне посильны для знакомых со школьной математикой. Подобные упражнения не только прочнее закрепляют усваиваемые сведения, но и подготавливают к чтению более серьезных сочинений.

Предлагаемый сборник состоит из двух частей. В первой части читатель познакомится со всеми далекими мирами Солнечной системы. Пусть это знакомство мимолетное и беглое, но оно все же дает представление о царящих в нашей планетной семье разнообразии и пестроте. Во второй части читателя ждет знакомство с некоторыми теоретическими аспектами астрономической науки, он сможет немного приоткрыть завесу тайны устройства Вселенной. В данное издание вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звездам и тяготению, причем избран преимущественно такой материал, который обычно в популярных сочинениях не рассматривается.

Обращаем внимание: все сведения и факты, приведенные в данном издании, соответствуют периоду жизни Якова Исидоровича Перельмана.

ЧАСТЬ I.
ВСЕ
ДАЛЕКИЕ
МИРЫ



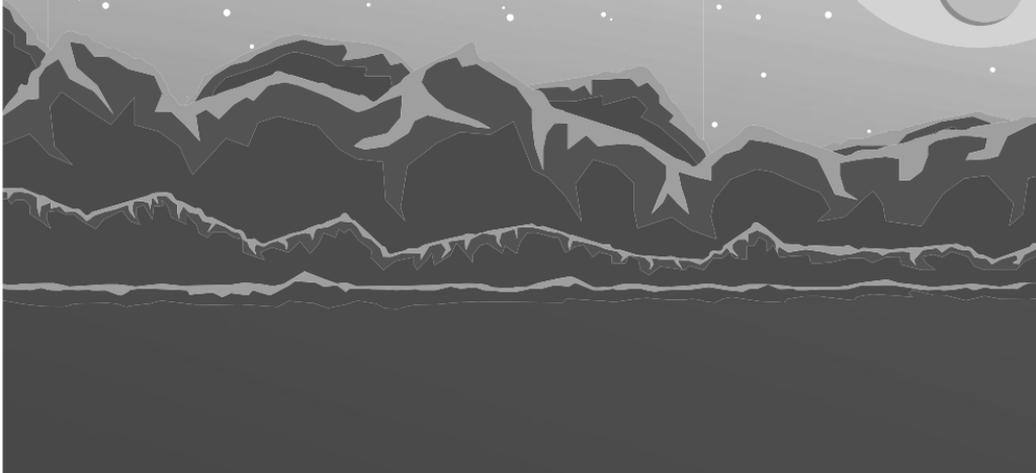
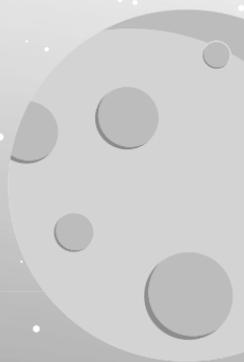


→ Описание 1

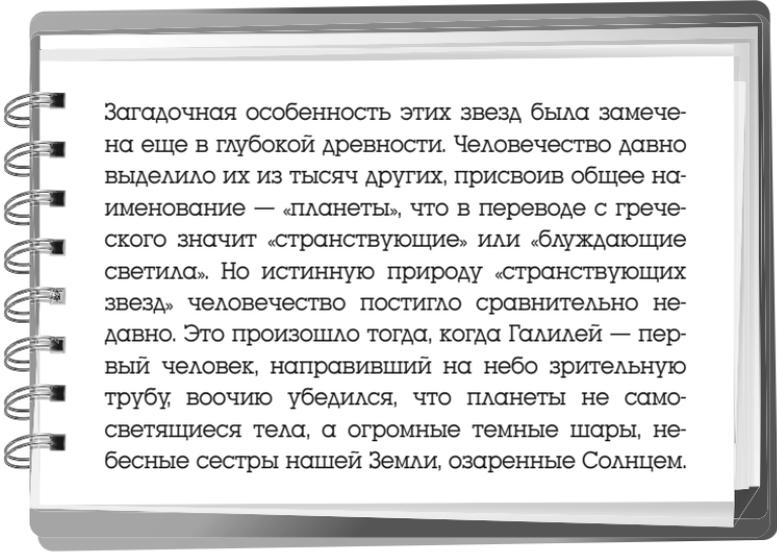
Далекие солнца и миры

В необъятном море ярких точек, усеивающих звездное небо, есть светила, которые в миллионы раз ближе к нам и имеют совершенно иную природу, нежели все остальные звезды. При беглом взгляде они теряются среди тысяч других, лишь иногда яркость некоторых из них и спокойный, почти не мерцающий свет привлекают наше внимание. И если, заметив

такие звезды, мы станем следить за ними изо дня в день, запоминая положение среди соседних, то вскоре обнаружим у них существенную особен-



ность. В то время как все звезды от восхода до захода плывут по небу в стройном единении друг с другом, не изменяя очертаний своих причудливых фигур (созвездий), эти немногочисленные светила постоянно нарушают согласное шествие небесного воинства: порою они движутся медленнее остальных, словно отставая от общего течения, порою, напротив, забегают вперед, постепенно меняя свое положение среди неизменных узоров звездного неба.



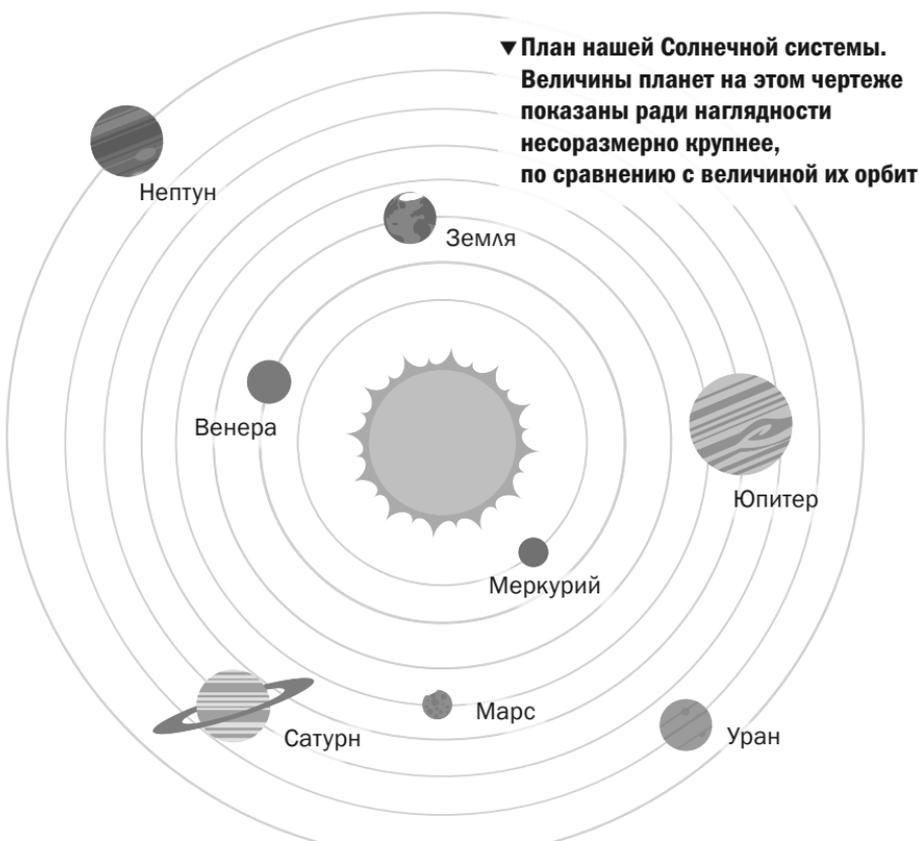
Загадочная особенность этих звезд была замечена еще в глубокой древности. Человечество давно выделило их из тысяч других, присвоив общее наименование — «планеты», что в переводе с греческого значит «странствующие» или «блуждающие светила». Но истинную природу «странствующих звезд» человечество постигло сравнительно недавно. Это произошло тогда, когда Галилей — первый человек, направивший на небо зрительную трубу, воочию убедился, что планеты не самосветящиеся тела, а огромные темные шары, небесные сестры нашей Земли, озаренные Солнцем.

Они такие же миры, как и обитаемый нами земной шар, только рассматриваемые с огромного расстояния. В столь страшном отдалении наша холодная Земля, залитая лучами Солнца, казалась бы тоже светящейся точкой. Эти далекие миры составляют одну систему, одну широко раскинувшуюся планетную семью, в которой Солнце занимает срединное и первенствующее положение. А далеко за последней планетой нашей системы, в бездонных глубинах небесного пространства, горят и светят другие раскаленные солнца — звезды. Вокруг них, быть может, тоже кружат согреваемые ими планеты, но мы ничего об этом не знаем. Пока мы можем изучать лишь те далекие миры, которые безостановочно движутся вокруг Солнца по замкнутым путям, называемым орбитами.

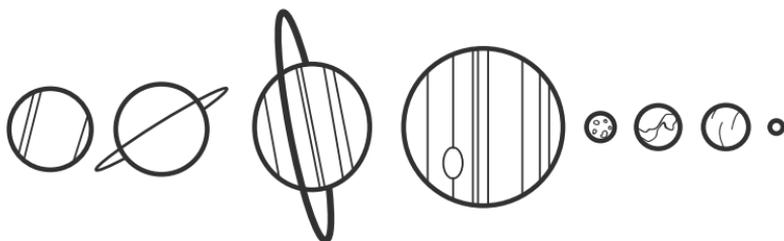
→ Описание 2

План и масштаб Солнечной системы

В пустом пространстве Вселенной планетные пути не отмечены, конечно, никакими вещественными знаками, но силы, которые управляют движением небесных тел, действуют с таким постоянством и с такой правильностью, что орбита каждой планеты неизменно сохраняет свою форму и свое положение, словно миры эти скользят по невидимым небесным рельсам. При этом пути всех главнейших планет расположены почти в одной плоскости, и потому нет сложностей с тем, чтобы изобразить на чертеже наглядный план Солнечной системы.



На рисунке слева начерчены постоянные пути главнейших планет Солнечной системы. Самая маленькая орбита — путь Меркурия, планеты, ближайшей к Солнцу. Одна за другой эту орбиту охватывают орбиты следующих планет, и нетрудно заметить, что промежутки между ними возрастают по мере того, как мы переходим к отдаленным планетам. Второй круг, считая от центра, изображает орбиту Венеры, третий — нашей Земли, четвертый — Марса. Затем следует круговая полоса тесно сближенных орбит множества мелких планет — планетоидов, или астероидов. Ее охватывают орбиты Юпитера, затем — Сатурна, Урана и, наконец, Нептуна.



Ради простоты орбиты изображены в форме кругов. В действительности же планетные орбиты немного сжаты, овальные, и Солнце находится не в срединной точке каждого овала, а несколько сбоку от центра. С этим связано, между прочим, то, что, обращаясь вокруг Солнца, каждая планета не отстоит от него все время на одинаковом расстоянии, а то приближается к нему, то удаляется, в зависимости от того, насколько вытянута ее овальная орбита.

Нетрудно было изобразить уменьшенный план Солнечной системы, но как составить правильное представление о ее истинных размерах? Легко сказать, что расстояние от Земли до Солнца равно 150 млн км, но эти цифры мало помогают уяснению действительного масштаба солнечного царства.

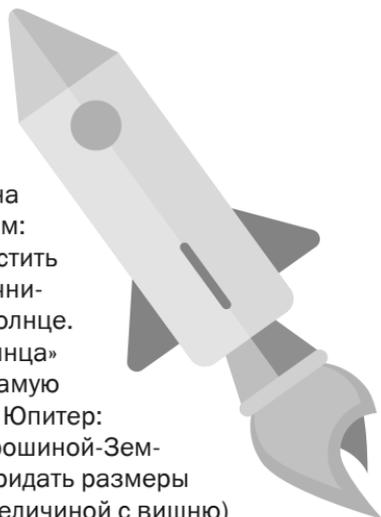
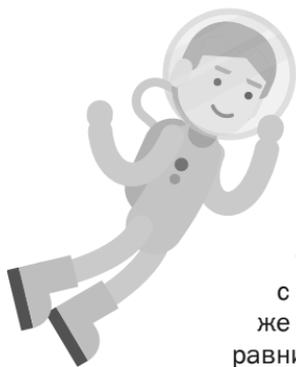


Попробуем осветить это огромное число наглядными сопоставлениями. Поперечник земного шара — 13 000 км, и хотя его гигантские размеры уже превосходят силу нашего воображения, самые длинные земные расстояния в сотни тысяч раз меньше, чем взаимные расстояния планет и Солнца. На прямой линии от Земли до Солнца можно было бы выстроить бок о бок цепь из 11 000 таких шаров, как земной. Если бы на этих исполинских устоях был проложен рельсовый путь, то знаете, за сколько времени мы бы доехали до Солнца, безостановочно мчась в курьерском поезде? Да мы бы и вовсе не доехали до него, не дожили бы до конца путешествия, ибо оно длилось бы не менее 200 лет! Только внуки наших внуков, родившиеся в поезде во время пути и никогда не видевшие Земли, добрались бы до конечной станции этой небесной дороги.

Теперь, когда 150 млн км, измеряющие радиус земной орбиты, уже кое-что говорят воображению, поступим так, как поступают астрономы: примем средний радиус земной орбиты за основную единицу и перемерим этим исполинским небесным аршином все остальные небесные расстояния. Тогда уже не придется пользоваться длинными рядами цифр. Расстояние от Меркурия и Венеры до Солнца выразится приблизительно $\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{4}$ нашей новой единицы длины; Марс окажется на расстоянии $1\frac{1}{2}$ единицы от Солнца, Юпитер — на расстоянии 5 единиц, Сатурн — 10, Уран — 20, наконец, Нептун, кружащийся на окраине планетной системы, закинут от Солнца в 30 раз дальше Земли. Числа эти, конечно, округлены, чтобы легче было запомнить соотношение частей солнечного царства.

Попытаемся теперь мысленно создать крошечное подобие нашей планетной системы. Пусть обыкновенная горошина изображает земной шар. Как далеко от нее нужно поместить Солнце? Примерно 11 500 горошин, нанизанных вплотную на тонкую прямую проволоку, составят 120 м: на этом расстоянии, значит, и надо поместить шар (полметра в поперечнике), изображающий Солнце.

В 600 м от этого «солнца» следует поместить самую большую планету — Юпитер: в соответствии с горошиной-Землей, ей надо будет придать размеры апельсина. Нептун (величиной с вишню) придется отодвинуть уже на 3 км! Следовательно, обитаемый нами мир, по сравнению с пространством всей Солнечной системы, так же ничтожен, как ничтожна горошина на круглой равнине площадью более 30 км²!



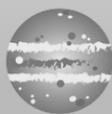
▼ Солнце и ближайшие к нему планеты.

Близ солнечного диска — Меркурий, затем Венера, после наша Земля с Луной, за ней Марс. Из четырех ближайших к Солнцу планет наша Земля самая крупная. Венера немного меньше ее. Марс в семь раз меньше Земли по объему, а Меркурий — в 20 раз

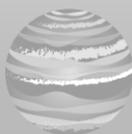
Солнце



Луна



Меркурий



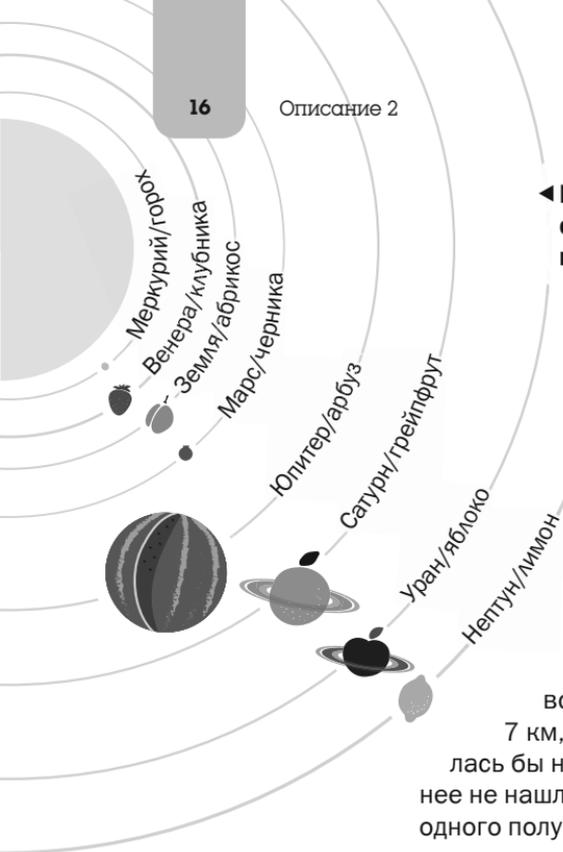
Венера



Земля



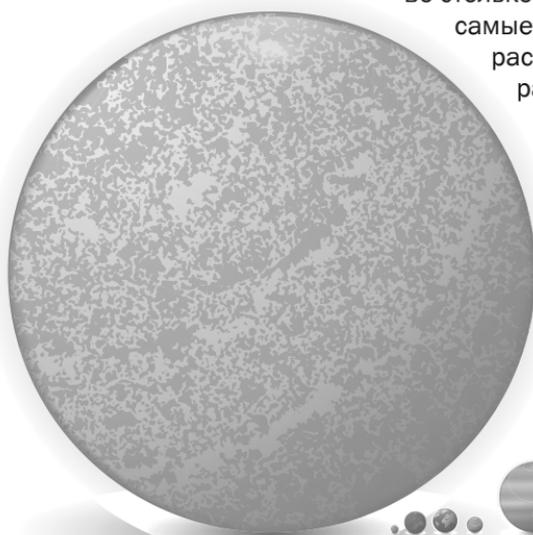
Марс



◀ **Вот так выглядела бы Солнечная система, если планеты изобразить в виде фруктов**

Постараемся также уяснить, насколько уединенно в пространстве наше Солнце с его планетами от остальных далеких солнц Вселенной. В нашем примере, где Земля — горошина, а поперечник всей планетной системы равен 7 км, ближайшая звезда оказалась бы на расстоянии 30 000 км: для нее не нашлось бы места в пределах одного полушария Земли. Значит, межзвездные пустыни, отделяющие во Вселенной одну солнечную систему от другой, во столько же раз превосходят самые далекие земные расстояния, во сколько раз поперечник Земли больше ширины горошины!

▼ **Размеры планет в сравнении с Солнцем**



Людам, привыкшим думать, что для измерения какого-либо расстояния обязательно надо пройти по нему с аршином в руках, все приведенные выше цифры, естественно, должны казаться очень условными. Но геометрия освобождает нас от кропотливой и не всегда точной работы непосредственного измерения. Чтобы определить расстояние от Петербурга до Москвы, например, землемеры вовсе не шли по нему с мерной цепью. Они прибегли к другим, более быстрым и совершенным приемам измерения. Сходные приемы, только гораздо более сложные, употребляют и астрономы для небесных измерений. Однако мы не станем их здесь описывать.

Миры не только измерены, они также взвешены. Здесь слишком долго пришлось бы объяснять, каким именно способом планетные миры были взвешены на невидимых весах небесной механики, но мы смело можем положиться на безукоризненную точность этого взвешивания и обязательно вернемся к этой теме далее.

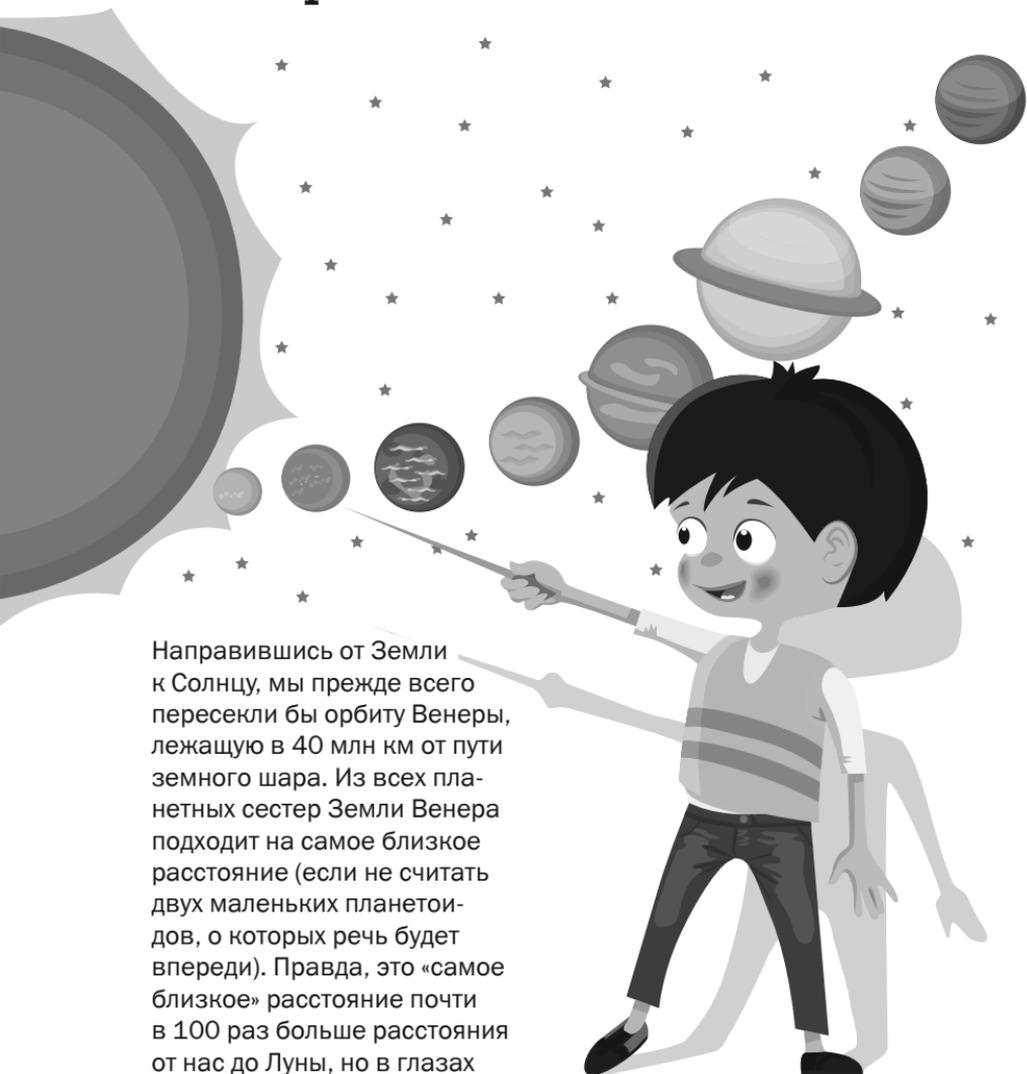


Итак, мы познакомились с общим планом Солнечной системы. Отправимся же теперь мысленно в необъятное небесное пространство и посетим один за другим далекие миры нашей планетной семьи.

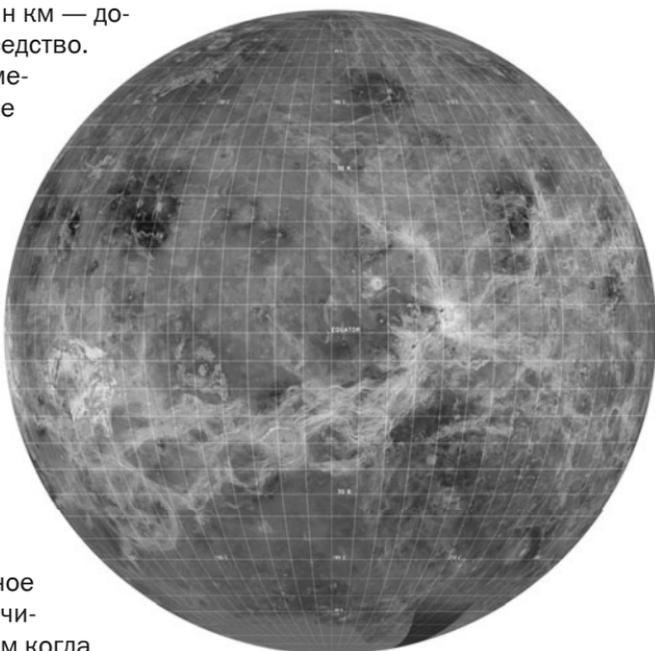
→ Описание 3

Венера — мир тропического зноя

Направившись от Земли к Солнцу, мы прежде всего пересекли бы орбиту Венеры, лежащую в 40 млн км от пути земного шара. Из всех планетных сестер Земли Венера подходит на самое близкое расстояние (если не считать двух маленьких планетоидов, о которых речь будет впереди). Правда, это «самое близкое» расстояние почти в 100 раз больше расстояния от нас до Луны, но в глазах



астрономов 40 млн км — довольно тесное соседство. Само собою разумеется, что Венера не всегда находится в таком близком с нами соседстве: ее расстояние от Земли меняется в зависимости от положения обеих планет на их орбитах. Когда Земля и Венера расположены по разные стороны от Солнца, взаимное расстояние их значительно больше, чем когда они сходятся по одну сторону от центрального светила. Вот почему расстояние между Землей и ее небесной соседкой колеблется от 41 до 260 млн км. Соответственно удалению меняются яркость и видимые размеры планеты. В пору наибольшей яркости Венера сияет на небе очень крупной звездой, которая льет на Землю приятный, спокойный свет и придает неизъяснимую прелесть вечернему ландшафту. «Стало темнеть. Ясная серебряная Венера низко на западе уже сияла из-за березки своим нежным блеском», — читаем мы у Толстого в описании весеннего вечера («Анна Каре-

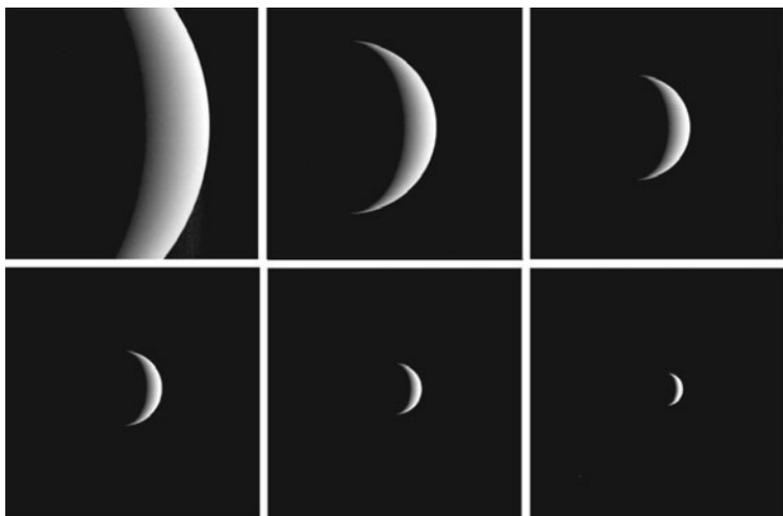


▲ Полный вид Венеры

нина»). Вероятно, и вы не раз любовались по вечерам этой планетой, когда она горит в западной части неба. Быть может, вам случалось видеть ее и утром — на восточном небосклоне. Это едва ли не единственная планета, знакомая жителям России, которые зовут ее Утрицей, Зорянкой, Зорницей. Необычайная яркость Венеры, видимой порою даже днем, не раз порождала курьезные недоразумения: планету принимали за воздушный шар!

Если в вашем распоряжении есть хотя бы самая скромная зрительная труба, то, направив ее на Венеру в пору наибольшего блеска, вы будете поражены странной неожиданностью: планета имеет форму не кружка, а серпа, как у молодого месяца! Глядя на этот светлый серп, мы воочию убеждаемся, что перед нами небесное тело совсем иной природы, нежели далекие раскаленные солнца-звезды, испускающие собственный свет. Как и всякая планета, Венера — шар, сам по себе темный, освещаемый Солнцем лишь на одной половине. Когда эта освещенная половина обращается к нам боком, мы видим только более или менее узкий серп, остальная же, темная, часть диска остается для нас невидимой. Вот почему кружась между Землей и Солнцем, Венера показывает нам те же фазы, что и Луна. Разница лишь в том, что Луна отдалена от нас во всех фазах одинаково, а Венера же бывает то ближе, то дальше от нас, и оттого фазы ее резко различаются по величине: узкий серп очень велик по сравнению с первой четвертью, которая в свою очередь заметно больше полного диска.

Простым глазом мы не замечаем этих поразительных изменений в фигуре Венеры, и до изобретения зрительных труб никто даже не подозревал, что яркая царица звездного неба сияет в форме серпа. Впрочем, бывают люди настолько зоркие, что различают фазы Венеры невооруженным глазом. Таким зрением, говорят, обладала мать знаменитого математика Гаусса. Однажды, когда Гаусс показал ей Венеру в телескоп, старушка с изумлением заявила сыну, что в трубе серп Венеры обращен в противоположную сторону, чем при рассмотрении простым глазом. Конечно, она не знала, что астрономические трубы дают перевернутые изображения.



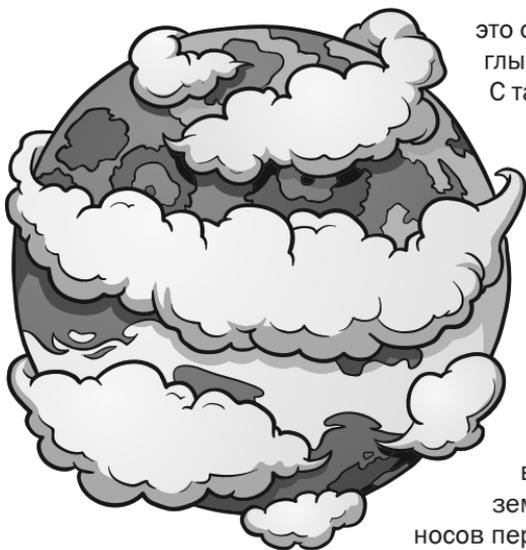
▲ Главные фазы Венеры.

Они видны только в трубу, даже слабую. Различие в размерах фаз объясняется тем, что Венера удалена от нас неодинаково при различном положении относительно Солнца: в фазе полного диска эта планета на 200 млн верст дальше от нас, нежели в фазе узкого серпа

Точные измерения Венеры открыли нам удивительный факт: она не только сестра нашей Земли, но, так сказать, ее небесный близнец, потому что обе планеты почти одинаковой величины. Во всей Вселенной не найдется, вероятно, другого мира, который по своим размерам так походил бы на наш собственный. Поперечник Венеры меньше поперечника земного шара всего на несколько сотен километров. В этих соседних мирах почти одинаково и напряжение тяжести: земная гиря, перенесенная на Венеру, весила бы лишь на $\frac{1}{7}$ долю меньше.

Но сходна ли Венера с Землей во всем остальном? Существуют ли в этом далеком мире материка и океаны, горы и долины, воздух и вода? Так же ли сменяются там времена года, чередуются дни и ночи? Есть ли там, наконец, животная и растительная жизнь или же





это огромная безжизненная глыба мертвой материи?

С такими вопросами астроном приступает к исследованию всякой планеты, но далеко не на все вопросы удается ему получить ответ из бездн мирового пространства. О Венере мы с достоверностью знаем лишь одно: в этом мире есть атмосфера, которая в 1,5–2 раза выше и плотнее, чем земная. Гениальный Ломоносов первым указал на то, что

«Венера окружена знатною воздушною атмосферою, таковою, какова обливается около нашего шара земного». При наблюдении за Венерой в телескоп можно заметить, что темная и светлая части диска не разграничены так резко, как, например, на Луне (атмосфера у нашего спутника почти отсутствует). На границе дня и ночи лежит серая полоска — область зари, сумерек. Значит, на Венере должна быть высокая и плотная атмосфера, которая и вызывает это явление утренних и вечерних зорь.

Доказано также присутствие паров воды в воздухе нашей небесной соседки.



В атмосфере Венеры вечно плавают густые облака. Они почти сплошной пеленой застилают планету и постоянно скрывают от нас ее поверхность. Ни один астроном не может сказать с уверенностью, что видел какую-нибудь подробность на поверхности самой планеты Венеры, а не на ее плотном облачном покрывале.

В сущности, этому обстоятельству звездная царица наших вечеров и обязана своим ярким блеском: густые облака отражают солнечный свет почти так же хорошо, как и свежесвыпавший снег. Вот почему Венера посылает в пространство тот ослепительный свет, который невольно привлекает к ней наши взоры, а астрономов заставляет при наблюдении в телескоп защищать свои глаза темными стеклами. К тому же Солнце, которое ближе к Венере, чем к нам, вдвое щедрее заливает ее своими лучами.

Благодаря близости к Солнцу Венера быстрее Земли обегает свою орбиту: ее год длится всего 225 дней, то есть восемь наших месяцев. Слово «наших» здесь, впрочем, излишне: своих месяцев Венера не имеет, так как у нее нет собственной Луны.

Густая облачная атмосфера, застилая лик Венеры, не позволяет нам решить вопрос о том, как чередуются в этом мире дни и ночи. Окончательно еще не установлено, в какой срок шар Венеры совершает полный оборот вокруг своей оси. Вполне понятно, почему так трудно узнать это: вспомним, что в телескоп не видно твердой поверхности Венеры, следовательно, нет никаких постоянных отметин, по которым можно было бы судить о вращении планеты. И до сих пор среди астрономов царит резкое разногласие по вопросу о величине суток Венеры. Одни полагают, что Венера вращается чрезвычайно медленно, а именно что ее сутки равны ее году, то есть они в 225 раз длиннее земных. Если это действительно так, то Венера должна быть вечно обращена одной и той же стороной к Солнцу, между тем как другое

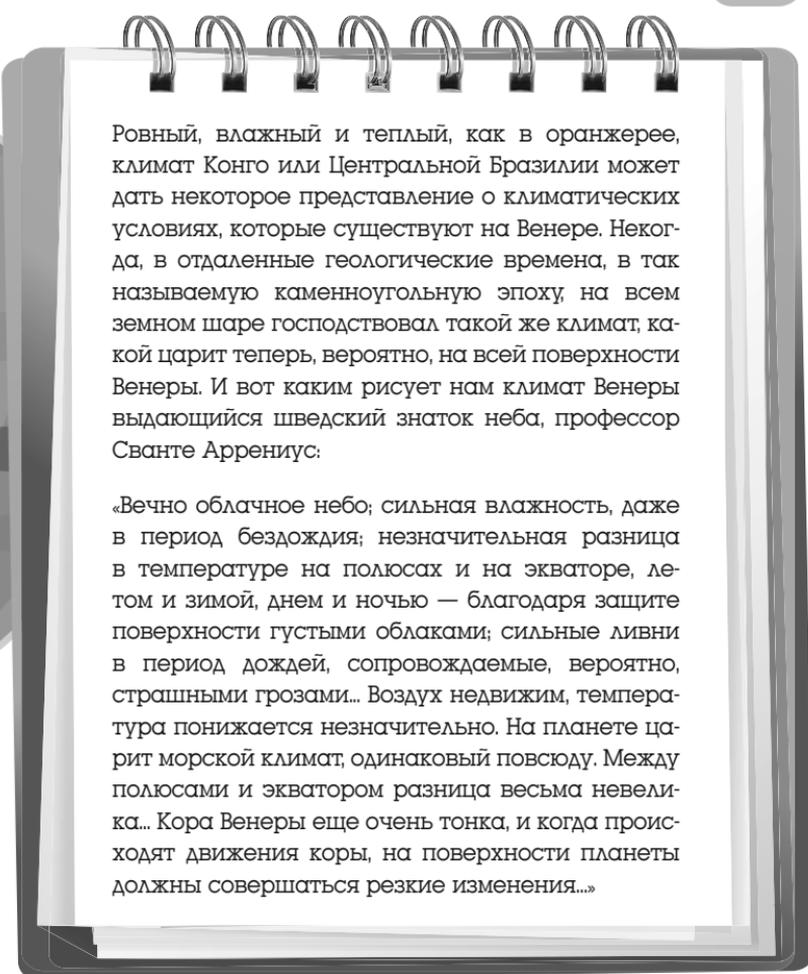


ее полушарие погружено в вечный мрак и холод (такие именно условия царят на ближайшей к Солнцу планете — Меркурии). Однако измерения показали, что вращение Венеры совершается гораздо быстрее и что сутки этой планеты немногим отличаются от земных. Надо думать, что этот результат ближе к истине, иначе трудно было бы объяснить присутствие облаков и водяных паров на Венере и существование самой ее атмосферы. По законам физики все газы планеты должны были бы собраться на ее ночной стороне и здесь замерзнуть, если бы Венера не обогревалась со всех сторон, последовательно подставляя обе свои половины лучам Солнца.

Если Венера вращается вокруг оси в короткий срок — в одни или несколько суток, то на всей планете должен царить очень жаркий, влажный, ровный климат, мало изменяющийся в течение года и от дня к ночи.



Солнце на Венере светит вдвое ярче, чем у нас, но ясных дней почти не бывает. Плотный слой облаков без просвета застилает весь небесный свод, и если бы мы родились на этой планете, то никогда не узнали бы, что существует величественная картина звездного неба.



Ровный, влажный и теплый, как в оранжерее, климат Конго или Центральной Бразилии может дать некоторое представление о климатических условиях, которые существуют на Венере. Некогда, в отдаленные геологические времена, в так называемую каменноугольную эпоху, на всем земном шаре господствовал такой же климат, какой царит теперь, вероятно, на всей поверхности Венеры. И вот каким рисует нам климат Венеры выдающийся шведский знаток неба, профессор Сванте Аррениус:

«Вечно облачное небо; сильная влажность, даже в период бездождия; незначительная разница в температуре на полюсах и на экваторе, летом и зимой, днем и ночью — благодаря защите поверхности густыми облаками; сильные ливни в период дождей, сопровождаемые, вероятно, страшными грозами... Воздух недвижим, температура понижается незначительно. На планете царит морской климат, одинаковый повсюду. Между полюсами и экватором разница весьма невелика... Кора Венеры еще очень тонка, и когда происходят движения коры, на поверхности планеты должны совершаться резкие изменения...»

На нашем земном шаре в каменноугольную эпоху при сходных климатических условиях уже пышно цвела растительная и отчасти животная жизнь: густо росли гигантские хвощи, плауны, мхи, а между их стеблями, во влажной полутьме, жили насекомые исполинских размеров. Возможно, что подобная жизнь развилась и на Венере. Но возможно и обратное, что облачный покров этой планеты недостаточно умеряет жгучесть солнечных лучей и температура на Венере никогда не падает ниже той точки (65 °C), при которой свертываются белковые вещества. При подобных условиях жизнь (по крайней мере, в том виде, в каком мы ее знаем) была бы на Венере невозможна.

→ Описание 4

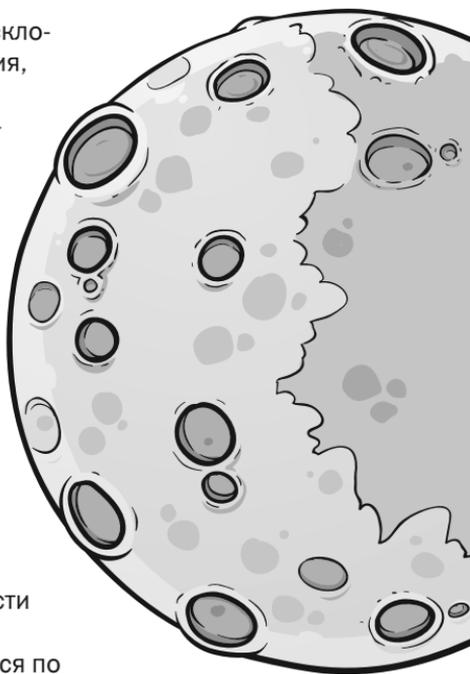
Меркурий — мир величайших крайностей

Насколько легко разыскать на небе Венеру простым глазом, настолько же трудно увидеть ее соседа — Меркурия, кружащегося внутри ее орбиты. При наблюдении с Земли эта ближайшая к Солнцу планета всегда занимает в небе положение, близкое к днев-

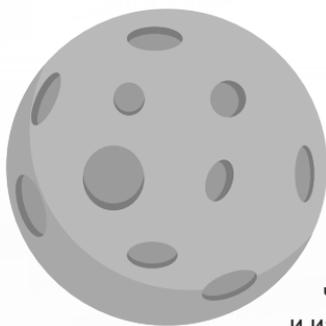
ному светилу, почти скрываясь в его ослепляющих лучах. Меркурий сопутствует Солнцу в его (кажущемся) суточном движении по небу. Лишь за 1–1,5 ч до восхода Солнца или спустя столько же после его захода бывает, что он иногда виден в лучах



зари на утреннем или вечернем небосклоне. Такие периоды видимости Меркурия, повторяющиеся всего трижды в год, длятся каждый около недели. Возможно, вам даже приходилось случайно видеть его низко над землей, не подозревая, что яркая звезда, спешащая скрыться за горизонтом, и есть Меркурий. В таком случае вы счастливее самого Коперника, которому за всю жизнь ни разу не удалось увидеть это неуловимое светило в тех широтах, где он жил (в Северной Германии). Только в южных странах, где сумерки коротки и ночь быстро сменяет день, Меркурий легко наблюдать простым глазом. Вот почему эта планета, почти неуловимая у нас, была еще в древности замечена в Вавилоне, Египте, Греции. Меркурий быстрее других планет мчится по своей маленькой орбите, обегая ее за 88 дней. Его путь вокруг Солнца довольно отличается от круга. Это настолько вытянутый овал, что за время своего краткого года Меркурий бывает удален от Солнца то на 70 млн км, то всего на 46 млн км. Значит, в одних частях своей орбиты Меркурий почти в 1,5 раза ближе к Солнцу, чем в других! Солнце должно казаться с Меркурия огромным пылающим диском, площадь которого в 5–10 раз больше, чем на земном небе.



По сравнению с Землей, Меркурий — очень маленький шар: его поперечник почти втрое меньше земного, и из нашей планеты можно было бы сделать 20 таких шаров, как Меркурий. Если поместить его на место нашей Луны, то, пожалуй, мы не сразу заметили бы такую перемену: диск его казался бы всего на $\frac{1}{4}$ шире лунного. А если бы этот ближайший к Солнцу мир упал на Землю, то мог бы целиком поместиться в Атлантическом океане, зажатом между Европой и Северной Америкой.



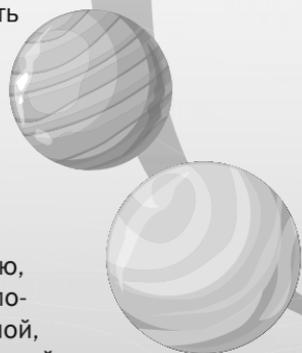
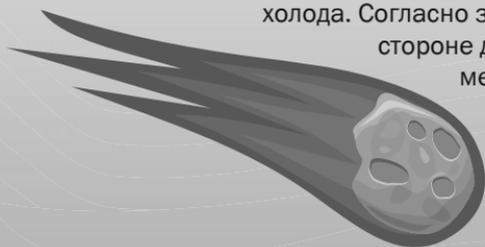
Маленький Меркурий, по-видимому, лишен атмосферы, и скорее походит в этом отношении на нашу Луну, нежели на Землю или Венеру. Ни одно облачко на небе Меркурия не застигает от нас его «лица». И все же астрономы почти ничего не знают об устройстве его поверхности:

чрезвычайно трудно наблюдать и изучать эту планету, всегда прячущуюся в солнечных лучах

и в пору наибольшей близости к Земле скрывающую от нас свою освещенную половину.

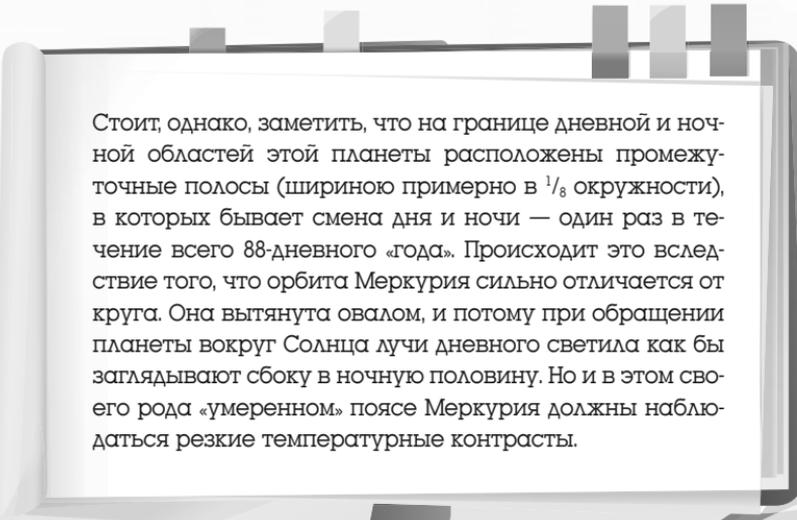
По мнению наблюдателей, на Меркурии нет того чередования дней и ночей, к которому мы привыкли на Земле. Одной стороной он неизменно обращен к Солнцу, другой — к мраку и холоду межзвездного пространства. Вечное сияние горячего Солнца на одной стороне и непрерывная ночь на другой — вот резкие крайности, удивительным образом сочетающиеся в этом мире. На светлой, солнечной, стороне должен вечно господствовать невообразимый зной в 200–300 °С, не умягчаемый ни ветрами, ни облаками. Солнце не восходит здесь и не заходит: огромным пылающим диском оно висит почти неподвижно на черном звездном небе (ибо там, где отсутствует атмосфера, нет и светлого, затмевающего звезды небесного купола) и беспощадно льет свои горячие лучи на сухую, жадную, раскаленную почву. Такова одна половина планеты — дневная. На противоположной, ночной, стороне, наоборот, вечно стоит страшный мороз в 200 °С и более. В течение миллионов лет ни один луч Солнца не проникал в это царство вечного холода.

Согласно законам физики, на этой холодной стороне давно должна была собраться и замерзнуть газообразная оболочка всей планеты. Неудивительно, что Меркурий лишен атмосферы.





Самое смелое воображение отказывается населить живыми существами этот мир величайших контрастов, в одно и то же время и слишком знойный, и чересчур холодный для того, чтобы на нем могла развиваться жизнь. Ближайший сосед живительного Солнца, надо думать, не знает и никогда не знал органической жизни.



Стоит, однако, заметить, что на границе дневной и ночной областей этой планеты расположены промежуточные полосы (шириною примерно в $\frac{1}{8}$ окружности), в которых бывает смена дня и ночи — один раз в течение всего 88-дневного «года». Происходит это вследствие того, что орбита Меркурия сильно отличается от круга. Она вытянута овалом, и потому при обращении планеты вокруг Солнца лучи дневного светила как бы заглядывают сбоку в ночную половину. Но и в этом своего рода «умеренном» поясе Меркурия должны наблюдаться резкие температурные контрасты.

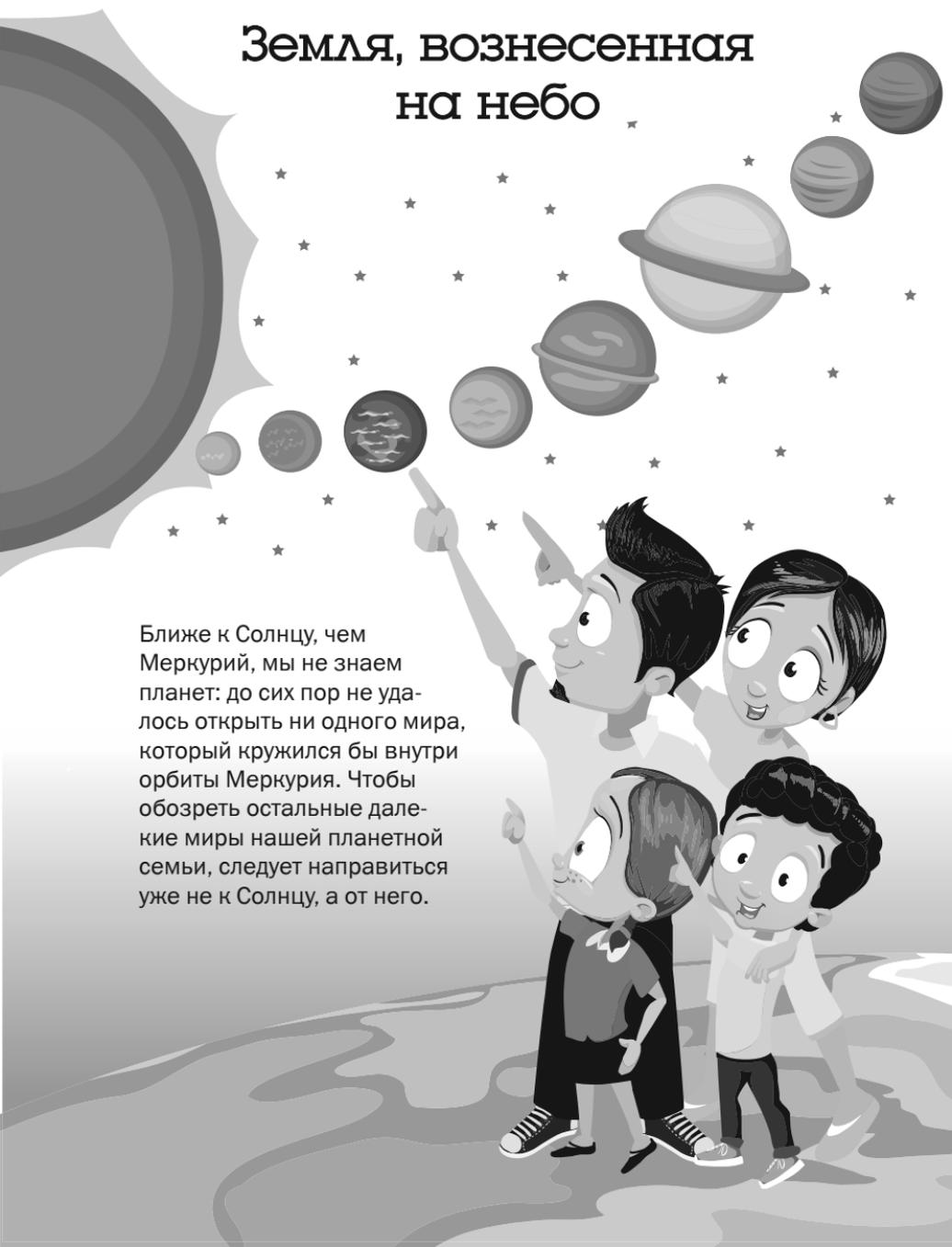
Чтобы закончить с описанием Меркурия, остается упомянуть лишь о нескольких деталях. Как и у Венеры, у него нет ни одной луны. Плотность его немного превышает плотность Земли. Зато тяжесть на его поверхности в 2,5 раза слабее, чем у нас: земная гиря в 1 кг весила бы на Меркурии всего 1 фунт (0,45359 кг)! Позднее, описывая Марс, где напряжение тяжести еще слабее, чем на Меркурии, мы подробнее остановимся на любопытных следствиях такой особенности.



→ Описание 5

Земля, вознесенная на небо

Ближе к Солнцу, чем Меркурий, мы не знаем планет: до сих пор не удалось открыть ни одного мира, который кружился бы внутри орбиты Меркурия. Чтобы обозреть остальные далекие миры нашей планетной семьи, следует направиться уже не к Солнцу, а от него.





Третье место, считая от Солнца, на плане нашей системы занимает планета, которую мы знаем лучше остальных, так как она не требует телескопа для изучения. Это наша Земля. Мы успели уже привыкнуть к мысли, что мир, обитаемый нами, такое же небесное тело, как и прочие планеты, и что, в сущности, мы живем на небесном светиле, которое сияет во Вселенной, как Венера или Марс. Но когда-то мысль эта казалась нелепой. Если бы мы жили, например, на Меркурии, то весь огромный, полный бесконечного разнообразия земной шар был бы для нас просто яркой звездой. Нам было бы известно о нем, вероятно, не больше, чем известно теперь о прочих планетах. Мы знали бы, что он окружен плотной атмосферой, в которой часто плавают облака; что он довольно быстро вращается вокруг своей оси и обходит Солнце за 365 суток; что его сопровождает при этом спутник, который в 50 раз меньше его по объему и отдален от него на 30 земных поперечников. Это, пожалуй, все...

Исследования показали, что наша Земля сильно отражает свет в пространство и, следовательно, рассматриваемая извне, должна походить на Венеру. «Земля, — пишет астроном Г. А. Тихов, специально изучавший этот вопрос, — имеет цвет сильно белесоватого неба. Смотря на Землю из космического пространства, мы увидели бы диск указанного цвета и едва ли различили бы какие-либо подробности на земной поверхности».

Но если бы даже мы и могли различить очертания светлых и серых пятен на земном шаре, то истинное их значение оставалось бы для нас загадкой. Вероятно, мы бы не знали, где на Земле материки, а где океаны, какая жидкость наполняет впадины этого шара и каков состав его атмосферы. Еще более загадочными казались бы нам яркие белые пятна на полюсах Земли и периодические изменения окраски материков, которые зимой, покрытые снегом, заметно светлее, нежели летом.

Вот как скудны были бы наши сведения о мире, полном жизни и кипучей деятельности миллиардов разумных существ! Не так ли ничтожны нынешние наши знания о небесных сестрах Земли? Увы, но почти так...



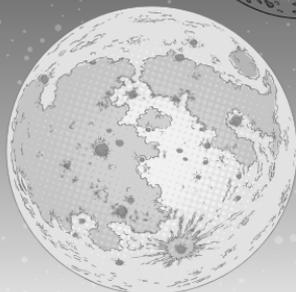
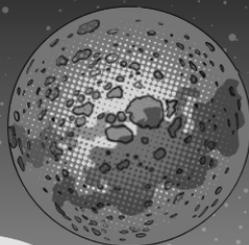
→ Описание 6

Марс — мир ХОЛОДНЫХ ПУСТЫНЬ

A cartoon illustration of a young boy with dark hair and glasses, wearing a grey t-shirt and dark pants with white socks and shoes. He is pointing his right index finger upwards towards a starry space scene. The scene includes a large sun on the left, several planets of different sizes and colors (some with rings), and numerous small stars scattered across the background.

Четвертая планета Солнечной системы — Марс, один из ближайших соседей Земли, в наибольшей степени привлекает к себе внимание астрономов и публики. Огромную популярность этой планете принесли романисты, которые в своих фантазиях не раз населяли этот соседний с нами мир разумными существами.

Со временем знания о Марсе значительно углубились и расширились. Его перестали считать уменьшенным подобием Земли. Новые наблюдения и научные соображения во многом изменили прежние взгляды, и вокруг планеты, издревле носящей имя бога войны, разгорелась оживленная борьба разнообразных мнений.



▲ Слева направо —
Земля, Луна, Марс

Вследствие овальности орбит Земли и Марса их небесные пути не везде одинаково отстоят друг от друга. Там, где обе орбиты сближаются, расстояние между ними равно 55 млн км. Значит, ближе чем на 55 млн км Земля и Марс не могут подходить друг к другу. Но и в таком близком соседстве обе планеты бывают довольно редко, а именно каждые 17 лет, во время так называемых великих противостояний. Астрономы с нетерпением ждут этих редких моментов и спешат воспользоваться ими, чтобы изучить нашего загадочного соседа. Но благоприятное время длится недолго: подобно случайно встретившимся путникам, обе планеты вскоре вновь расходятся. Примерно через два года планеты опять сближаются, но теперь их разделяет большее расстояние. С каждой следующей встречей, повторяющейся приблизительно раз в два года, взаимное расстояние Земли и Марса растет, достигая 90 млн верст. Затем планеты при встречах начинают сближаться, пока не наступает следующее великое противостояние, и тогда оба мира вновь достигают наибольшей взаимной близости.

По своим размерам Марс — одна из самых маленьких планет Солнечной системы. Он больше Меркурия, но в семь раз меньше Земли по объему. При этом Марс немного рыхлее, нежели наша планета, так как масса этого мира не в семь, а в десять раз меньше массы Земли. Если Меркурий из всех главных планет — наименьшая по объему, то Марс отличается наименьшим напряжением тяжести: на нем все тела весят почти втрое меньше, чем на Земле. «Самые обыкновенные наши действия на Марсе казались бы фантастическими, — пишет астроном Ловелл, посвятивший жизнь изучению этой планеты. — Всякий предмет оказался бы там неестественно легким: свинец весил бы не больше, чем у нас на Земле камень, камень стал бы таким же легким, как у нас вода, и всякое тело казалось бы превращенным в какое-то другое, непохожее на него. Мы очутились бы вдруг в невесомом эфирном мире. Наши действия приняли бы грандиозный характер. С небольшим напряжением мы совершали бы невероятно трудные работы, так как наша мощь увеличилась бы в семь раз. Наконец, все в этом странном мире совершалось бы со значительной медленностью. Вода текла бы не спеша, ленивой струей, а падающие тела опускались бы на землю с грациозной плавностью».

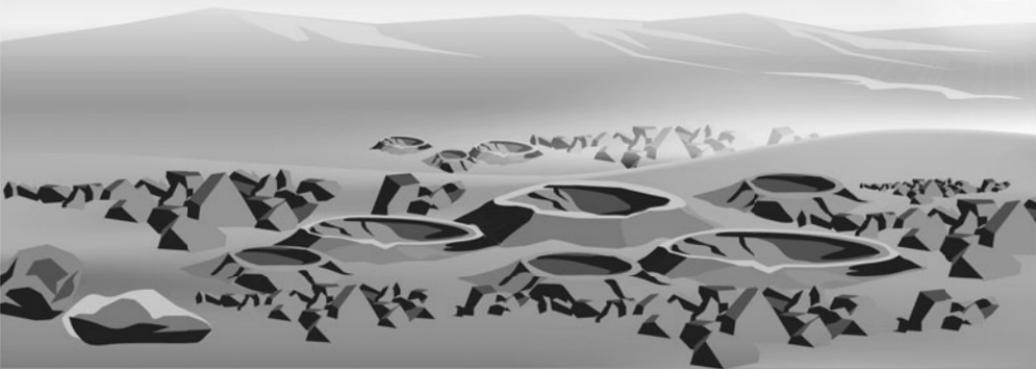
От Солнца Марс отстоит в два раза дальше, нежели Земля. Он обегает свою обширную орбиту за 687 земных суток, следовательно, его год почти равен двум земным годам, а каждый сезон — весна, лето, осень, зима, — длится около шести месяцев. Но сутки Марса почти равны нашим: они длятся 24 ч



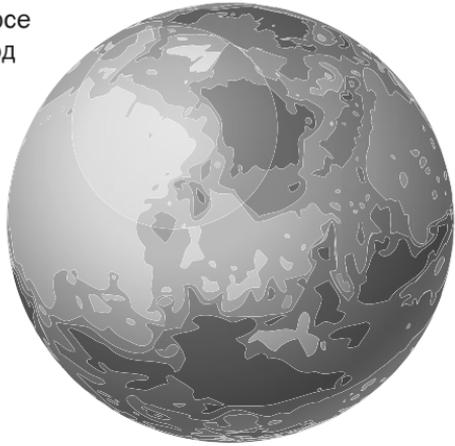
37 мин. Замечательно, что ось вращения Марса почти так же наклонена к орбите, как и земная ось, а именно под примерным углом в 65° . Следовательно, этот маленький мир должен иметь три основных климатических пояса: жаркий, умеренный и холодный, какие есть на нашей Земле. Однако названия «жаркий» и «умеренный» мало подходят к климату этой планеты. Дело в том, что лучи Солнца на расстоянии Марса греют вдвое слабее, чем у нас, следовательно, в этом далеком мире всюду — в тропиках и близ полюсов — должна господствовать весьма низкая температура.

В сильные телескопы можно видеть, что вокруг Марса обращаются два спутника. Марсовы луны крошечные: поперечник их равен нескольким десяткам верст, так что странно даже называть мирами эти каменные глыбы. Других столь маленьких лун мы не знаем во всей Солнечной системе. Наша Луна с поперечником в 3500 км — гигант рядом с этими пигмеями. Обе луны Марса обращаются на довольно близком расстоянии от него: одна удалена от центра планеты всего на 9000 км, другая — на 23 000 км. Свои маленькие орбиты они описывают чрезвычайно быстро — ближайший спутник всего за 7 ч (то есть он обегает вокруг Марса втрое быстрее, чем сам Марс успевает обернуться вокруг своей оси).

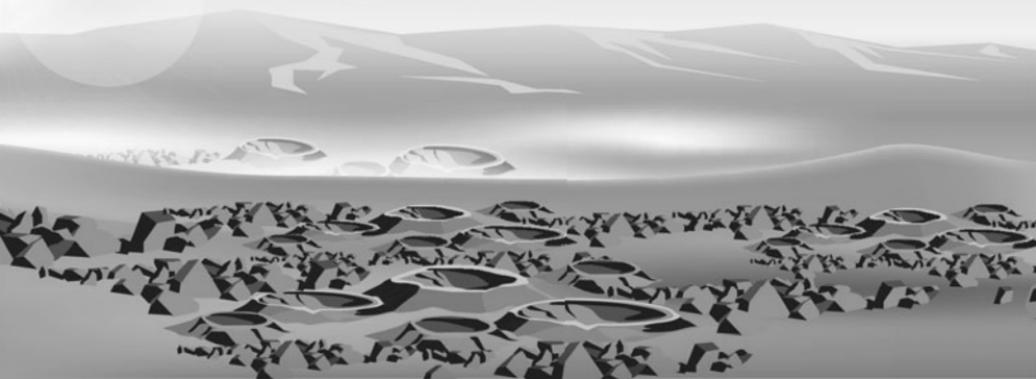
Но обратимся к самой планете, так сильно интересующей и астрономов, и публику. Еще недавно вопросы о ее климате, атмосфере, температуре и т. д. вызывали горячие споры среди ученых. Теперь большинство астрономов согласно в том, что Марс окружен весьма разреженной атмосферой, гораздо менее плотной, чем воздух на наших высочайших горных вершинах.



Барометр показывал бы на Марсе всего 60 мм ртутного столба. Под таким слабым давлением вода должна кипеть не при 100 °С, а всего лишь при 45 °С и испаряться гораздо быстрее, чем обычно на Земле. Удалось установить, что неплотная атмосфера Марса содержит весьма небольшое количество водяных паров и что в ней почти никогда не бывает облаков.



Марс — холодный мир. Солнце скупо льет на него свои лучи, а легкая, неплотная атмосфера этой планеты слабо удерживает теплоту, накапливаемую ее поверхностью. Вычисления показывают, что средняя температура Марса должна быть гораздо ниже земной, достигая, вероятно, -30 или -40 °С. Зной наших летних дней на Марсе совершенно неизвестен: в самые теплые часы самых теплых дней термометр поднимается там только выше 0 °С. Это мир суровых морозов, сковывающих всю поверхность планеты и превращающих воду в камень: жидкая вода на Марсе не правило, а исключение. Мы подходим к трудному вопросу об устройстве поверхности Марса. Для невооруженного глаза Марс имеет хорошо заметный красноватый оттенок, оправдывающий присвоенное этой планете имя кровавого бога войны. В телескопе картина меняется и на «лице» Марса можно различить множество отдельных областей разной окраски. После долговременных и терпеливых наблюдений были составлены даже карты Марса. Но планетная карта совсем не то, что мы привыкли обычно понимать под словом «карта». Карта какой-нибудь страны на земном шаре составлена на основании прямого изучения



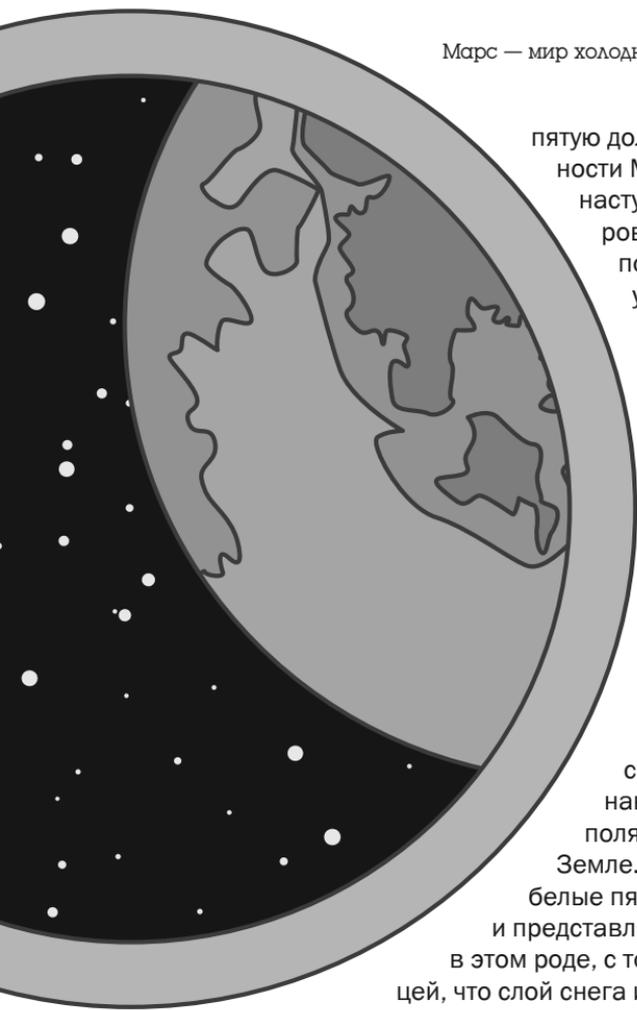
ее территории. Глядя на такую карту, мы хорошо знаем, чему соответствует в природе то или иное условное обозначение или окраска. Это и понятно, ведь географ сначала знакомится со страной и затем наносит ее на карту. Астроном же поступает наоборот: сперва составляет карту планеты, тщательно зарисовывая все, что удастся заметить в телескоп, а затем лишь начинает строить догадки о том, что собственно представляет в природе каждая отмеченная им подробность. Поэтому, хотя мы имеем уже карты Марса, истинное устройство его поверхности для нас еще толком не ясно. На упомянутых картах Марса мы видим белые, красноватые и синевато-зеленые участки различных оттенков. Но сказать, что они обозначают, непросто. Различные наблюдатели и ученые высказывают весьма непохожие догадки об устройстве поверхности этой планеты.



Четыре особенности Марса привлекают внимание наблюдателей, а именно:

- ✦ ***белые полярные пятна;***
- ✦ ***красноватые пространства;***
- ✦ ***синевато-зеленые участки;***
- ✦ ***тонкие темные линии, называемые «каналами».***

Меньше всего споров порождают белые пятна, видимые у полюсов Марса. Размеры их не остаются неизменными. Когда на соответствующем полушарии планеты зима, тогда пятно это разрастается, занимая иногда по площади чуть ли не



пятую долю всей поверхности Марса. По мере наступления менее сурового времени года полярное пятно уменьшается, оттаивая по краям, и в разгар лета сокращается до наименьших размеров. К тому времени уже успевает разростись такое же белое пятно у противоположного полюса. Невольно хочется сопоставить с этим накопление и таяние полярных снегов на Земле. Без сомнения, белые пятна на Марсе и представляют собой нечто в этом роде, с той лишь разницей, что слой снега или льда здесь должен быть очень тонок, иначе слабые лучи Солнца не успевали бы растопить его за такой короткий срок. Вероятнее всего, это налет инея, быстро осаждающийся при морозе и так же быстро тающий и испаряющийся в лучах Солнца. На Марсе слишком мало свободной влаги, чтобы там могли быстро образовываться мощные ледяные поля.

Относительно природы красноватых пятен, занимающих большую часть поверхности Марса и сообщающих этому светилу его характерный красный цвет, также согласны все астрономы. Это обширные материковые пустыни. Вот как описывает их американский астроном Ловелл:

«Поверхность Марса, за исключением дна океанов, давно превратилась в безводную и бесплодную пустыню, не освежаемую ни влагой на поверхности, ни облачным покровом и не защищенную никакой тенью. Огненная окраска, от которой Марс получил свое имя, в телескопе оказывается охровым цветом, с красными точками там и сям. Именно такой цвет имеют пустыни нашей земли, если их рассматривать с вершины горы. Лишь временами эти области делаются красными: это единственное изменение, которое мы замечаем в них. Как по виду, так и по свойствам эти большие охристые пространства на диске являются огромными Сахарами. Огромное протяжение, которое пустыни уже заняли на Марсе, имеет роковое значение. Эти опаловые оттенки, столь прекрасные, когда мы смотрим на них в телескоп из нашего далека, говорят об ужасной действительности... Эти восхитительные цвета говорят, что вся планета опоясана огромной пустыней, которая в некоторых местах простирается почти от полюса до полюса. Дни и месяцы мы можем бродить по этим пустыням, и нет им конца; отчаяние овладевает душой. А солнце совершает свой дневной путь, поднимаясь из каменистой пустыни, чтобы снова погрузиться в нее».



Для полноты картины необходимо прибавить, что пустыни Марса не знойные, как наша Сахара, а холодные настолько, что нередко по вечерам покрываются инеем, который исчезает в лучах утреннего солнца.

В будущем, когда Солнце начнет остывать, вероятно, наша планета также превратится в мир пустынь и холода. Если Венера

переживает теперь отдаленную юность нашей Земли, то Марс является как бы зеркалом грядущей старости земного шара, опоясанного почти непрерывной цепью пустынь.

Кроме полярных «шапок» и красноватых материков на поверхности Марса видны темные неправильные пятна зеленоватого

оттенка, получившие название «морей», «океанов»

и «озер». Единственное, что достоверно мы можем

сказать о них, это то, что они не похожи на наши моря или океаны. Шведский ученый Аррениус,

например, полагал, что это «моря, миллионы лет покрытые ледяной коркой толщиной с версту,

крепко примерзшей к берегам». Американский астроном Ловелл, внимательный наблюдатель

Марса, утверждал, что «вид этих областей меняется

вместе с временами года на Марсе: они исчезают в зим-

ние месяцы и темнеют в летние. Все происходит с ними так, как если бы там была растительность».



Самую загадочную подробность на поверхности Марса, вокруг которой ведутся горячие споры среди астрономов, представляют знаменитые «каналы». Это едва заметные прямые темные полосы, прорезающие поверхность планеты. Впервые их заметил итальянский астроном Скиапарелли. Поскольку эти полосы прорезают материки Марса, словно соединяя его темные «моря», он назвал их «проливами», что по-итальянски звучит как *ca-nali*. Неточный перевод этого слова на другие языки породил широко распространенное среди публики убеждение, будто астрономы открыли на Марсе искусственно вырытые каналы. В действительности же истинная природа этих образований не установлена. Более того, само существование геометрически правильной сети «каналов» отвергается многими наблюдателями, работающими с мощными телескопами. Почти всюду, где Скиапарелли в свой сравнительно слабый телескоп видел сплошную линию «канала», некоторые астрономы теперь различают только ряд точек.

→ Описание 7

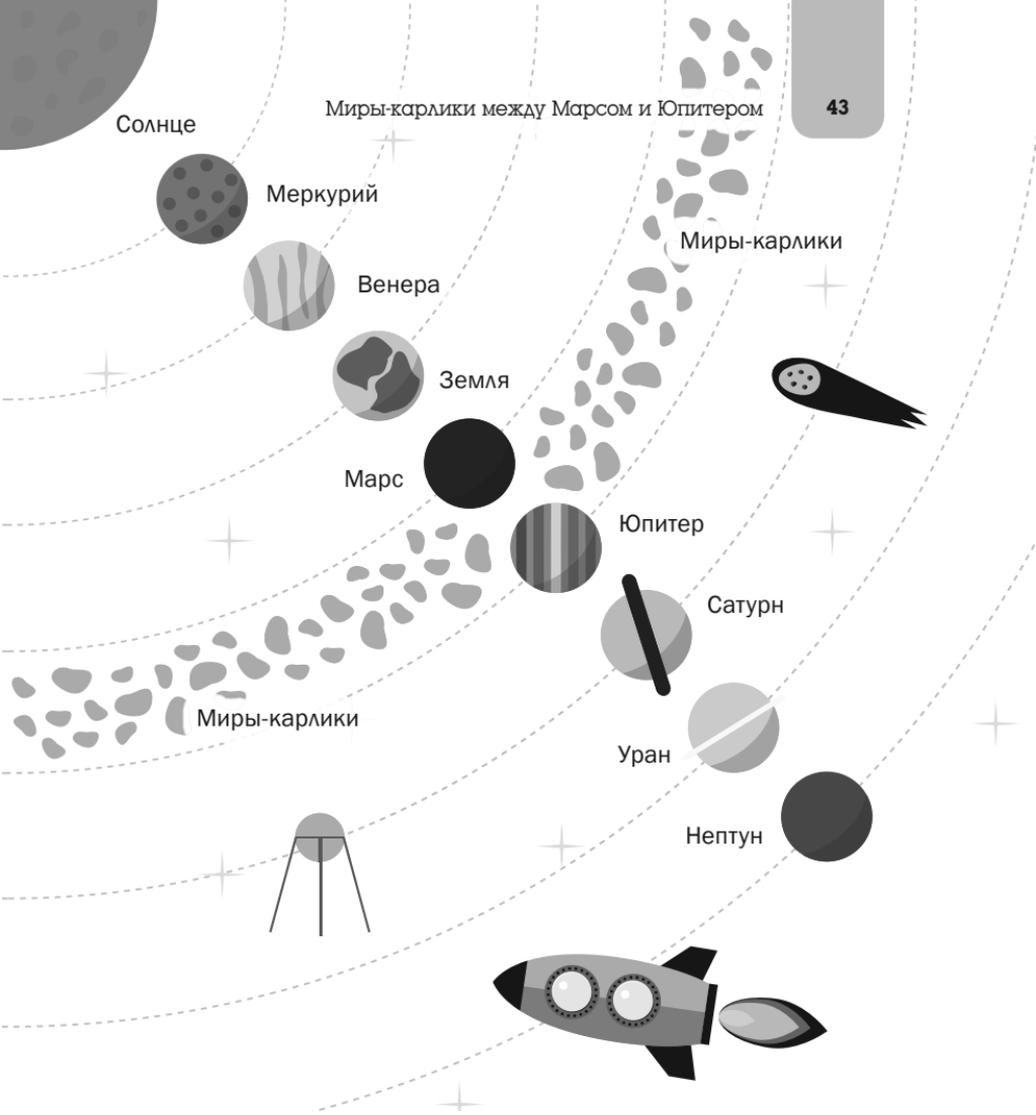
Миры-карлики между Марсом и Юпитером

В первый день XIX в. итальянскому астроному Дж. Пиацци посчастливилось открыть новую, дотоле неизвестную маленькую планету Цереру, вращающуюся между орбитами Марса и Юпитера. Открытие этого нового члена планетной семьи было случайностью, но не было неожиданностью. Огромный пустой промежуток между орбитами Марса и Юпитера давно уже заставлял подозревать существование здесь неизвестной планеты. Об этом писал еще И. Кеплер в XVII в., и его догадка стала особенно вероятной с тех пор, как астроном И. Боде, 100 лет спустя, подметил весьма любопытную закономерность в расстояниях планет от Солнца. Вот в чем состоит это так называемое правило Боде.

Напишите ряд чисел: 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192. В нем каждое число вдвое больше предыдущего. Прибавьте к числам этого ряда по 4 и напишите число 4 впереди ряда. Получится новый ряд: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196. Теперь разделите все эти числа на 10 — у вас получатся расстояния планет от Солнца, если считать расстояние от Солнца до Земли за единицу:

0,4 — Меркурий	2,8 — ?
0,7 — Венера	5,2 — Юпитер
1 — Земля	10 — Сатурн
1,6 — Марс	19,6 — Уран

Как видите, только одно место в этом ряду осталось незаполненным — то, которое отвечает числу 2,8. И вот когда Пиацци открыл планету, расстояние от которой до Солнца как раз в 2,8 раз больше расстояния от Солнца до Земли, этот пробел заполнился.

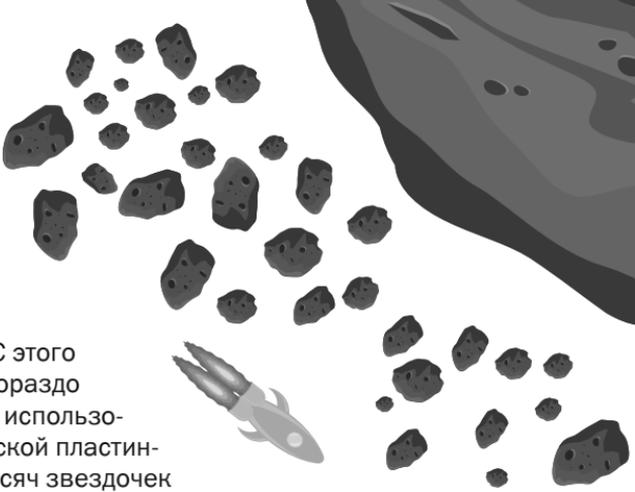


Однако сверх всех ожиданий дело этим не ограничилось. Менее чем через два года была открыта вторая планета (Паллада), также отвечающая числу 2,8 в ряду Бодэ. Обе планеты движутся по самостоятельным орбитам, весьма близким друг к другу. Прошло несколько лет — и были открыты еще две планетки (Юнона и Веста) той же самой группы. Все четыре новых члена планетной семьи оказались телами очень небольшими, не больше 800 км в поперечнике. Затем, после 40 лет перерыва, в том же поясе была найдена пятая планетка (Астрея). Тогда стало очевидно, что в указанной полосе Солнечной системы кружится целый рой мелких планеток, и усердные наблюдатели неба начали пристально выслеживать их.

До 1890 г. удалось обнаружить около 300 мелких планеток, получивших общее название — планетоиды. С этого года «охота» пошла гораздо успешнее благодаря использованию фотографической пластинки, которая среди тысяч звездочек сама указывала планету: движущийся по небу планетоид оставляет на пластинке след в виде черточки, а не точки, как неподвижные звезды.

Планетоиды — очень мелкие небесные тела. Даже самые крупные из них (Церера) значительно меньше Луны, а у большинства поперечник не превышает нескольких десятков верст. Совокупный объем всех этих планет-карликов во много раз меньше объема нашей Луны.

Таким образом, огромный пустой промежуток между Марсом и Юпитером, так изумлявший И. Кеплера, оказался заполненным с избытком. Планетоидов обнаружилось гораздо больше, чем того требовал «закон Бодде». Среднее расстояние до них от Солнца уже нельзя было выражать числом 2,8, так как лишь немногие из планеток располагались ровно в 2,8 раза дальше от Солнца, чем Земля.



Все планетки вместе занимают своими орбитами широкий пояс, который не только заполняет весь пробел между Марсом и Юпитером, но отчасти даже заходит по обе стороны за пределы этого промежутка. Последнее особенно любопытно: мы знаем пять планетоидов, среднее расстояние до которых от Солнца равно и даже больше расстояния до Юпитера. В некоторых частях своих очень овальных орбит эти планетки заходят на десятки миллионов верст по ту сторону орбиты Юпитера. Чтобы подчеркнуть столь замечательную особенность, астрономы дали таким планетоидам мужские имена (Ахилл, Патрокл, Гектор, Нестор, Альберт), в отличие от прочих, носящих женские имена.

Еще интереснее для нас те планетоиды, овальные орбиты которых частично заходят внутрь орбиты Марса. Эти маленькие планетки при движении могут, следовательно, подойти к Земле ближе, чем Марс. Известны пока два таких планетоида: Эрос и недавно упомянутый Альберт, заходящий за орбиту Юпитера. После Луны это ближайшие к нам миры. Эрос, например, орбита

которого наполовину лежит внутри орбиты Марса, в пору наибольшей близости находится от нас всего в 22 млн км, то есть вдвое ближе Венеры.

Надо заметить, впрочем, что так как размеры этих ближайших соседей крайне незначительны (поперечник Эроса не превосходит 20 км),

то название «миры» к ним мало подходит. Это просто глыбы вещества, вероятно, даже и не шарообразной формы, небесные пылинки, кружащиеся в пустынях мирового пространства.

Вот к каким неожиданным результатам привела усердная «охота» за планетоидами. Она открыла целый рой очень мелких светил, целое широкое кольцо небесных странников. Марс и Юпитер оказываются не вне, а внутри этого кольца, ближайшая граница которого лежит от Солнца на расстоянии 1,5 радиуса земной орбиты, а самая дальняя — на расстоянии 5,5 радиуса.



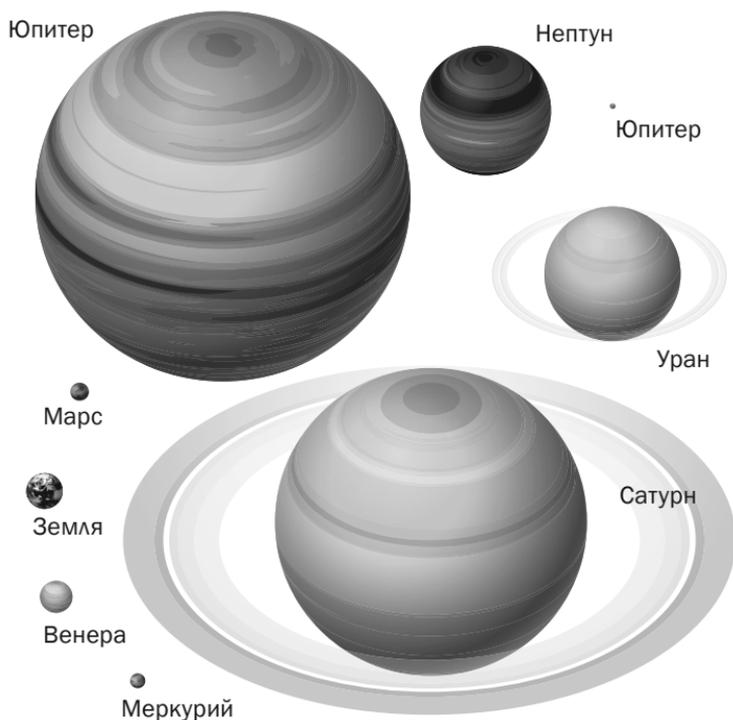
По мнению астронома И. Баушингера, маленький Марс также можно считать одним из планетоидов, правда, самым крупным. Если так, то правильнее говорить, что пояс миров-карликов кружится не между Марсом и Юпитером, а между Землей и Юпитером. Крошечные луны Марса, как и мелкие крайние спутники Юпитера, вероятно, не что иное, как бывшие планетоиды, захваченные притяжением этих двух планет.

→ Описание 8

Миры-великаны Юпитер и Сатурн, полузастывшие солнца



В мысленных странствованиях по далеким мирам Солнечной системы мы до сих пор не встречали мира, который по размерам превышал бы нашу Землю. По сравнению с Меркурием, Венерой, Марсом и планетоидами, не только земной шар, но даже Луна — довольно крупные небесные тела. Но наше странствование лишь началось: взглянув на план Солнечной системы, вы убедитесь, что, в сущности, мы едва только успели отойти от Солнца и еще купаемся в его лучах, меж тем как бóльшая часть неисследованного планетного архипелага расстилается далеко кругом нас. Почти $\frac{9}{10}$ пути остается нам до видимых границ солнечного царства. Крайние четыре планеты раскинуты на невообразимо огромном пространстве и отделены друг от друга такими



▲ Размеры Меркурия, Венеры, Земли и Марса, по сравнению с мирами-гигантами: Юпитером, Сатурном, Нептуном и Ураном

безднами пустынь, что взаимные расстояния знакомых уже нам планет должны, по сравнению с ними, казаться поистине миниатюрными.

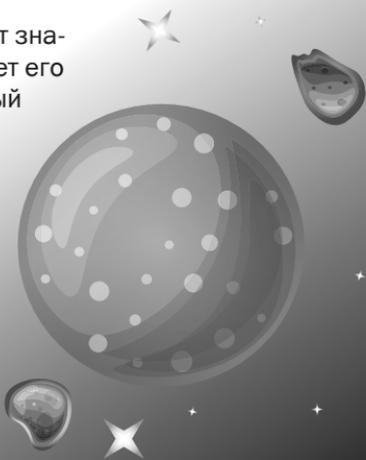
Здесь начинается царство гигантов, рядом с которыми предыдущие планеты — настоящие карлики. Словно для контраста, природа сразу же после самых мелких планеток всей системы поместила исполина Юпитера — величайшую из планет солнечного царства. Заброшенный далеко от Солнца и отстоящий от нас в десятки раз дальше, чем Венера, он по яркости все же соперничает с Утренней звездой — так огромны его размеры. Его объем, в 1300 раз превышающий объем земного шара, так велик, что в промежутке между Землей и орбитой Луны можно было бы уместить только три таких шара, как Юпитер. Лента длиной от Земли до Луны была бы недостаточна, чтобы кругом

опоясать этот колоссальный мир. А масса его так велика, что, положив Юпитер на одну чашку весов, пришлось бы другую нагрузить для равновесия не только всеми остальными планетами, но еще и утроить этот груз, потому что масса Юпитера в три раза больше массы всех прочих планет, вместе взятых! После Солнца это самое тяжелое тело во всей Солнечной системе, и если бы Солнце исчезло, то планеты стали бы обращаться вокруг Юпитера, подчиняясь его могучей силе притяжения.

Любопытно, что по физическому строению эта исполинская планета скорее походит на Солнце, чем на известных нам ее меньших сестер. В этом отношении замечательна прежде всего весьма небольшая плотность Юпитера. Превышая Землю по объему в 1300 раз, он тяжелее ее всего в 310 раз. Значит, вещество Юпитера легче земного, а именно оно вчетверо рыхлее (то же самое справедливо и для Солнца). Поскольку в недрах гигантской планеты вещество должно быть страшно сжато и уплотнено под действием огромной силы тяжести, то, чтобы средняя плотность Юпитера была столь незначительной, приходится допустить, что самые внешние части юпитерова шара состоят из весьма неплотного вещества, скорее всего, находящегося в газообразном состоянии.

Такое строение резко отличает Юпитер от знакомых нам менее крупных планет и делает его весьма сходным с Солнцем. Колоссальный Юпитер можно рассматривать как уменьшенное подобие Солнца, с той только разницей, что газовый шар Юпитера успел уже значительно

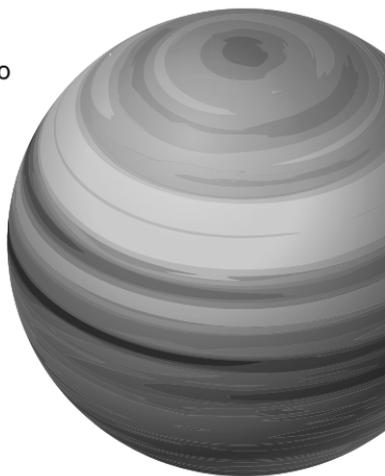
► Юпитер и два из его спутников



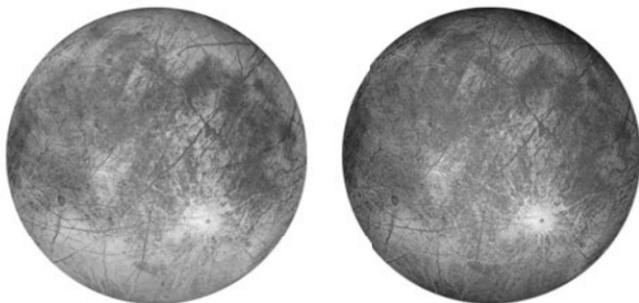
охладиться. Это небольшое полужастывшее солнце не испускает собственный свет, но оно еще горячо и не успело покрыться твердой коркой. Бурные тепловые явления, сильнейшие ветры, исполинские смерчи и вихри постоянно возмущают его газовый наружный слой.

На этой гигантской планете, видимо, нет ничего устойчивого. Напрасно искать здесь что-либо, напоминающее наши материки и моря. Здесь расстилается безграничный океан вязких, полужидких масс или горячих газов, охваченный бурным, хаотичным движением.

В густой и высокой атмосфере, окружающей внутреннее, более плотное и раскаленное ядро планеты, видимо, носятся густые, непрозрачные облака каких-то газов, придающие «лицу» Юпитера характерный полосатый вид. На мысль о том, что полосы эти — облачные образования, а не прочные и устойчивые части поверхности, наводит крайняя изменчивость их очертаний.



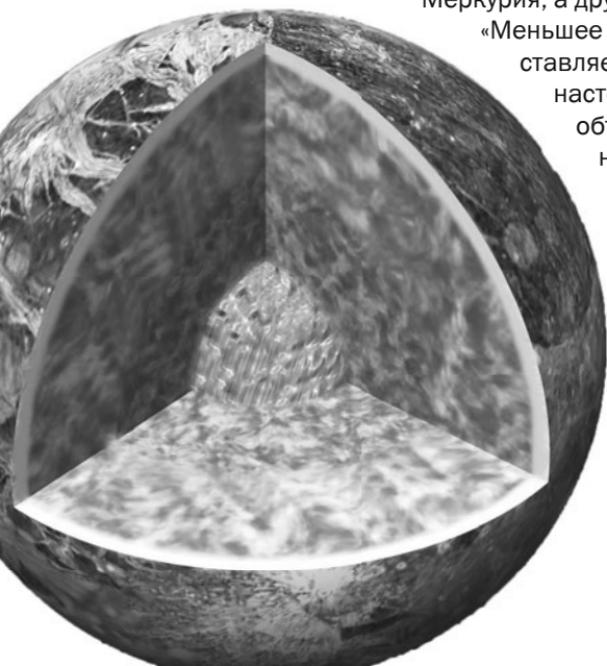
За многие десятки лет наблюдений на всей огромной поверхности Юпитера была замечена лишь одна крупная подробность, остававшаяся сравнительно неизменной. Это так называемое красное пятно — овальный участок значительного размера, окруженный каймой. Пятно это, длина которого равна трем земным поперечникам, некоторое время довольно резко выделялось в средних широтах Юпитера. Теперь оно различается уже не так ясно, как прежде. Природа этого образования загадочна. Скорее всего, надо думать, оно представляет собой огромное море раскаленных газов, окруженное берегами из сгущенных паров и расположенное под атмосферой планеты. Довольно внезапное появление красного пятна объясняется, видимо, обширными извержениями на этом «маленьком солнце» и, быть может, представляет собой нечто подобное тем пятнам, которые часто появляются на поверхности настоящего Солнца.



▲ Снимок Европы – одного из спутников Юпитера

Сходство Юпитера с Солнцем усиливается еще тем, что вокруг планеты-великана кружится целая семья спутников. Могучий Юпитер является властелином системы из девяти меньших миров, раскинувшихся на обширном пространстве. Размеры Юпитерова царства огромны: самый крайний спутник кружится на расстоянии 30 млн км от планеты! Это в 80 раз больше, чем расстояние от Луны до Земли, и всего вдвое меньше, чем среднее расстояние от Меркурия до Солнца. Более трех лет нужно этому спутнику, чтобы замкнуть свой длинный путь вокруг Юпитера. По объему этот спутник чрезвычайно мал: он не больше, чем луны Марса. Зато внушительны размеры некоторых других спутников. Среди них один по объему не меньше Меркурия, а другой почти равен Марсу.

«Меньшее солнце», как видим, заставляет обращаться вокруг себя настоящие миры, могущие по объему посоперничать с планетами «большого Солнца». Возможно, что некогда в отдаленные времена Юпитер был настоящим солнцем для своих спутников, заливал их светом и теплом в таком изобилии, какого нынешнее «большое Солнце», за дальностью расстояния, давать им не может.

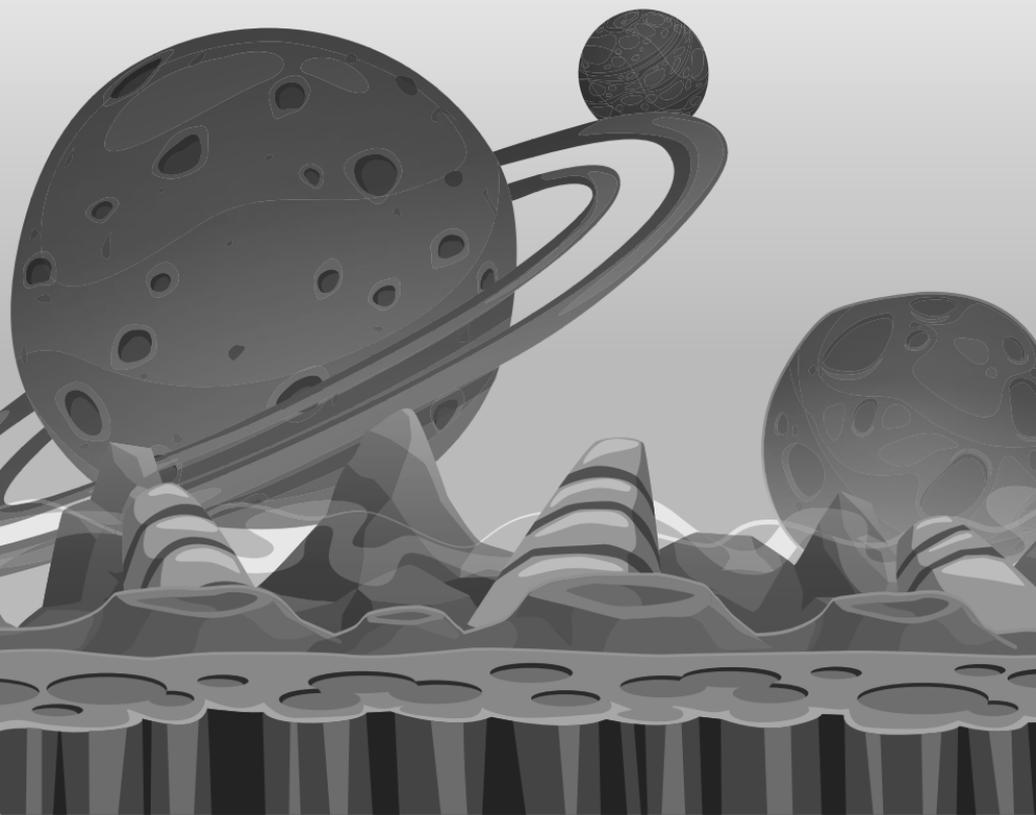


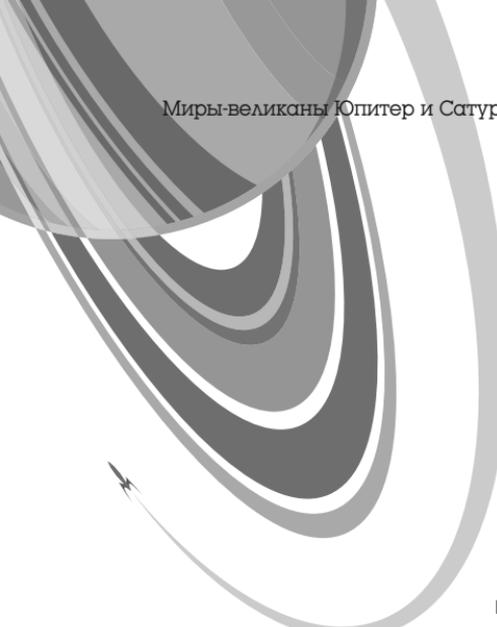
Диск Юпитера заметно сплюснут: расстояние между его полюсами на $\frac{1}{6}$ меньше, чем поперечник его экватора. Такое сильное сжатие, бросающееся в глаза даже при наблюдении в слабую трубу, является следствием чрезвычайно быстрого вращения вокруг оси. Как ни странно, но этот колоссальный шар, в 1300 раз больше земного, вращается гораздо быстрее Земли и успевает обернуться вокруг оси всего за 10 ч. Сидя в обсерватории, земной астроном может чуть ли не за одну ночь совершить полное кругосветное путешествие по этому величайшему из миров.

Каждая точка экватора Юпитера при таком быстром вращении пробегает более 11 верст в секунду. Если бы с подобной быстротой двигались точки земного экватора, то воздух, вода и все предметы на экваториальной полосе были бы силой инерции отброшены в бесконечность. На Юпитере этого не происходит, во-первых, потому, что при огромном радиусе этого шара кривизна пути гораздо меньше, а во-вторых, сила притяжения на поверхности планеты-великана в 2,5 раза больше, чем на Земле. Если бы на крючок пружинных весов мы повесили какую-нибудь гирю и перенеслись с ней на Юпитер, то оказалось бы, что здесь она весит в 2,5 раза больше, чем на Земле. Ни на одном из миров нашей планетной семьи нет такого сильного напряжения тяжести. Насколько легко и свободно нам было бы на Марсе, настолько же грузными и беспомощными мы бы чувствовали себя на Юпитере. Арабский скакун при такой силе тяжести двигался бы с неуклюжестью бегемота.



Быстро вращаясь вокруг оси, Юпитер кружится вокруг Солнца медленнее Земли. Ему нужно около 12 наших лет, чтобы замкнуть свой путь. Этот долгий «год» состоит более чем из 10 000 юпитеровых дней и такого же числа ночей. Любопытно, что день и ночь на всех пунктах исполинской планеты всегда равны между собой, так как ось Юпитера направлена почти под прямым углом к плоскости его орбиты (а не наклонена к ней под острым углом, как у Земли). По той же причине на Юпитере нет ни смены времен года, ни климатических поясов. Впрочем, Солнце так скупко посылает сюда свои лучи, что не будь у Юпитера собственного запаса теплоты, этот мир неминуемо застыл бы в оковах страшного холода. Свеча на расстоянии двух сажен светит не вдвое, а вчетверо слабее, чем на расстоянии одной сажени, — таков закон освещения. Поэтому Юпитер, находящийся от Солнца на расстоянии впятеро большем, чем Земля, должен получать тепла и света в 5×5 , то есть в 25 раз меньше.





Еще меньше света и тепла посылает Солнце в те отдаленные окраины своего царства, где движется следующая планета — Сатурн. Этот «ближайший» сосед Юпитера (по ту сторону) отдален от планеты-великана почти на столько же, на сколько сам Юпитер отдален от Солнца. Другими словами, орбита Сатурна сразу переносит нас на двойную дистанцию Юпитера. В эти глубины небесного океана солнечные лучи проникают ослабленными в 90 раз, по сравнению с Землей.

На Сатурне даже в полдень должно быть такое освещение, какое бывает на Земле в редкие минуты почти полного солнечного затмения.

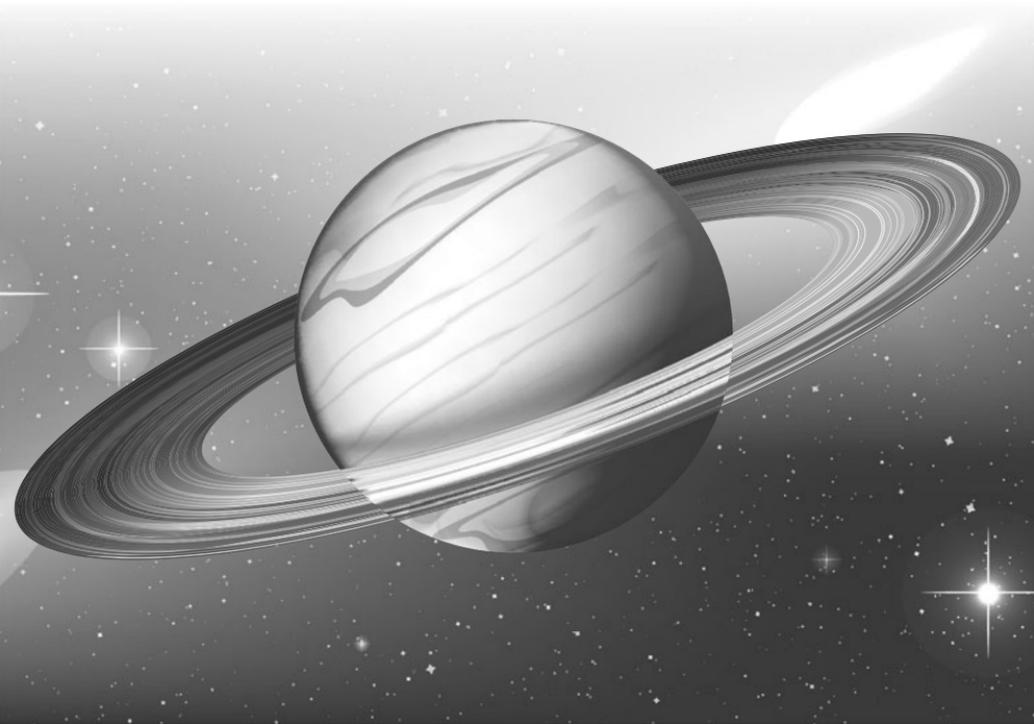
Но Сатурн, как и Юпитер, не холодное тело: его еще с большим правом можно назвать полуставшим уменьшенным солнцем. Это тоже гигант среди миров. Он всего в два раза меньше Юпитера по объему и занимает по огромности второе место в семье планет. Многие черты делают обе величайшие планеты весьма похожими. Сатурн, как и Юпитер, составлен из малоплотного вещества. Средняя плотность Сатурна в восемь раз меньше земной. Если бы удалось погрузить этот колоссальный шар в океан, он плавал бы на поверхности воды. Сатурн, как и Юпитер, в значительной части газообразен, и лишь в недрах его стужилось более плотное газовое ядро, без резких скачков переходящее в высокую атмосферу. Если бы мы могли перенестись в этот мир, то очутились бы в безграничном горячем газовом океане, простирающемся, как и на Юпитере, в бездонные недра планеты и постепенно становящемся в глубине все плотнее и горячее.

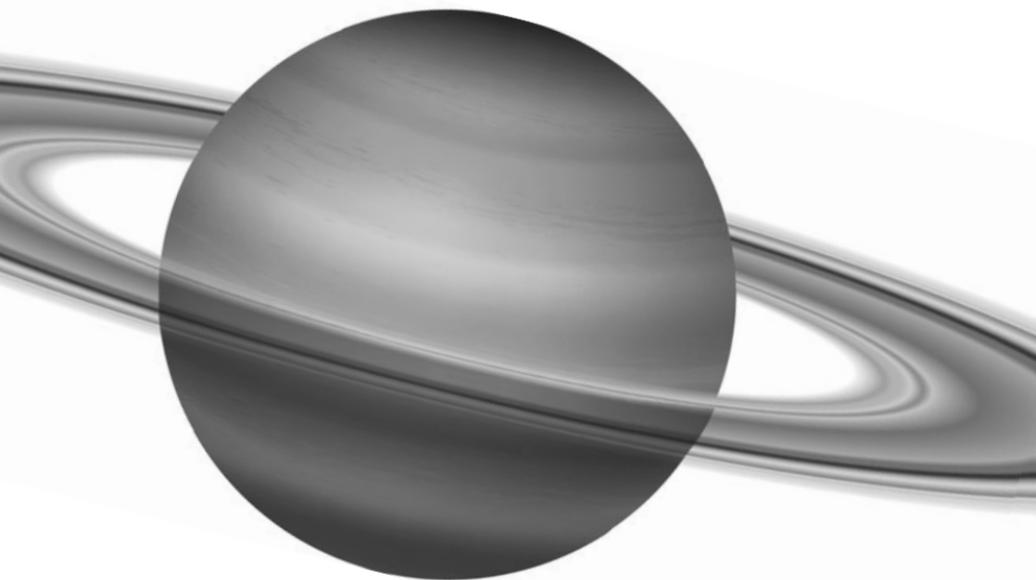
Огромный горячий газовый шар Сатурна — полупланеты-полусолнца — находится в таком же быстром вращательном движении, как и Юпитер. Сатурновы «сутки» тоже в два с лишним раза меньше наших. Они равны всего 10,25 ч. Зато «год» Сатурна страшно долгод: он измеряется 29,5 нашего года. За то время, пока Сатурн успевает один раз замкнуть свой путь вокруг Солнца, Земля делает почти 30 полных кругов.

Шар Сатурна в телескопе схож с видом Юпитера: он заметно сжат у полюсов и опоясан расплывчатыми, изменчивыми полосами. Из-за далекого расстояния очертания этих полос кажутся гораздо слабее и нежнее, чем на Юпитере.

Сходство двух величайших планет проявляется и в обилии спутников. У Сатурна насчитывается 10 лун, раскинутых на различных расстояниях от центральной планеты и обращающихся в самые разнообразные сроки — от одних наших суток до 1,5 нашего года. В общем спутники Сатурна не слишком объемисты, даже по сравнению с нашей Луной. Только один

▼ Сатурн с его кольцами, видимый в мощный телескоп

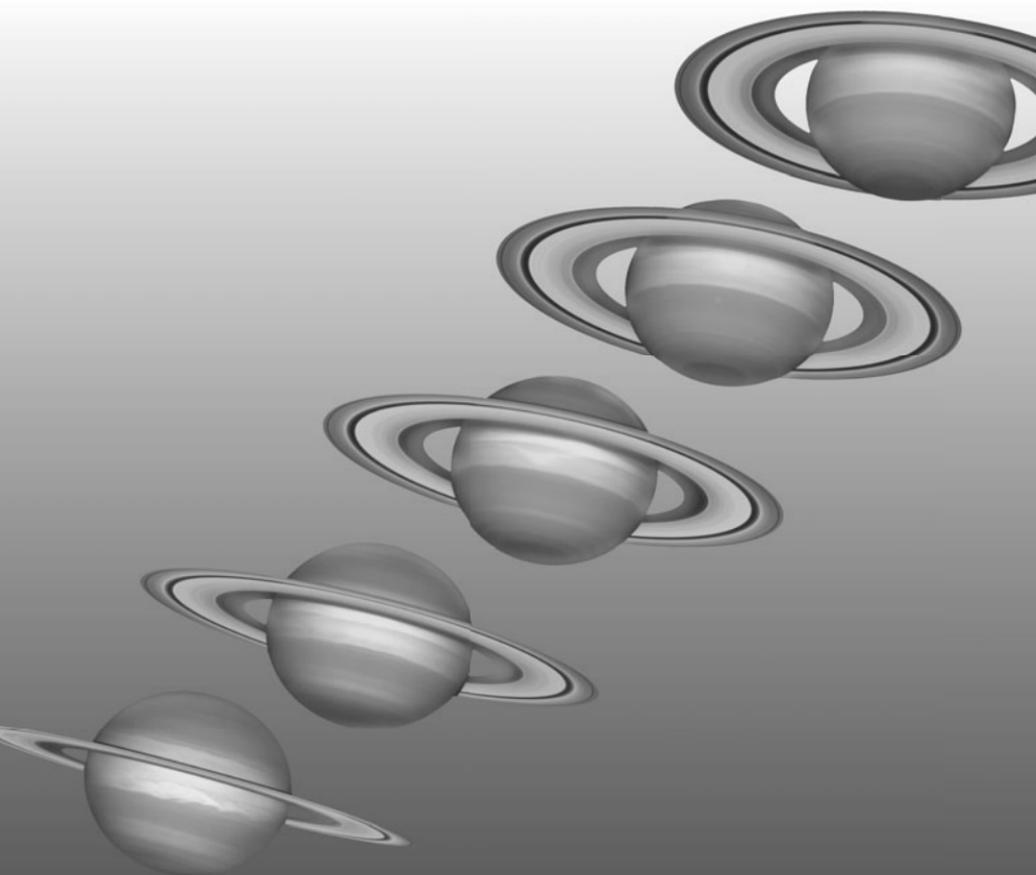




из них, Титан, почти равен Луне. Самые крупные из остальных имеют поперечник вдвое или втрое меньший, чем Луна, а длина поперечника самых мелких — не более 100 км. Телескоп открыл одну поразительную особенность Сатурна, которая резко отличает эту планету не только от его близнеца Юпитера, но и от других миров Солнечной системы. Особенность эта — загадочное плоское кольцо, свободно висящее вокруг планеты и окружающее ее наподобие полей шляпы. Благодаря этому кольцу, видимому для нас лишь сбоку, Сатурн имеет в телескопе чрезвычайно своеобразный вид. Когда известный астроном Г. Галилей впервые направил на эту планету свою несовершенную трубу, Сатурн показался ему снабженным по бокам какими-то непонятными придатками, которые великий ученый принял за самостоятельные планеты. Долгое время странные придатки Сатурна оставались загадкой. Этому способствовал тот факт, что время от времени они таинственным образом исчезали. И только спустя полстолетия после наблюдения Г. Галилея сильная труба Х. Гюйгенса разъяснила наконец, в чем дело. «Сатурн окружен тонким плоским кольцом, не прикасающимся к нему и наклоненным к его орбите», — объявил астроном. Непонятная изменчивость формы кольца и периодические его исчезновения стали тогда вполне естественны.

Во время 30-летнего странствования по обширной орбите Сатурн обращает к нам свое кольцо под разными углами — отсюда его различный вид. Когда же это тонкое плоское кольцо становится к нам ребром, или когда оно освещается с ребра Солнцем, или же, наконец, когда обращает к нам свою темную, неосвещенную часть — во всех этих случаях оно делается совершенно невидимым. Подобные исчезновения кольца могут наблюдаться каждый год по несколько раз.

▼ **Сатурн и его кольца в различных положениях относительно Солнца и Земли**



За период, прошедший со времен исследований Х. Гюйгенса, знания о кольце Сатурна значительно обогатились. Астрономы тщательно измерили его во всех направлениях, изучили его движение, а главное — определили его природу. Теперь мы знаем, что кольцо не сплошное и твердое, а это густой кольцеобразный рой мелких телец наподобие камешков или пылинок, быстро движущихся вокруг планеты, подобно тому, как обращается вокруг Солнца пояс планетоидов. Но, в отличие от последнего, крупинки в кольце расположены гораздо теснее и гуще, так что издали их собрание производит впечатление сплошного тела и даже отбрасывает тень на поверхность планеты. Обломки в этом кольце распределены неравномерно: кольцо расщеплено круговыми щелями, по крайней мере, на три самостоятельных кольца, вращающихся одно в другом и отделенных друг от друга промежутками в тысячи километров. Ширина всех трех колец в пять раз превышает поперечник земного шара. Их толщина довольно неравномерная. Она настолько мала, что кольца с ребра остаются невидимыми даже в сильнейшие телескопы.

Небесный венец Сатурна не висит неподвижно, а довольно быстро обращается вокруг планеты, причем внутренние частицы успевают сделать полный оборот за 5 ч, между тем как у наружного края они заканчивают обращение лишь за 12 ч. Несколько цифр дадут более точное представление о размерах и положении колец Сатурна. Все они расположены в одной плоскости под углом около трети прямого угла к орбите Сатурна. Между кольцом и самой планетой остается зазор всего в два земных поперечника. Значит, наша Луна раз в 15 дальше от нас, чем край кольца Сатурна от поверхности планеты. Спутники же Сатурна, не исключая и самого близкого, лежат далеко за внешним краем кольца. Наблюдатель, помещенный на поверхности такого спутника, мог бы увидеть великолепный, единственный в своем роде небесный ландшафт: огромную планету, плывущую по небу внутри исполинского, быстро вращающегося кольца.

→ Описание 9

Уран — «опрокинутый» мир

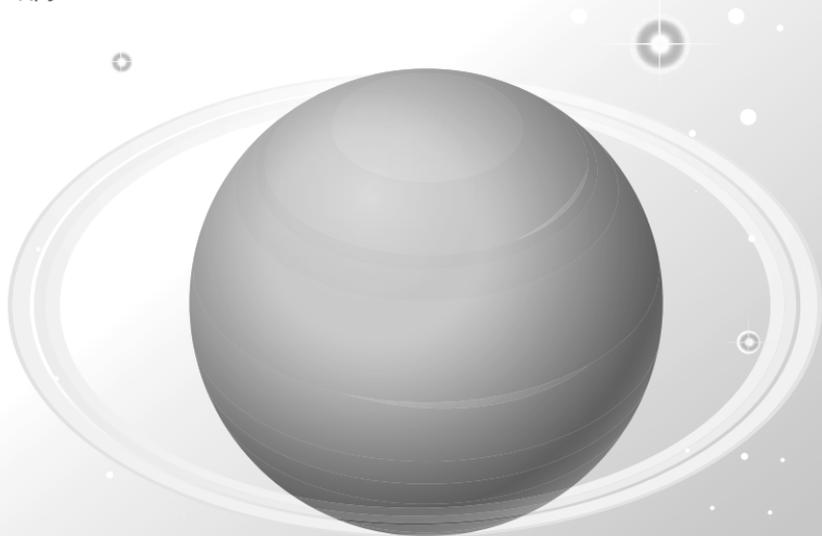


Долгое время ученые полагали, что орбита Сатурна представляет собой границу солнечного царства, за которой на миллиарды километров простирается пустынный Мировой океан.

Но в 1781 г. знаменитый астроном В. Гершель, обзревая небо в свой исполинский телескоп, совершенно случайно открыл в этой мнимой пустыне еще одну планету, которую назвал Ураном. Поскольку новооткрытый мир расположен почти так же далеко от Сатурна, как Сатурн от Солнца, то граница нашего планетного царства оказалась отодвинутой на двойное расстояние. 84 года — почти целый век — должен мчаться Уран в полутемных пустынях мироздания, чтобы замкнуть свой огромный путь вокруг далекого Солнца, которое светит для него почти в 400 раз тусклее, чем для нас.

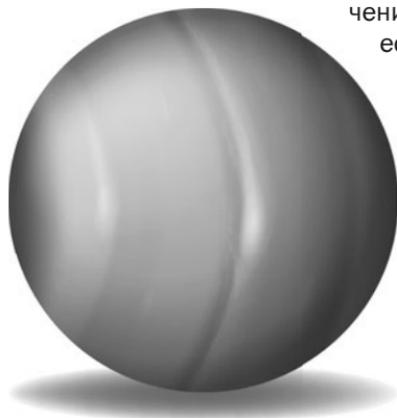
Удивителен тот факт, что столь отдаленное и скупо освещенное небесное тело все же доступно невооруженному глазу. Зоркий человек при благоприятных условиях может различить эту планету в виде едва заметной слабой звездочки 6-й величины. Объясняется это крупными размерами Урана, хотя он и не так огромен, как Юпитер или Сатурн. По объему он превышает Землю в 55 раз, по весу — в 14 раз. Его средняя плотность всего в два раза превышает плотность воды. В этом отношении Уран вполне схож с Юпитером.

Из-за значительной удаленности Урана даже в сильнейшие телескопы едва возможно различить на его поверхности какие-либо подробности. С большим трудом установлено, что этот далекий мир обращается вокруг оси за 11 ч, то есть почти как Юпитер и Сатурн. Изучение спектра Урана наводит на мысль, что он обладает очень плотной и высокой атмосферой, в которой имеются какие-то вещества, отсутствующие в атмосферах других планет.



Уран можно назвать «опрокинутым» миром: ось его вращения не отвесна к орбите и не наклонена под углом к ней, а почти лежит в ее плоскости. Чтобы наглядно представить разницу в этом отношении между Ураном и другими планетами, мы можем сказать, что Юпитер — это волчок, который вертится стоя, Земля, Марс, Сатурн — волчки, вертящиеся наклонно, а Уран — волчок, который вертится лежа. Поверните земной глобус так, чтобы он одним полюсом был обращен прямо к лампе, — и вы сможете сами понять, как необычно должны складываться на Уране условия солнечного освещения и чередования времен года.

Вокруг экватора этой «опрокинутой» планеты обращаются ее спутники. Нетрудно понять, что их система должна представляться земным наблюдателям в довольно странных положениях. И действительно: то мы видим ее с ребра — и тогда спутники словно качаются вверх и вниз; то мы наблюдаем ее с «лица» — и тогда они движутся по кругам, как концы стрелок на стенных часах; то, наконец, система Урана представляется нам под большим или меньшим углом — и тогда спутники кажутся движущимися по более или менее сжатому овалу. В течение одного долгого «года» Урана — то есть за 84-летний промежуток — весь этот мир дважды становится к нам ребром и два раза обращается к нам «лицом». Время обращения спутников (к слову сказать, довольно мелких) длится от двух до 13 дней. Это единственные луны в нашей системе, которые движутся не в восточно-западном направлении, а, как и сам Уран, в северо-южном.

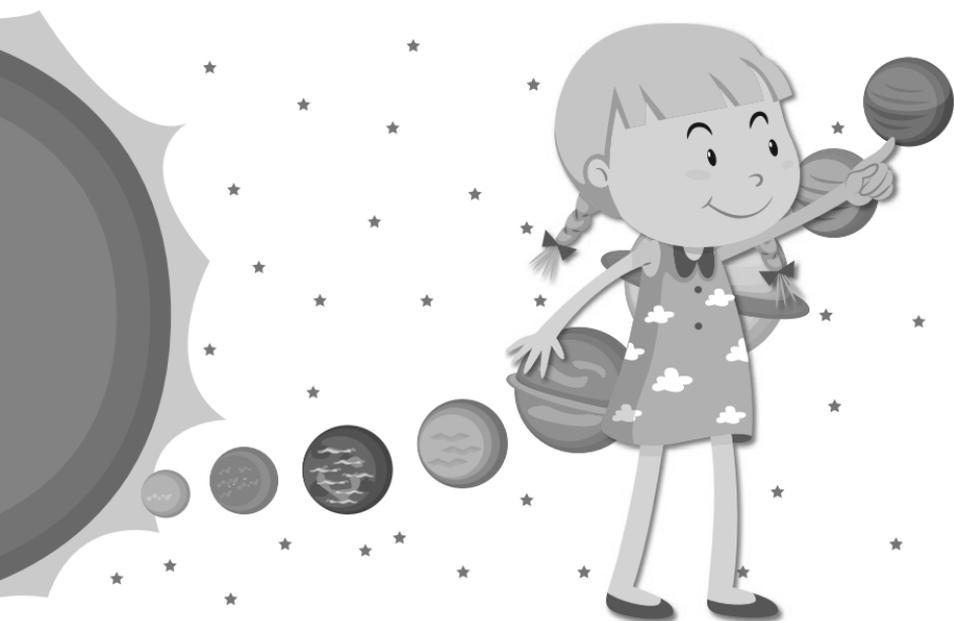


→ Описание 10

Нептун — отдаленнейшая из планет

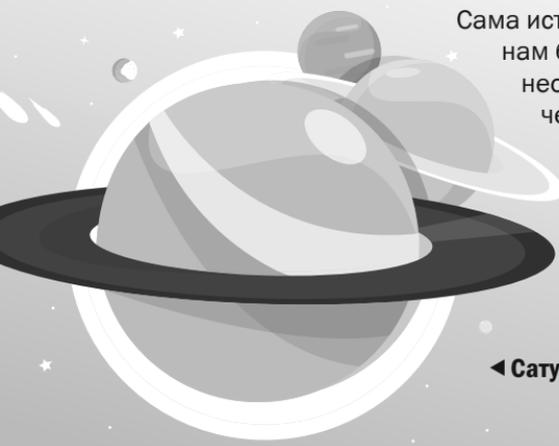
Самый далекий из известных нам миров солнечного царства — Нептун. С того времени, как люди узнали о его существовании, эта крайняя планета нашей системы не успела пройти и половины своего огромного пути вокруг Солнца. Нептуну, удаленному от дневного светила на расстояние в 30 раз большее, нежели Земля, требуется 165 лет для одного полного оборота. И это при том, что он безостановочно мчится впятеро быстрее пушечного ядра.

Нептун примерно в 1,5 раза больше Урана. О физических особенностях этого мира нам почти ничего не известно. Некоторые наблюдения за движением его единственного спутника заставляют предполагать, что Нептун — слегка сплюснутый шар, быстро вращающийся вокруг оси. На его диске, едва различимом в сильнейшие телескопы, удалось заметить полосатость,



похожую на ту, что есть на Уране. Исследователи полагают, что поверхность этой планеты изменчива — на ней то появляются, то исчезают пятна, вызывающие усиление и ослабление яркости Нептуна. Внимательное изучение этого периодического изменения блеска планеты заставляет подозревать, что Нептун вращается вокруг оси, совершая полный оборот почти за 8 ч. Если это действительно так, то сутки Нептуна — самые короткие во всей планетной системе.

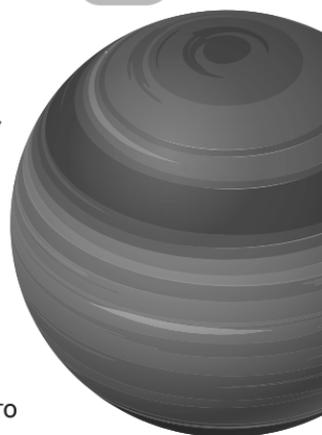
Возможна ли жизнь в этом далеком полутемном мире, где диск Солнца не превышает величины Венеры на нашем небе и где лучи дневного светила в 900 раз слабее, чем на Земле? Отвергать такую возможность мы не вправе. Как бы тускло не светило Солнце на этой планете, его свет в сотни раз ярче, чем у нас сияние полной Луны. А внутренний источник тепла под тонкой корой (если только Нептун покрыт корой), быть может, греет вполне достаточно, чтобы в сырой атмосфере развились нетребовательные к свету растения. Средства природы неисчислимы, и нет ничего невозможного в том, что, перенесясь на поверхность Нептуна, мы бы увидели вовсе не холодную мертвую пустыню, а степь с густой растительностью, выросшей на полустывшей почве этого огромного мира. Пока это всего лишь догадка, но, возможно, науке откроются еще более удивительные факты.



Сама история открытия Нептуна дает нам блестящее доказательство необычайной изобретательности человеческого гения в деле познания тайн природы. Этот далекий мир был усмотрен впервые вовсе не на небе, а на бумаге, среди столбцов цифр, как результат математических выкладок!

◀ Сатурн, Уран и Нептун

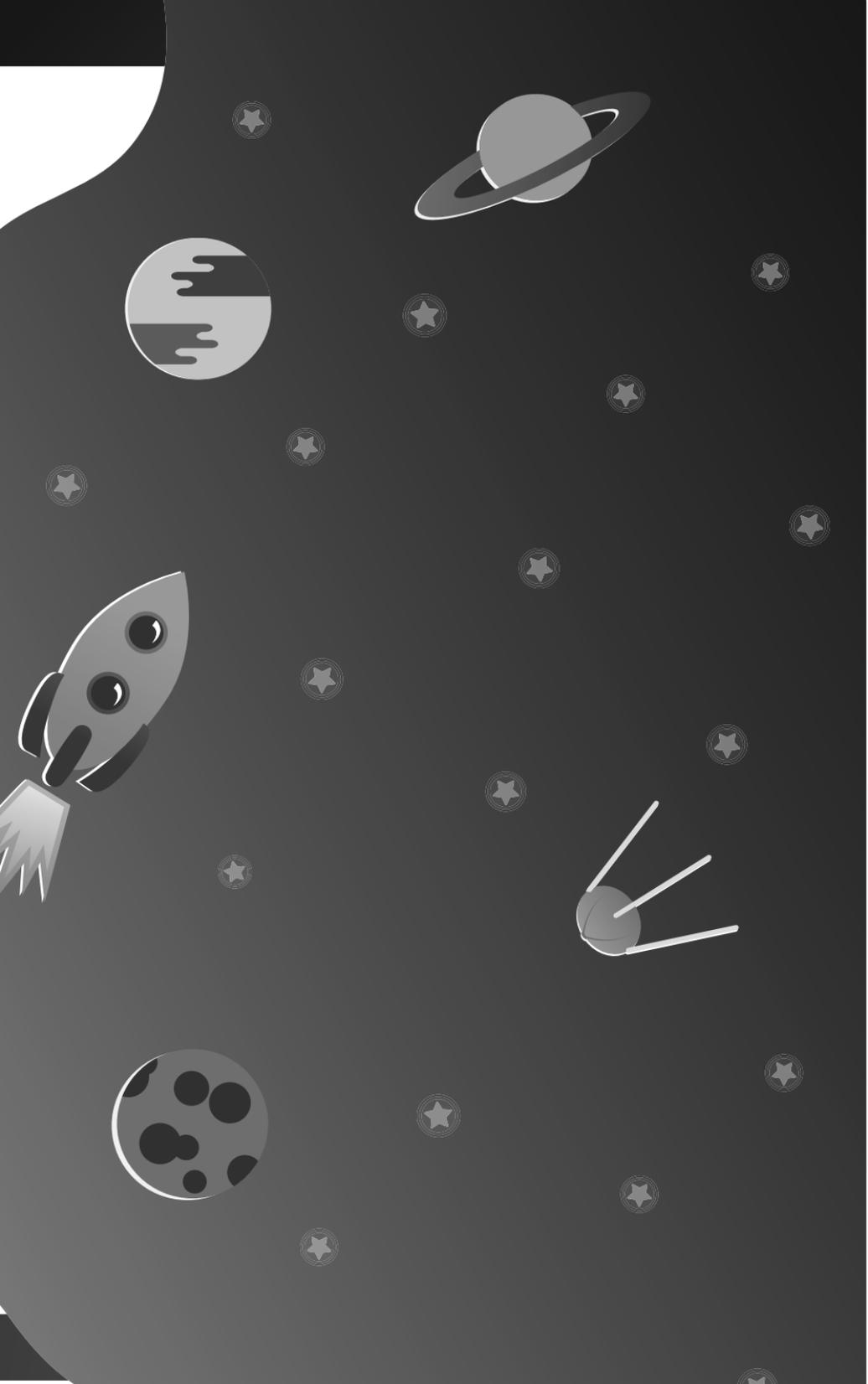
Когда еще ни один человеческий глаз не видел планеты, на небе уже была указана точка, в которой должен был находиться этот неизвестный мир. Помимо этого, были угаданы его вес, объем и продолжительность обращения. Вот как произошло это поразительное открытие, в котором перья математиков оказались более зоркими, чем самые сильные телескопы. В первой половине XIX в., когда никто и не думал о возможности существования какой-либо планеты за Ураном, были замечены странные неправильности в его движении. Это-то и навело астрономов на мысль: не находится ли далее, за орбитой Урана, еще одна планета, которая своим притяжением нарушает правильность его движения? Два великих математика — знаменитый У. Лаверье во Франции и молодой Дж. Адамс в Англии — без взаимного уговора принялись за вычисления с целью определить, где должна находиться эта предполагаемая планета. Результаты получились у обоих поразительно схожие, и телескоп, направленный на соответствующую точку неба, вскоре подтвердил предсказание математиков. 24 сентября 1846 г. здесь было усмотрено небольшое светило, медленно изменяющее свое положение между звездами. Это и была планета, впоследствии названная Нептуном.



Является ли Нептун последним членом нашей планетной семьи? Едва ли. Скорее, нужно думать, что орбита Нептуна далека от крайних пределов планетного царства. Кое-какие частности в движении Нептуна и Урана и замеченные особенности в расположении путей некоторых комет заставляют подозревать существование за орбитой этой планеты одной или даже нескольких других планет. Подобно тому как прежде Лаверье и Адамс заранее вычислили размеры и расстояние Нептуна, так теперь целый ряд астрономов и математиков работает над вычислениями невидимых занептуновых планет.

ЧАСТЬ II.
АСТРОНОМИЧЕСКАЯ
НАУКА





→ Кратчайший путь на Земле и на карте

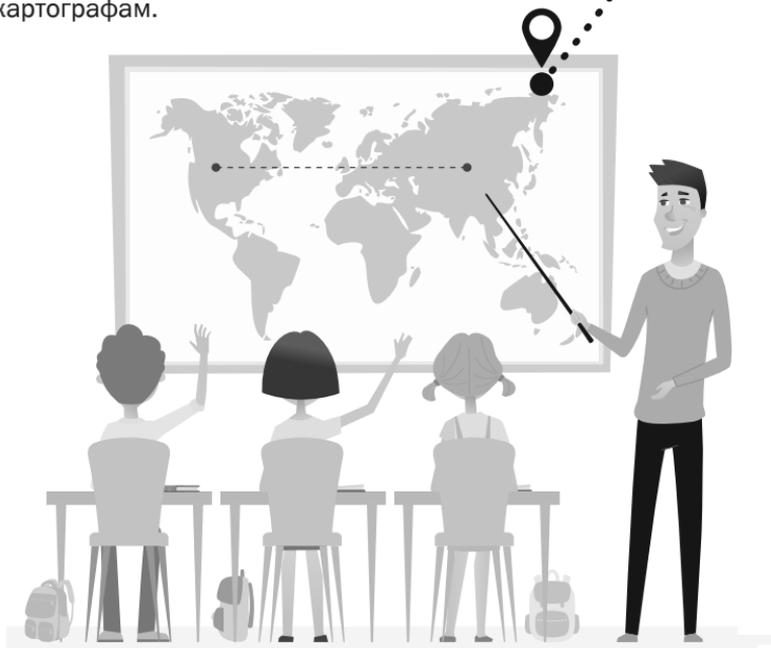
Наметив мелом две точки на классной доске, учительница предлагает юному школьнику начертить кратчайший путь между ними. Ученик, подумав, старательно выводит извилистую линию.

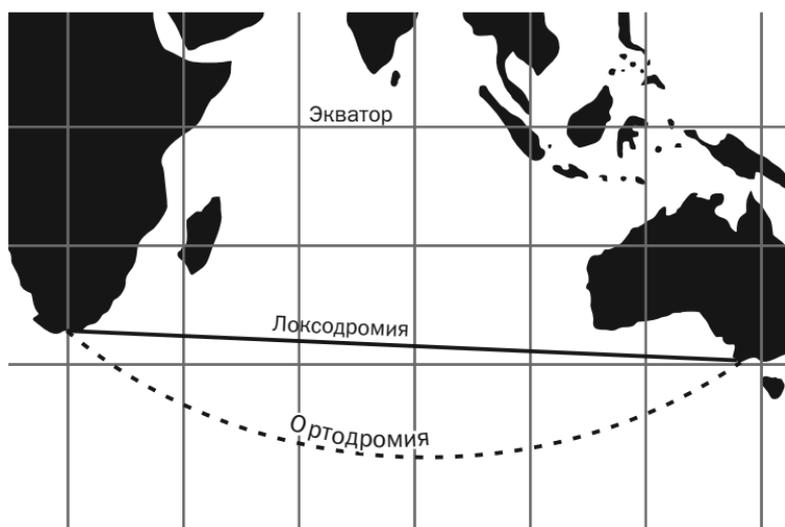
— Вот так кратчайший путь! — удивляется учительница. — Кто тебя так научил?

— Мой папа. Он таксист.

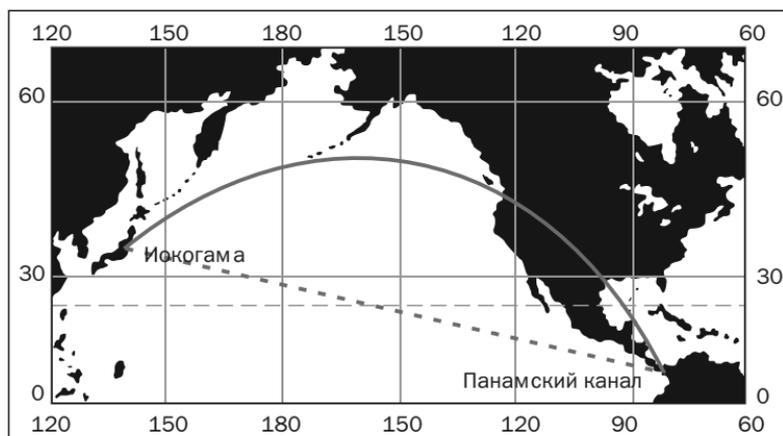
Чертеж наивного школьника, конечно, анекдотичен, но разве не улыбнулись бы вы, если бы вам сказали, что пунктирная дуга на рисунке справа — самый короткий путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии!

Еще поразительнее следующее утверждение: изображенный на рисунке справа путь по дуге из Японии к Панамскому каналу короче прямой линии, проведенной между ними на той же карте! Все это похоже на шутку, а между тем перед вами бесспорные истины, хорошо известные картографам.





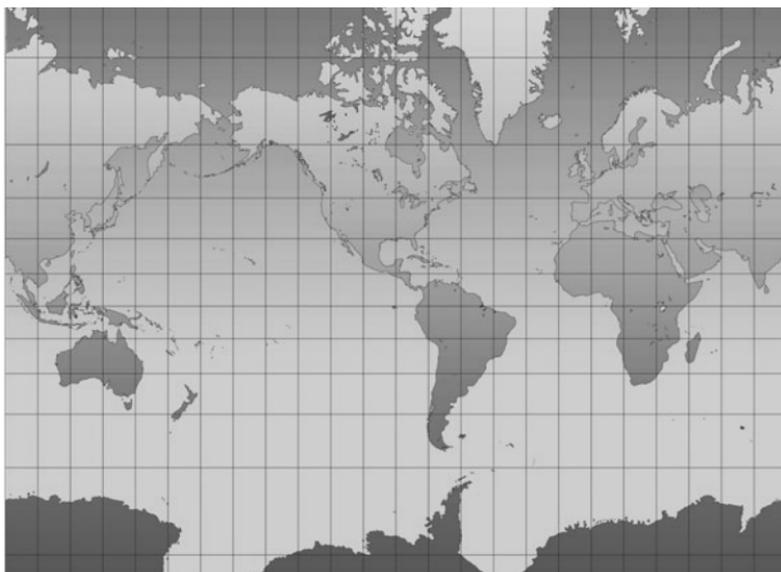
- ▲ На морской карте кратчайший путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии обозначается не прямой линией (локсодромией), а кривой (ортодромией)



- ▲ Кажется невероятным, что криволинейный путь, соединяющий на карте Иокогаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведенной между теми же точками

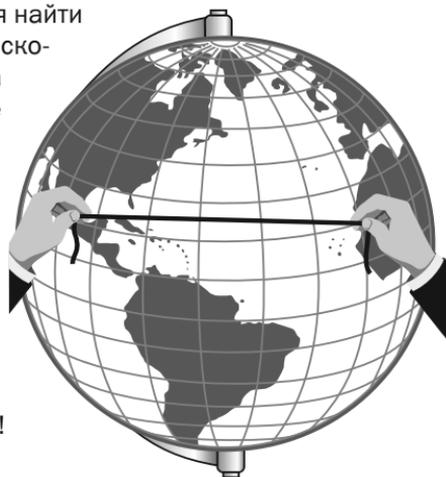
Для разъяснения вопроса придется сказать несколько слов о картах вообще и о морских в частности. Изображение на бумаге частей земной поверхности — дело непростое, поскольку Земля — шар, а известно, что никакую часть шаровой поверхности нельзя развернуть на плоскости без складок и разрывов. Поневоле приходится мириться с неизбежными искажениями на картах. Придуманно много способов черчения карт, но все они не свободны от недостатков: на одних имеются искажения одного рода, на других — иного, но карт без искажений не бывает.

Моряки пользуются картами, начерченными по способу старинного голландского картографа и математика XVI в. Меркатора. Способ этот называется «меркаторской проекцией». Узнать морскую карту легко по ее прямоугольной сетке: меридианы и параллели изображены на ней в виде взаимно перпендикулярных линий.



▲ Морская, или меркаторская, карта земного шара. На подобных картах сильно преувеличены размеры контуров, удаленных от экватора

Вообразите теперь, что требуется найти кратчайший путь от одного океанского порта до другого, лежащего на той же параллели. На океане все пути доступны, и осуществить там путешествие по кратчайшему пути всегда возможно, если знать, как он пролегает. В нашем случае естественно думать, что кратчайший путь идет вдоль той параллели, на которой лежат оба порта, ведь на карте это прямая линия, а что может быть короче прямого пути! Но это ошибка: путь по параллели вовсе не кратчайший. На поверхности шара кратчайшее расстояние между двумя точками есть соединяющая их дуга большого круга¹. Но круг параллели — малый круг. Дуга большого круга менее искривлена, чем дуга любого малого круга, проведенного через те же две точки: большему радиусу отвечает меньшая кривизна. Натяните на глобусе нить между нашими двумя точками и убедитесь, что она вовсе не ляжет вдоль параллели. Натянутая нить — бесспорный указатель кратчайшего пути, а если она на глобусе не совпадает с параллелью, то и на морской карте кратчайший путь не обозначается прямой линией: вспомним, что круги параллелей изображаются на такой карте прямыми линиями, всякая же линия, не совпадающая с прямой, есть кривая. После сказанного становится понятным, почему кратчайший путь на морской карте изображается не прямой, а кривой линией.



▲ Простой способ отыскать кратчайший путь между двумя пунктами — натянуть на глобусе между ними нитку



¹ Большим кругом на поверхности шара называется всякий круг, центр которого совпадает с центром этого шара. Все остальные круги на шаре называются малыми.

Рассказывают, что при выборе направления для Николаевской железной дороги (ныне Санкт-Петербург — Москва) велись нескончаемые споры о том, по какому пути ее проложить. Конец спорам положило вмешательство царя Николая I, который решил задачу прямолинейно: соединил Петербург с Москвой линейкой. Если бы это было сделано на карте Меркатора, получилась бы конфузная неожиданность: вместо прямой дорога вышла бы кривой.

Кто не избегает расчетов, тот несложным вычислением может убедиться, что путь, кажущийся нам на карте кривым, в действительности короче того, который мы готовы считать прямым. Пусть обе наши гавани лежат на 60-й параллели и разделены расстоянием в 60° (существуют ли в действительности такие гавани — для расчета безразлично).

Точка O — центр земного шара, AB — дуга круга широты, на котором лежат гавани A и B , в ней 60°. Центр круга широты находится в точке C . Вообразим, что из центра O через те же гавани проведена дуга большого круга: ее радиус $OB = OA = R$. Она пройдет близко к начерченной дуге AB , но не совпадет с ней.

Вычислим длину каждой дуги. Так как

точки A и B лежат на широте 60°,

то радиусы OA и OB составляют с OC (осью земного шара)

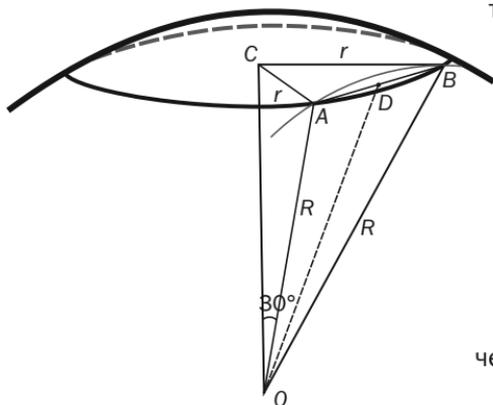
угол в 30°. В прямоугольном

треугольнике ACO катет AC (r), лежащий против угла в 30°, равен половине гипотенузы AO , значит,

$r = R / 2$. Длина дуги AB

составляет $\frac{1}{6}$ длины круга широты, а так как этот круг

имеет вдвое меньшую длину,

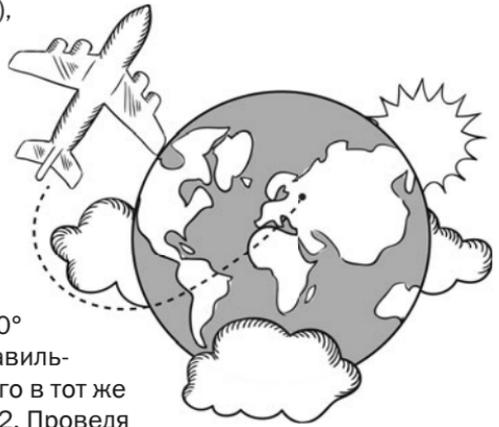


венно вдвое меньшему радиусу),
то длина дуги малого круга

$$AB = \frac{1}{6} \times 40\,000 / 2 = 3333 \text{ км.}$$

Чтобы определить длину дуги большого круга, проведенного между теми же точками (то есть кратчайшего пути между ними), надо узнать величину угла AOB . Хорда AB , стягивающая дугу в 60° (малого круга), есть сторона правильного шестиугольника, вписанного в тот же малый круг, поэтому $AB = r = R/2$. Проведя прямую OD , соединяющую центр O земного шара с серединой D хорды AB , получаем прямоугольный треугольник ODA , где угол D — прямой, $DA = \frac{1}{2}AB$ и $OA = R$. Значит, $\sin AOD = AD : OA = R/4 : R = 0,25$. Отсюда находим (по таблицам): $\angle AOD = 14^\circ 28'$ и, следовательно, $\angle AOB = 28^\circ 57'$.

Теперь уже нетрудно найти искомую длину кратчайшего пути в километрах. Расчет можно упростить, если вспомнить, что длина минуты большого круга земного шара есть морская миля, то есть около 1,85 км. Следовательно, $28^\circ 57' = 1737' \approx 3213 \text{ км}$. Мы узнаем, что путь по кругу широты, изображенный на морской карте прямой линией, составляет 3333 км, а путь по большому кругу — по кривой на карте — 3213 км, то есть на 120 км короче.



Вооружившись ниткой и имея под рукой глобус, вы легко можете проверить правильность наших чертежей и убедиться, что дуги больших кругов действительно пролегают так, как показано на чертежах. Изображенный на приведенном ранее рисунке будто бы «прямой» морской путь из Африки в Австралию составляет 6020 миль, а «кривой» — 5450 миль, то есть короче на 570 миль, или на 1050 км. «Прямой» на морской карте воздушный путь из Лондона в Шанхай перерезает Каспийское море, между тем как действительно кратчайший путь пролегает к северу от Петербурга. Понятно, какую роль играют эти вопросы в экономии времени и горючего.



Если в эпоху парусного судоходства не всегда дорожили временем (тогда «время» еще не считалось «деньгами»), то с появлением паровых судов приходится платить за каждую излишне израсходованную тонну угля. Вот почему суда ходили по кратчайшему пути, пользуясь картами, выполненными не в меркаторской, а в так называемой центральной проекции (на этих картах дуги больших кругов изображаются прямыми линиями).

Почему же прежние мореплаватели пользовались столь обманчивыми картами и избирали невыгодные пути? Ошибочно

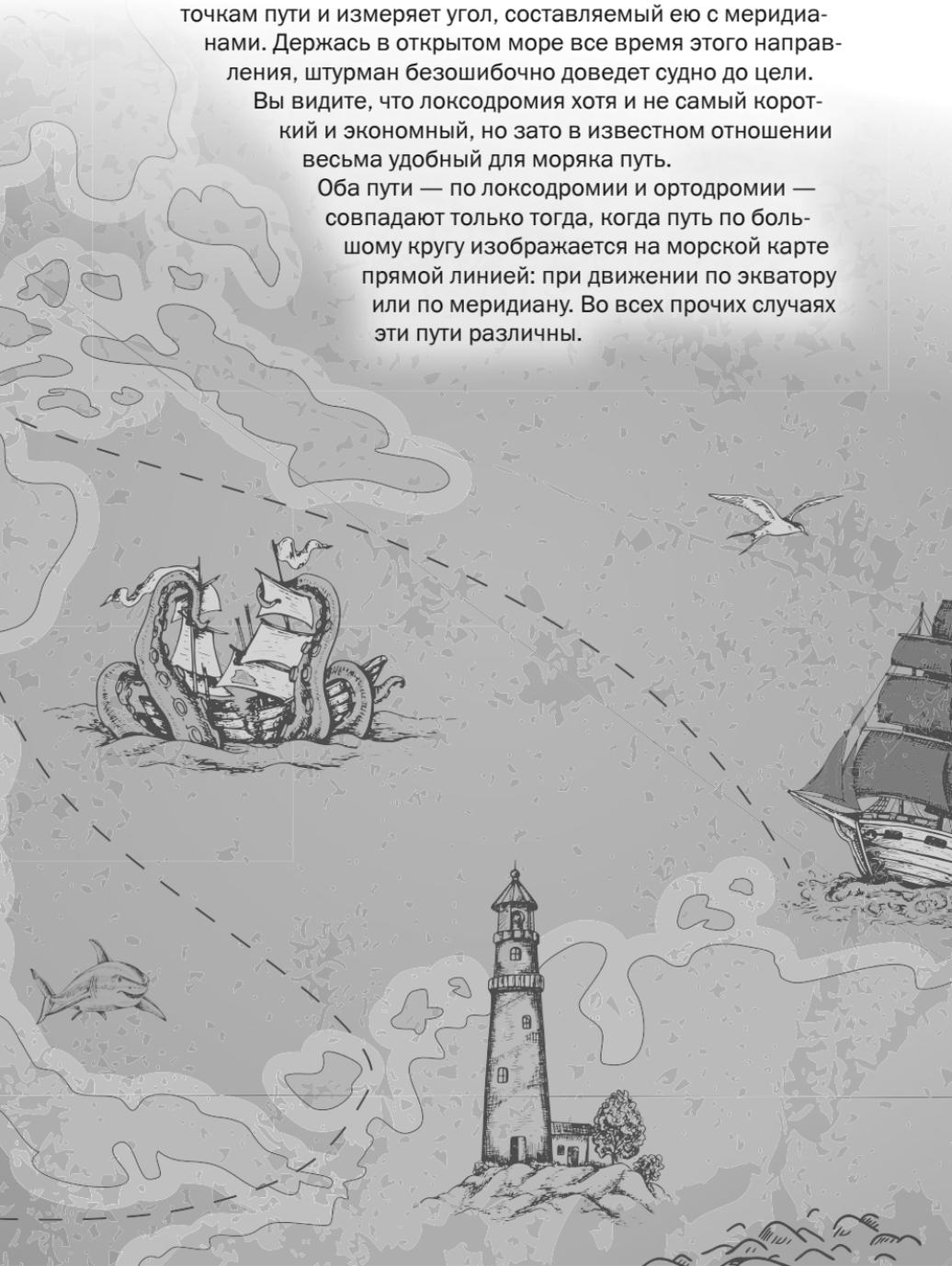
думать, что в старину не знали об указанной выше особенности морских карт.

Дело объясняется, конечно, не этим, а тем, что карты, начерченные по способу Меркатора, наряду с неудобствами обладали весьма ценными для моряков выгодами. Такая карта, во-первых, изображала отдельные небольшие части земной поверхности без искажения, сохраняя углы контура. Этому не противоречит то, что с удалением от экватора все контуры заметно растягиваются. В высоких широтах растяжение так значительно, что морская карта внушает человеку, незнакомому с ее особенностями, совершенно ложное представление об истинной величине материков: Гренландия кажется такой же величины, как Африка, Аляска больше Австралии, хотя Гренландия в 15 раз меньше Африки, а Аляска вместе с Гренландией вдвое меньше Австралии. Но моряка, хорошо знакомого с этими особенностями карты, они не могут ввести в заблуждение. Он мирится с ними, тем более что в пределах небольших участков морская карта дает точное подобие природы. Зато морская карта весьма облегчает решение задач штурманской практики. Это единственный род карт, на которых путь корабля, идущего постоянным курсом, изображается прямой линией. Идти постоянным курсом — значит держаться неизменно одного направления, одного определенного румба, иначе говоря, идти так, чтобы пересекать все меридианы под равным углом. Но этот путь (локсодромия) может изобразиться прямой линией только на такой карте, на которой все меридианы — прямые линии, параллельные друг другу. А так как на земном шаре круги широты пересекаются с меридианами под прямыми углами, то на такой карте и круги широты должны быть прямыми линиями, перпендикулярными к линиям меридианов. Короче говоря, мы приходим именно к той координатной сетке, которая составляет характерную особенность морской карты.



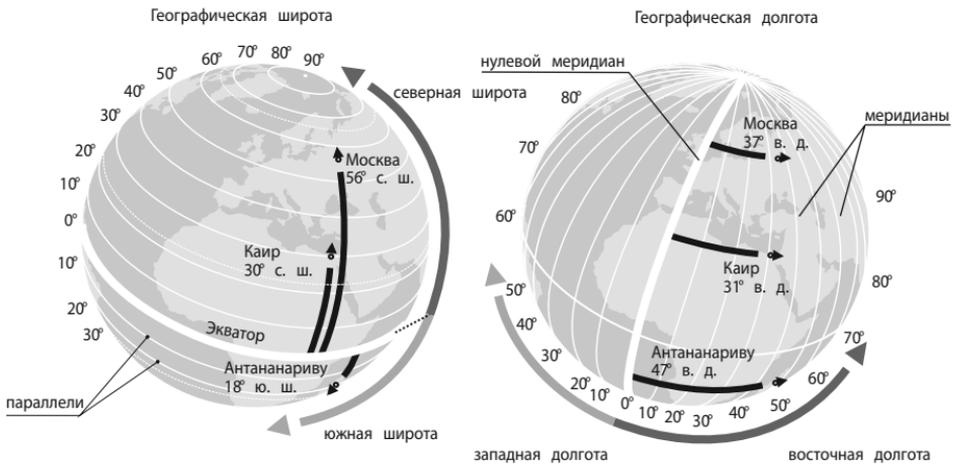
Пристрастие моряков к картам Меркатора теперь понятно. Желая определить курс, которого надо держаться, идя к назначенному порту, штурман прикладывает линейку к конечным точкам пути и измеряет угол, составляемый ею с меридианами. Держась в открытом море все время этого направления, штурман безошибочно доведет судно до цели. Вы видите, что локсодромия хотя и не самый короткий и экономный, но зато в известном отношении весьма удобный для моряка путь.

Оба пути — по локсодромии и ортодромии — совпадают только тогда, когда путь по большому кругу изображается на морской карте прямой линией: при движении по экватору или по меридиану. Во всех прочих случаях эти пути различны.



→ Градус долготы и градус широты

Читатели, без сомнения, имеют достаточное представление о географической долготы и широте. Но я уверен, не все дадут правильный ответ на следующий вопрос: всегда ли градусы широты длиннее градусов долготы?



▲ Определение географической широты и долготы

Большинство уверено, что каждый параллельный круг меньше круга меридиана. И так как градусы долготы отсчитываются по параллельным кругам, а градусы широты — по меридианам, то заключают, что первые нигде не могут превышать по длине вторые. При этом забывают, что Земля не правильный шар, а эллипсоид, слегка раздутый на экваторе. На земном эллипсоиде не только экватор длиннее круга меридиана, но и ближайшие к экватору параллельные круги также длиннее кругов меридиана. Расчет показывает, что примерно до 5° широты градусы параллельных кругов (то есть долготы) длиннее градусов меридиана (то есть широты).

→ Куда отправился Амундсен?

В какую сторону горизонта направился Амундсен, возвращаясь с Северного полюса, а в какую — с Южного? Дайте ответ, не заглядывая в дневники путешественника.

Северный полюс — самая северная точка земного шара. Куда бы мы оттуда ни направлялись, мы всегда будем двигаться на юг. Соответственно, возвращаясь с Северного полюса, Амундсен мог направиться только на юг. Иного направления оттуда не было. Точно так же с Южного полюса Амундсен мог идти только к северу.

Вот выписка из дневника его полета к Северному полюсу на дирижабле «Норвегия»: «„Норвегия“ описала круг около Северного полюса. Затем мы продолжали путь... Курс был взят на юг в первый раз с того времени, как дирижабль оставил Рим».





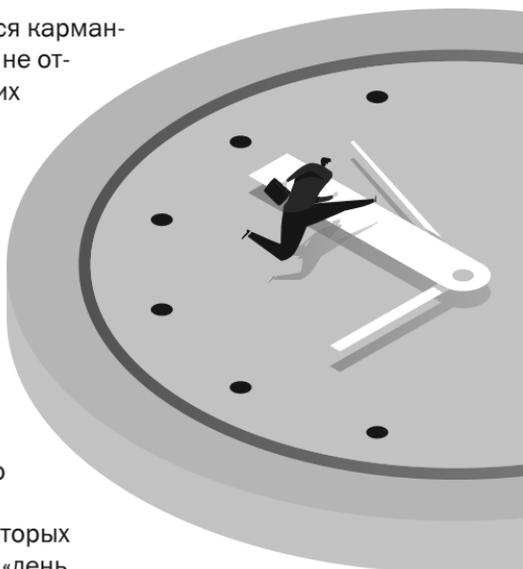
У Козьмы Пруткова есть шуточный рассказ о турке, попавшем в «самую восточную» страну. «И впереди восток, и с боков восток. А запад? Вы думаете, может быть, что он все-таки виден, как точка какая-нибудь, едва движущаяся вдаль? Неправда! И сзади восток. Короче, везде и всюду нескончаемый восток». Такой страны, окруженной со всех сторон востоком, на земном шаре существовать не может. Но место, окруженное всюду югом, на Земле имеется, как и пункт, охваченный со всех сторон нескончаемым севером. На Северном полюсе можно соорудить дом, все четыре стены которого будут обращены на юг.

→ Пять родов счета времени

Мы так привыкли пользоваться карманными и стенными часами, что не отдаем себе отчета в значении их показаний. Среди читателей, я убежден, лишь немногие смогут объяснить, что они хотят сказать, когда говорят: «Теперь семь часов вечера». Неужели только то, что малая стрелка часов указывает на цифру семь? Что же означает эта цифра? Она показывает, что после полудня прошло $\frac{7}{24}$ суток. Но после какого полудня и $\frac{7}{24}$ каких суток? Что такое сутки? Те сутки, о которых говорит известная поговорка «день и ночь — сутки прочь», представляют собой промежуток времени, в течение которого земной шар успеваает один раз обернуться вокруг оси по отношению к Солнцу. На практике его измеряют так: наблюдают два последо-

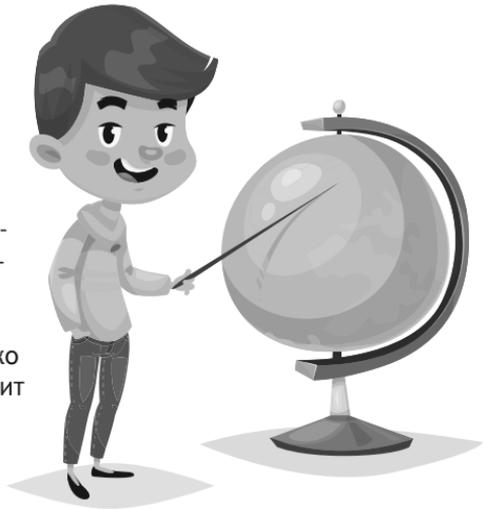
вательных прохождения Солнца (вернее, его центра) через ту линию на небе, которая соединяет точку, находящуюся над головой наблюдателя (зенит), с точкой юга на горизонте. Промежуток этот не всегда одинаков: Солнце приходит на указанную линию то немного раньше, то позже. Регулировать часы по этому

истинному полудню невозможно. Самый искусный мастер не в состоянии выверить их так, чтобы они шли строго по Солнцу: для этого оно чересчур неаккуратно.

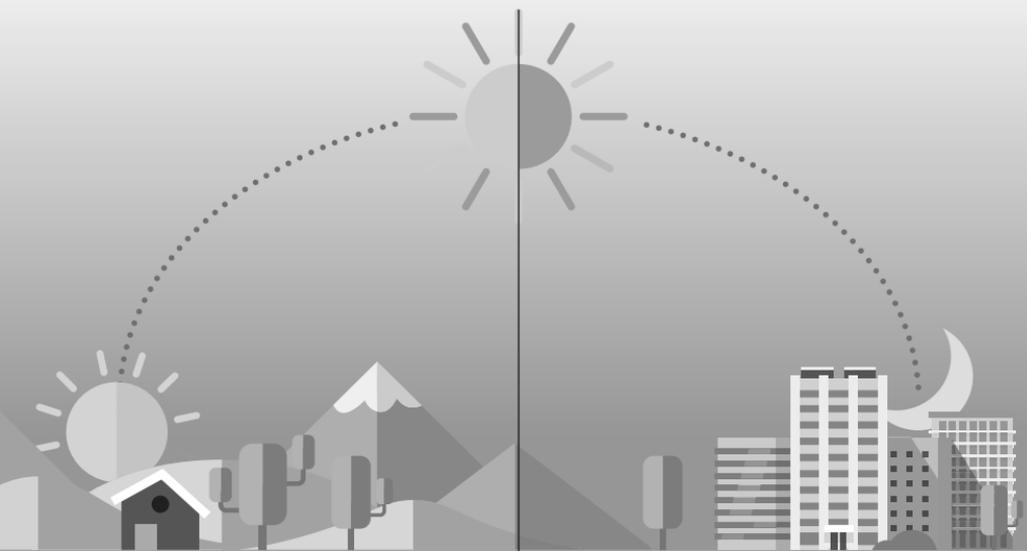


Часы наши регулируются не по реальному Солнцу, а по некоему воображаемому, которое не светит и не греет, а придумано только для правильного счета времени. Представьте себе, что в природе существует небесное светило, которое движется в течение всего года равномерно, обходя Землю ровно за столько же времени, за сколько обходит Землю (конечно, кажущимся образом) наше подлинно существующее Солнце.

Это созданное воображением светило в астрономии именуется средним солнцем. Момент прохождения его через линию «зенит — юг» называется средним полуднем. Промежуток между двумя средними полуднями — средние солнечные сутки, а время, так исчисляемое, называется средним солнечным временем. Карманные и стенные часы идут именно по этому среднему солнечному времени, в то время как солнечные часы, в которых стрелкой служит тень стерженька, показывают истинное солнечное время для данного места.

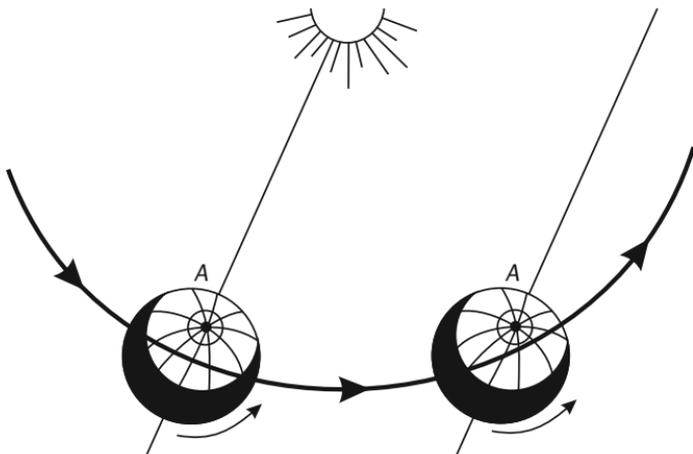


Полдень



После сказанного у читателя, вероятно, составилось такое представление, что неравенство истинных солнечных суток вызвано неравномерным вращением Земли вокруг своей оси. Земля действительно вращается неравномерно, но неравенство суток обусловлено неравномерностью другого движения Земли, а именно ее движения по орбите вокруг Солнца. Мы сейчас поймем, как это может отразиться на длине суток.

На рисунке ниже вы видите два последовательных положения земного шара. Рассмотрим то, что левее. Стрелки внизу показывают, в каком направлении Земля вращается вокруг оси: против часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса. В точке А теперь полдень: эта точка лежит как раз против Солнца. Представьте, что Земля сделала один полный оборот вокруг оси. За это время она успела переместиться по орбите направо и заняла другое место. Радиус Земли, проведенный в точке А, имеет такое же направление, как и сутки назад, но точка А оказывается уже лежащей не прямо против Солнца. Для человека, стоящего в точке А, полдень еще не наступил: Солнце левее прочерченной линии. Земле надо вращаться еще несколько минут, чтобы в точке А наступил новый полдень.



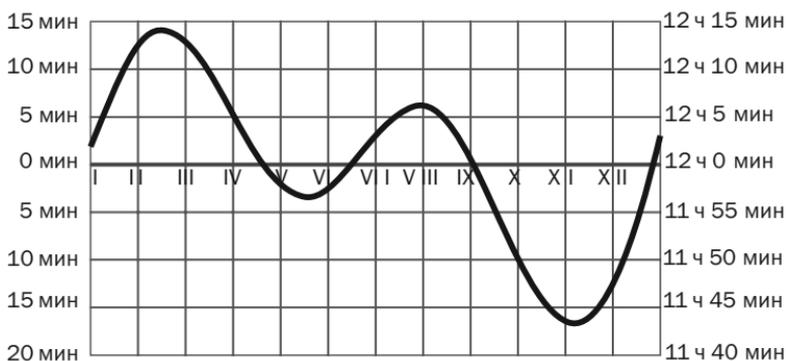


Что же отсюда следует? То, что промежуток между двумя истинными солнечными полуднями длиннее времени полного оборота Земли вокруг оси. Если бы Земля равномерно двигалась вокруг Солнца по кругу, в центре которого находилось бы Солнце, то разница между действительной продолжительностью оборота вокруг оси и той кажущейся, которую мы устанавливаем по Солнцу, была бы изо дня в день

одна и та же. Ее легко определить, если принять во внимание, что из этих небольших добавок должны в течение года составиться целые сутки (Земля, двигаясь по орбите, делает в год один лишний оборот вокруг оси); значит, действительная продолжительность каждого оборота равняется

$$365 \frac{1}{4} \text{ суток} / 366 \frac{1}{4} = 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 4 \text{ с.}$$





▲ Этот график, именуемый графиком уравнения времени, показывает, как велико в тот или иной день расхождение между истинным и средним полуднем (левая шкала). Например, 1 апреля в истинный полдень верные механические часы должны показать 12 ч 5 мин. Иными словами, кривая дает среднее время в истинный полдень (правая шкала)

Заметим, кстати, что действительная продолжительность суток есть не что иное, как период вращения Земли по отношению к любой звезде, оттого такие сутки и называют звездными. Итак, звездные сутки в среднем короче солнечных на 3 мин 56 с или круглым счетом — на 4 мин. Разница не остается постоянной, потому что:

- 1) Земля движется вокруг Солнца не равномерным движением по круговой орбите, а по эллипсу, в одних частях которого (более близких к Солнцу) она движется быстрее, в других (более отдаленных) — медленнее;
 - 2) ось вращения Земли наклонена к плоскости ее орбиты.
- Обе эти причины обуславливают то, что истинное и среднее солнечное время в разные дни расходится на различное число минут, достигающее в некоторые дни до 16. Только четыре раза в год (15 апреля, 1 сентября, 14 июня, 24 декабря) оба времени совпадают. Напротив, 12 февраля и 3 ноября разница между истинным и средним временем достигает наибольшей величины — около четверти часа. Кривая на графике выше показывает, как велико это расхождение в разные дни года.

До 1919 г. граждане современной территории России жили по местному солнечному времени. Для каждого меридиана земного шара средний полдень наступает в различное время (местный полдень), поэтому каждый город жил по своему местному времени; только прибытие и отход поездов назначались по общему для всей страны времени (на тот момент — по петроградскому). Граждане различали городское и вокзальное время. Первое — местное среднее солнечное — показывали городские часы, а второе — петроградское среднее солнечное — часы железнодорожного вокзала. В настоящее время в России все железнодорожное движение ведется по московскому времени.

После 1919 г. в основу счета времени легло не местное, а так называемое поясное время. Земной шар разделен на 24 одинаковых часовых пояса, и все пункты каждого из них исчисляют одинаковое время, именно то среднее солнечное время, которое отвечает времени среднего меридиана данного пояса. Поэтому на всем земном шаре в каждый момент существует только 24 различных времени, а не множество времен, как было до введения поясного счета.

Итак, имеем три рода счета времени:

- ✦ *истинное солнечное;*
- ✦ *среднее местное солнечное;*
- ✦ *поясное.*

К ним нужно прибавить еще один, употребляемый только астрономами, — звездное время. Оно исчисляется по упомянутым ранее звездным суткам, которые, как мы уже знаем, короче средних солнечных примерно на 4 мин; 22 сентября оба счета времени совпадают, но с каждым следующим днем звездное время опережает среднее солнечное на 4 мин.



▲ Карта часовых поясов современной России

Наконец, существует еще и пятый вид времени — декретное.

Это то время, по которому в течение летнего сезона живет все население России и большинство западных стран. Декретное время идет ровно на час впереди поясного. Цель этого мероприятия состоит в следующем: в светлое время года — с весны до осени — важно начинать и кончать трудовой день пораньше, чтобы снизить расход электроэнергии на искусственное освещение. Это достигается официальным переводом часовой стрелки вперед. Такой перевод в западных государствах делается каждую весну (в час ночи стрелка переставляется к цифре 2), а каждую осень часы снова переводятся назад.

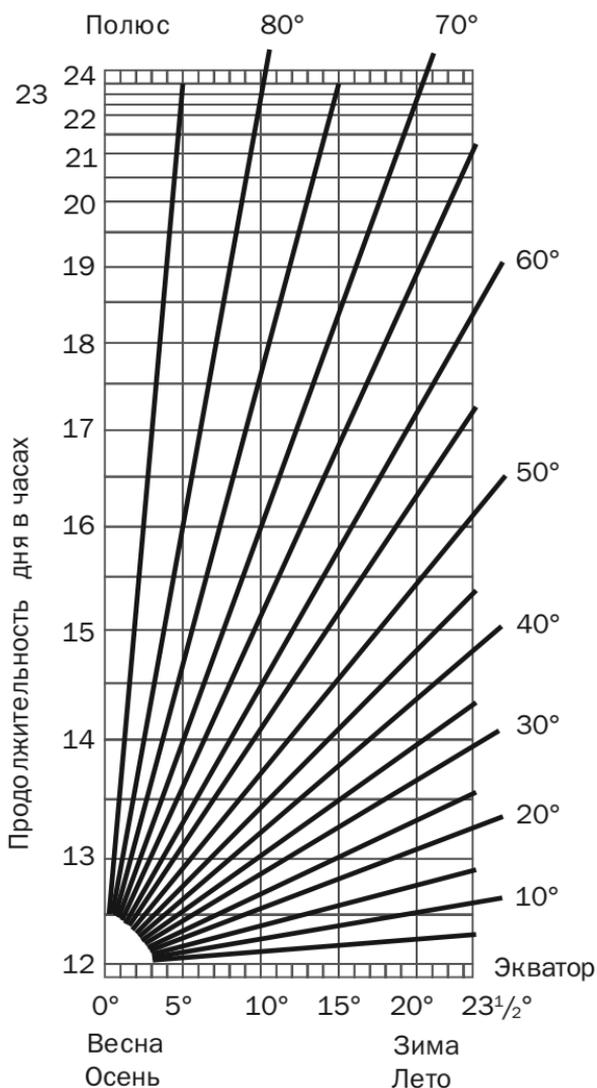


→ Продолжительность дня

Точная продолжительность дня для каждого места и любой даты года может быть вычислена по таблицам астрономического ежегодника. Нашему читателю, однако, вряд ли понадобится для обиходных целей подобная точность. Если он готов довольствоваться сравнительно грубым приближением, то хорошую службу сослужит прилагаемый ниже чертеж.

Вдоль его левого края показана продолжительность дня (в часах). Вдоль нижнего края нанесено угловое расстояние Солнца от небесного экватора. Это расстояние, измеряемое в градусах, называется склонением Солнца. Наконец, косые линии отвечают различным широтам мест наблюдения.





▲ Чертеж для графического определения продолжительности дня

Чтобы пользоваться чертежом, надо знать, как велико угловое расстояние (склонение) Солнца от экватора в ту или иную сторону для различных дней года. Соответствующие данные указаны в табличке.

Дни года	Склонение Солнца	Дни года	Склонение Солнца
21 января	-20°	24 июля	+20°
8 февраля	-15°	12 августа	+15°
23 февраля	-10°	28 августа	+10°
8 марта	-5°	10 сентября	+5°
21 марта	0	23 сентября	0
4 апреля	+5°	6 октября	-5°
16 апреля	+10°	20 октября	-10°
1 мая	+15°	3 ноября	-15°
21 мая	+20°	22 ноября	-20°
22 июня	+23 ¹ / ₂ °	22 декабря	-23 ¹ / ₂ °



Покажем на примерах, как пользоваться этим чертежом.

1. Найти продолжительность дня в середине апреля в Санкт-Петербурге (то есть на широте 60° с. ш.).

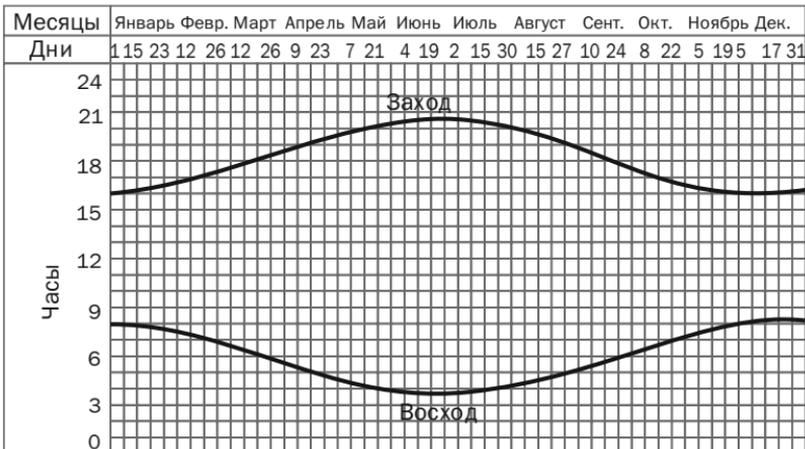
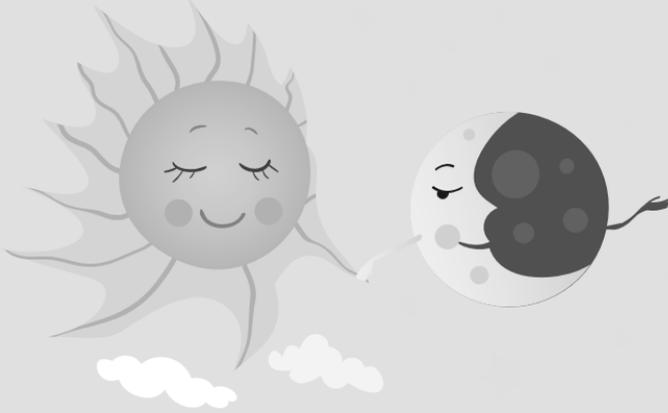
Находим в табличке склонение Солнца в середине апреля, то есть его угловое расстояние в эти дни от небесного экватора. Оно равно $+10^\circ$. На нижнем краю чертежа отыскиваем число 10° и ведем от него прямую линию (под прямым углом к нижнему краю) до пересечения с косою линией, отвечающей 60-й параллели. На левом краю точка пересечения отвечает числу 14, то есть искомая продолжительность дня равна примерно 14 ч 30 мин.

2. Найти продолжительность дня 10 ноября в Астрахани (то есть на широте 46° с. ш.).

Склонение Солнца 10 ноября равно -17° (Солнце в Южном полушарии). Поступая, как раньше, находим, что продолжительность дня составляет 14 ч. Но так как на этот раз склонение отрицательно, то полученное число означает продолжительность не дня, а ночи. Искомая же продолжительность дня равна $24 - 14 = 9$ ч.

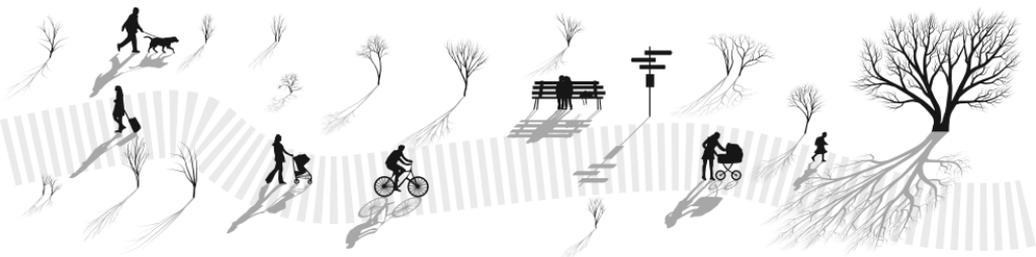
Также мы можем вычислить и момент восхода Солнца. Разделив 9 пополам, получим 4 ч 45 мин. Зная из графика, представленного в предыдущей статье, что 10 ноября часы в истинный полдень показывают 11 ч 43 мин, узнаем момент восхода Солнца: 11 ч 43 мин $-$ 4 ч 45 мин = 6 ч 58 мин. Заход Солнца в этот день произойдет в 11 ч 43 мин $+$ 4 ч 45 мин = 16 ч 28 мин. Таким образом, оба чертежа при надлежащем использовании могут заменить соответствующие таблицы астрономического ежегодника.

Пользуясь изложенным приемом, вы можете составить для широты места вашего проживания график восхода и захода Солнца, а также продолжительности дня. Образец такого графика для 50-й параллели приведен на рисунке ниже. Рассмотрев его, вы поймете, как надо чертить подобные графики. А начертив его один раз для той широты, где вы живете, вы сможете, бросив взгляд на свой чертеж, сразу сказать, в котором примерно часу взойдет или зайдет Солнце в тот или иной день года.



▲ График восхода и захода Солнца в течение года для 50-й параллели

→ Необычайные тени



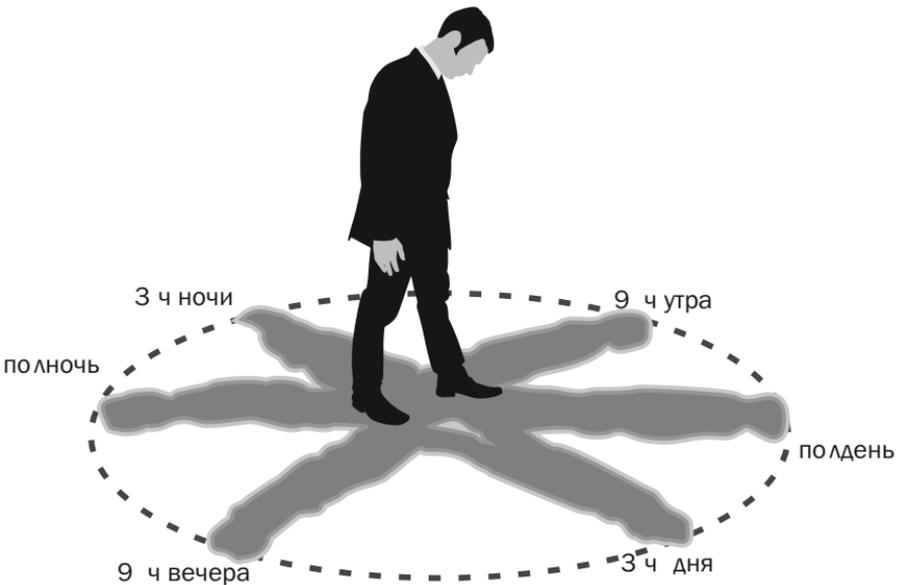
▲ **Человек почти без тени.**
Рисунок воспроизводит фотографию, снятую вблизи экватора

Воспроизведенный ниже рисунок может показаться загадочным: человек при полном свете Солнца почти не отбрасывает тени. Однако этот рисунок сделан не в наших широтах, а близ экватора, в тот момент, когда Солнце стояло почти отвесно над головой наблюдателя, то есть в зените.

В наших широтах Солнце никогда не бывает в зените, поэтому наблюдать такую картину невозможно. Когда полуденное Солнце достигает у нас наибольшей высоты (22 июня), то оно проходит через зенит всех мест, расположенных на северной границе жаркого пояса (то есть на тропике Рака, или на параллели $23,5^\circ$ с. ш.). Спустя полгода, 22 декабря, Солнце проходит через зенит всех мест, расположенных на $23,5^\circ$ ю. ш. (то есть на тропике Козерога).

Между этими границами расположены места, где полуденное Солнце дважды в год оказывается в зените и освещает местность сверху так, что все предметы лишены теней или, лучше сказать, что их тени располагаются как раз под ними.

Рисунок, относящийся к полюсу, напротив, фантастический, но все же поучительный. Человек не может отбрасывать сразу шесть теней. Этим приемом художник хотел наглядно показать своеобразную особенность полярного Солнца: тени от него в течение целых суток получаются одинаковой длины. Причина в том, что Солнце на полюсе в течение суток движется не под углом к горизонту, как у нас, а почти параллельно ему. Ошибка художника, однако, в том, что он изобразил тени чересчур короткими, по сравнению с ростом человека. Если бы тени были такой длины, это указывало бы на высоту Солнца около 40° , что невозможно на полюсе: Солнце там никогда не поднимается выше 23° .



▲ Тени на полюсе не изменяют своей длины в течение суток

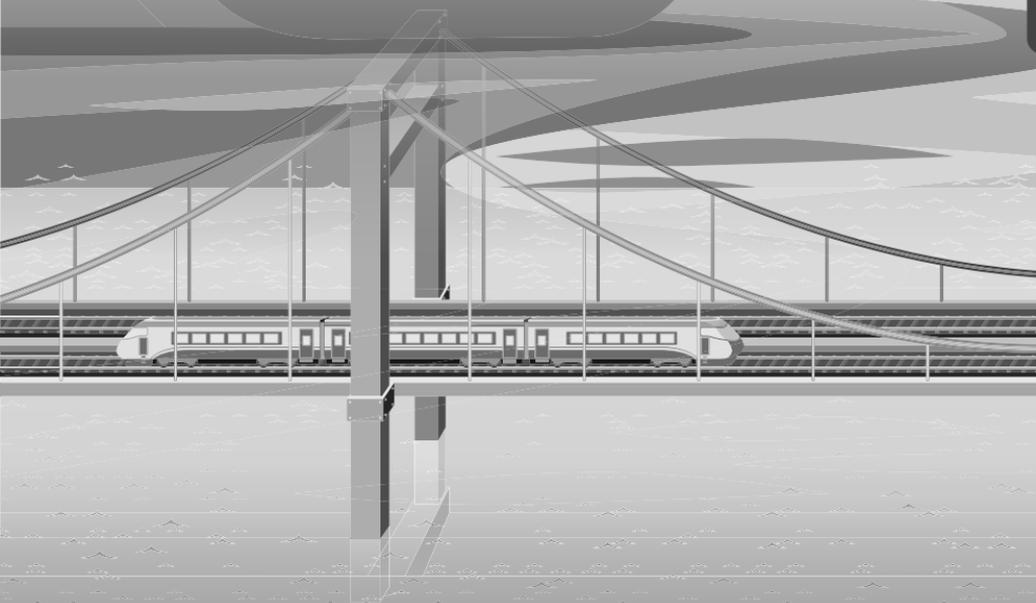
→ Задача о двух поездах

Два совершенно одинаковых поезда идут с равной скоростью в противоположные стороны: один с востока на запад, другой — с запада на восток. Какой из них тяжелее?

Тяжелее (то есть сильнее давит на рельсы) тот, который движется против вращения Земли, с востока на запад. Этот поезд медленнее движется вокруг оси земного шара, поэтому вследствие центробежного эффекта он теряет из своего веса меньше, чем поезд, идущий на восток.

Насколько велика разница? Сделаем расчет для поездов, идущих вдоль 60-й параллели со скоростью 72 км/ч, или 20 м/с. Точки земной поверхности на указанной параллели движутся вокруг оси со скоростью 230 м/с. Значит, поезд, идущий на восток в направлении вращения Земли, обладает круговой скоростью в $230 + 20$, то есть 250 м/с, а идущий на запад против движения Земли — 210 м/с. Центробежное ускорение для первого составляет $V_1^2 / R = 25\,000^2 / 320\,000\,000$ см/с², так как радиус кругового пути на 60-й параллели равен 3200 км. Для второго поезда оно составляет $V_2^2 / R = 21\,000^2 / 320\,000\,000$ см/с².

Запад



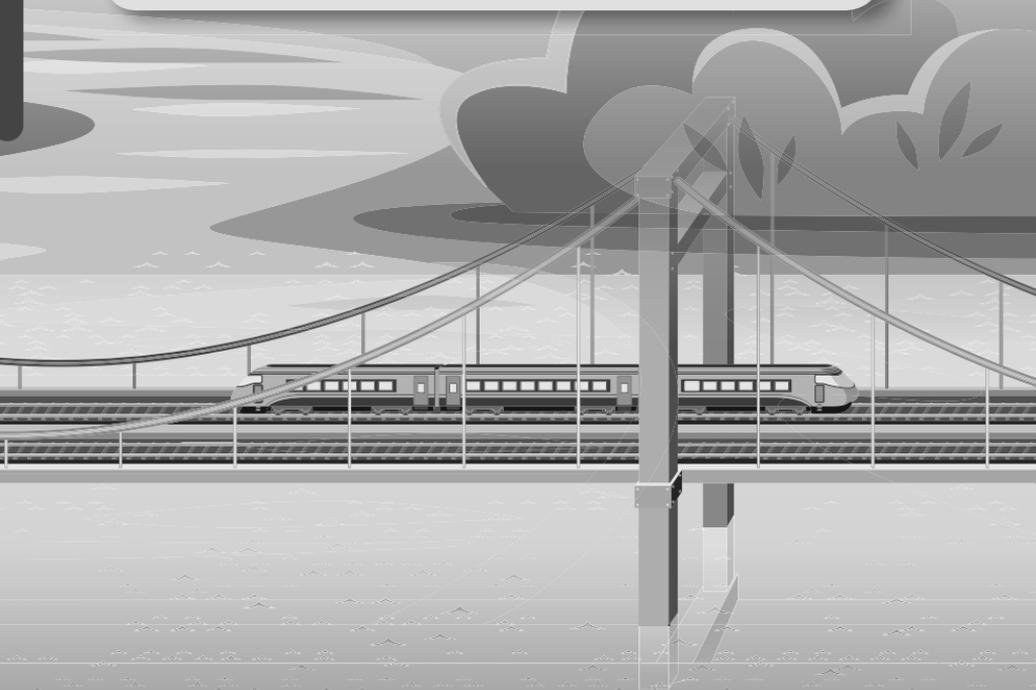
Разница в величине центростремительного ускорения обоих поездов равна $V_1^2 - V_2^2 / R = 25\,000^2 - 21\,000^2 / 320\,000\,000 \approx 0,6$.

Так как направление центростремительного ускорения составляет с направлением тяжести угол в 60° , то принимаем во внимание только соответствующую часть центростремительного ускорения, именно $0,6 \text{ см/с}^2 \times \cos 60^\circ = 0,3 \text{ см/с}^2$. Это составляет $0,3/980$ от ускорения тяжести, или около 0,0003.

Значит, поезд, идущий на восток, легче идущего в западном направлении на 0,0003 своего веса. Если поезд состоит, например, из паровоза и 45 груженых товарных вагонов, то есть весит примерно 3500 т, то разница в весе будет равняться $3500 \times 0,0003 = 1,05 \text{ т} = 1050 \text{ кг}$.

Восток

Для крупного парохода водоизмещением в 20 000 т, движущегося со скоростью 35 км/ч (20 узлов), разница составляла бы 3 т. Даже пешеход, шагающий по улице Санкт-Петербурга с запада на восток со скоростью 5 км/ч, становится примерно на 1,5 г легче, чем идя с востока на запад.



→ Стороны горизонта по карманным часам

Способ находить в солнечный день стороны горизонта по карманным часам общеизвестен. Циферблат располагают так, чтобы часовая стрелка была направлена на Солнце. Угол между этой стрелкой и линией 6 — 12 делят пополам: равноделящая укажет направление на юг.



Нетрудно понять, на чем основан этот способ. Солнце в суточном движении обходит небо за 24 ч, а часовая стрелка обходит циферблат за 12 ч, то есть описывает за одинаковое время вдвое большую дугу. Значит, если в полдень часовая стрелка указывала на Солнце, то спустя некоторое время она опередит его, описав своим концом вдвое большую дугу. Вот почему, разделив при указанном ранее положении циферблата пополам дугу, описанную стрелкой, мы должны найти то место неба, где находилось Солнце в полдень, то есть направление на юг.

Испытание показывает, однако, что прием этот крайне неточен. Чтобы понять почему, надо разобраться в рекомендуемом способе. Основная причина неточности в том, что циферблат располагается параллельно плоскости горизонта, суточный же путь Солнца лежит в горизонтальной плоскости только на полюсе, на всех же других широтах он составляет с горизонтом разные углы вплоть до прямого (на экваторе). Поэтому при ориентировании по карманным часам неизбежна погрешность.

Обратимся к чертежу (рис. а). Пусть наблюдатель расположен в точке M . Точка N — полюс мира, а круг $HASNRBQ$ — небесный меридиан, который проходит через зенит наблюдателя и через полюс. Легко определить, на какой широте находится наблюдатель. Для этого достаточно измерить транспортиром высоту полюса над горизонтом NR : она равна широте места.



Глядя из M в направлении N , наблюдатель имеет перед собою точку юга. Суточный путь Солнца на этом чертеже изобразится прямой линией, которая частью лежит над линией горизонта (дневной путь), а частью — под ней (ночной путь). Прямая AQ изображает путь Солнца в дни равноденствий; как видим, дневной путь равен тогда ночному. SB — путь Солнца летом; он параллелен AQ , но большая его часть лежит выше горизонта, и только незначительная часть (вспомним короткие летние ночи) находится под горизонтом. По этим кругам



Солнце ежечасно проходит 24-ю долю их полной длины, то есть $360^\circ / 24 = 15^\circ$. И все же через три часа после полудня Солнце не оказывается в юго-западной точке горизонта, как можно ожидать ($15^\circ \times 3 = 45^\circ$). Причина расхождения в том, что проекции равных дуг солнечного пути на плоскость горизонта не равны между собой.

Это станет нагляднее, если мы разберемся в рисунке б. На нем SWNE изображает круг горизонта, видимый с зенита. Прямая SN — небесный меридиан. Наблюдатель помещается в точке M ; центр круга, описываемого на небе Солнцем за сутки, проецируется на плоскость горизонта в точке L' , а сам круг солнечного пути проецируется на плоскость горизонта эллипсом $S'B'$.

Построим теперь проекции точек деления круга солнечного пути SB на плоскости горизонта. Для этого повернем круг SB параллельно плоскости горизонта (положение $S''B''$, рис. а), разделим его на 24 равные части и спроецируем на плоскость горизонта. Для построения точек деления эллипса $S'B'$ — проекции круга солнечного пути на плоскость горизонта — из точек деления круга $S''B''$ проведем отрезки, параллельные SN . Ясно, что мы получим при этом неравные дуги; они будут казаться наблюдателю еще более неравными, потому что он рассматривает их не из центра L' эллипса, а из точки M в стороне от него.

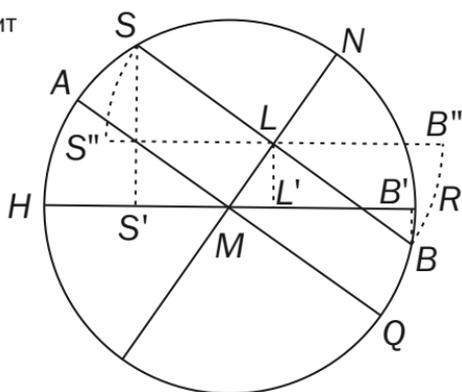


Рисунок а

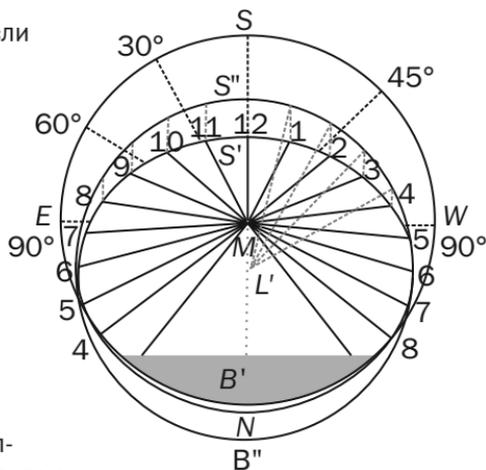


Рисунок б

Проследим теперь, насколько большой может быть погрешность определения по циферблату сторон горизонта в летний день для взятой нами широты (53°). Солнце восходит между 3 и 4 ч утра (граница заштрихованного сегмента, означающего ночь). В точку E востока (90°) Солнце приходит не в 6 ч, как должно быть по циферблату, а в 11 ч. В точку юго-запада (45° по другую сторону от S) Солнце является не в 3 ч дня, а в 1 ч 40 мин, на западе оно бывает не в 6 ч вечера, а в $4\frac{1}{2}$ ч дня.

Если прибавить ко всему этому то, что декретное время, которое показывают карманные часы, не совпадает с местным истинным солнечным временем, то неточность в определении стран горизонта должна еще больше возрасти.



Итак, карманные часы могут служить компасом, но очень ненадежным. Меньше всего такой компас грешит в дни равноденствия (отпадает эксцентрическое положение наблюдателя) и в зимнее время.

→ Белые ночи и черные дни

С середины апреля в Санкт-Петербурге начинается период белых ночей — того «прозрачного сумрака» и «блеска безлунного», в фантастическом свете которого родилось столько поэтических замыслов. Литературные традиции так тесно связали белые ночи именно с Северной столицей, что многие готовы считать их достопримечательностью исключительно этого города. В действительности белые ночи как астрономическое явление характерны для всех мест, лежащих выше определенной широты.

Если отвлечься от поэзии и обратиться к астрономической прозе данного явления, то белая ночь — это не что иное, как слияние вечерних и утренних сумерек. А. С. Пушкин правильно определил сущность этого феномена как смыкание двух зорь — вечерней и утренней: «И, не пуская тьму ночную на золотые небеса, одна заря сменить другую спешит, дав ночи полчаса...» В тех широтах, где Солнце в своем суточном движении по небесному своду опускается за горизонт не глубже $17,5^\circ$, вечерняя заря не успевает еще померкнуть, как уже загораются лучи утренней.





Разумеется, ни Санкт-Петербург, ни какой-либо другой город не имеют привилегии быть единственным местом, где наблюдается это явление. Граница зоны белых ночей вычисляется астрономически. И оказывается, что слияние зорь может наблюдаться гораздо южнее Петербурга. Москвичи, например, тоже могут любоваться белыми ночами приблизительно со средних чисел мая до конца июля. Просто здесь они не так светлы, как в Петербурге.

Есть белые ночи и в Самаре, и в Казани, и в Пскове, и в Кирове, и в Енисейске, но так как пункты эти расположены южнее Петербурга, то белые ночи охватывают там меньший период и не имеют такой яркости. Зато в Пудоже они светлее, чем в Северной столице, а особенно светлы в Архангельске, расположенном недалеко от зоны незаходящего Солнца. Белые ночи Стокгольма ничем не отличаются от петербургских.





Когда нижняя часть суточного пути Солнца совсем не погружается под горизонт, а лишь слегка скользит по нему, мы имеем не только слияние двух зорь, но и непрерывный день. Это явление можно наблюдать с $65^{\circ}42'$ широты: здесь начинается царство полярного Солнца. Еще севернее — с $67^{\circ}24'$ — можно наблюдать непрерывную ночь, слияние утренней зари с вечерней через полдень, а не через полночь. Это черный день — противоположность белой ночи, хотя степень их освещения одинакова. Страна черных дней — та же страна полярного Солнца, только в другое время года. Где можно видеть незаходящее Солнце в июне, там в декабре господствует многосуточный мрак, обусловленный невосходящим Солнцем.

→ Смена света и тьмы

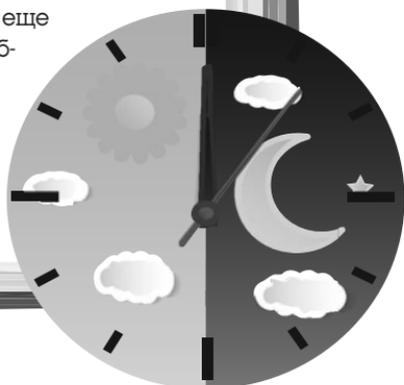
Белые ночи — наглядное доказательство того, что усвоенное нами с детства представление о правильной смене дня и ночи на земном шаре слишком упрощенно. На самом деле периодическая смена света и темноты на нашей планете гораздо разнообразнее и не укладывается в привычную схему дня и ночи. В этом отношении обитаемый нами шар можно разделить на пять поясов, каждый из которых имеет свой порядок чередования света и тьмы.

Первый пояс простирается до 49° параллели, если двигаться от экватора к обоим полюсам. Здесь и только здесь каждые сутки бывают полный день и полная ночь.

Второй пояс расположен между 49° и $65,5^\circ$. Около времени летнего солнцестояния он имеет период непрерывных сумерек. Это пояс белых ночей.

В третьем узком поясе между $65,5^\circ$ и $67,5^\circ$ Солнце около 22 июня в течение ряда суток вовсе не заходит: это пояс полуночного Солнца.

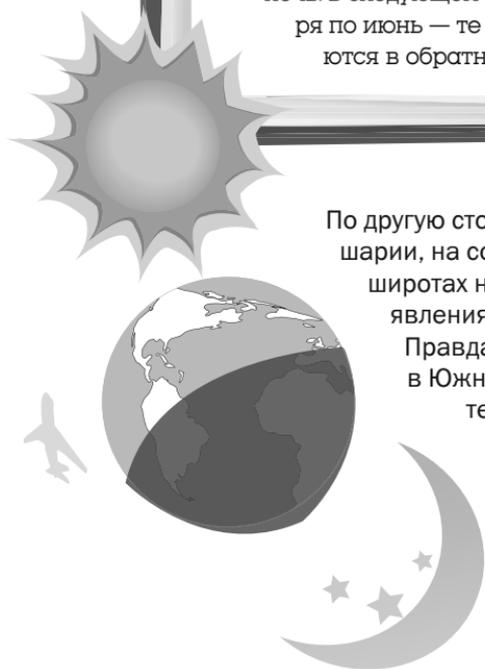
Для четвертого пояса, расположенного между $67,5^\circ$ и $83,5^\circ$, характерна, кроме непрерывного дня в июне, еще многосуточная ночь в декабре: Солнце в течение ряда суток вовсе не восходит, утренние и вечерние сумерки поглощают день. Это пояс черных дней.



Самый сложный случай чередования света и темноты мы имеем в пятом поясе, раскинувшемся севернее $83,5^\circ$. Та брешь, которую пробивают в однообразной смене дней и ночей ленинградские белые ночи, достигает здесь полного разрыва с привычным порядком. Все полугодие от летнего до зимнего солнцестояния, то есть от 22 июня до 22 декабря, разделяется на пять периодов. В течение первого периода стоит непрерывный день; в течение второго дни чередуются с сумерками около полуночи, но полных ночей не бывает (слабым подобием их и являются летние петербургские ночи); в течение третьего периода стоят непрерывные сумерки — полных дней и ночей не бывает; в течение четвертого периода эти сплошные сумерки сгущаются около полуночи в полную ночь; наконец, в пятый период царит сплошная ночь. В следующем полугодии — с декабря по июнь — те же явления повторяются в обратном порядке.

По другую сторону экватора, в Южном полушарии, на соответствующих географических широтах наблюдаются аналогичные явления.

Правда, параллель, отвечающая в Южном полушарии широте Санкт-Петербурга, не пересекает ни одного клочка твердой земли. Она целиком проходит по океану, поэтому любоваться белыми ночами юга могут только мореплаватели.



→ Загадка полярного Солнца

Полярные путешественники отмечают любопытную особенность лучей летнего Солнца в высоких широтах. Его лучи слабо греют землю, зато оказывают неожиданно сильное действие на все отвесно возвышающиеся предметы. Заметно нагреваются крутые склоны скал и стены домов, быстро тают ледяные горы, растопляется смола в бортах деревянных судов, обжигается кожа лица и т. п. Чем же объяснить подобное действие лучей полярного Солнца на вертикально стоящие предметы?

Мы имеем дело с неожиданным следствием физического закона, который гласит, что действие лучей тем значительнее, чем отвеснее падают они на поверхность тела. Солнце в полярных странах даже летом стоит невысоко: его высота за полярным кругом не может превышать половины прямого угла, а в высоких широтах значительно меньше половины прямого угла. Легко сообразить, что если солнечные лучи составляют с горизонтальной поверхностью угол меньше половины прямого, то с отвесной линией они должны составлять угол больше половины прямого. Теперь понятно, что по той же причине, по какой лучи полярного Солнца слабо греют землю, они должны сильно нагревать все отвесно возвышающиеся предметы.



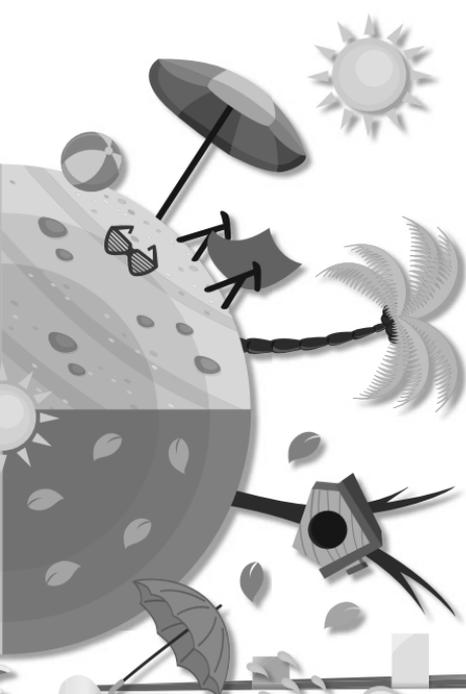
→ Когда начинаются времена года

Независимо от того, бушует ли 21 марта метель, стоит ли крепкий мороз или, наоборот, установилась мягкая оттепель, день этот в Северном полушарии считается концом зимы и началом астрономической весны. Многим совершенно непонятно, почему именно эта дата избрана границей между зимой и весной, хотя в эту пору может как господствовать суровый мороз, так и стоять теплая погода.

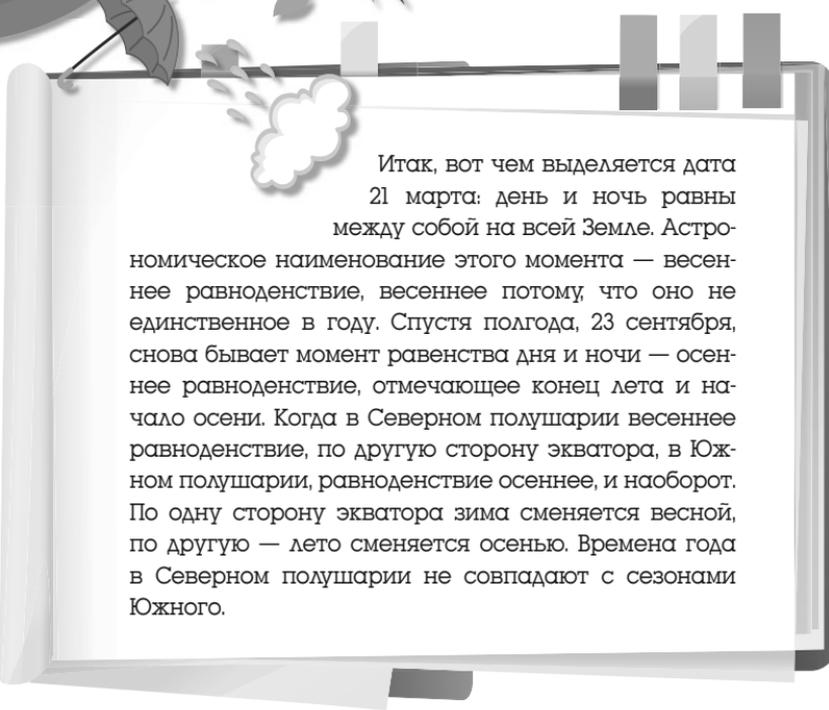
Дело в том, что начало астрономической весны определяется вовсе не признаками погоды. Уже тот факт, что момент наступления весны устанавливается один для всех мест данного полушария Земли, должен навести на мысль, что особенности погоды не имеют здесь существенного значения. Не может же на всей половине земного шара стоять одинаковая погода!

Действительно, при установлении срока наступления пор года астрономы руководствуются не метеорологическими явлениями, а астрономическими, а именно высотой полуденного Солнца и вытекающей отсюда продолжительностью дня. Та или иная погода — всего лишь сопутствующее обстоятельство. День 21 марта отличается от других дней года тем, что в это время граница света и тени на нашей планете проходит как раз через оба географических полюса. Взяв в руки глобус и держа его соответственно повернутым к лампе, вы убедитесь, что граница освещения проходит по линии земного меридиана, пересекая экватор и все параллельные круги под прямым углом. Поворачи-





вайте глобус в таком положении вокруг оси, освещая его лампой: каждая точка поверхности глобуса опишет при этом круг, половина которого погружена в тень, а вторая половина находится на свету. Это означает, что в указанный момент года продолжительность дня равна продолжительности ночи. Равенство дня и ночи наблюдается в эту пору на всем земном шаре от Северного до Южного полюса. А так как день длится тогда 12 ч, то есть половину суток, то Солнце восходит всюду в 6 ч и заходит в 18 ч (конечно, по местному времени).



Итак, вот чем выделяется дата 21 марта: день и ночь равны между собой на всей Земле. Астрономическое наименование этого момента — весеннее равноденствие, весеннее потому, что оно не единственное в году. Спустя полгода, 23 сентября, снова бывает момент равенства дня и ночи — осеннее равноденствие, отмечающее конец лета и начало осени. Когда в Северном полушарии весеннее равноденствие, по другую сторону экватора, в Южном полушарии, равноденствие осеннее, и наоборот. По одну сторону экватора зима сменяется весной, по другую — лето сменяется осенью. Времена года в Северном полушарии не совпадают с сезонами Южного.



Проследим также за тем, как меняется в течение года долгота дня и ночи. Начиная с осеннего равноденствия, то есть с 23 сентября, светлая часть суток в Северном полушарии становится короче темной. Так продолжается целое полугодие, в течение которого дни сначала укорачиваются (до 22 декабря), а затем удлиняются, пока 21 марта день не сравняется с ночью. С этого мо-

мента в течение всего остального полугодия день в Северном полушарии длиннее ночи. Дни удлиняются до 22 июня, после чего убывают, оставаясь первые три месяца длиннее ночи. Они опять сравниваются с ночью лишь в момент осеннего равноденствия (23 сентября).

Указанные четыре даты и определяют собой начало и конец астрономических времен года. А именно для всех мест Северного полушария:

21 марта — день, равный ночи, начало весны;

22 июня — самый долгий день, начало лета;

23 сентября — день, равный ночи, начало осени;

22 декабря — самый короткий день, начало зимы.

По другую сторону экватора, в Южном полушарии Земли, с нашей весной совпадает осень, с нашим летом — зима и т. п.





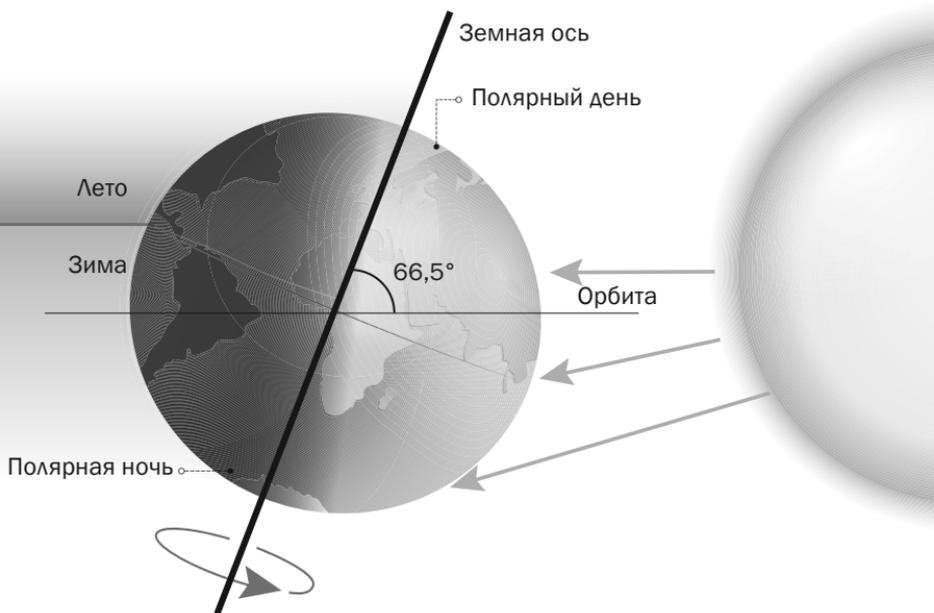
Предложим читателю в заключение несколько вопросов, размышление над которыми поможет ему лучше уяснить и запомнить сказанное:

- 1) Где на земном шаре день равен ночи круглый год?
- 2) В котором часу (по местному времени) 21 марта нынешнего года в Ташкенте взойдет солнце? В котором часу взойдет оно в тот же день в Токио? В Буэнос-Айресе?
- 3) В котором часу (по местному времени) 23 сентября нынешнего года в Новосибирске зайдет солнце? А в Нью-Йорке? На мысе Доброй Надежды?
- 4) В котором часу восходит солнце в пунктах экватора 2 августа? 27 февраля?
- 5) Случаются ли июльские морозы и январские знойные дни?¹



¹ **Ответы на вопросы.** 1) День всегда равен ночи на экваторе. 2) и 3) В дни равноденствий солнце всюду на Земле восходит в 6 ч и заходит в 18 ч по местному времени. 4) На экваторе солнце восходит ежедневно в 6 ч по местному времени на протяжении всего года. 5) В средних широтах Южного полушария июльский мороз и январский летний зной – обычные явления.

→ Три «если бы»



Слишком привычное уясняется нередко с большим трудом, чем необычное. Особенности десятичной системы счисления, которой мы овладеваем с детства, обнаруживаются для нас только тогда, когда мы пробуем изображать числа в иной, например в семеричной или двенадцатеричной, системе. Сущность евклидовой геометрии постигается нами тогда, когда мы начинаем знакомиться с геометрией неевклидовой. Чтобы хорошо понять, какую роль в нашей жизни играет сила тяжести, надо вообразить, что она во много раз больше или меньше, чем в действительности. Мы так и поступим, когда будем говорить о тяжести. А сейчас воспользуемся способом «если бы», чтобы лучше уяснить себе условия движения Земли вокруг Солнца. Начнем с усвоенного в школе положения, что земная ось составляет с плоскостью орбиты Земли угол в $66,5^\circ$. Вы хорошо поймете значение этого факта лишь тогда, когда вообразите, что угол наклона иной. Например, представьте себе, что он прямой. Иначе говоря, допустим, что ось вращения Земли перпендикулярна к плоскости орбиты. Какие перемены заметили бы мы в природе?

ЕСЛИ БЫ ЗЕМНАЯ ОСЬ БЫЛА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА К ПЛОСКОСТИ ОРБИТЫ

Прежде всего, нынешняя Полярная звезда перестала бы быть полярной. Продолжение земной оси не будет уже проходить близ нее, и звездный купол станет вращаться вокруг другой точки неба.

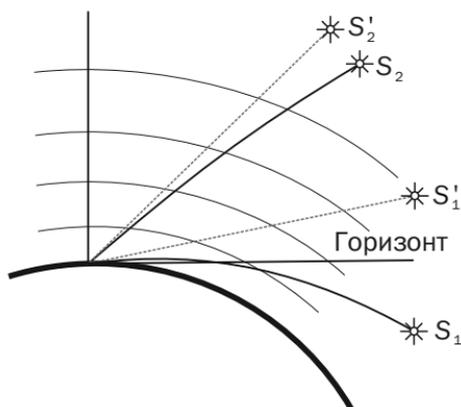
Совершенно иначе происходила бы смена времен года, точнее говоря, смены этой больше не было бы вовсе. Чем обусловлена смена времен года? Почему летом теплее, чем зимой? Не станем уклоняться от ответа на этот банальный вопрос. В школе его разъясняют недостаточно, а позднее у большинства людей не бывает досуга им заняться.

Летом в Северном полушарии становится тепло потому, что из-за наклонного положения земной оси, северный конец которой теперь обращен больше к Солнцу, дни делаются длинными, а ночи — короткими. Солнце дольше греет почву, а по ночам земля не успевает заметно остыть. Приход тепла возрастает, а расход уменьшается. Вторая причина в том, что вследствие опять-таки наклона земной оси в сторону Солнца дневное светило ходит по небу высоко, и лучи его встречают почву под большим углом. Значит, летом Солнце греет не только долго, но и сильно, ночное же остывание непродолжительно. Зимой все наоборот, Солнце греет мало времени и притом греет слабо, а ночное остывание длится долго.



В Южном полушарии те же явления происходят шестью месяцами позднее (или, если угодно, раньше). Весной и осенью оба полюса занимают одинаковое положение по отношению к солнечным лучам. Круг освещения почти совпадает с меридианами, дни и ночи близки к равенству, благодаря чему создается климатическая обстановка, средняя между зимой и летом.

Произойдут ли эти перемены, если земная ось будет перпендикулярна к плоскости орбиты? Нет, потому что земной шар окажется всегда в одинаковом положении относительно лучей Солнца и в каждой точке круглый год будет царить один и тот же сезон. Какой? Для умеренного и полярного поясов мы можем назвать его весной, хотя он имеет столько же прав именоваться и осенью. Дни всегда и всюду будут равны ночи, как теперь бывает только в 20-х числах марта и сентября. В жарком поясе климатические изменения были бы не столь заметны. На полюсах, напротив, они были бы наиболее значительными. Здесь вследствие атмосферной рефракции, слегка поднимающей светило над горизонтом, Солнце никогда не заходило бы, а круглый год скользило у горизонта. Стоял бы вечный день, вернее, вечное раннее утро. Хотя теплота, приносимая лучами столь низкого Солнца, незначительна, но так как нагревание длилось бы непрерывно в течение года, то суровый полярный климат заметно смягчился бы. Вот единственная выгода от перемены угла наклона оси.



◀ **Атмосферная рефракция.** Луч, исходящий от светила S_2 , проходя земную атмосферу, преломляется в каждом ее слое и искривляется, вследствие чего наблюдателю он кажется вышедшим из точки S'_2 , лежащей выше. Светило S_1 уже зашло за горизонт, но благодаря рефракции наблюдатель еще видит его

ЕСЛИ БЫ ЗЕМНАЯ ОСЬ БЫЛА НАКЛОНЕНА К ПЛОСКОСТИ ОРБИТЫ НА 45°

Сделаем теперь мысленно другую переменную: придадим земной оси наклон в половину прямого угла. В пору равноденствий (около 21 марта и около 23 сентября) смена дней и ночей на Земле была бы такая же, как сейчас. Но в июне солнце оказалось бы в зените для 45-й параллели (а не для 23,5-й). Эта широта играла бы роль тропиков. На широте Санкт-Петербурга солнце не доходило бы до зенита всего на 15°! Жаркий пояс непосредственно примыкал бы к холодному, а умеренного не существовало бы вовсе. В Москве и Харькове весь июнь царил бы непрерывный, беззакатный день. Зимой, напротив, целые декады длилась бы сплошная полярная ночь. Жаркий же пояс на это время превратился бы в умеренный, потому что солнце поднималось бы там в полдень не выше 45°.

Тропический пояс, конечно, много потерял бы от этой перемены, так же как и умеренный. Полярная же область и на этот раз кое-что бы выгадала: здесь после очень суровой (суровее, чем ныне) зимы наступал бы умеренно-теплый летний период, когда даже на самом полюсе солнце стояло бы в полдень на высоте 45° и светило бы дольше полугода.

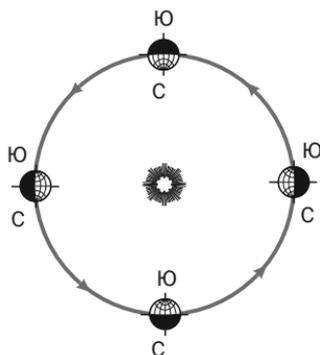


ЕСЛИ БЫ ЗЕМНАЯ ОСЬ ЛЕЖАЛА В ПЛОСКОСТИ ОРБИТЫ

Третий мысленный опыт состоит в том, что мы кладем ось Земли в плоскость ее орбиты. Земля будет обходить Солнце «лежа», вертясь вокруг оси примерно так, как вертится далекий член нашей планетной семьи — Уран. Что произойдет?

Близ полюсов полугодовой день, в течение которого солнце спирально поднималось бы вверх от горизонта к зениту и снова опускалось бы к горизонту по такой же спиральной линии, сменялся бы полугодовой ночью. Их разделяли бы непрерывные многосуточные сумерки. Перед тем как скрыться, солнце несколько суток обходило бы небо, скользя по самому горизонту. В течение такого лета должны были бы растаять все льды, накопившиеся за зиму.

► Как двигался бы земной шар вокруг Солнца, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости ее орбиты



В средних широтах дни быстро нарастали бы от начала весны, а затем в течение некоторого времени длился бы многосуточный день. Этот долгий день наступил бы примерно через столько суток, на сколько градусов данное место отстоит от полюса, и длился приблизительно столько суток, сколько градусов содержит удвоенная широта места.

Для Санкт-Петербурга, например, многосуточный день наступил бы через 30 дней после 21 марта и длился бы 120 суток. За 30 суток до 23 сентября снова явилась бы ночь. Зимой все было бы наоборот: взамен непрерывного многосуточного дня столько же времени длилась бы сплошная ночь. И только на экваторе день всегда равнялся бы ночи.

Приблизительно в таком положении по отношению к плоскости орбиты находится, как было упомянуто, ось Урана: наклонение оси этой планеты к плоскости ее движения вокруг Солнца — всего 8° . Уран, можно сказать, обращается вокруг Солнца в «лежачем» положении.

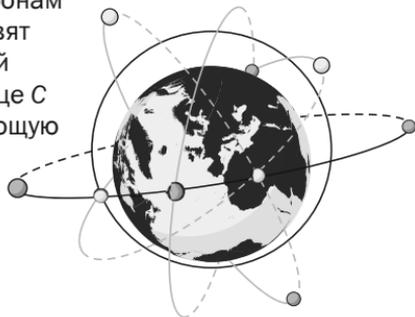
После этих трех «если бы» читателю, вероятно, стала яснее тесная связь между климатическими условиями и наклоном земной оси. Неслучайно слово «климат» значит по-гречески «наклон».

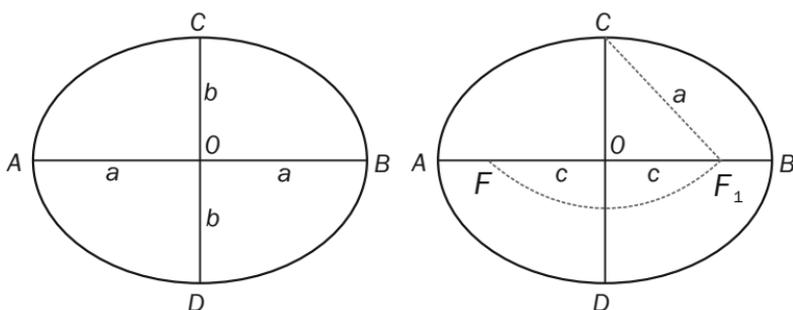
ЕЩЕ ОДНО «ЕСЛИ БЫ»

Обратимся теперь к другой стороне движения нашей планеты — к форме ее орбиты. Как и все планеты, Земля подчиняется первому закону Кеплера: каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Каков же тот эллипс, по которому движется земной шар? Сильно ли он отличается от круга?

В учебниках и книгах по начальной астрономии земную орбиту нередко изображают в перспективе, в форме довольно сильно растянутого эллипса. Такой зрительный образ, неправильно понятый, запечатлевается у многих на всю жизнь: они убеждены, что орбита Земли — заметно растянутый эллипс. Это вовсе не так: земная орбита отличается от круга настолько мало, что ее нельзя даже изобразить на бумаге иначе чем круг.

Познакомимся немного с геометрией эллипса. В эллипсе AB — его большая ось, а CD — малая. В каждом эллипсе, кроме центра O , есть еще две замечательные точки — фокусы, лежащие на большой оси симметрично обеим сторонам центра. Разыскивают фокусы так: ставят ножки циркуля на расстояние большой полуоси OB и, разместив острие в конце C малой оси, описывают дугу, пересекающую большую ось. Точки пересечения F и F_1 — фокусы эллипса. Расстояния OF и OF_1 (они равны) обозначаются





▲ **Эллипс и его оси — большая (AB) и малая (CD). Точка O — центр эллипса**

▲ **Как отыскать фокусы (F и F₁) эллипса; a — большая полуось**

обыкновенно буквой c , а оси, большая и малая, через $2a$ и $2b$. Расстояние c , отнесенное к длине a большой полуоси, то есть дробь c/a , служит мерой растянутости эллипса и называется эксцентриситетом. Чем больше эллипс отличается от круга, тем больше его эксцентриситет.

Мы будем иметь точное представление о форме земной орбиты, если узнаем величину ее эксцентриситета. Это можно определить, не измеряя величину орбиты. Дело в том, что Солнце помещается в одном из фокусов орбиты и кажется нам с Земли неодинаковой величины вследствие различного удаления точек орбиты от этого фокуса. Видимые размеры Солнца то увеличиваются, то уменьшаются, и отношение размеров, конечно, в точности отвечает отношению расстояний Земли от Солнца в моменты наблюдений.

Пусть Солнце помещается в фокусе F_1 эллипса. Земля бывает в точке A орбиты около 1 июля, тогда мы видим наименьший диск Солнца. Его величина в угловой мере — $31'28''$. В точке B Земля бывает около 1 января, тогда диск Солнца кажется нам под наибольшим углом — $32'32''$. Составим пропорцию:

$$\frac{31'28''}{32'32''} = \frac{BF_1}{AF_1} = \frac{a - c}{a + b},$$

из которой можно образовать так называемую производную пропорцию:

$$\frac{a - c - (a + c)}{a + c + (a - c)} = \frac{31'28'' - 32'32''}{32'32'' - 31'32''}$$

или

$$\frac{64''}{64'} = \frac{c}{a}$$

Значит, $\frac{c}{a} = \frac{1}{60} = 0,017$, то есть эксцентриситет земной орбиты равен 0,017.

Покажем теперь, что орбита Земли весьма мало отличается от круга. Вообразим, что мы начертили ее на огромном чертеже так, что большая полуось орбиты равна 1 м. Какой длины окажется другая — малая полуось эллипса?

Из прямоугольного треугольника OCF_1 (рисунок выше) имеем

$$c^2 = a^2 - b^2, \text{ или } c^2 / a^2 = a^2 - b^2 / a^2.$$

Но $\frac{c}{a}$ и есть эксцентриситет земной орбиты, то есть $\frac{1}{60}$. Выражение $a^2 - b^2$ заменяем через $(a - b)(a + b)$, а $(a + b)$ — через $2a$, так как b мало отличается от a .

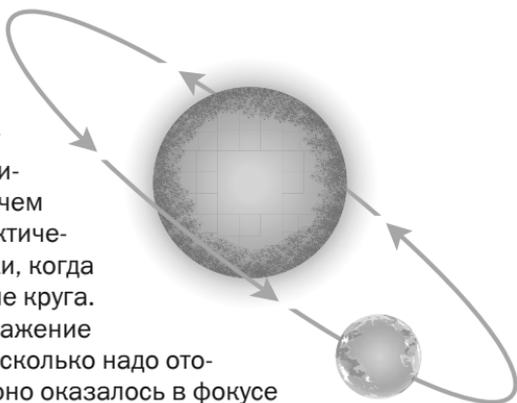
Имеем

$$\frac{1}{60} = 2a(a - b) / a^2 = 2(a - b) / a$$

и, значит,

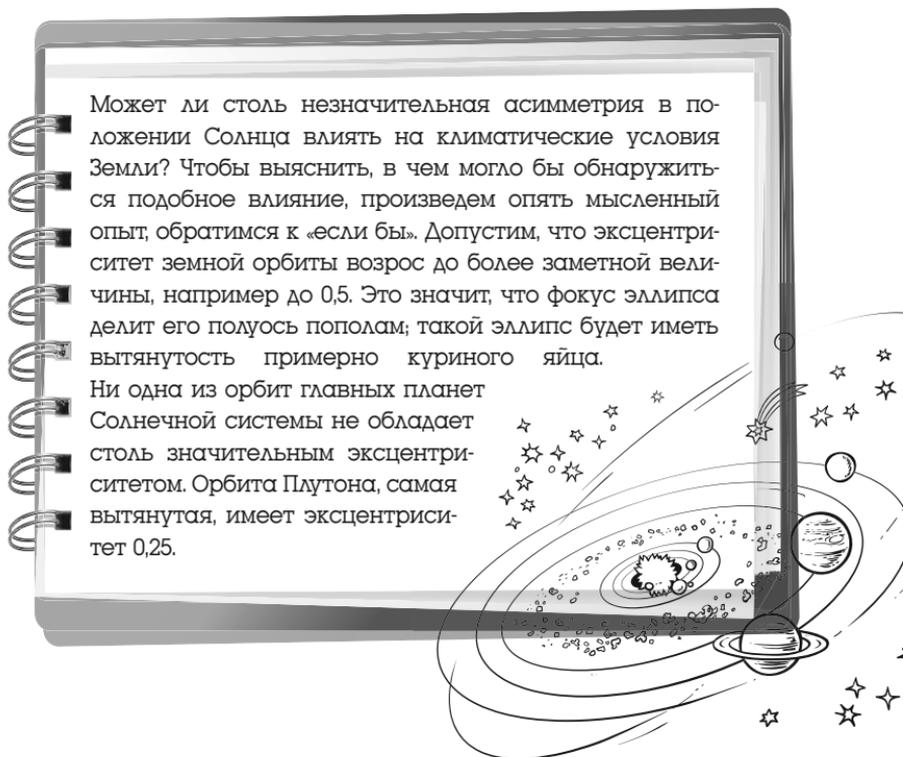
$$a - b = a / 2 \times 60^2 = 1000 / 7200, \text{ то есть менее } \frac{1}{7} \text{ мм.}$$

Мы узнали, что на чертеже даже столь крупного масштаба разница в длине большой и малой полуосей земной орбиты не превышает $\frac{1}{7}$ мм. Тонкая карандашная линия имеет толщину, большую, чем эта величина. Значит, мы практически не делаем никакой ошибки, когда чертим земную орбиту в форме круга. Куда следует поместить изображение Солнца на таком чертеже? Насколько надо отодвинуть его от центра, чтобы оно оказалось в фокусе орбиты? Другими словами, чему равно расстояние OF или OF_1 на нашем воображаемом чертеже? Расчет несложен:



$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60}, c = \frac{a}{60} = \frac{100}{60} = 1,7 \text{ см.}$$

Центр Солнца должен на чертеже отстоять на 1,7 см от центра орбиты. Но так как само Солнце должно быть изображено кружком в 1 см поперечником, то только опытный глаз художника заметил бы, что оно помещено не в центре круга. Практический вывод из сказанного такой, что на рисунках можно чертить орбиту Земли в виде круга, помещая Солнце чуть сбоку от центра.



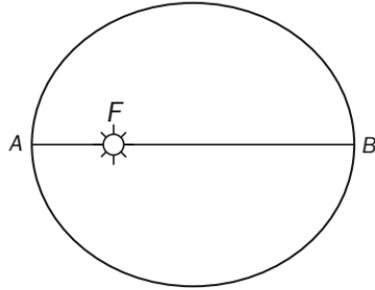
Может ли столь незначительная асимметрия в положении Солнца влиять на климатические условия Земли? Чтобы выяснить, в чем могло бы обнаружиться подобное влияние, произведем опять мысленный опыт, обратимся к «если бы». Допустим, что эксцентриситет земной орбиты возрос до более заметной величины, например до 0,5. Это значит, что фокус эллипса делит его полуось пополам; такой эллипс будет иметь вытянутость примерно куриного яйца.

Ни одна из орбит главных планет Солнечной системы не обладает столь значительным эксцентриситетом. Орбита Плутона, самая вытянутая, имеет эксцентриситет 0,25.

ЕСЛИ БЫ ПУТЬ ЗЕМЛИ БЫЛ ВЫТЯНУТ СИЛЬНЕЕ

Вообразим же, что орбита Земли заметно вытянута и фокус делит ее большую полуось пополам. Земля по-прежнему бывает 1 января в точке А, ближайшей к Солнцу, а 1 июля в точке Б, наиболее удаленной. Так как FB втрое больше, чем FA , то в январе Солнце было бы втрое ближе к нам, чем в июле. Январский поперечник Солнца втрое превышал бы июльский, а количество посылаемого тепла было бы в январе в девять раз больше, чем в июле (обратно пропорционально квадрату рас-

► **Какую форму имела бы орбита Земли, если бы эксцентриситет земной орбиты был равен 0,5. В фокусе F — Солнце**



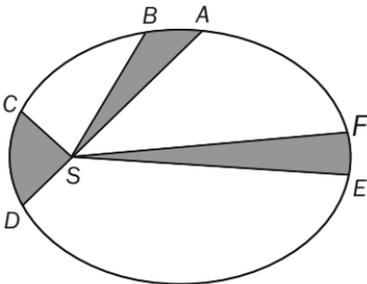
стояния). Что осталось бы тогда от нашей северной зимы?

Только то, что Солнце стояло бы низко на небе и дни были бы короткие, а ночи длинные.

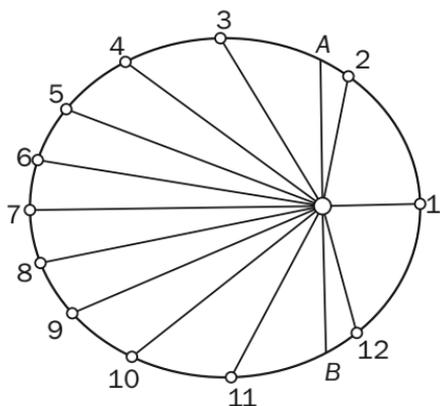
Но холодов не было бы: большая близость Солнца с избытком покрыла бы невыгодные условия освещения.

Сюда присоединится еще обстоятельство, вытекающее из второго закона Кеплера, который гласит, что площади, описываемые радиус-вектором в равные промежутки времени, равны. Радиус-вектором орбиты называется прямая линия, соединяющая Солнце с планетой, в нашем случае — с Землей. Так как Земля перемещается по орбите, то движется и радиус-вектор, который описывает при этом некоторую площадь. Закон Кеплера устанавливает, что части площади эллипса, описываемые в равные времена, равны между собой. В точках своего пути, близких к Солнцу, Земля должна двигаться по орбите быстрее, чем в точках, удаленных от Солнца, иначе площадь, описанная коротким радиус-вектором, не могла бы равняться площади, образованной более длинным радиус-вектором.

Применяя сказанное к нашей воображаемой орбите, заключаем, что в декабре — феврале, когда Земля значительно ближе к Солнцу, она должна двигаться по своей орбите быстрее, чем в июне — августе. Другими словами, зима должна на севере промчаться скоро, лето же, напротив, должно тянуться долго, как бы вознаграждая этим за скупку изливаемую Солнцем теплоту.



◀ **Иллюстрация второго закона Кеплера: если дуги AB , CD и EF пройдены планетой в одинаковые промежутки времени, то заштрихованные площади равны**



◀ Как двигалась бы вокруг Солнца Земля по сильно вытянутому эллипсу (расстояния между соседними точками, отмеченными цифрами, проходятся планетой за равные промежутки времени — за месяц)

На рисунке выше дается более точное представление о продолжительности времен года при наших воображаемых условиях. Эллипс изображает форму новой земной орбиты (с эксцентриситетом 0,5). Числа 1–12 делят путь Земли на части, пробегаемые ею в равные промежутки времени. По закону Кеплера, доли эллипса, на которые он рассекается начерченными в нем радиус-векторами, равны по площади.

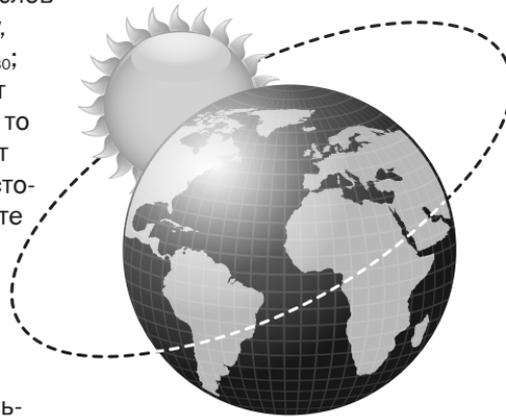
В точке 1 Земля бывает 1 января, в точке 2 — 1 февраля, в точке 3 — 1 марта и т. д. Из чертежа видно, что весеннее равноденствие (A) должно наступить на подобной орбите уже в первых числах февраля, а осеннее (B) — в конце ноября. Значит, зимнее время года длилось бы в Северном полушарии лишь два с небольшим месяца — от конца ноября до начала февраля. Период же долгих дней и высокого полуденного солнца в странах Северного полушария — от весеннего до осеннего равноденствия — охватывал бы более 9,5 месяца.

В Южном полушарии происходило бы обратное. Низкое стояние солнца и короткие дни совпадали бы с удалением от дневного светила и 9-кратным оскудением теплового потока, им изливаемого; высокое же стояние солнца и длинные дни — с 9-кратным усилением солнечного излучения. Зима была бы значительно суровее, чем северная, и длилась бы гораздо дольше ее. Лето, напротив, было бы невыносимо знойное, хотя и короткое.



Отметим еще одно следствие нашего «если бы». В январе быстрое движение Земли по орбите создало бы значительные расхождения (до нескольких часов) между моментами среднего и истинного полудня. Жить по среднему солнечному времени, как мы живем, было бы тогда неудобно.

Мы знаем теперь, в чем может сказаться для нас эксцентрическое положение Солнца в земной орбите: прежде всего в том, что зима Северного полушария должна быть короче и мягче, а лето — длиннее, чем в Южном. Наблюдается ли это в действительности? Безусловно. Земля в январе ближе к Солнцу, чем в июле на $2 \times \frac{1}{60}$, то есть на $\frac{1}{30}$; поэтому количество получаемого от него тепла возрастает в $(\frac{61}{59})^2$ раз, то есть на 6 %. Это несколько смягчает суровость северных зим. С другой стороны, северные осень и зима вместе примерно на восемь суток короче южных; лето Северного полушария вместе с весной на столько же длиннее, чем в Южном. Большое обледенение Южного полюса объясняется, вероятно, этим обстоятельством. Вот точная продолжительность времен года в Северном и Южном полушариях:



Северное полушарие	Продолжительность	Южное полушарие
Весна	92 сут. 19 ч	Осень
Лето	93 сут. 15 ч	Зима
Осень	89 сут. 19 ч	Весна
Зима	89 сут. 0 ч	Лето

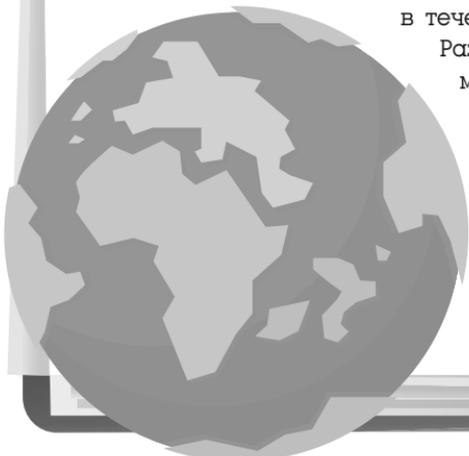


Вы видите, что северное лето длиннее зимы на 4,6 суток, а северная весна длиннее осени на 3 суток. Такое преимущество Северного полушария не будет сохраняться вечно. Большая ось земной орбиты медленно перемещается в пространстве: она переносит наиболее удаленные от Солнца и ближайšie к нему точки земного пути в другие места. Вычислено, что около 10 700 г. н. э. указанное сейчас преимущество Северного полушария Земли перейдет к Южному.

Эксцентриситет земной орбиты тоже не остается неизменным: его величина подвержена медленным вековым колебаниям почти от нуля (0,003), когда орбита Земли превращается почти в круг, до 0,077, когда она получает наибольшую растянутость и уподобляется по форме орбите Марса. В настоящее время ее эксцентриситет находится в периоде убывания. Он будет уменьшаться еще 24 тысячелетия — до 0,003,

затем станет увеличиваться в течение 40 тысячелетий.

Разумеется, что столь медлительные изменения имеют для нас только теоретическое значение.

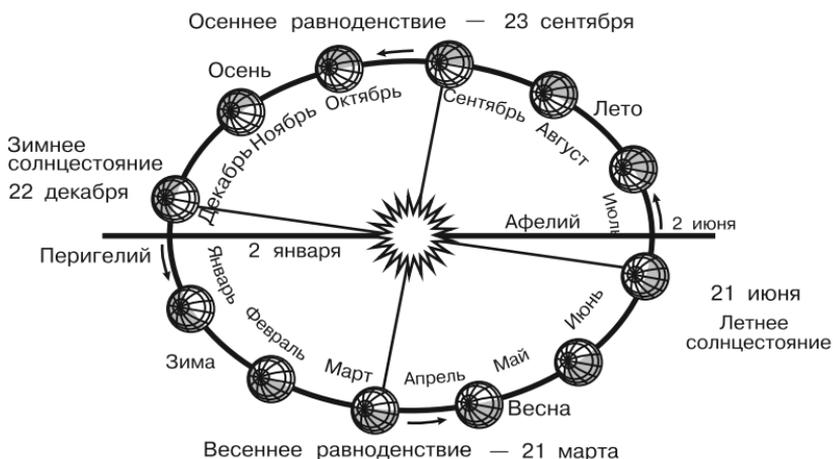


→ Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером?

Если бы Земля двигалась по строго круговой орбите, в центре которой находится Солнце, то ответить на поставленный в заголовке вопрос было бы очень просто: мы ближе к Солнцу в полдень, когда соответствующие точки земной поверхности вследствие вращения Земли вокруг оси выступают по направлению к Солнцу. Наибольшая величина этого приближения к Солнцу была бы для точек экватора 6400 км (длина земного радиуса).

Но орбита Земли — эллипс, а Солнце помещается в его фокусе (см. рисунок ниже). Поэтому Земля бывает то ближе к Солнцу, то дальше от него. В течение одного полугодия (с 1 января по 1 июля) Земля удаляется от Солнца, в течение другого — приближается к нему. Разница между наибольшим и наименьшим расстояниями достигает $2 \times \frac{1}{60} \times 150\,000\,000$, то есть 5 млн км.

В течение суток это расстояние меняется в среднем на 28 000 км. За время от полудня до заката Солнца (четверть суток) расстояние точек земной поверхности от дневного светила успевает измениться в среднем на 7500 км, то есть больше, чем от вращения Земли вокруг оси. Значит, на вопрос, поставленный в заголовке, нужно ответить так: в период с января по июль мы бываем ближе к Солнцу в полдень, а с июля до января — вечером.



▲ Схематическое изображение пути Земли вокруг Солнца

→ На один метр дальше

Земля вращается вокруг

Солнца на расстоянии

150 млн км. Вообрази-

те, что это расстояние

увеличилось на 1 м.

На сколько удлинился

бы при этом путь Земли во-

круг Солнца и на сколько возросла бы от этого продол-

жительность года (принимая во внимание, что скорость

движения Земли по орбите не изменилась)?



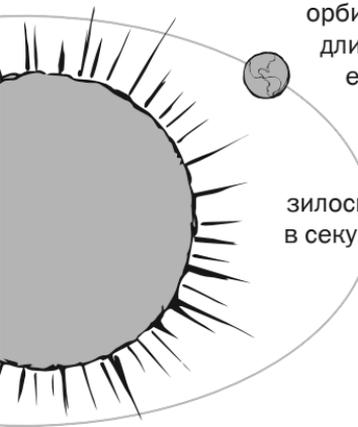
1 м — величина сама по себе небольшая, но, вспоминая об огромном протяжении орбиты Земли, мы склонны думать, что эта незначительная прибавка расстояния должна дать весьма заметную прибавку длины, а следовательно, и продолжительности года.

Однако, выполнив вычисление, мы получаем настолько ничтожный результат, что готовы заподозрить ошибку в выкладках.

Удивляться незначительности разницы не приходится: она и должна быть незначительной. Разность длины двух концентрических окружностей зависит не от величины радиусов этих окружностей, а только от разности этих радиусов. У двух окружностей, начерченных на полу комнаты, она совершенно та же, что и у окружностей космических размеров, если радиусы в обоих случаях разнятся на 1 м. В этом убеждает нас расчет. Если радиус земной орбиты (принимаемой за круг) равен R м, то длина ее равна $2\pi R$. При удлинении радиуса на 1 м новая длина

орбиты будет равна $2\pi(R + 1) = 2\pi R + 2\pi$. Прибавка длины орбиты составляет, как видим, всего 2π , то есть 6,28 м, и не зависит от величины радиуса.

Итак, путь Земли около Солнца при увеличении расстояния на 1 м удлинился бы всего на $6^{1/4}$ м. На длине года это почти не отразилось бы, так как Земля делает по орбите 30 000 м в секунду: год удлинился бы всего на 5000-ю долю секунды — величину, конечно, неощутимую.

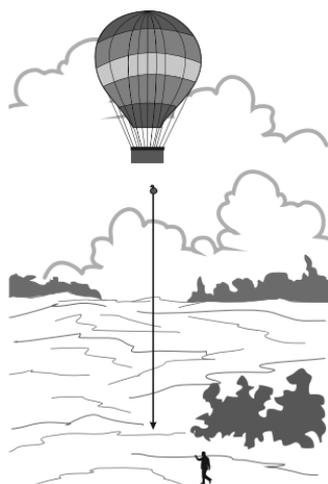
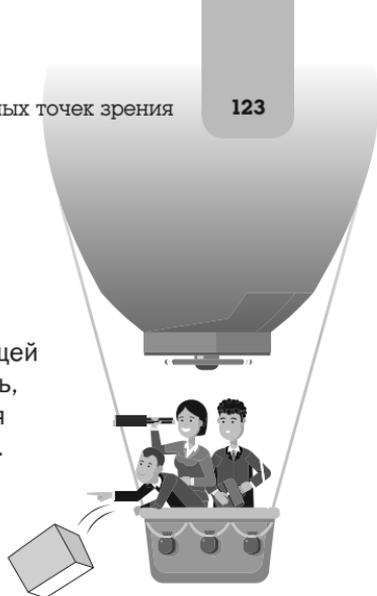


→ С разных точек зрения

Роняя из рук вещь, вы видите ее падающей по отвесной линии, и вам странно думать, что кому-нибудь другому путь ее падения может представиться не прямой линией. А между тем именно так и произойдет для каждого наблюдателя, не участвующего вместе с нами в движении земного шара. Попробуем мысленно взглянуть на падение тела глазами такого наблюдателя.

На рисунке изображен тяжелый предмет, свободно падающий с высоты 500 м. Падая, он участвует одновременно во всех движениях земного шара. Этих привходящих и притом гораздо более быстрых движений падающего тела мы не замечаем потому только, что сами в них участвуем. Освободимся от участия в одном из движений нашей планеты — и увидим то же тело движущимся уже не отвесно вниз, а по совершенно иной линии.

Вообразим, например, что мы следим за падением тела не с земной поверхности, а с Луны. Луна сопутствует Земле в ее движении вокруг Солнца, но не разделяет ее вращательного движения вокруг оси. Поэтому, наблюдая с Луны за падением, мы увидели бы тело, совершающее два движения: одно — отвесно вниз и второе, прежде не замечавшееся, — по касательной к земной поверхности на восток. Оба одновременных движения, конечно, складываются по правилам механики, и так как одно из них (падение) неравномерное, а другое равномерное, то результирующее движение будет происходить по кривой линии. На рисунке



▲ Для земного наблюдателя путь свободно падающего тела — прямая линия

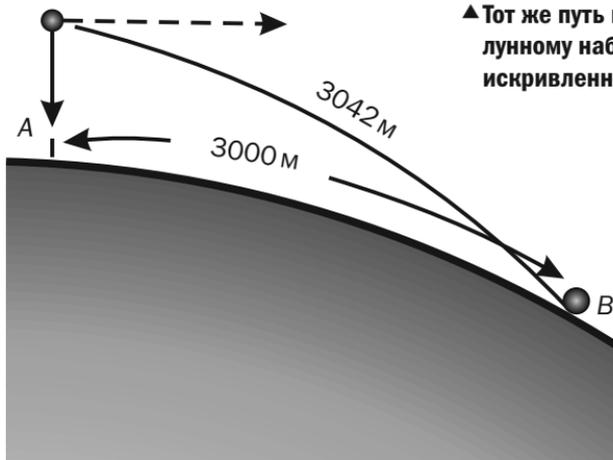
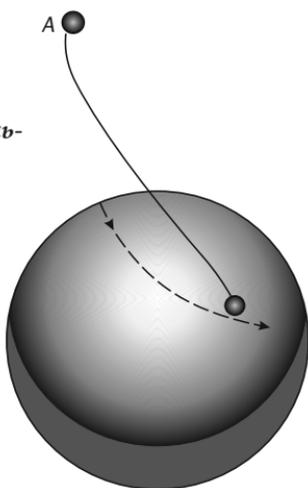


изображена эта кривая: по такому пути двигалось бы падающее на Землю тело для достаточно зоркого наблюдателя, находящегося на Луне. Сделаем еще шаг: перенесемся мысленно на Солнце, захватив с собой сверхмощный телескоп, чтобы следить за падением на Землю тяжелого предмета. Находясь на Солнце, мы не участвуем уже не только во вращении Земли вокруг оси, но и в ее обращении по орбите. Следовательно, с Солнца мы можем

заметить три движения, совершаемые падающим телом одновременно:

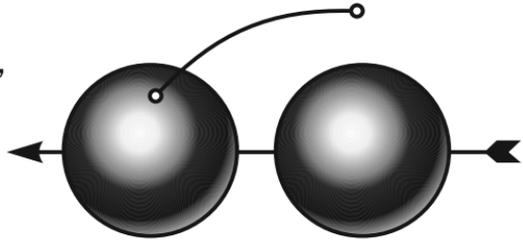
- 1) *отвесное падение к земной поверхности;*
- 2) *движение на восток по касательной к земной поверхности;*
- 3) *движение вокруг Солнца.*

▼ **Тело, свободно падающее на Землю, движется одновременно в направлении касательной к тому круговому пути, который описывают точки земной поверхности вследствие вращения Земли**

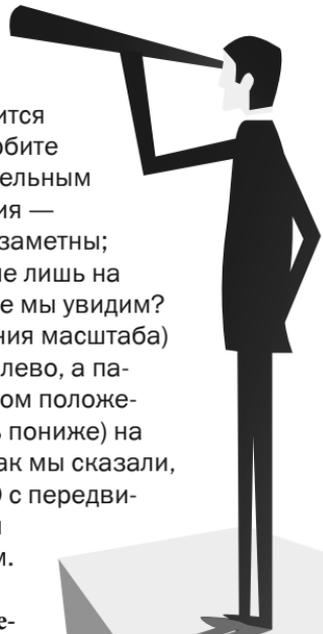


▲ **Тот же путь представляется лунному наблюдателю искривленным**

► **Что видел бы наблюдатель, следящий с Солнца за отвесным падением тела на Землю**



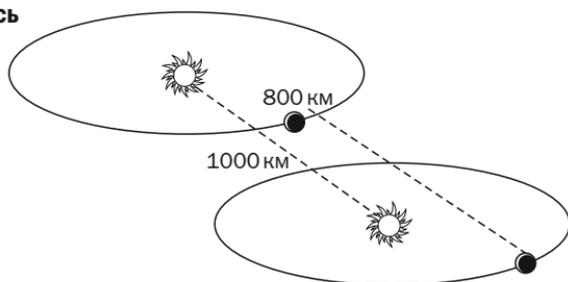
Первое перемещение равно 0,5 км. Второе — за 10 с времени падения тела — равно на широте Москвы $0,3 \times 10 = 3$ км. Третье движение — самое быстрое — 30 км/с. За 10 с, пока длится падение, тело переместится по земной орбите на 300 км. По сравнению со столь значительным перемещением, оба предыдущих движения — $\frac{1}{2}$ км вниз и 3 км в сторону — будут едва заметны; наблюдая с Солнца, мы обратим внимание лишь на самое значительное перемещение. Что же мы увидим? Примерно то, что показано (без соблюдения масштаба) на рисунке выше. Земля переместится налево, а падающее тело — из точки на Земле в правом положении в соответствующую точку (только чуть пониже) на Земле в левом положении. На рисунке, как мы сказали, масштаб не соблюден: центр Земли за 10 с передвинется не на 14 000 км, как изобразил для наглядности художник, а только на 300 км.



Остается сделать еще один шаг: перенестись на какую-нибудь звезду, то есть на отдаленное солнце, освободив себя от участия в движении нашего собственного Солнца. Оттуда мы заметим, что, помимо трех рассмотренных ранее движений, падающее тело совершает еще и четвертое — по отношению к этой звезде. Величина и направление четвертого движения зависят от того, на какую именно звезду мы перенеслись, то есть какое движение совершает вся Солнечная система по отношению к этой звезде.

На рисунке ниже изображен один из возможных случаев, когда Солнечная система движется по отношению к выбранной звезде под острым углом к плоскости земной орбиты со скоростью 100 км/с (скорости такого порядка у звезд наблюдаются и в действительности). Движение это за 10 с перенесет падающее тело на 1000 км по своему направлению и, конечно, еще более усложнит его путь. При наблюдении с другой звезды путь этот имел бы иную величину и иное направление.

► Как представлялось бы падение тела на Землю наблюдателю, следящему за ним с отдаленной звезды



Можно было бы идти и еще дальше: поставить вопрос о том, какой вид имеет путь падающего на Землю тела для наблюдателя, расположенного вне Млечного Пути и не участвующего в быстром движении, которое увлекает нашу звездную систему по отношению к другим островам Вселенной. Но нет нужды забираться так далеко. Читателю ясно теперь, что с каждой новой точки зрения путь одного и того же падающего тела представляется совершенно иным.



→ Неземное время

Вы час работали, час отдыхали. Одинаковы ли оба промежутка времени? Безусловно, одинаковы, если они измерены с помощью хорошо выверенного часового механизма. Какой же часовой механизм мы должны считать верным? Тот, конечно, который проверен астрономическими наблюдениями, иначе говоря, согласован с движением земного шара, вращающегося идеально равномерно: он повертывается на равные углы в строго одинаковые промежутки времени.

Но откуда, собственно говоря, известно, что земной шар вращается равномерно? Почему мы уверены, что два последовательных оборота вокруг оси совершаются нашей планетой в одинаковое время? Проверить это нет возможности до тех пор, пока вращение Земли само служит мерой времени. В последнее время астрономы сочли полезным для некоторых целей этот издавна узаконенный образец равномерного движения временно заменять другим. Изложим поводы и последствия такой замены.

Тщательное изучение небесных движений обнаружило, что некоторые светила в своем движении отступают от теоретически предуганного, и эти отступления нельзя объяснить законами небесной механики.



Такие как бы беспричинные отклонения установлены для Луны, для первого и второго спутников Юпитера, для Меркурия и даже для видимого годового движения Солнца, то есть для движения нашей собственной планеты по ее орбите. Луна, например, уклоняется от теоретического пути на величину, достигающую в некоторые эпохи до $\frac{1}{6}$ минуты дуги, а Солнце — до 1 секунды дуги. Анализ этих неправильностей обнаружил в них общую черту: все движения в некоторый период времени совершались ускоренно, а затем, в следующий период, опять стали замедляться. Естественно, возникает мысль об общей причине, вызывающей такие уклонения. Не кроется ли она в неверности наших природных часов, в неудачном выборе вращения Земли как образца равномерного движения?

Был поставлен вопрос о замене земных часов. Они были временно отвергнуты, и исследуемые движения были измерены другими природными часами, основанными либо на движениях того или другого спутника Юпитера, либо на движениях Луны или Меркурия. Оказалось, что такие замены сразу вносят удовлетворительную правильность в движение названных небесных тел. Зато вращение Земли, измеренное новыми часами, представляется уже неравномерным: оно то немного замедляется в течение десятков лет, то в следующий ряд десятилетий ускоряется, чтобы затем начать замедляться.



В 1897 г. сутки были на 0,0035 с длиннее, чем в предшествовавшие годы, а в 1918 г. на столько же короче, чем в промежутке. Нынешние сутки примерно на 0,002 с длиннее, чем 100 лет назад. В этом смысле мы можем сказать, что наша планета вращается неравномерно по отношению к некоторым другим ее движениям, а также к движениям, совершающимся в нашей планетной системе и условно принимаемым за движения равномерные.

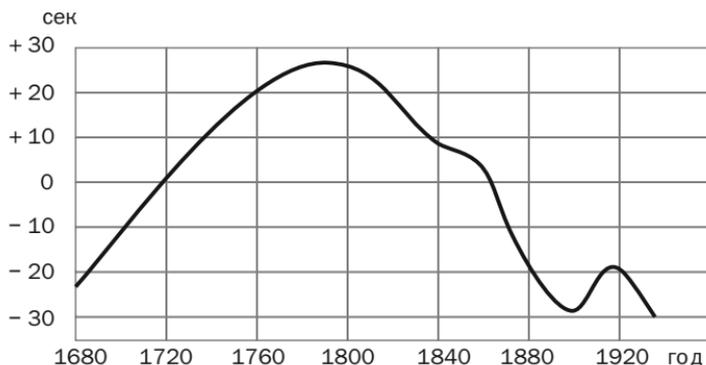


Размер уклонений Земли от строго равномерного (в указанном смысле) вращения весьма невелик: в течение целого столетия от 1680 до 1780 г.

Земля вращалась замедленно, сутки удлиннялись, и наша планета накопила около 30 с разницы между своим и чужим временем. Затем до начала XIX в. сутки укорачивались, а в первые

же 20 лет XX в. движение Земли снова замедлялось, сутки опять стали удлинняться, а затем вновь стали укорачиваться (см. график).

Предполагаемые причины этих изменений могут быть различными: лунные приливы, изменение диаметра земного шара¹ и т. п. Здесь возможны важные открытия в будущем, когда явление это получит всестороннее освещение.



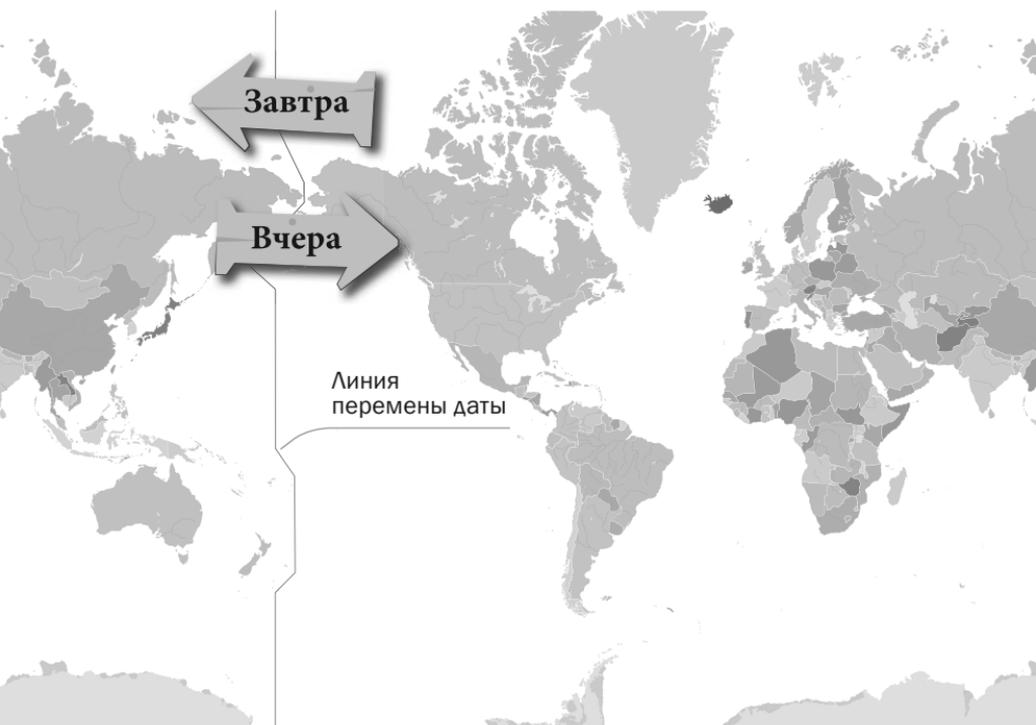
▲ **Кривая поправок, которые надо прибавить к моментам среднего времени, чтобы скомпенсировать влияние колебаний вращения Земли (по Спенсеру Джонсу). Подъемы кривой соответствуют удлинению суток, то есть замедлению вращения Земли; понижения — ускорению вращения**

¹ Изменение длины земного диаметра может ускользать от непосредственных измерений, так как величина эта известна лишь с точностью до 100 м. Между тем удлинения или укорочения земного диаметра на несколько метров уже достаточно было бы, чтобы вызвать те изменения продолжительности суток, о которых шла речь.

→ Где начинаются месяцы и годы?

В Москве пробило двенадцать — наступило 1 января. На запад от Москвы простирается еще 31 декабря, а на восток — 1 января. Но на шарообразной Земле восток и запад неизбежно должны встретиться, значит, где-то должна существовать граница, отделяющая 1-е число от 31-го, январь от декабря, наступивший год от предыдущего. Граница эта существует и называется линией перемены даты. Она проходит через Берингов пролив и тянется по водам Тихого океана приблизительно вдоль меридиана 180° . Ее точное положение определяется международным соглашением.

На этой воображаемой линии, пересекающей безлюдные просторы Тихого океана, совершается впервые на земном шаре смена чисел, месяцев, лет. Здесь как бы помещаются входные двери нашего календаря. Здесь раньше, чем где бы то ни было, наступает каждый новый день месяца. Родившись, он бежит на запад, обегает земной шар и снова возвращается к месту рождения, чтобы исчезнуть.



Россия раньше других стран мира встречает на своей территории новый день месяца: на мысе Дежнёва каждое число месяца, только что родившееся в водах Берингова пролива, вступает в населенный мир, чтобы начать свое шествие через все части света. И здесь же, у восточной оконечности Азии, дни кончаются, исполнив свою 24-часовую службу.

Итак, смена дней происходит на линии перемены даты. Первые кругосветные путешественники не знали о наличии этой линии и сбились в счете дней. Вот подлинный рассказ А. Пигафетты, спутника Магеллана в его кругосветном путешествии:

«19 июля, в среду, мы увидели острова Зелёного мыса и стали на якорь. Чтобы узнать, правильно ли мы вели наши корабельные журналы, велели спросить на берегу, какой сегодня день недели. Ответили, что четверг. Это нас удивило, потому что по нашим журналам была только среда. Нам казалось невозможным, что мы все ошиблись на один день...

Впоследствии мы узнали, что в нашем исчислении не было ни малейшей ошибки: плывя постоянно к западу, мы следовали движению Солнца и, возвратившись в тот же пункт, должны были выгадать 24 ч по сравнению с оставшимися на месте. Нужно только подумать над этим, чтобы согласиться».



Как же поступают теперь мореплаватели, когда пересекают линию даты? Чтобы не сбиваться в счете дней, моряки пропускают один день, если идут с востока на запад; когда же пересекают линию даты с запада на восток, то считают один и тот же день дважды, то есть после 1-го числа опять считают 1-е. Вот почему невозможно в действительности история, рассказанная Ж. Верном в романе «Вокруг света за 80 дней», где путешественник, объехавший вокруг света, «привез» на родину воскресенье, когда там был еще только предшествующий день — суббота. Это могло произойти лишь в эпоху Магеллана, потому что тогда не было еще соглашения о линии перемены даты.

Невозможны в наши дни и приключения вроде того, о котором рассказал Э. По в шутке «Три воскресенья на одной неделе»: моряк, объехавший Землю с востока на запад, встретился на родине с другим, совершившим кругосветное плавание в обратном направлении. Один утверждал, что воскресенье было вчера, другой — что оно будет завтра, а их приятель, никуда не отправлявшийся, объявил, что воскресенье — сегодня.



Чтобы при кругосветном путешествии не было расхождения с календарем, следует, двигаясь на восток, как бы приостанавливаться немного в счете дней, давая Солнцу себя догнать, то есть считать одни и те же сутки дважды. При движении же на запад надо, напротив, пропустить одни сутки, чтобы не отстать от Солнца.

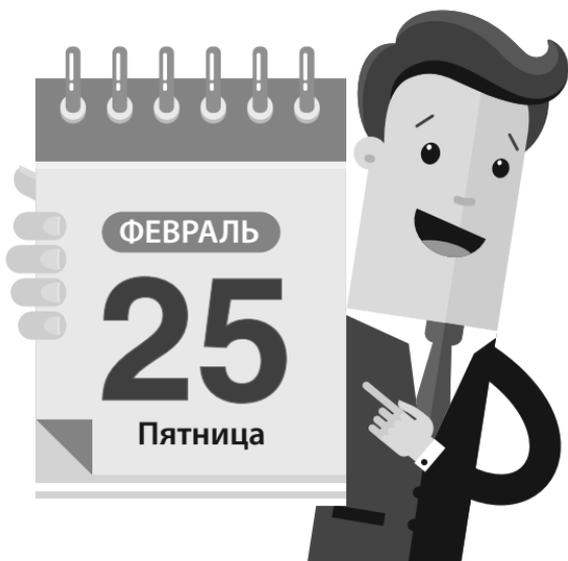
→ Сколько пятниц в феврале?

Какое наибольшее и какое наименьшее число пятниц возможно в феврале?

Обычно отвечают, что наибольшее число пятниц в феврале — пять, наименьшее — четыре. Безусловно, верно, что если первое февраля високосного года попадает на пятницу, то и 29-е число тоже придется на пятницу. Тогда всех пятниц окажется пять. Однако можно насчитать и вдвое больше пятниц в течение одного февраля.

Представьте корабль, совершающий рейсы между восточным берегом Сибири и Аляской. Он регулярно покидает азиатский берег каждую пятницу. Сколько насчитает капитан этого корабля пятниц в феврале такого високосного года, в котором 1-е число пришлось на пятницу? Так как он пересекает линию даты с запада на восток и делает это в пятницу, то будет иметь еженедельно по две пятницы кряду, а всех пятниц насчитает десять. Напротив, капитан, покидающий берега Аляски каждый четверг и идущий к берегам Сибири, будет в счете дней пропускать пятницу. В итоге за весь месяц он ни разу не увидит на своем календаре пятницу.

Итак, вот правильный ответ на вопрос задачи: наибольшее число пятниц, возможных в феврале, — десять, наименьшее — нуль.



→ Молодой или старый месяц?

Видя на небе неполный диск Луны, не всякий безошибочно определит, молодой это месяц или он уже на ущербе. Узкий серп недавно родившегося месяца и серп старой Луны различаются только тем, что обращены выпуклостью в противоположные стороны. В Северном полушарии молодой месяц всегда направлен выпуклой стороной вправо, а старый — влево. Как запомнить надежно и безошибочно, куда какой месяц смотрит?

Позволю себе предложить такую примету. По сходству серпа или полумесяца с буквами Р или С легко определить, **Р**астущий перед нами месяц (то есть молодой) или **С**тарый.



Мнемоническая примета имеется и у французов. Они советуют мысленно приставлять к рогам полумесяца прямую линию — получатся латинские буквы *d* или *p*. Буква *d* — начальная в слове *dernier* (последний) — указывает на последнюю четверть, то есть старый месяц. Буква *p* — начальная в слове *premier* (первый) — указывает, что Луна в фазе первой четверти, то есть молодая. У немцев тоже существует правило, связывающее форму Луны с определенными буквами. Этими правилами можно пользоваться только в Северном полушарии Земли.



Для Австралии смысл будет обратным. Но и в Северном полушарии, а именно в южных широтах, они могут оказаться неприменимыми. В Крыму и Закавказье серп и полумесяц сильно клонятся набок, а еще южнее они совсем ложатся. Близ экватора висящий на горизонте серп Луны кажется либо гондолой, качающейся на волнах («челнок Луны» арабских сказок), либо светлой аркой. Здесь не годятся ни русская, ни французская приметы — из лежачей дужки можно сделать по желанию обе пары букв: P и C, p и d.

Чтобы в этом случае не ошибиться в возрасте Луны, надо обратиться к астрономическим признакам: молодой месяц виден вечером в западной части неба, а старый — поутру в восточной.



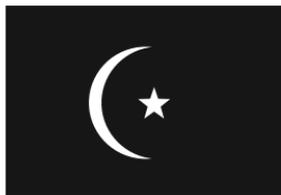
→ Луна на флагах

На рисунке перед вами — флаг Турции (прежний). На нем имеется изображение лунного серпа и звезды. Это наводит нас на следующие вопросы.

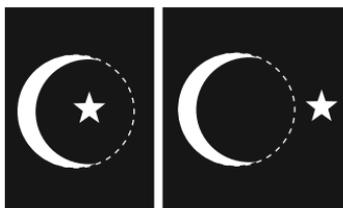
1. *Серп какого месяца изображен на флаге — молодого или старого?*
2. *Могут ли лунный серп и звезда наблюдаться на небе в том виде, в каком они показаны на флаге?*

1. Вспомнив указанную в статье выше примету и приняв во внимание, что флаг принадлежит стране Северного полушария, устанавливаем, что месяц на флаге старый.

2. Звезда не может быть видна внутри диска Луны, дополнительно до круга. Все небесные светила гораздо дальше Луны и, следовательно, должны ею заслоняться. Их можно видеть только за краем неосвещенной части Луны.



▲ Прежний флаг Турции



▲ Почему звезда не может быть видна между рогами месяца

Любопытно, что на современном флаге Турции, содержащем изображение лунного серпа и звезды, звезда отодвинута от серпа именно так, как того требуют астрономические законы.

► Современный флаг Турции

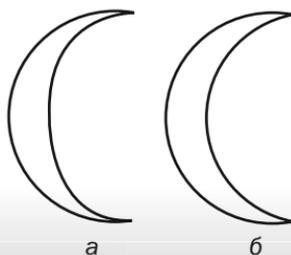


→ Загадки лунных фаз

Луна получает свой свет от Солнца, поэтому выпуклая сторона лунных серпов должна быть, разумеется, обращена к Солнцу. Художники частенько об этом забывают. На выставках картин не редкость увидеть ландшафт с полумесяцем, обращенным к Солнцу прямой стороной. Также попадаетея лунный серп, повернутый к Солнцу рогами.

Надо, впрочем, заметить, что правильно нарисовать молодой месяц не так просто, как кажется. Даже опытные художники рисуют наружную и внутреннюю дуги лунного серпа в форме полукругов (рис. б). Между тем полукруглую форму имеет только наружная дуга, внутренняя же представляет собой полуэллипс, потому что это полукруг (граница освещенной части), видимый в перспективе (рис. а).

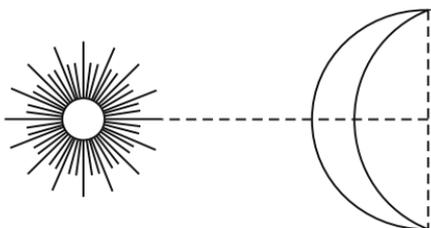
► Как надо (а) и как не надо (б)
изображать лунный серп



▼ На ландшафте допущена
астрономическая ошибка



Нелегко дать лунному серпу и правильное положение на небе. Полумесяц и лунный серп нередко располагаются по отношению к Солнцу довольно озадачивающим образом. Кажалось бы, раз Луна освещается Солнцем, то прямая линия, соединяющая концы месяца, должна составлять прямой угол с лучом, идущим от Солнца к ее середине.

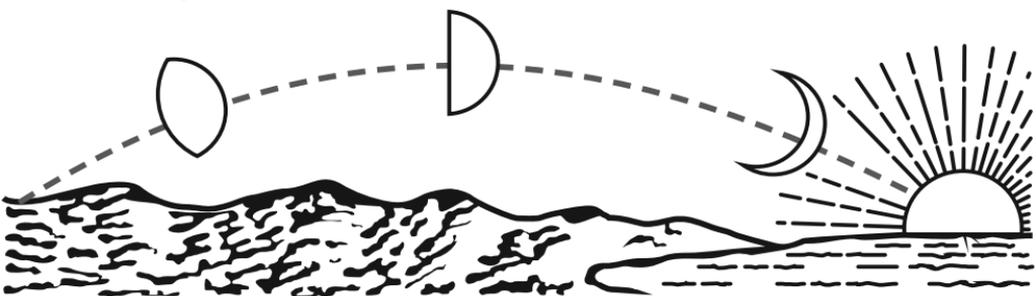


▲ **Положение лунного серпа относительно Солнца**

Иначе говоря, центр Солнца должен находиться на перпендикуляре, проведенном через середину прямой, соединяющей концы месяца. Однако правило это соблюдается только для узкого серпа, расположенного неподалеку от Солнца. На рисунке ниже показано положение месяца в разных фазах относительно лучей Солнца. Впечатление получается такое, словно лучи Солнца искривляются, прежде чем достичь Луны.

Разгадка кроется в следующем. Луч, идущий от Солнца к Луне, в действительности перпендикулярен к линии, соединяющей концы месяца, и в пространстве представляет собой прямую линию. Но глаз наш рисует на небе не эту прямую, а ее проекцию на вогнутый небесный свод, то есть кривую линию. Вот почему нам представляется, что Луна на небе повешена неправильно. Художник должен изучить эти особенности и уметь переносить их на полотно.

▼ **В каком положении относительно Солнца мы видим Луну в разных фазах**



→ Двойная планета

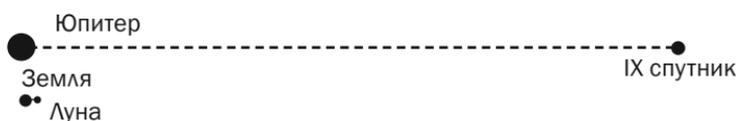
Двойная планета — это Земля с Луной. Они имеют право на это название потому, что наш спутник выделяется среди спутников других планет значительной величиной и массой по отношению к своей центральной планете. В Солнечной системе есть спутники более крупные и более тяжелые, но, по сравнению со своей центральной планетой, они гораздо мельче, чем Луна по отношению к Земле.

В самом деле, поперечник Луны больше четверти земного, а поперечник самого крупного спутника других планет составляет только десятую долю поперечника своей планеты (Тритон — спутник Нептуна). Далее, масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли. Между тем масса самого тяжелого из спутников, какой существует в Солнечной системе, — III спутника Юпитера — менее десятитысячной доли массы своей центральной планеты.



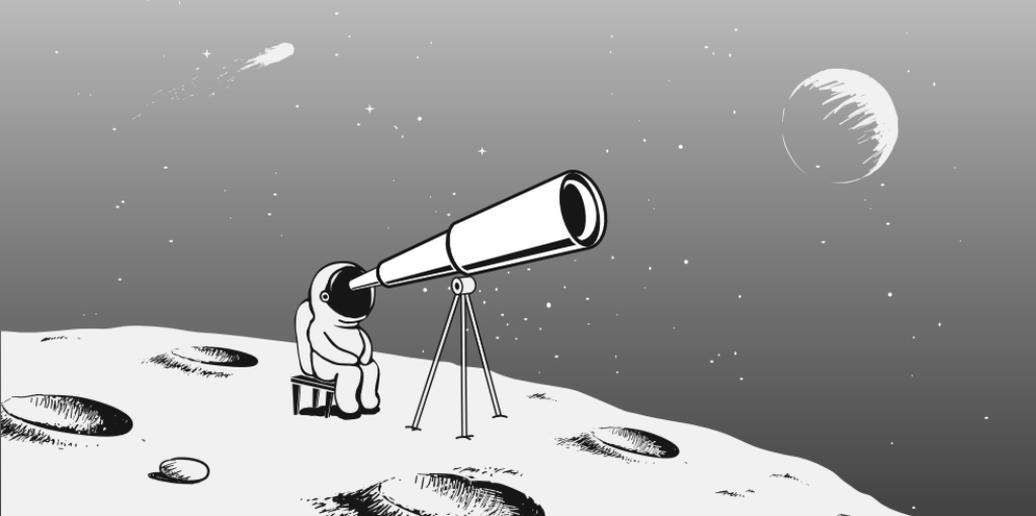
Какую долю от массы центральной планеты составляет масса крупных спутников, показывает данная табличка. Из этого сопоставления вы видите, что наша Луна по своей массе составляет самую крупную долю своей центральной планеты.

Планета	Ее спутник	Масса (в долях массы планеты)
Земля	Луна	0,0123
Юпитер	Ганимед	0,00008
Сатурн	Титан	0,00021
Уран	Титания	0,00003
Нептун	Тритон	0,00129



▲ Система Земля — Луна по сравнению с системой Юпитера (размеры самих небесных тел показаны без соблюдения масштаба)

Третье, что дает системе Земля — Луна право претендовать на звание «двойной планеты», — это тесная близость обоих небесных тел. Многие спутники других планет обращаются на гораздо больших расстояниях: некоторые спутники Юпитера (например, девятый) вращаются на расстоянии в 65 раз дальше. В связи с этим находится тот любопытный факт, что путь, описываемый Луной вокруг Солнца, очень мало отличается от пути Земли. Это покажется невероятным, если вспомнить, что Луна движется вокруг Земли на расстоянии почти 400 000 км. Не забудем, однако, что пока Луна совершает один оборот вокруг Земли, сама Земля успевает перенестись вместе с нею примерно на тринадцатую долю своего годового пути, то есть на 70 млн км. Представьте же себе круговой путь Луны — 2,5 млн км — растянутым вдоль расстояния, которое в 30 раз больше. Что останется от его круговой формы? Ничего. Вот почему путь Луны около Солнца почти сливается с орбитой Земли, уклоняясь от нее лишь тринадцатью едва заметными выступами. Можно доказать несложным расчетом (которым мы не станем здесь обременять изложения), что путь Луны при этом всюду обращен к Солнцу своей вогнутостью. Грубо говоря, он



по виду похож на выпуклый тринадцатигульник с мягко округленными углами.

На рисунке ниже вы видите точное изображение путей Земли и Луны в течение месяца.

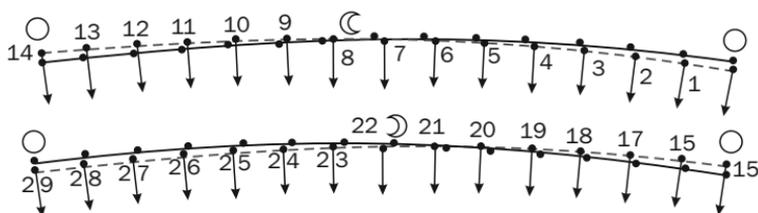
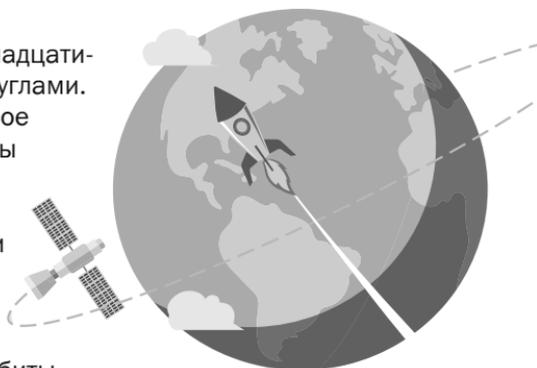
Пунктирная линия — путь Земли, сплошная — путь Луны. Они так близки друг к другу, что для раздельного их изображения пришлось взять очень крупный масштаб

чертежа: поперечник земной орбиты

здесь равен 0,5 м. Если бы взять для него 10 см,

то наибольшее расстояние на чертеже между обоими путями было бы меньше толщины изображающих их линий.

Смотря на этот чертеж, вы наглядно убеждаетесь, что Земля и Луна движутся вокруг Солнца почти по одному и тому же пути и что наименование двойной планеты присвоено им астрономами вполне справедливо.



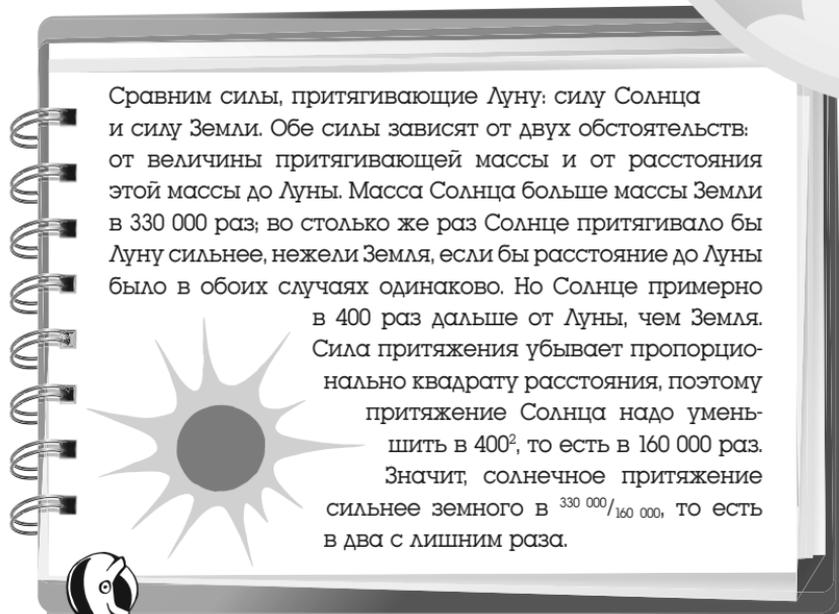
▲ Месячный путь Луны (сплошная линия) и Земли (пунктир) вокруг Солнца

Для наблюдателя, помещенного на Солнце, путь Луны представился бы слегка волнистой линией, почти совпадающей с орбитой Земли. Это нисколько не противоречит тому, что по отношению к Земле Луна движется по небольшому эллипсу. Причина, конечно, в том, что, глядя с Земли, мы не замечаем переносного движения Луны вместе с Землей по земной орбите, так как сами в нем участвуем.

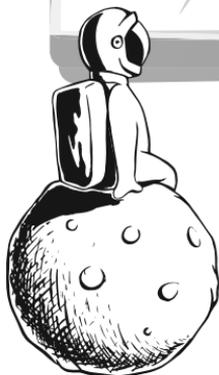
→ Почему Луна не падает на Солнце?

Вопрос может показаться наивным. С какой стати Луне падать на Солнце? Ведь Земля притягивает ее сильнее далекого Солнца и, естественно, заставляет обращаться вокруг себя. Читатели, так думающие, будут удивлены, узнав, что дело обстоит как раз наоборот: Луна сильнее притягивается Солнцем, а не Землей!

Что это действительно так, показывает расчет.



Сравним силы, притягивающие Луну: силу Солнца и силу Земли. Обе силы зависят от двух обстоятельств: от величины притягивающей массы и от расстояния этой массы до Луны. Масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз; во столько же раз Солнце притягивало бы Луну сильнее, нежели Земля, если бы расстояние до Луны было в обоих случаях одинаково. Но Солнце примерно в 400 раз дальше от Луны, чем Земля. Сила притяжения убывает пропорционально квадрату расстояния, поэтому притяжение Солнца надо уменьшить в 400^2 , то есть в 160 000 раз. Значит, солнечное притяжение сильнее земного в $\frac{330\,000}{160\,000}$, то есть в два с лишним раза.

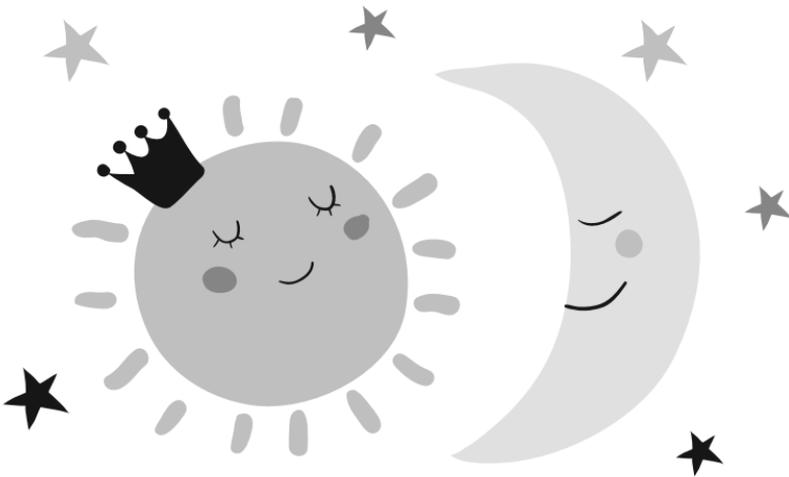


Итак, Луна притягивается Солнцем вдвое сильнее, чем Землей. Почему же тогда, в самом деле, Луна не обрушивается на Солнце? Почему Земля все же заставляет Луну обращаться вокруг нее, а не берет верх действие Солнца?



Луна не падает на Солнце по той же причине, по какой не падает на него Земля. Луна обращается около Солнца вместе с Землей, и притягательное действие Солнца расходуется без остатка на то, чтобы постоянно переводить оба эти тела с прямого пути на искривленную орбиту, то есть превращать прямолинейное движение в криволинейное.

У иных читателей, может быть, осталось некоторое сомнение. Как же это все-таки выходит? Земля тянет Луну к себе. Солнце тянет Луну с большей силой, а Луна, вместо того чтобы падать на Солнце, кружится около Земли? Это, действительно, было бы странно, если бы Солнце притягивало к себе только Луну. Но оно притягивает Луну вместе с Землей, всю «двойную планету», и, так сказать, не вмешивается во внутренние отношения членов этой пары между собой. Строго говоря, к Солнцу притягивается общий центр тяжести системы Земля — Луна.



Этот центр (называемый барицентром) и обращается вокруг Солнца под действием солнечного притяжения. Он находится на расстоянии $\frac{2}{3}$ земного радиуса от центра Земли по направлению к Луне. Луна и центр Земли обращаются вокруг барицентра, совершая один оборот в течение месяца.

→ Видимая и невидимая стороны Луны

Среди эффектов, доставляемых стереоскопом, ничто не поражает так, как вид Луны. Здесь воочию видишь, что Луна действительно шарообразна, между тем как на подлинном небе она кажется плоской, как чайный поднос.

Но многие даже не подозревают, насколько трудно получить подобную стереоскопическую фотографию нашего спутника. Для ее изготовления надо быть хорошо знакомым с особенностями капризных движений ночного светила. Дело в том, что Луна обходит Землю так, что обращена к ней все время

одной и той же стороной. Обегая

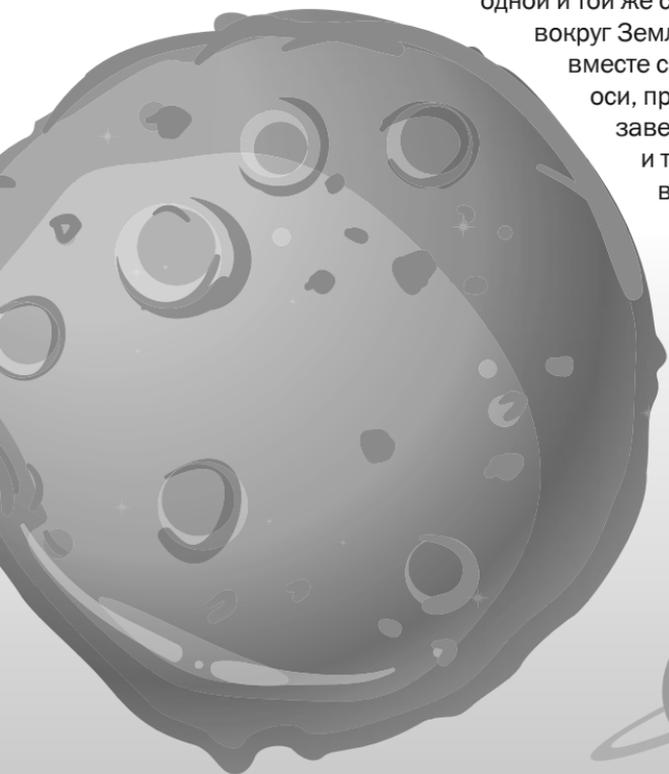
вокруг Земли, Луна вращается вместе с тем и вокруг своей

оси, причем оба движения завершаются в один

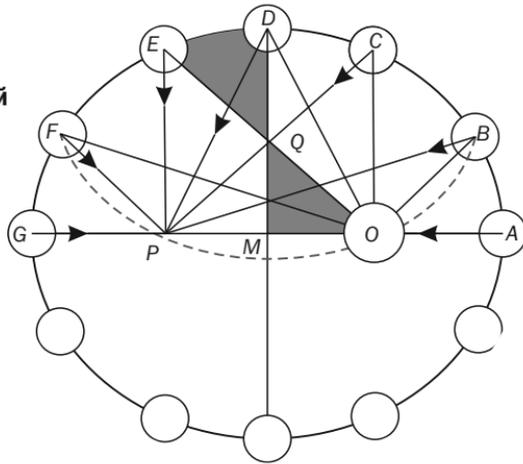
и тот же промежуток времени.

На рисунке справа вы видите эллипс, который должен наглядно изображать орбиту Луны.

Чертеж намеренно усиливает вытянутость лунного эллипса. На самом деле эксцентриситет



► Как Луна движется
вокруг Земли по своей
орбите



лунной орбиты 0,055, или $\frac{1}{18}$. Представить точно на маленьком чертеже лунную орбиту так, чтобы глаз отличил ее от круга, невозможно: при величине большой полуоси даже в целый метр малая полуось была бы короче ее всего на 1 мм; Земля отстояла бы от центра только на 5,5 см. Чтобы легче было понять дальнейшее объяснение, на рисунке начерчен более вытянутый эллипс.

Итак, вообразите, что эллипс, представленный на рисунке, есть путь Луны вокруг Земли. Земля помещена в точке O — одном из фокусов эллипса. Законы Кеплера относятся не только к движениям планет вокруг Солнца, но и к движениям спутников вокруг центральных планет, в частности к обращению Луны. Согласно второму закону Кеплера, Луна за четверть месяца проходит такой путь AE , что площадь $OABCDE$ равняется $\frac{1}{4}$ площади эллипса, то есть площади $MABCD$ (равенство площадей OAE и MAD на нашем чертеже подтверждается



приблизительным равенством площадей MOQ и EQD).

За четверть месяца Луна проходит путь от A до E . Вращение же Луны, как и вообще вращение планет, в отличие от их обращения вокруг Солнца, происходит равномерно: за $\frac{1}{4}$ месяца она поворачивается ровно на 90° .

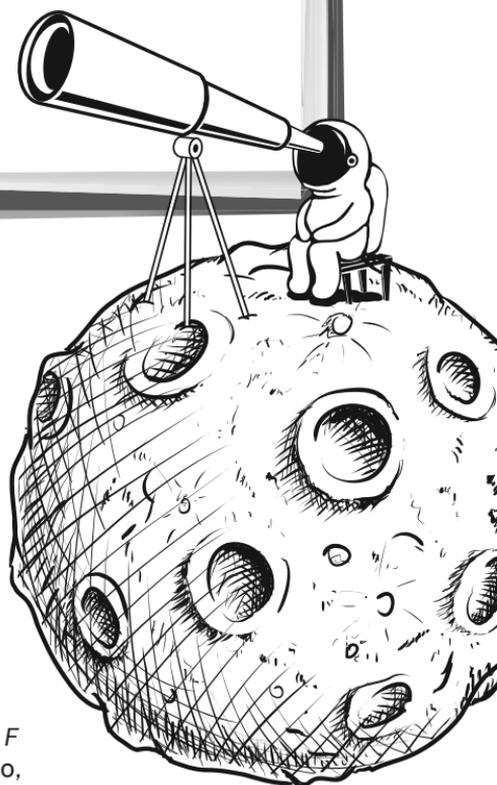
Поэтому, когда Луна оказывается в точке E , радиус Луны, обращенный к Земле в точке A ,

описывает дугу в 90° и будет направлен не к точке M , а к некоторой другой точке, левее M , неподалеку от другого фокуса P лунной орбиты. Оттого, что Луна чуть отвернет свое лицо от земного наблюдателя, он сможет увидеть с правой стороны узкую полоску прежде невидимой ее половины. В точке F Луна показывает земному наблюдателю уже более узкую полоску своей обычно невидимой стороны, потому что угол OFF меньше угла OEP . В точке G — апогее орбиты — Луна занимает такое же положение по отношению к Земле, как и в перигее A . При дальнейшем движении Луна отворачивается от Земли уже в противоположную сторону, показывая нашей планете другую полоску своей невидимой стороны: полоска эта сначала расширяется, потом сужается, и в точке A Луна занимает прежнее положение.



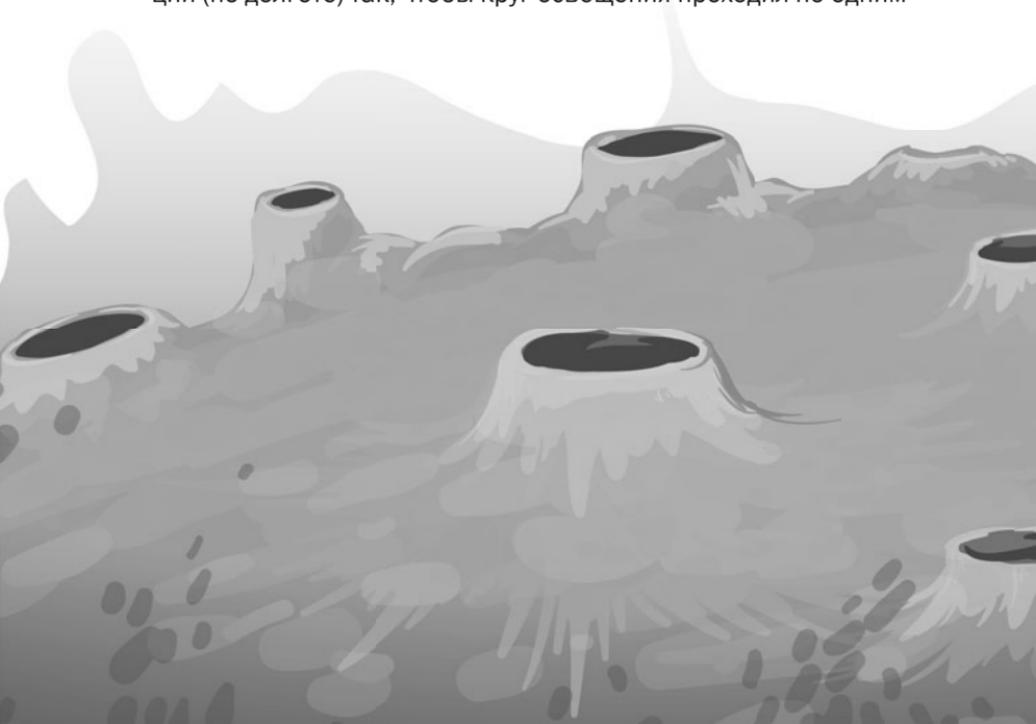
Мы убедились, что вследствие эллиптической формы лунного пути наш спутник обращен к Земле не строго одной и той же своей половиной. Луна неизменно обращена одной и той же стороной не к Земле, а к другому фокусу своей орбиты. Для нас же она покачивается около среднего положения наподобие весов. Отсюда и астрономическое наименование этого покачивания: либрация — от латинского слова *libra*, что значит «весы». Величина либрации в каждой точке измеряется соответствующим углом, например в точке *E* либрация равна углу *OEP*.

Интересно проследить за тем, как нарастает и убывает угол либрации с передвижением Луны по орбите. Поставим в *D* острие циркуля и опишем дугу, проходящую через фокусы *O* и *P*. Она пересечет орбиту в точках *B* и *F*. Углы *OBP* и *OPF* как вписанные равны половине центрального угла *ODP*. Отсюда выводим, что при движении Луны от *A* до *D* либрация растет сначала быстро, в точке *B* достигает половины максимальной, затем продолжает нарастать медленно; на пути от *D* до *F* либрация убывает сначала медленно, потом быстро. На второй половине эллипса либрация меняет свою величину тем же темпом, но в обратную сторону (величина либрации в каждой точке орбиты приблизительно пропорциональна расстоянию Луны от большой оси эллипса).



То покачивание Луны, которое мы сейчас рассмотрели, называется либрацией по долготе. Спутник наш подвержен еще и другой либрации — по широте. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости экватора Луны на $6,5^\circ$. Поэтому мы видим Луну с Земли в одних случаях чуть с юга, в других — с севера, заглядывая немного в «невидимую» половину Луны через ее полюсы. Эта либрация по широте достигает $6,5^\circ$.

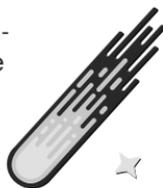
Объясним теперь, как пользуется астроном-фотограф описанными легкими покачиваниями Луны около среднего положения, чтобы получить ее стереоскопические снимки. Читатель догадывается, вероятно, что для этого надо подстеречь два таких положения Луны, при которых в одном она была бы повернута по отношению к другому на достаточный угол (для получения стереоскопических снимков достаточен поворот Луны на 1°). В точках *A* и *B*, *B* и *C*, *C* и *D* и т. д. Луна занимает настолько различные по отношению к Земле положения, что стереоскопические снимки возможны. Но здесь перед нами новое затруднение: в этих положениях разница в возрасте Луны (1,5–2 суток) чересчур велика, так что полоска лунной поверхности возле круга освещения на одном снимке уже выходит из тени. Это для стереоскопических снимков недопустимо (полоска будет блестять, как серебряная). Возникает трудная задача: подстеречь одинаковые фазы Луны, которые отличаются величиной либрации (по долготе) так, чтобы круг освещения проходил по одним



и тем же деталям лунной поверхности. Но и этого недостаточно: в обоих положениях должны быть еще одинаковые либрации по широте.

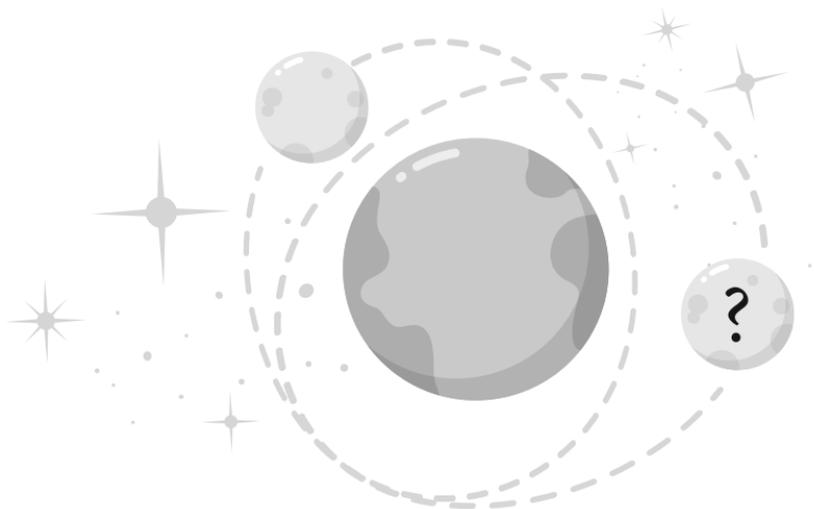
Наш читатель едва ли станет изготавливать лунные стереофотографии. Способ их получения объяснен здесь, конечно, не с практической целью, а лишь для того, чтобы ради него рассмотреть особенности лунного движения, дающие астрономам возможность увидеть небольшую полоску обычно недоступной наблюдателю стороны нашего спутника. Благодаря обоим лунным либрациям мы видим в общем не половину всей лунной поверхности, а 59 %. Недоступным нашему зрению остается 41 %. Как устроена эта часть поверхности Луны, никто не знает, можно лишь догадываться, что она ничем не отличается от видимой. Неоднократно делались остроумные попытки, продолжив обратно части лунных хребтов и светлые полосы, переходящие с невидимой части Луны на видимую, набросать некоторые подробности недоступной нам половины¹.

¹ Все это продолжалось до тех пор, пока в результате запуска 4 октября 1959 г. автоматической межпланетной станции «Луна-3» не были получены фотографии обратной стороны Луны (прим. ред.).



→ Вторая Луна и луна Луны

В печати время от времени появляются сообщения, что тому или иному наблюдателю удалось видеть второй спутник Земли, вторую Луну.



Вопрос о существовании второго спутника Земли не нов. Он имеет под собой длинную историю. Кто читал роман Ж. Верна «Из пушки на Луну», тот, вероятно, помнит, что уже там упоминается о второй Луне. Она так мала и скорость ее так велика, что жители Земли наблюдать ее не могут. «Французский астроном Пти, — говорит Ж. Верн, — заподозрил ее существование и определил период ее обращения вокруг Земли в 3 ч 20 мин. Расстояние ее от поверхности Земли равно 8140 км». Любопытно, что английский журнал «Знание» в статье об астрономии у Ж. Верна считает ссылку на Пти и самого Пти вымышленными. Ни в одной энциклопедии об этом астрономе действительно не упоминается. И все-таки сообщение романиста не вымышлено.

Директор Тулузской обсерватории Пти действительно отстаивал существование второй Луны — метеорита с периодом обращения 3 ч 20 мин, вращающегося, правда, не в 8000, а в 5000 км от земной поверхности. На тот момент это мнение разделяли лишь немногие астрономы, а впоследствии о нем и вовсе забыли.

Теоретически в допущении существования второго спутника Земли нет ничего противонаучного. Но подобное небесное тело должно было бы наблюдаться не только в те редкие моменты, когда оно проходит (кажущимся образом) по диску Луны или Солнца. Даже если оно обращается так близко к Земле, что должно при каждом обороте погружаться в широкую земную тень, то и в таком случае можно было бы его видеть на утреннем и вечернем небе сияющим яркой звездой в лучах Солнца. Быстрым движением и частыми вращениями звезда эта привлекла бы к себе внимание многих наблюдателей. В моменты полного солнечного затмения вторая Луна также не ускользнула бы от взора астрономов. Словом, если бы Земля действительно обладала вторым спутником, его случалось бы наблюдать довольно часто. Между тем наблюдений не было ни одного.

Наряду с проблемой второй Луны ставился также вопрос о том, нет ли у нашей Луны своего маленького спутника — «луны Луны». Непосредственно удостовериться в существовании подобного лунного спутника очень трудно. Астроном Ф. Мультион высказал об этом следующие соображения:

«Когда Луна светит полным светом, ее свет или свет Солнца не позволяют различить в соседстве с нею очень маленькое тело. Только в моменты лунных затмений спутник Луны мог бы освещаться Солнцем, в то время как соседние участки неба были бы свободны от влияния рассеянного света Луны. Таким образом, лишь во время лунных затмений можно было бы надеяться открыть небольшое тело, обращающееся около Луны. Такого рода исследования уже производились, но реальных результатов не дали.»



→ Почему на Луне нет атмосферы?

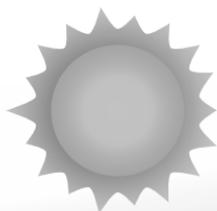
Вопрос этот принадлежит к тем, которые уясняются, если сначала их, так сказать, перевернуть. Прежде чем говорить о том, почему Луна не удерживает вокруг себя атмосферу, поставим вопрос: почему удерживается атмосфера вокруг нашей собственной планеты?

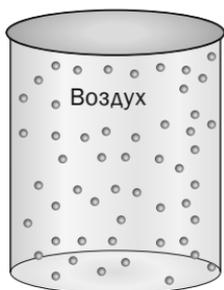
Вспомним, что воздух, как и всякий газ, представляет хаос не связанных между собой молекул, стремительно движущихся в различных направлениях. Средняя их скорость при температуре 0 °C — около 0,5 км/с (скорость ружейной пули). Почему же они не разлетаются в мировое пространство? По той же причине, по какой не улетает в мировое пространство и ружейная пуля. Истощив энергию своего движения на преодоление силы тяжести, молекулы падают обратно на Землю. Вообразите близ земной поверхности молекулу, летящую отвесно вверх со скоростью 0,5 км/с. Как высоко она может взлететь? Нетрудно вычислить: скорость v , высота подъема h и ускорение силы тяжести g связаны следующей формулой:

$$v^2 = 2gh.$$

Подставим вместо v его значение — 500 м/с, вместо g — 10 м/с², имеем $250\,000 = 20h$, откуда $h = 12\,500$ м, или 12,5 км.

Атмосфера Земли





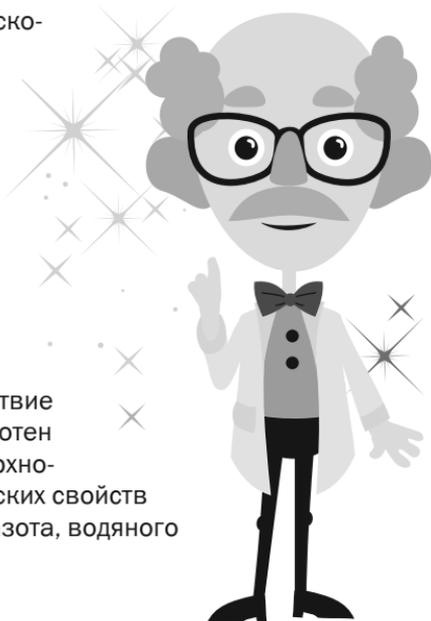
Но если молекулы воздуха не могут взлетать выше 12,5 км, то откуда берутся воздушные молекулы выше этой границы? Ведь кислород, входящий в состав нашей атмосферы, образовался близ земной поверхности (из углекислого газа в результате деятельности растений). Какая же сила подняла и удерживает их на высоте 500 и более километров, где установлено присутствие следов воздуха?

Физика дает здесь тот же ответ, какой услышали бы мы от статистика, если бы задали ему вопрос: «Если средняя продолжительность человеческой жизни 70 лет, откуда берутся 80-летние старики?» Все дело в том, что выполненный нами расчет относится к средней, а не реальной молекуле. Средняя молекула обладает секундной скоростью в 0,5 км, но реальные молекулы движутся одни медленнее, другие быстрее средней. Правда, процент молекул, скорость которых заметно отклоняется от средней, невелик и быстро убывает с возрастанием величины этого отклонения. Из всего числа молекул, заключающихся в данном объеме кислорода при 0 °С, только 20 % обладают скоростью от 400 до 500 м/с. Приблизительно столько же молекул движется со скоростью 300–400 м/с, 17 % — со скоростью 200–300 м/с, 9 % — со скоростью 600–700 м/с, 8 % — со скоростью 700–800 м/с, 1 % — со скоростью 1300–1400 м/с.

Небольшая часть (меньше миллионной доли) молекул имеет скорость 3500 м/с, а эта скорость достаточна, чтобы молекулы могли взлететь даже на высоту 600 км.

Действительно, $3500^2 = 20h$, откуда $h = 12\,250\,000/20$, то есть свыше 600 км.

Становится понятным присутствие частиц кислорода на высоте сотен километров над земной поверхностью: это вытекает из физических свойств газов. Молекулы кислорода, азота, водяного





пара, углекислого газа не обладают, однако, скоростями, которые позволили бы им совсем покинуть земной шар. Для этого нужна скорость не меньше 11 км/с, а подобными скоростями при невысоких температурах обладают только единичные молекулы названных газов. Вот почему Земля так прочно удерживает свою атмосферную оболочку.

Вычислено, что для потери половины запаса даже самого легкого из газов земной атмосферы — водорода — должно пройти число лет, выражающееся 25 цифрами. Миллионы лет не внесут никакого изменения в состав и массу земной атмосферы.

Чтобы разъяснить теперь, почему Луна не может удерживать вокруг себя подобной же атмосферы, остается досказать немного.

Напряжение силы тяжести на Луне в шесть раз слабее, чем на Земле. Соответственно этому скорость, необходимая для преодоления там силы тяжести, тоже меньше и равна всего 2360 м/с. А так как скорость молекул кислорода и азота при умеренной температуре может превышать эту величину, то понятно, что Луна должна была бы непрерывно терять свою атмосферу, если бы она у нее образовывалась.

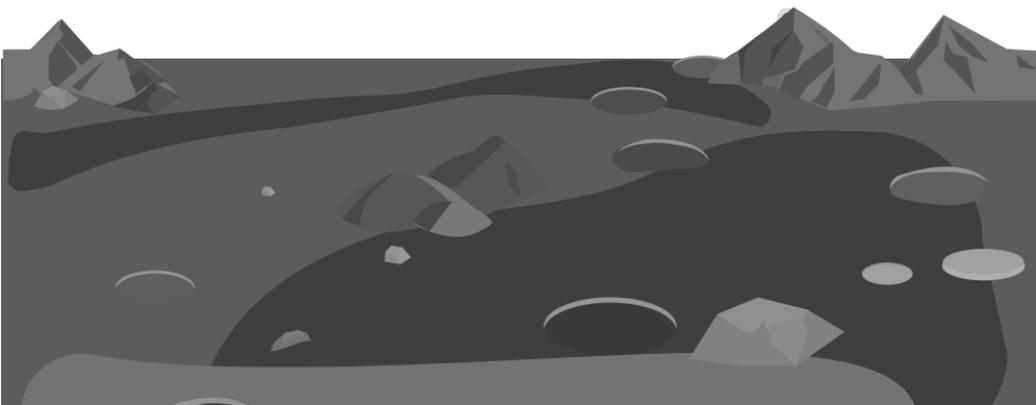
Когда улетучатся наиболее быстрые из молекул, критическую скорость приобретут другие молекулы (таково следствие закона распределения скоростей между частицами газа), и в мировое пространство должны безвозвратно ускользать все новые

и новые частицы атмосферной оболочки. По истечении достаточного промежутка времени, ничтожного в масштабе мироздания, вся атмосфера покинет поверхность столь слабо притягивающего небесного тела. Можно доказать математически, что если средняя скорость молекул в атмосфере планеты даже вдвое меньше предельной (то есть составляет для Луны $2360 / 3 = 790$ м/с), то такая атмосфера должна наполовину рассеяться в течение нескольких недель (устойчиво сохраняться атмосфера небесного тела может лишь при условии, что средняя скорость ее молекул меньше одной пятой доли от предельной скорости). Высказывалась мысль, вернее мечта, что со временем, когда земное человечество посетит и покорит Луну, оно окружит ее искусственной атмосферой и сделает таким образом пригодной для обитания.



Отсутствие атмосферы у нашего спутника не случайность, не каприз природы, а закономерное следствие физических законов.

Понятно также, что причины, по которым невозможно существование атмосферы на Луне, должны обуславливать ее отсутствие вообще на всех мировых телах со слабым напряжением силы тяжести: на астероидах и на большинстве спутников планет.



→ Размеры лунного мира

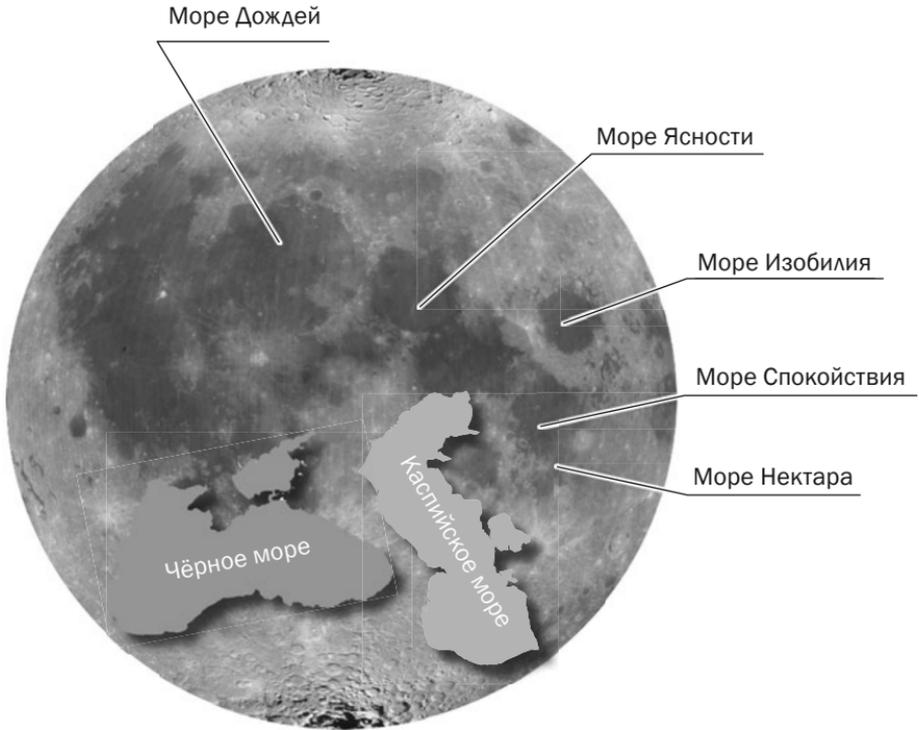
Об этом, конечно, с полной определенностью говорят числовые данные: величина диаметра Луны (3500 км), площадь ее поверхности, объем. Но числа, незаменимые при расчетах, бессильны дать то наглядное представление о размерах, какого требует наше воображение. Полезно будет обратиться для этого к конкретным сопоставлениям.

Сравним лунный материк (ведь Луна — сплошной материк) с материками земного шара. Это скажет нам больше, нежели отвлеченное утверждение, что полная поверхность лунного шара в 14 раз меньше земной поверхности. По числу квадратных километров поверхность нашего спутника лишь немногим меньше поверхности обеих Америк. А та часть Луны, которая обращена к Земле и доступна нашему наблюдению, почти в точности равна площади Южной Америки.

▼ Размеры Луны по сравнению с Европой (не следует, однако, заключать, что поверхность лунного шара меньше поверхности Европы)



▼ **Земные моря по сравнению с лунными. Чёрное и Каспийское моря, перенесенные на Луну, были бы больше всех лунных морей**



Чтобы сделать наглядными размеры лунных «морей» по сравнению с земными, на рисунке на карту Луны наложены в том же масштабе контуры Чёрного и Каспийского морей. Сразу видно, что лунные «моря» не особенно велики, хотя и занимают заметную часть диска. Например, море Ясности (170 000 км²) приблизительно в два раза меньше Каспийского.

Зато среди кольцевых гор Луны имеются подлинные гиганты, каких нет на Земле. Например, круговой вал горы Гримальди охватывает поверхность большую, нежели площадь озера Байкал. Внутри этой горы могло бы целиком поместиться небольшое государство, например Бельгия или Швейцария.

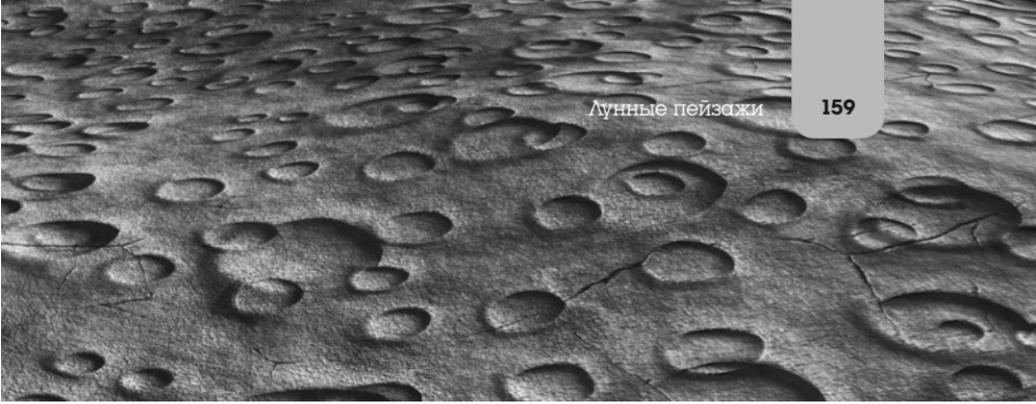
→ Лунные пейзажи

Фотографии лунной поверхности воспроизводятся в книгах так часто, что вид характерных особенностей лунного рельефа — кольцевых гор, цирков — знаком, вероятно, каждому из читателей. Возможно, что иные наблюдали лунные горы и в небольшую трубу (для этого достаточно труба с объективом в 3 см). Но ни фотографии, ни наблюдения в телескоп не дают представления о том, какой казалась бы лунная поверхность наблюдателю на самой Луне. Стоя непосредственно возле лунных гор, наблюдатель видел бы их в иной перспективе, чем в телескоп. Одно дело рассматривать предмет с большой высоты и совсем иное — сбоку вблизи. Покажем на нескольких примерах, в чем проявляется это различие.

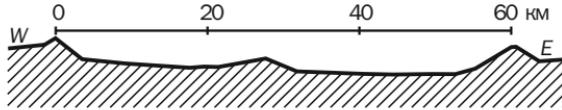
Гора Эратосфен представляется с Земли в виде кольцевого вала с пиком внутри. В телескоп она вырисовывается рельефно и резко благодаря четким, неразмытым теням. Взгляните, однако, на ее профиль: вы видите, что, по сравнению с огромным поперечником кратера — 60 км, высота вала и внутреннего конуса очень мала; отлогость склонов еще более скрадывает их высоту.

▼ Типичные кольцевые горы Луны





► Профиль
большой
кольцевой горы



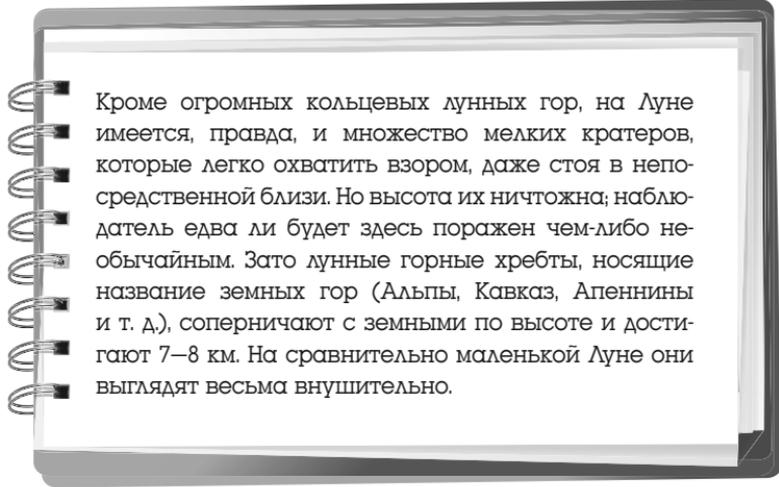
Вообразите себя теперь бродящим внутри этого кратера и помните, что поперечник его равен расстоянию от Ладожского озера до Финского залива. Едва ли уловите вы тогда кольцообразную форму вала. К тому же выпуклость почвы скроет от вас его нижнюю часть, так как лунный горизонт вдвое теснее земного. На Земле человек среднего роста, стоя на ровной местности, может видеть вокруг себя не далее 5 км. Это вытекает из формулы дальности горизонта:

$$D = \sqrt{2Rh},$$

где D — дальность в км, h — высота глаза в км, R — радиус планеты в км.

Подставив в нее данные для Земли и Луны, узнаем, что для человека среднего роста дальность горизонта на Земле составляет 4,8 км, а на Луне — 2,5 км. Наблюдатель, оказавшийся внутри большого лунного кратера, увидел бы обширную равнину с цепью холмов на горизонте. Согласитесь, такой пейзаж мало похож на то, что обычно представляется при словах «лунный кратер».

Очутившись по другую сторону вала, вне кратера, наблюдатель также увидел бы не то, что ожидает. Наружный скат кольцевой горы поднимается столь отлого, что путнику она вовсе не представится горой, а главное, он не сможет убедиться, что видимая им холмистая гряда есть кольцевая гора, имеющая круглую котловину. Для этого придется перебраться через ее гребень, да и тут, как мы уже объяснили, лунного альпиниста и не ожидает ничего примечательного.



Кроме огромных кольцевых лунных гор, на Луне имеется, правда, и множество мелких кратеров, которые легко охватить взором, даже стоя в непосредственной близости. Но высота их ничтожна; наблюдатель едва ли будет здесь поражен чем-либо необычайным. Зато лунные горные хребты, носящие название земных гор (Альпы, Кавказ, Апеннины и т. д.), соперничают с земными по высоте и достигают 7–8 км. На сравнительно маленькой Луне они выглядят весьма внушительно.

Отсутствие атмосферы на Луне и связанная с этим резкость теней создают при наблюдении в трубу любопытную иллюзию: малейшие неровности почвы усиливаются и представляются весьма рельефными.

Положите половину горошины выпуклостью вверх. Велика ли она? А посмотрите, какую длинную тень она отбрасывает. При боковом освещении на Луне тень бывает в 20 раз больше высоты того тела, которое ее отбрасывает, и это сослужило астрономам хорошую службу: благодаря длинным теням можно наблюдать в телескоп на Луне предметы высотой в 30 м. Но то же обстоятельство заставляет нас преувеличивать неровности лунной поверхности. Гора Пико, например, так резко обрисовывается в телескоп, что невольно представляешь ее себе в виде острой и крутой скалы. Так ее и изображали в прежнее время. Но, наблюдая ее с лунной поверхности, вы увидели бы совсем иную картину: гора Пико имеет очень отлогие склоны.

Зато другие особенности лунного рельефа нами, наоборот, недооцениваются. В телескоп мы наблюдаем на поверхности Луны тонкие, едва заметные трещины, и нам кажется, что они не могут играть существенной роли в лунном пейзаже. Но если бы мы оказались на поверхности нашего спутника, то увидели бы в этих местах глубокую черную пропасть, простирающуюся далеко за горизонт.



▲ Половина горошины при косом освещении отбрасывает длинную тень

→ Лунное небо

ЧЕРНЫЙ НЕБОСВОД



Если бы житель Земли очутился на Луне, его внимание привлекли бы три необычайных обстоятельства. Сразу же бросился бы в глаза странный цвет дневного неба на Луне: вместо привычного голубого купола расстился бы совершенно черный небосвод, усеянный — при ярком сиянии Солнца! — множеством звезд, четко выделяющихся, но совершенно не мерцающих. Причина этого явления заключается в отсутствии на Луне атмосферы.

«Голубой свод ясного и чистого неба, — говорит К. Фламмарин свойственным ему живописным языком, — нежный румянец зорь, величественное зарево вечерних сумерек, чарующая красота пустынь, туманная даль полей и лугов, и вы, зеркальные воды озер, издревле отражающие в себе далекие лазурные небеса, вмещающие целую бесконечность в своих глубинах, — ваше существование и вся красота ваша зависят исключительно лишь от той легкой оболочки, которая простирается над земным шаром. Без нее ни одной из этих картин, ни одной из этих пышных красок не существовало бы. Вместо лазурно-голубого неба вас окружало бы беспредельное черное пространство; вместо величественных восходов и закатов солнца дни резко, без переходов, сменялись бы ночами и ночи — днями. Вместо нежного полусвета, царящего всюду, куда прямо не попадают ослепительные лучи солнца, яркий свет был бы лишь в местах, прямо озаренных дневным светилом, а во всех остальных царил бы густая тень».

ЗЕМЛЯ НА НЕБЕ ЛУНЫ

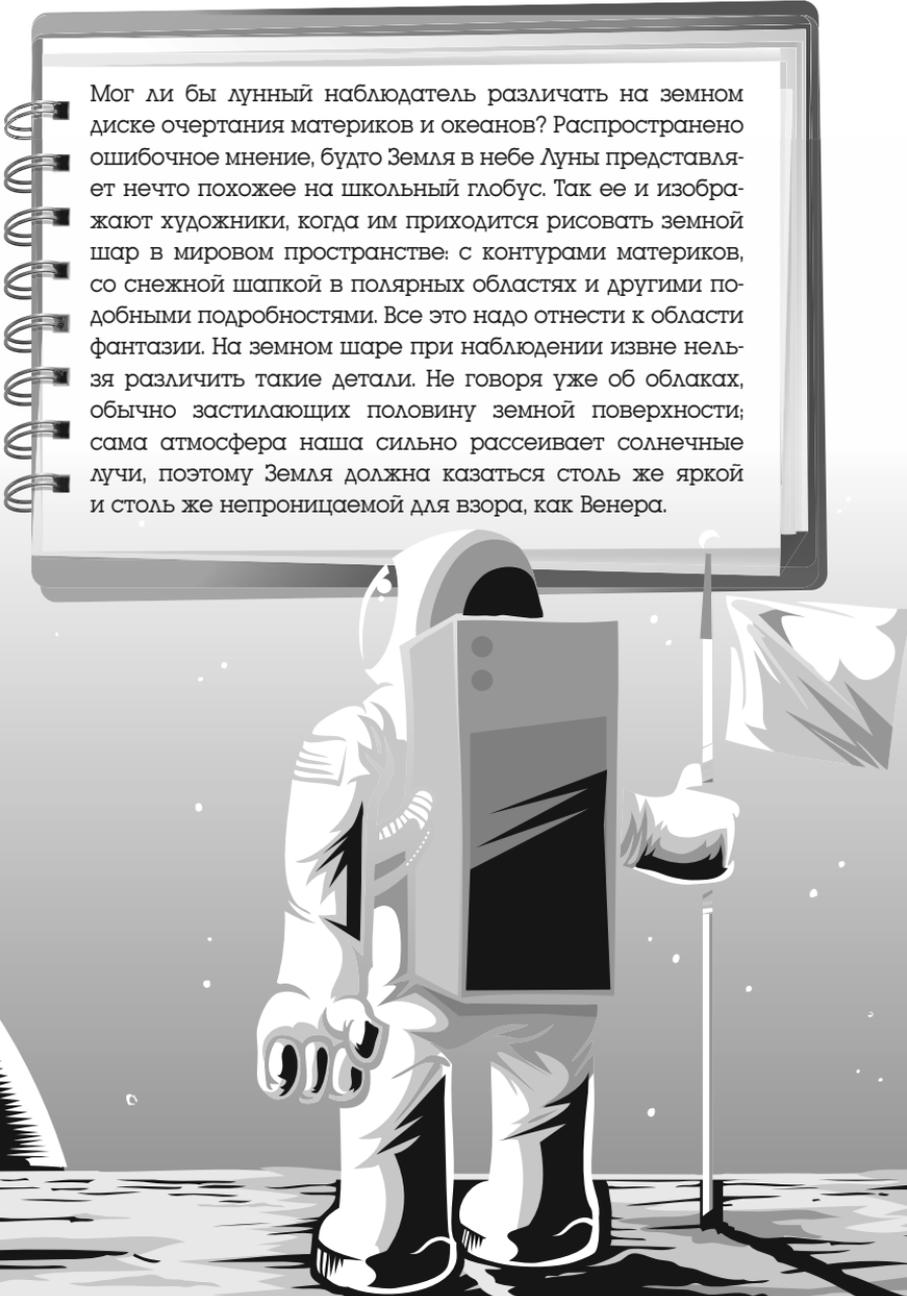
Вторая достопримечательность на Луне — висящий в небе огромный диск Земли. Путешественнику покажется странным, что тот земной шар, который при отлете на Луну был оставлен внизу, неожиданно очутился здесь вверху.

Во Вселенной нет одного для всех миров верха и низа, и вас не должно удивлять, что, оставив Землю внизу, вы увидели бы ее вверху, находясь на Луне.

Висящий в лунном небе диск Земли огромен: поперечник его приблизительно вчетверо больше поперечника знакомого нам лунного диска на земном небе. Это третий поражающий факт, который ожидает лунного путешественника. Если в лунные ночи ландшафты наши достаточно хорошо освещены, то ночи на Луне, при лучах полной Земли с диском, в 14 раз большим лунного, должны быть необычайно светлы. Яркость светила зависит не только от его диаметра, но и от отражательной способности его поверхности. В этом отношении земная поверхность в шесть раз превосходит лунную, поэтому свет полной Земли должен освещать Луну в 90 раз сильнее, чем полный месяц освещает Землю. В «земные ночи» на Луне можно было бы читать мелкую печать. Освещение лунной почвы Землей настолько яркое, что позволяет нам с расстояния 400 000 км различать ночную часть лунного шара в виде неясного мерцания внутри узкого серпа. Оно носит название «пепельного света» Луны. Вообразите 90 полных лун, льющих с неба свой свет, да примите



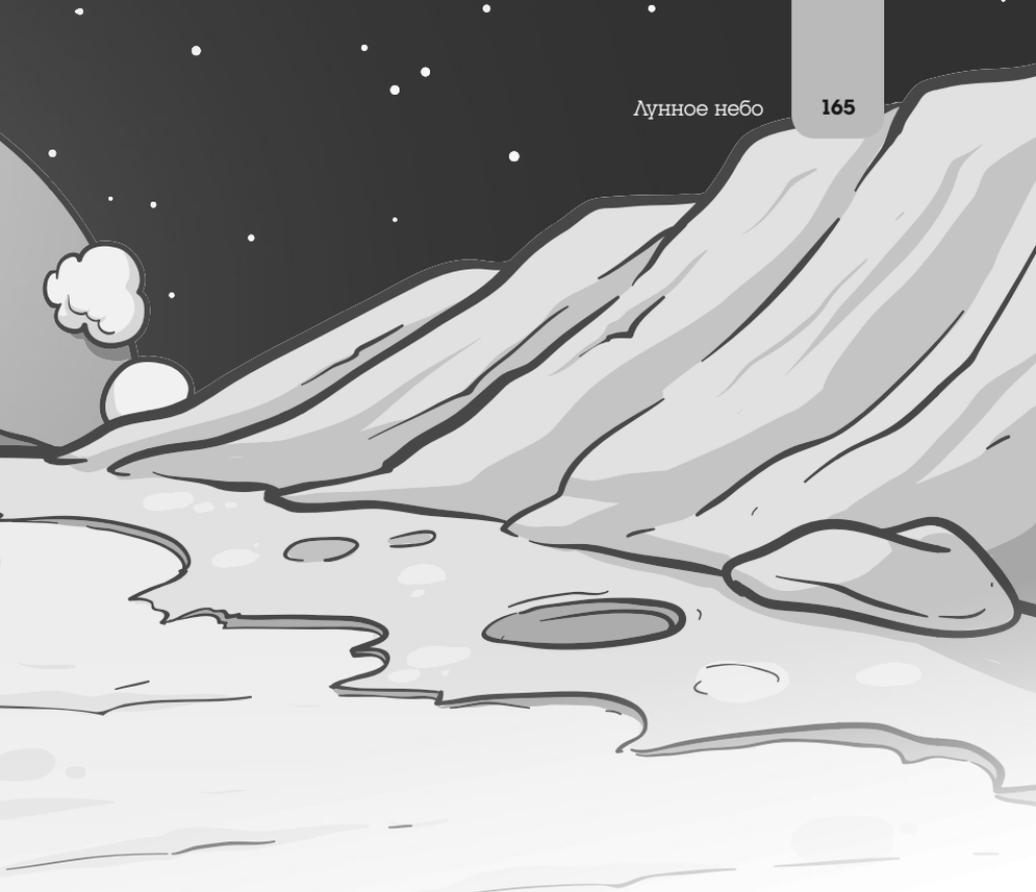
еще во внимание отсутствие на нашем спутнике атмосферы, поглощающей часть света, и вы получите некоторое представление о фееричной картине лунных пейзажей, залитых среди ночи сиянием полной Земли.



Мог ли бы лунный наблюдатель различить на земном диске очертания материков и океанов? Распространено ошибочное мнение, будто Земля в небе Луны представляет нечто похожее на школьный глобус. Так ее и изображают художники, когда им приходится рисовать земной шар в мировом пространстве: с контурами материков, со снежной шапкой в полярных областях и другими подобными подробностями. Все это надо отнести к области фантазии. На земном шаре при наблюдении извне нельзя различить такие детали. Не говоря уже об облаках, обычно застилающих половину земной поверхности; сама атмосфера наша сильно рассеивает солнечные лучи, поэтому Земля должна казаться столь же яркой и столь же непроницаемой для взора, как Венера.



Итак, в то время как Луна отчетливо показывает нам подробности своей поверхности, Земля скрывает свое «лицо» от Луны, да и от всей Вселенной, под сияющим покрывалом атмосферы. Но не только этим отличается лунное ночное светило от земного. На нашем небе месяц восходит и заходит, описывая свой путь вместе со звездным куполом. На лунном небе Земля такого движения не совершает. Она не восходит там и не заходит, не принимает участия в стройном, чрезвычайно медленном шествии звезд. Она почти неподвижно висит на небе, занимая для каждого пункта Луны определенное положение, в то время как звезды медленно скользят позади нее. Это следствие уже



рассмотренной нами особенности лунного движения, состоящей в том, что Луна обращена к Земле всегда одной и той же частью своей поверхности. Для лунного наблюдателя Земля почти неподвижно висит на небесном своде. Если Земля стоит в зените какого-нибудь лунного кратера, то она никогда не покидает своего зенитного положения. Если с какого-нибудь пункта она видна на горизонте, она вечно остается на горизонте этого места. Только лунные либрации, о которых мы уже беседовали, несколько нарушают эту неподвижность. Звездное небо совершает позади земного диска свое медленное, в $27\frac{1}{3}$ наших суток, вращение. Солнце обходит небо за 29,5 суток, планеты совершают подобное движение, и лишь одна Земля почти неподвижно покоится на черном небе.

Но, оставаясь на одном месте, Земля быстро, в 24 ч, вращается вокруг своей оси, и если бы наша атмосфера была прозрачна, Земля могла бы служить для будущих пассажиров межпланетных кораблей удобнейшими небесными часами. Кроме того, Земля имеет такие же фазы, какие показывает



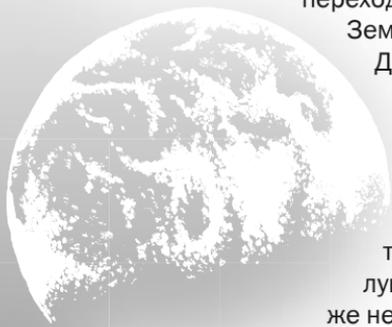
Луна на нашем небе. Значит, наш мир не всегда сияет на лунном небе полным диском: он появляется то в виде полукруга, то в виде серпа, более или менее узкого, то в виде неполного круга, смотря по тому, какая часть озаренной Солнцем половины Земли обращена к Луне. Начертив взаимное расположение Солнца, Земли и Луны, вы легко убедитесь, что Земля и Луна должны показывать друг другу противоположные фазы.

Когда мы наблюдаем новолуние, лунный наблюдатель должен видеть полный диск Земли — «полноземлие»; напротив, когда у нас полнолуние, на Луне «новоземлие». Когда мы видим узкий серп молодого месяца, с Луны можно было бы любоваться Землей на ущербе, причем до полного диска не хватает как раз такого серпа, какой показывает нам в этот момент Луна. Впрочем, фазы Земли очерчены не так резко, как лунные: земная атмосфера размывает границу света, создает тот постепенный переход от дня к ночи и обратно, который мы на Земле наблюдаем в виде сумерек.

Другое отличие земных фаз от лунных состоит в следующем. На Земле мы никогда не видим Луну в самый момент новолуния. Хотя она обычно стоит при этом выше или ниже Солнца (иногда на 5° , то есть на 10 своих поперечников),

так, что узкий, озаренный Солнцем край лунного шара мог бы быть виден, но он все же недоступен нашему зрению: блеск Солнца забивает скромное сияние серебряной нити новой

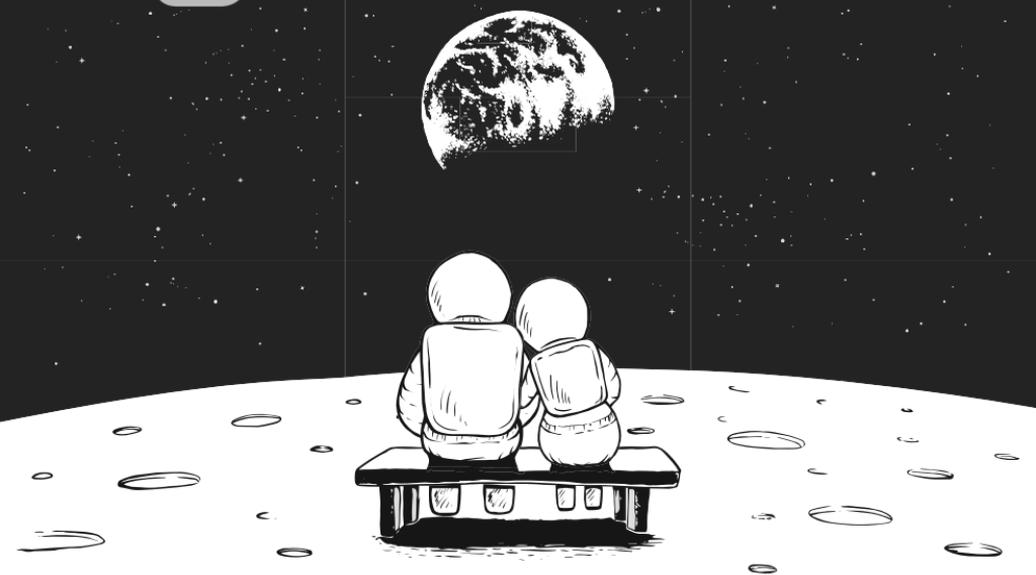
Луны. Мы замечаем новую Луну обычно лишь в возрасте двух суток, когда она успевает отойти на достаточное расстояние от Солнца, и лишь в редких случаях (весной) — в возрасте одних суток. Не то бывает при наблюдении «новоземлия» с Луны: там нет атмосферы, рассеивающей вокруг дневного светила сияющий ореол. Звезды и планеты не теряются там в лучах Солнца, а четко выделяются на небе в непосредственном соседстве с ним. Поэтому когда Земля оказывается не прямо перед Солнцем (то есть не в моменты затмений), а несколько выше или ниже его, она всегда видна на черном, усеянном звездами небе нашего спутника в форме тонкого серпа с рогами, обращенными от Солнца. По мере отхода от Земли влево от Солнца серп словно перекачивается вправо.



Явление, соответствующее сейчас описанному, можно видеть, наблюдая Луну в небольшую трубу: в полнолуние диск ночного светила не усматривается нами в виде полного круга. Так как центры Луны и Солнца не лежат на одной прямой с глазом наблюдателя, то на лунном диске не хватает узкого серпа, который темной полоской скользит близ края освещенного диска влево по мере отхода Луны вправо. Но Земля и Луна всегда показывают друг другу противоположные фазы, поэтому в описанный момент лунный наблюдатель должен был бы видеть тонкий серп «новоземля».

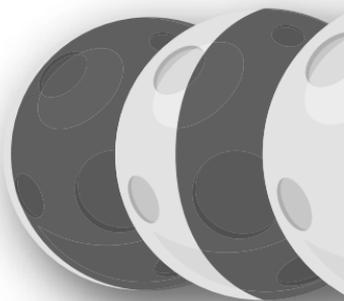
Мы уже вскользь отметили, что либрации Луны должны сказываться в том, что Земля не совсем неподвижна на лунном небе: она колеблется около среднего положения в северо-южном направлении на 14° , а в западно-восточном — на 16° . Для тех пунктов Луны, где Земля видна на самом горизонте, планета наша должна казаться иногда заходящей и вскоре затем вновь восходящей, описывая странные кривые. Такой своеобразный восход или заход Земли в одном месте горизонта, без обхода всего неба, может длиться много земных суток.

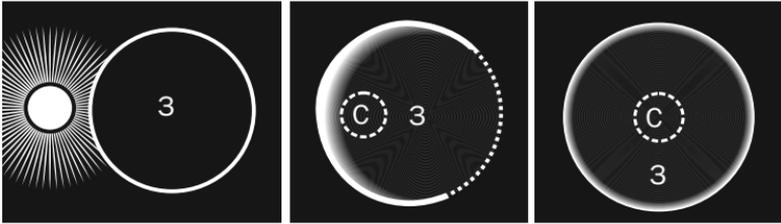




ЗАТМЕНИЯ НА ЛУНЕ

Набросанную сейчас картину лунного неба дополним описанием таких небесных зрелищ, как затмения. На Луне бывают затмения двух родов: солнечные и «земные». Первые не похожи на знакомые нам солнечные затмения, но по-своему чрезвычайно эффектны. Они происходят на Луне в те моменты, когда на Земле бывают затмения лунные, так как тогда Земля помещается на линии, соединяющей центры Солнца и Луны. Наш спутник погружается в эти моменты внутрь тени, отбрасываемой земным шаром. Кому случалось видеть Луну в такие моменты, тот знает, что она не совсем лишается света, не исчезает для глаза. Она бывает видна обычно в вишнево-красных лучах, проникающих внутрь конуса земной тени. Если бы мы перенеслись в этот момент на поверхность Луны и взглянули оттуда на Землю, то ясно поняли бы причину красного освещения: на небе Луны земной шар, помещаясь впереди яркого, хотя и гораздо меньшего Солнца, представляется черным диском, окруженным багровой каймой своей атмосферы. Эта-то кайма и освещает красноватым светом погруженную в тень Луну (см. рисунок ниже).



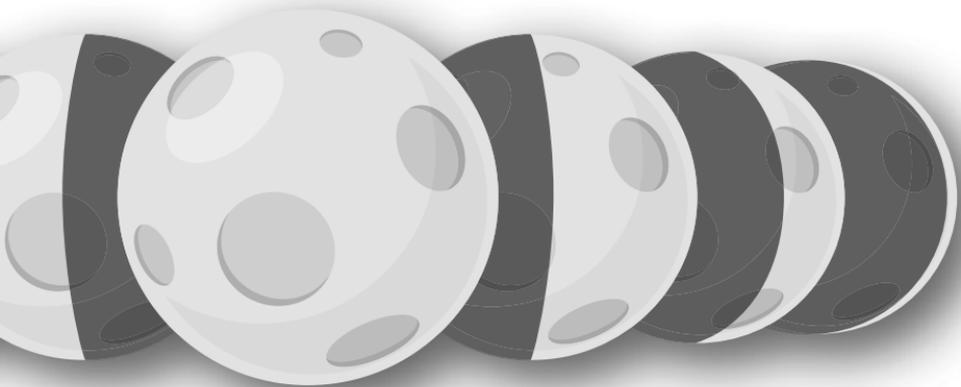


▲ **Ход солнечного затмения на Луне: Солнце (С) постепенно заходит за земной диск (З), неподвижно висящий на лунном небе**

Затмения Солнца длятся на Луне не несколько минут, как на Земле, а более четырех часов — столько, сколько у нас лунные, потому что, в сущности, это и есть наши лунные затмения, только наблюдаемые не с Земли, а с Луны.

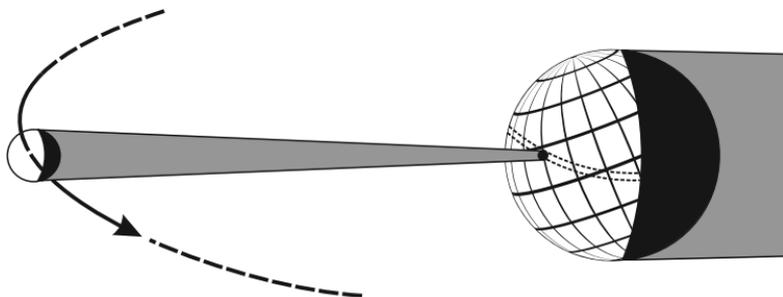
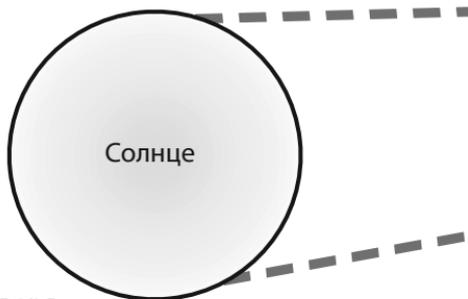
Что же касается затмений «земных», то они так мизерны, что едва заслуживают наименования затмений. Они происходят в те моменты, когда на Земле видны солнечные затмения. На большом диске Земли лунные наблюдатели видели бы тогда маленький движущийся черный кружок — те счастливые участки земной поверхности, откуда можно любоваться затмением Солнца.

Надо заметить, что таких затмений, как наши солнечные, нельзя наблюдать вообще ни в каком другом месте планетной системы. Этим исключительным зрелищем обязаны мы случайному обстоятельству: Луна, заслоняющая от нас Солнце, ровно во столько раз ближе к нам, нежели Солнце, во сколько раз лунный поперечник меньше солнечного, — совпадение, не повторяющееся ни на какой иной планете.

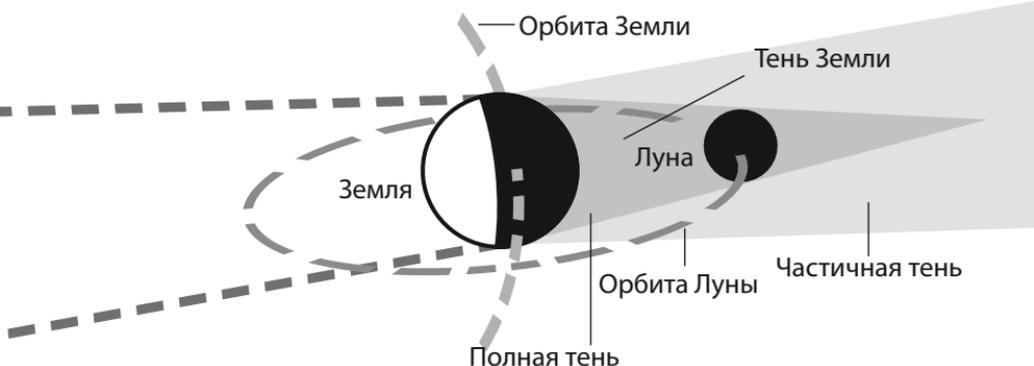


→ Для чего астрономы наблюдают затмения?

Благодаря сейчас отмеченной случайности длинный конус тени, которую постоянно влечит за собой наш спутник, доходит как раз до земной поверхности (см. рисунок ниже). Собственно говоря, средняя длина конуса лунной тени меньше среднего расстояния от Луны до Земли, и если бы мы имели дело только со средними величинами, то пришли бы к выводу, что полных солнечных затмений у нас никогда не бывает. Они случаются потому, что Луна движется вокруг Земли по эллипсу и в одних частях орбиты бывает на 42 200 км ближе к поверхности Земли, чем в других: расстояние Луны меняется от 363 300 до 405 500 км. Скользя по земной поверхности, конец лунной тени чертит на ней «полосу видимости солнечного затмения». Полоса эта не шире 300 км, так что число населенных мест, награждаемых зрелищем солнечного затмения, каждый раз ограничено. Если прибавить к этому, что продолжительность полного солнечного затмения исчисляется минутами (не более восьми), то станет понятным, что полное солнечное затмение — зрелище чрезвычайно редкое. Для каждого данного пункта земного шара оно случается один раз в два-три столетия.



▲ Конеч конуса лунной тени скользит по земной поверхности; в покрытых им местах наблюдается солнечное затмение



▲ Схема лунного затмения

Ученые буквально охотятся за солнечными затмениями, снаряжая специальные экспедиции в весьма отдаленные места земного шара, откуда это явление можно наблюдать. Так, солнечное затмение в 1936 г. (19 июня) было видно как полное только в пределах СССР, и ради двухминутного наблюдения за ним в Советский Союз приехало 70 иностранных ученых из 10 различных государств. При этом труды четырех экспедиций пропали даром из-за пасмурной погоды.

Затмения лунные хотя и случаются в полтора раза реже солнечных, но наблюдаются гораздо чаще. Этот астрономический парадокс объясняется очень просто.

Солнечное затмение можно наблюдать на нашей планете лишь в ограниченной зоне, для которой Солнце заслоняется Луной. В пределах этой узкой полосы оно для одних точек полное, а для других — частное (то есть Солнце заслоняется лишь частично). Момент наступления солнечного затмения также неодинаков для различных пунктов полосы не потому, что существует различие в счете времени, а потому, что лунная тень перемещается по земной поверхности и разные точки покрываются ею в разное время.



Совсем иначе протекает лунное затмение. Оно наблюдается сразу на всей половине земного шара, где в это время Луна видна, то есть стоит над горизонтом. Последовательные фазы лунного затмения наступают для всех точек земной поверхности в один и тот же момент; разница обусловлена лишь различием в счете времени. Вот почему за лунными затмениями астроному не надо охотиться: они являются к нему сами.

Есть ли смысл ради столь быстротечных явлений, как затмение, снаряжать дорогостоящие экспедиции? Разве нельзя производить те же наблюдения, не дожидаясь случайного заслонения Солнца Луной? Почему астрономы не производят солнечного затмения искусственно, заслоняя в телескопе изображение Солнца непрозрачным кружком? Тогда можно будет, казалось бы, наблюдать без хлопот те окрестности Солнца, которые так интересуют астрономов во время затмений.



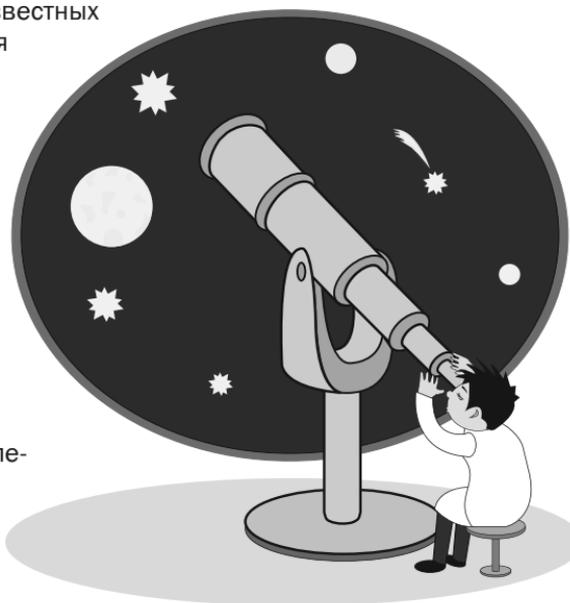
Такое искусственное солнечное затмение не может, однако, дать того, что наблюдается при заслонении Солнца Луной. Дело в том, что лучи Солнца, прежде чем достигнут нашего глаза, проходят через земную атмосферу и рассеиваются здесь частицами воздуха. Оттого-то небо днем и кажется нам светло-голубым сводом, а не черным, усеянным звездами, каким представлялось бы оно нам даже днем при отсутствии атмосферы. Закрыв Солнце кружком, но оставаясь на дне воздушного океана, мы защищаем глаз от прямых лучей дневного светила, но атмосфера над нами по-прежнему залита солнечным светом и продолжает рассеивать лучи, затмевая звезды. Этого не бывает, если заслоняющий экран находится за пределами атмосферы. Луна есть именно такой экран, находящийся в 100 раз дальше ощутимой границы атмосферы. Лучи Солнца задерживаются этим экраном до того, как проникают в земную атмосферу, и поэтому рассеивания света в затененной полосе не происходит. Правда, не полностью: в область тени проникают все же немногие лучи, рассеиваемые окружающими светлыми областями, и потому небо в момент полного солнечного затмения никогда не бывает так черно, как в полночь; звезды видны только самые яркие.



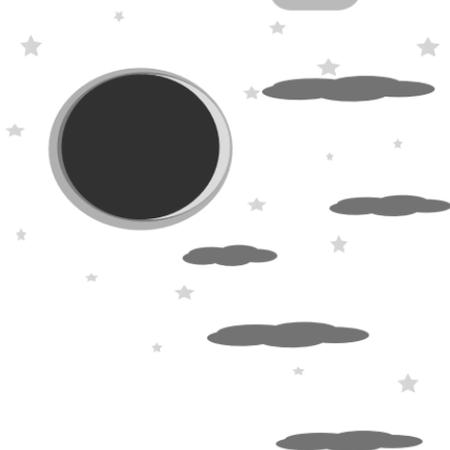
Какие задачи ставят перед собой астрономы при наблюдении полного солнечного затмения? Отметим главные из них.

- ✓ Наблюдение так называемого «обращения» спектральных линий в наружной оболочке Солнца. Линии солнечного спектра, при обычных условиях темные на светлой ленте спектра, на несколько секунд становятся светлыми на темном фоне после момента полного покрытия Солнца диском Луны: спектр поглощения превращается в спектр испускания. Это так называемый «спектр вспышки». Хотя это явление, дающее драгоценный материал для суждения о природе наружной оболочки Солнца, может при известных условиях наблюдаться и не только во время затмения, оно обнаруживается при затмениях настолько четко, что астрономы стремятся не упускать подобного случая.

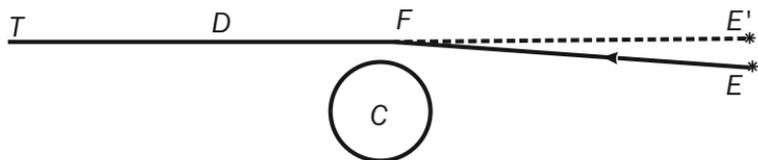
- ✓ Исследование солнечной короны. Корона — самое замечательное из явлений, наблюдаемых в моменты полного солнечного затмения: вокруг совершенно черного круга Луны, окаймленного огненными выступами (протуберанцами) наружной оболочки Солнца, сияет жемчужный ореол различных размеров и формы в разные затмения. Длинные лучи этого сияния нередко в несколько раз больше солнечного поперечника, а яркость составляет обычно лишь половину яркости полной Луны. Во время затмений астрономы фотографируют корону, измеряют ее яркость, исследуют спектр. Все это помогает изучению ее физического строения.



- ✓ Проверка одного из следствий общей теории относительности. Согласно ей лучи звезд, проходя мимо Солнца, испытывают влияние его могучего притяжения и претерпевают отклонение, которое должно обнаружиться в кажущемся смещении звезд близ солнечного диска (см. рисунок ниже). Проверка этого следствия возможна только в моменты полного солнечного затмения.

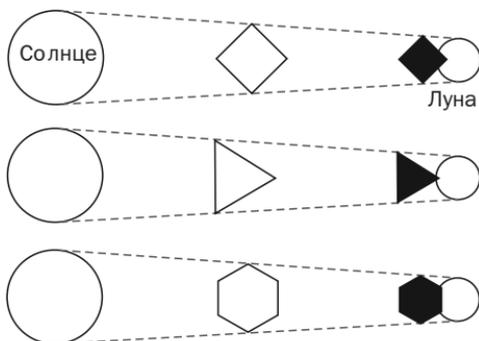


Таковы главные цели, ради которых астрономы покидают свои обсерватории и отправляются в отдаленные, иногда весьма негостеприимные места для наблюдения солнечных затмений.



- ▲ Одно из следствий общей теории относительности — отклонение световых лучей под влиянием силы тяготения Солнца. Согласно теории относительности, земной наблюдатель, находясь в точке T , видит звезду в точке E' по направлению прямой $TDFE'$, между тем как в действительности звезда находится в точке E и посылает свои лучи по искривленному пути $EFDT$. При отсутствии Солнца световой луч от звезды E к Земле T направлялся бы по прямой линии

Лунные затмения не представляют для современных астрономов того исключительного интереса, какой связан с солнечными. Наши предки видели в затмениях Луны удобные случаи убедиться в шарообразной форме Земли. Поучительно напомнить о той роли, какую сыграло это доказательство в истории



◀ Старинный рисунок, поясняющий мысль, что по виду земной тени на диске Луны можно судить о форме Земли

кругосветного плавания Магеллана. Когда после утомительного долгого путешествия по пустынным водам Тихого океана матросы пришли в отчаяние, решив, что они безвозвратно удалились от твердой земли в водный простор, которому не будет конца, один Магеллан не терял мужества. «Хотя церковь постоянно твердила на основании Священного Писания, что Земля — обширная равнина, окруженная водами, — рассказывает спутник великого мореплавателя, — Магеллан черпал твердость в следующем соображении: при затмениях Луны тень, бросаемая Землей, круглая, а какова тень, таков должен быть и предмет, ее бросающий...» В старинных книгах по астрономии мы находим даже рисунки, поясняющие зависимость формы лунной тени от формы Земли (см. рисунок выше).

Теперь мы в подобных доказательствах уже не нуждаемся. Зато лунные затмения дают возможность судить о строении верхних слоев земной атмосферы по яркости и окраске

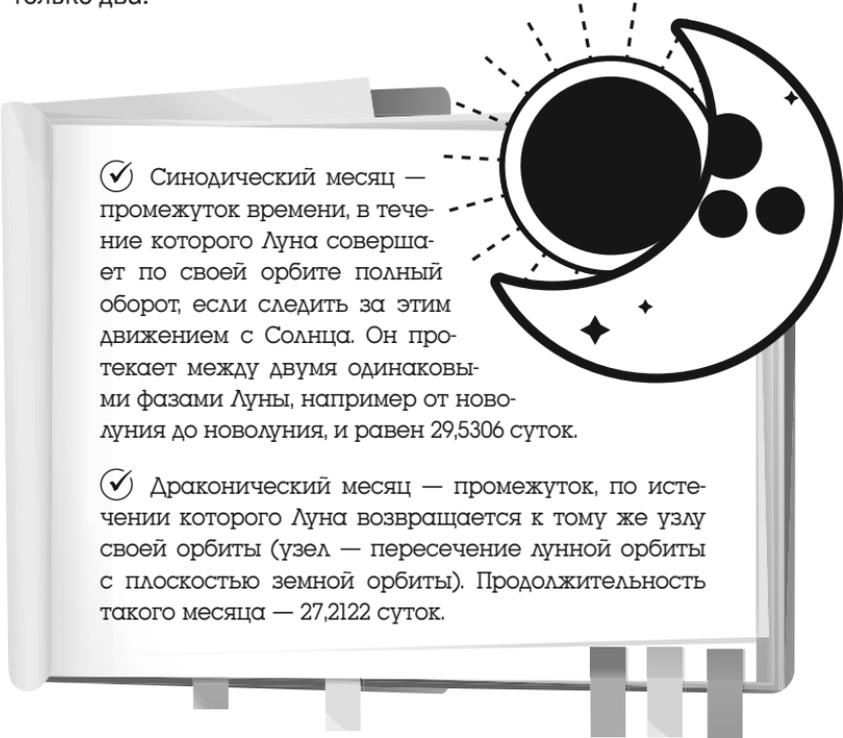
Луны. Как известно, Луна не бесследно исчезает в земной тени, а продолжает быть видимой в солнечных лучах, загибающихся внутрь теневого конуса. Сила освещения Луны в эти моменты и его цветовые оттенки представляют для астрономии большой интерес и находятся, как установлено, в неожиданной связи с числом солнечных пятен. Кроме того, в последнее время пользуются явлениями лунных затмений, чтобы измерять быстроту остывания лунной почвы, когда она лишается солнечного тепла (мы еще вернемся к этому далее).



→ Почему затмения повторяются через 18 лет?

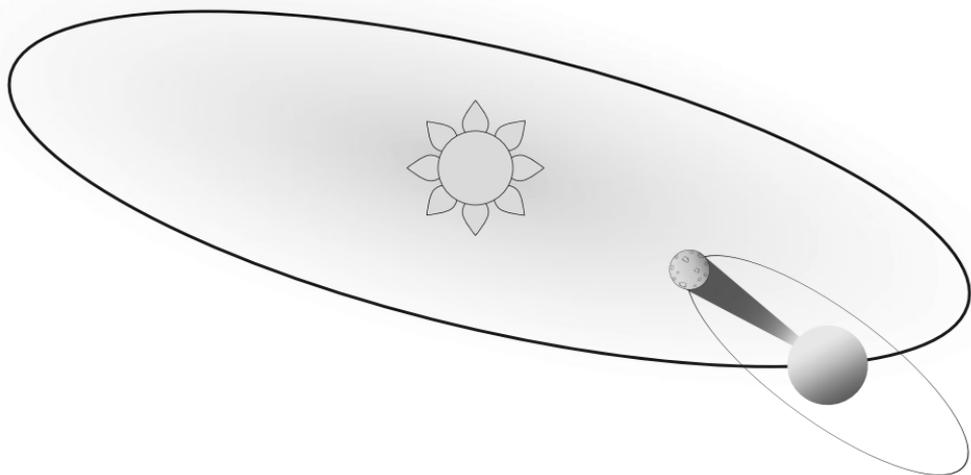
Задолго до нашей эры вавилонские наблюдатели неба подметили, что ряд затмений — и солнечных, и лунных — повторяется каждые 18 лет и 10 дней. Этот период они называли саросом. Пользуясь им, древние люди предсказывали наступление затмений, но они не знали, чем обуславливается столь правильная периодичность и почему сарос имеет именно такую, а не иную продолжительность. Обоснование периодичности затмений было найдено гораздо позднее, в результате тщательного изучения движения Луны.

Чему равно время обращения Луны по ее орбите? Ответ на этот вопрос может отличаться в зависимости от того, в какой момент оборот Луны вокруг Земли считать законченным. Астрономы различают пять родов месяцев, из которых нас интересуют только два.



☑ Синодический месяц — промежуток времени, в течение которого Луна совершает по своей орбите полный оборот, если следить за этим движением с Солнца. Он протекает между двумя одинаковыми фазами Луны, например от новолуния до новолуния, и равен 29,5306 суток.

☑ Драконический месяц — промежуток, по истечении которого Луна возвращается к тому же узлу своей орбиты (узел — пересечение лунной орбиты с плоскостью земной орбиты). Продолжительность такого месяца — 27,2122 суток.



Затмения, как легко сообразить, происходят только в моменты, когда Луна в фазе полнолуния или новолуния бывает в одном из своих узлов: тогда ее центр находится на одной прямой с центрами Земли и Солнца. Очевидно, что если сегодня случилось затмение, то оно должно наступить вновь через такой промежуток времени, который заключает целое число синодических и драконических месяцев: тогда повторятся условия, при которых бывают затмения.

Как находить подобные промежутки времени? Для этого надо решить уравнение

$$29,5306x = 27,2123y,$$

где x и y — целые числа. Представив его в виде пропорции

$$\frac{x}{y} = \frac{272\,123}{295\,306},$$

видим, что наименьшие точные решения этого уравнения таковы: $x = 272\,123$, а $y = 295\,306$.

Получается огромный, продолжительностью в десятки тысячелетий, период времени, практически бесполезный. Древние астрономы довольствовались приближенным решением. Наиболее удобное средство для отыскания приближений в подобных случаях дают непрерывные дроби. Развернем дробь

$$\frac{x}{y} = \frac{295\,306}{272\,123}$$

в непрерывную. Выполняется это так. Исключив целое число, имеем

$$\frac{295\,306}{272\,123} = 1 + \frac{23\,183}{272\,123}.$$

В последней дроби делим числитель и знаменатель на числитель:

$$\frac{295\,306}{272\,123} = 1 + \frac{1}{11 \frac{17\,110}{23\,183}}.$$

Числитель и знаменатель дроби $\frac{17\,110}{23\,183}$ делим на числитель и так поступаем в дальнейшем. Получаем в конечном итоге

$$\frac{295\,306}{272\,123} = 1 + \frac{1}{11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4 + \frac{1}{4 + \frac{1}{17 + \frac{1}{11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{7}}}}}}}}}}.$$

Из этой дроби, беря первые ее звенья и отбрасывая остальные, получаем такие последовательные приближения:

$$\frac{12}{11}, \frac{13}{12}, \frac{38}{35}, \frac{51}{47}, \frac{242}{223}, \frac{1019}{939} \text{ и т. д.}$$

Пятая дробь в этом ряду дает уже достаточную точность. Если остановиться на ней, то есть принять $x = 223$, а $y = 242$, то период повторяемости затмений получится равным 223 синодическим месяцам или 242 драконическим. Это составляет 6585 суток, то есть 18 лет 11,3 суток.

Таково происхождение сароса. Зная, откуда он произошел, мы можем дать себе отчет и в том, насколько точно можно с его помощью предсказывать затмения. Мы видим, что, считая сарос равным 18 годам 10 суткам, отбрасывают 0,3 суток. Это должно сказаться в том, что затмения, предусмотренные по такому укороченному периоду, будут наступать в другие часы дня, чем в предшествующий раз (примерно на 8 ч позже), и только при пользовании периодом, равным тройному точному саросу, затмения будут повторяться почти в те же моменты дня. Кроме того, сарос не учитывает изменений расстояния Луны от Земли и Земли от Солнца, изменений, которые имеют свою периодичность; от этих расстояний зависит, будет солнечное затмение полным или нет. Поэтому сарос дает возможность предсказать лишь то, что в определенный день должно случиться затмение, но будет ли оно полное, частное или кольцеобразное, а также можно ли будет его наблюдать в тех же местах, как и в предыдущий раз, утверждать нельзя.

Наконец, бывает и так, что незначительное частное затмение Солнца через 18 лет уменьшает свою фазу до нуля, то есть не наблюдается вовсе; и, наоборот, иной раз становятся видимыми небольшие частные затмения Солнца, прежде не наблюдавшиеся.



→ Возможно ли?

Очевидцы рассказывают, что во время лунного затмения им случалось наблюдать на одной стороне неба диск Солнца и одновременно на другой — затемненный диск Луны. Вот что писали отдельные наблюдатели: «4 июля вечером в 20 ч 31 мин взошла Луна, а в 20 ч 46 мин садилось Солнце, и в момент восхода Луны произошло лунное затмение, хотя Луна и Солнце видны были одновременно над горизонтом».

Картина в самом деле загадочная: может ли наступить затмение, если Земля не заслоняет Луну от Солнца? Можно ли верить такому свидетельству очевидцев?

В подобном наблюдении нет ничего невероятного. То, что Солнце и затемненная Луна видны на небе одновременно, обусловлено искривлением лучей света в земной атмосфере. Благодаря такому искривлению, называемому атмосферной рефракцией, каждое светило кажется нам выше своего истинного положения. Когда мы видим Солнце или Луну близ самого горизонта, они геометрически находятся ниже горизонта. Поэтому нет ничего невозможного в том, что диск Солнца и затемненная Луна видны над горизонтом в одно и то же время.

«Обыкновенно, — говорит по этому поводу К. Фламарион, — указывают на затмения 1666, 1668 и 1750 гг., когда эта странная особенность проявилась резко всего. Однако нет надобности забираться так далеко. 15 февраля 1877 г. Луна восходила в Париже в 5 ч 29 мин, а Солнце закатывалось в 5 ч 39 мин, при этом полное затмение уже началось. 4 декабря 1880 г. произошло полное лунное затмение в Париже: в этот день Луна взошла в 4 ч, а Солнце закатилось в 4 ч 2 мин, и это было почти в середине затмения, продолжавшегося от 3 ч 3 мин до 4 ч 33 мин. Если это не наблюдается гораздо чаще, то лишь по недостатку наблюдателей. Чтобы видеть Луну в полном затмении до заката Солнца или после его восхода, надо лишь выбрать такое место на Земле, чтобы Луна находилась на горизонте около середины затмения».

→ Что не всем известно о затмениях

Вопросы

1. Сколько времени могут длиться солнечные и лунные затмения?
2. Сколько затмений может случиться в течение одного года?
3. Бывают ли годы без солнечных затмений? А без лунных?
4. С какой стороны при затмении надвигается на Солнце черный диск Луны — справа или слева?
5. На каком краю начинается затмение Луны — на правом или на левом?
6. Почему пятна света в тени листья имеют во время солнечного затмения форму серпов?
7. Какая разница между формой солнечного серпа во время затмения и формой обычного лунного серпа?
8. Почему на солнечное затмение смотрят через закороченное стекло?

Ответы

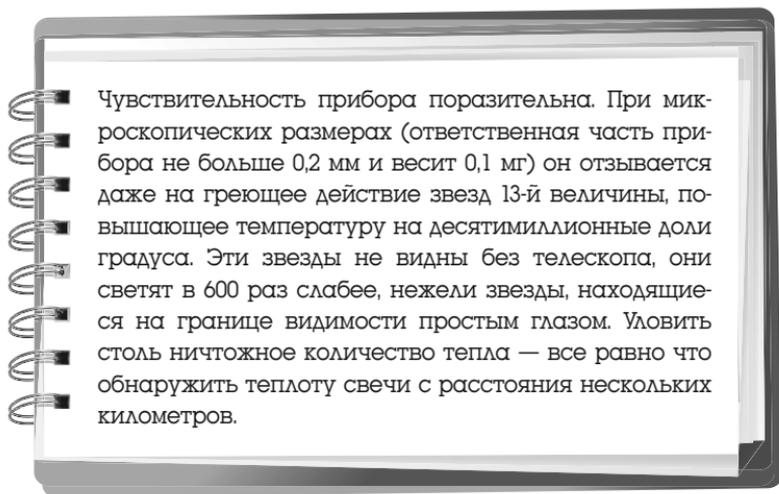
1. Наибольшая продолжительность полной фазы солнечного затмения — 7,5 мин (на экваторе, в высоких широтах — меньше). Продолжительность всех фаз лунного затмения — до 4 ч; время полного потемнения Луны длится не более 1 ч 50 мин.
2. Число всех затмений в течение года — и солнечных, и лунных — не может быть больше семи и меньше двух.
3. Без солнечных затмений не проходит ни одного года: ежегодно случается не менее двух солнечных затмений. Годы без лунных затмений бывают довольно часто, примерно каждые пять лет.

4. В Северном полушарии Земли диск Луны на-
двигается на Солнце справа налево. Первого
соприкосновения Луны с Солнцем следует
всегда ожидать с правой стороны, а в Южном
полушарии — с левой.
5. В Северном полушарии Луна вступает в зем-
ную тень своим левым краем, в Южном —
правым.
6. Пятна света в тени ливны есть не что иное,
как изображение Солнца. Во время затмения
Солнце имеет вид серпа и такой же вид долж-
ны иметь его изображения в тени ливны.
7. Лунный серп ограничен снаружи полукругом,
изнутри — полуэллипсом. Солнечный серп ог-
раничен двумя дугами круга одного радиуса.
8. На Солнце, хотя бы и частично заслоненное
Луной, нельзя смотреть незащищенными
глазами. Солнечные лучи обжигают наибо-
лее чувствительную часть сетчатой оболочки
глаза, заметно понижая остроту зрения на
продолжительное время, а иногда и на всю
жизнь.

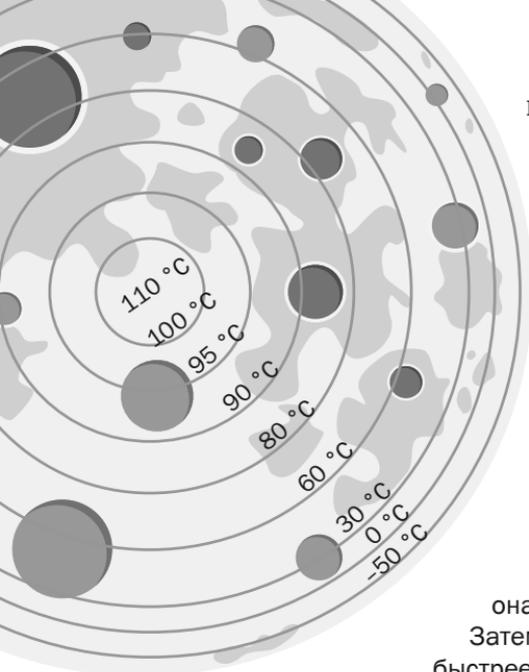
Еще в начале XIII в. новгородский летописец отметил: «От сего же знамения в Великом Новгороде едва кто от человек видети лишился». Избежать ожога, однако, легко, если запастись густо закопченным стеклом. Закоптить его надо на свечке настоль-
ко густо, чтобы диск Солнца казался через такое стекло резко очерченным кружком, без лучей и ореола. Для удобства закоп-
ченную сторону покрывают другим, чистым стеклом и обклеи-
вают по краям бумагой. Так как нельзя заранее предвидеть,
каковы будут условия видимости Солнца в часы затмения, то
полезно заготовить несколько стекол с различной густотой
затемнения. Обыкновенные темные очки недостаточны для этой
цели.

→ Какая на Луне погода?

На Луне нет никакой погоды, если понимать это слово в обычном смысле. Какая может быть погода там, где совершенно отсутствуют атмосфера, облака, водяной пар, осадки, ветер? Единственное, о чем может быть речь, это температура почвы. Итак, насколько нагрета почва Луны? Астрономы располагают прибором, дающим возможность измерять температуру не только далеких светил, но и отдельных их участков. Устройство прибора основано на явлении термоэлектричества: в проводнике, спаянном из двух разнородных металлов, пробегает электрический ток, когда один спай теплее другого. Сила возникающего тока зависит от разности температур и позволяет измерить количество поглощенной теплоты.



Астрономы вводили этот чудесный прибор в отдельные участки телескопического изображения Луны, измеряли получаемое им тепло и на основании полученных показателей оценивали температуру различных частей Луны (с точностью до 10°). Результаты были следующими (см. рисунок справа): в центре диска полной Луны температура выше 100 °С (вылитая здесь на лунную почву вода вскипала бы даже под нормальным давлением). Начиная от центра, температура равномерно убывает во все стороны, но в пределах 2700 км от центральной точки



◀ **Температура на Луне достигает в центре видимого диска в полнолуние +125 °С и быстро падает к краям до -50 °С и ниже**

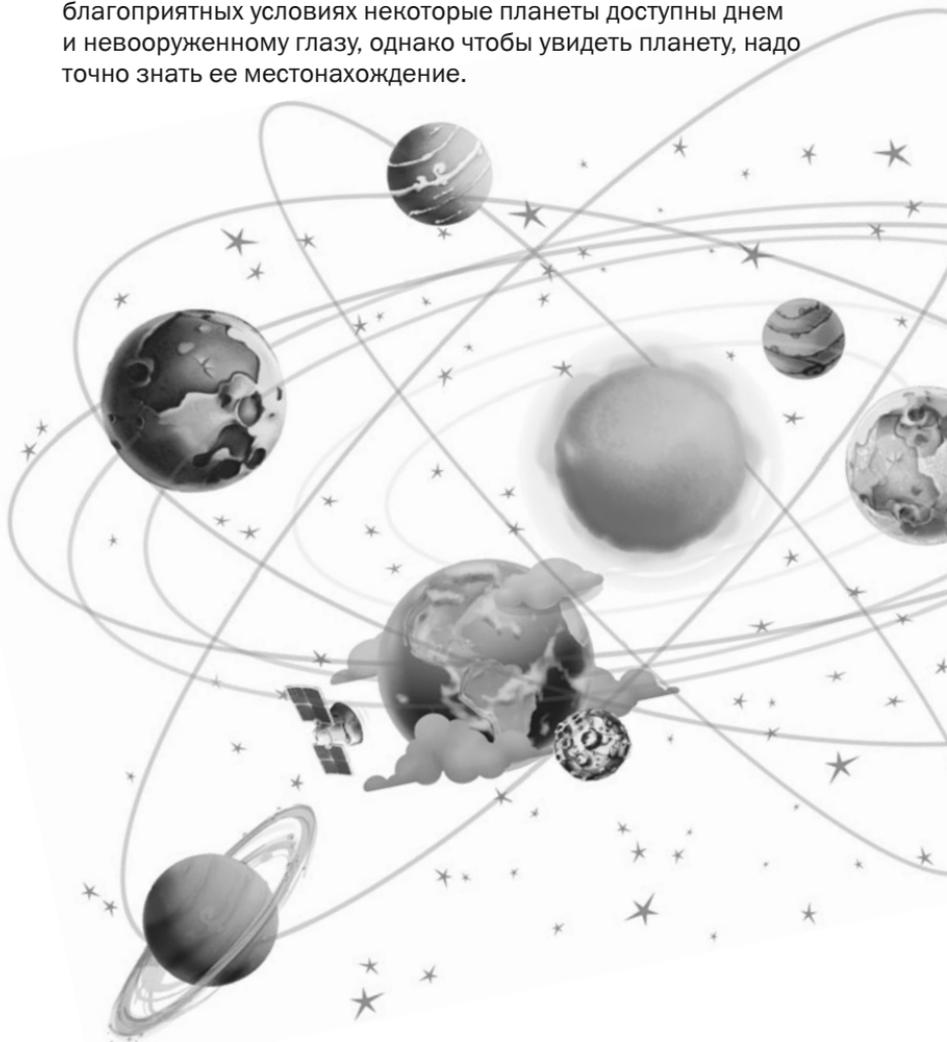
она не опускается ниже 80 °С. Затем падение температуры идет быстрее, и близ края освещенного диска господствует мороз в -50 °С. Еще холоднее на темной, отвернутой от Солнца стороне Луны, где мороз достигает -170 °С.

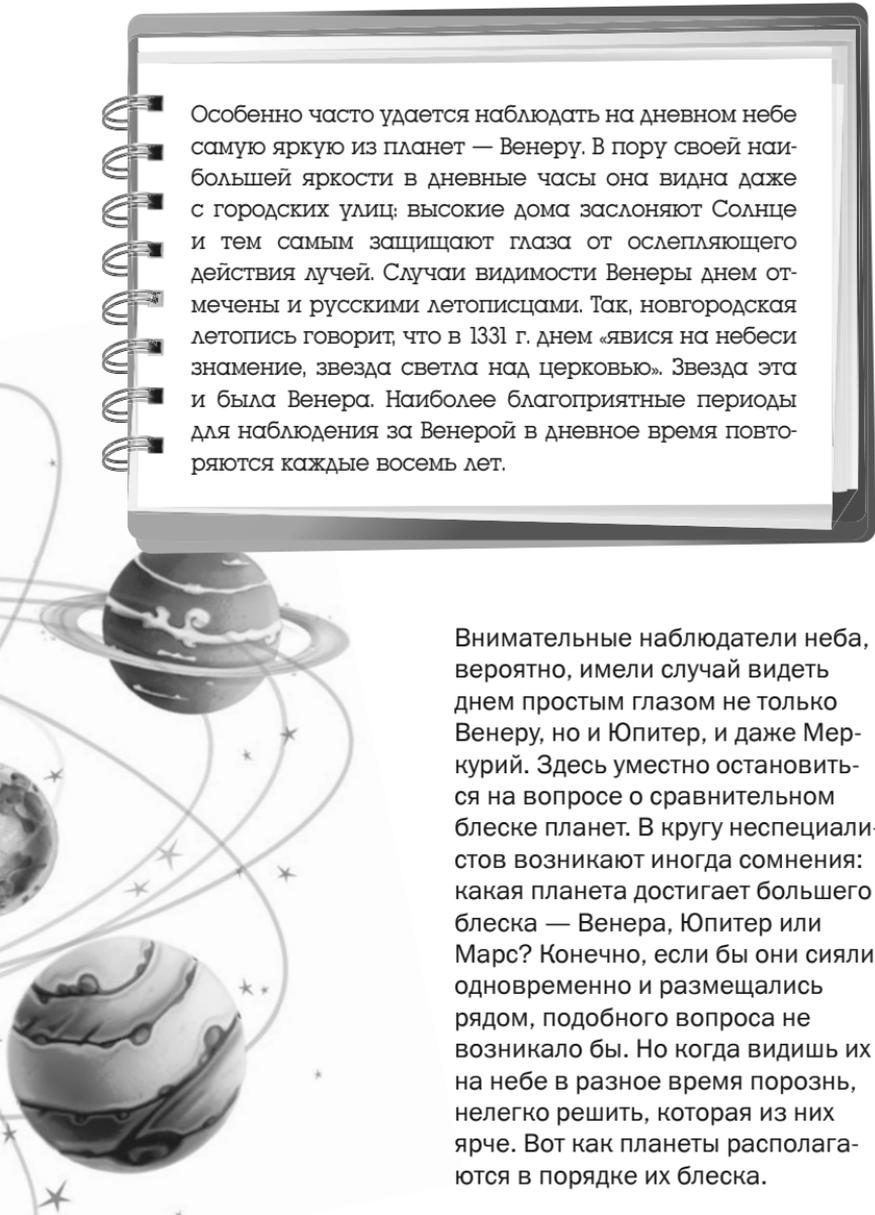
Раньше было упомянуто, что во время затмений, когда лунный шар окунается в земную тень, почва Луны, лишенная солнечного света, быстро охлаждается. Было измерено, как велико это остывание: в одном случае установлено падение температуры с +125 °С до -115 °С, то есть почти на 240 °С в течение каких-нибудь 1,5–2 ч. Между тем на Земле при подобных же условиях, то есть при солнечном затмении, отмечается понижение температуры всего на 2–3°. Это различие отмечается за счет земной атмосферы, сравнительно прозрачной для видимых лучей Солнца и задерживающей невидимые «тепловые» лучи нагретой почвы.

То, что почва Луны так быстро утрачивает накопленное ею тепло, указывает одновременно и на малую теплоемкость, и на плохую теплопроводность лунной почвы, вследствие чего при ее нагревании успевает накопиться лишь небольшой запас теплоты.

→ Планеты при дневном свете

Можно ли днем видеть планеты? В телескоп — безусловно: астрономы нередко наблюдали планеты днем, различая их в трубы даже средней силы, правда, не так отчетливо, как ночью. В трубу с диаметром объектива 10 см можно различить характерные полосы на Юпитере. Телескопические наблюдения за Меркурием, пожалуй, удобнее производить днем, когда планета стоит высоко над горизонтом. После захода Солнца Меркурий бывает виден так низко на небе, что земная атмосфера заметно искажает телескопическое изображение. При благоприятных условиях некоторые планеты доступны днем и невооруженному глазу, однако чтобы увидеть планету, надо точно знать ее местонахождение.





Особенно часто удается наблюдать на дневном небе самую яркую из планет — Венеру. В пору своей наибольшей яркости в дневные часы она видна даже с городских улиц: высокие дома заслоняют Солнце и тем самым защищают глаза от ослепляющего действия лучей. Случаи видимости Венеры днем отмечены и русскими летописцами. Так, новгородская летопись говорит, что в 1331 г. днем «явися на небеси знамение, звезда светла над церковью». Звезда эта и была Венера. Наиболее благоприятные периоды для наблюдения за Венерой в дневное время повторяются каждые восемь лет.

Внимательные наблюдатели неба, вероятно, имели случай видеть днем простым глазом не только Венеру, но и Юпитер, и даже Меркурий. Здесь уместно остановиться на вопросе о сравнительном блеске планет. В кругу неспециалистов возникают иногда сомнения: какая планета достигает большего блеска — Венера, Юпитер или Марс? Конечно, если бы они сияли одновременно и размещались рядом, подобного вопроса не возникало бы. Но когда видишь их на небе в разное время порознь, нелегко решить, которая из них ярче. Вот как планеты располагаются в порядке их блеска.

Венера	} Ярче Сириуса в несколько раз	Меркурий	} Слабее Сириуса, но ярче звезд первой величины
Марс			
Юпитер			

→ Планетная азбука

Для обозначения Солнца, Луны и планет современные астрономы употребляют значки весьма древнего происхождения (см. рисунок справа). Их начертание требует пояснений, кроме, конечно, знака Луны, понятного самого по себе.

Знак Меркурия — упрощенное изображение жезла мифического бога Меркурия, покровителя этой планеты. Знаком Венеры служит изображение ручного зеркала — эмблемы женственности и красоты, присущих богине Венере. Символом для Марса, покровительствуемого богом войны, выбрано копье, заслоненное щитом, — атрибуты воина. Знак Юпитера не что иное, как начальная буква греческого наименования Юпитера — Zeus (Z — в рукописном шрифте). Знак Сатурна, по толкованию К. Фламариона, есть искаженное изображение «косы времени» — традиционной принадлежности бога судьбы.

Перечисленные знаки употребляются с IX в. Знак Урана, разумеется, более позднего происхождения: планета эта открыта лишь в конце XVIII в. Ее знак — кружок с буквой H — должен напоминать нам о В. Гершеле (W. Herschel), первооткрывателе планеты. Знак Нептуна (открытого в 1846 г.) отдает дань мифологии изображением трезубца бога морей. Знак для Плутона понятен сам собой.

К этой планетной азбуке надо еще присоединить знак той планеты, на которой мы живем, а также знак центрального светила нашей системы — Солнца. Этот последний знак — самый древний, потому что был в употреблении у египтян еще тысячелетия назад.

Луна	
Меркурий	
Венера	
Марс	
Юпитер	
Сатурн	
Уран	
Нептун	
Плутон	
Солнце	
Земля	

▲ Условные знаки для Солнца, Луны и планет

Многим покажется, вероятно, странным, что теми же значками планетной азбуки западные астрономы обозначают дни недели, а именно:

воскресенье — знаком Солнца;
 понедельник — знаком Луны;
 вторник — знаком Марса;
 среду — знаком Меркурия;
 четверг — знаком Юпитера;
 пятницу — знаком Венеры;
 субботу — знаком Сатурна.

Неожиданное сближение это станет естественным, если сопоставим знаки планет не с русскими, а с латинскими или с французскими названиями дней недели, сохранившими свою связь с наименованиями планет (по-французски понедельник — *lundi* — день Луны, вторник — *mardi* — день Марса и т. д.). Но мы не станем углубляться здесь в эту любопытную область, больше относящуюся к филологии и истории культуры, чем к астрономии.

Древними алхимиками планетная азбука употреблялась для обозначения металлов, а именно:

знак Солнца — для золота;
знак Луны — для серебра;
знак Меркурия — для ртути;
знак Венеры — для меди;

знак Марса — для железа;
знак Юпитера — для олова;
знак Сатурна — для свинца.

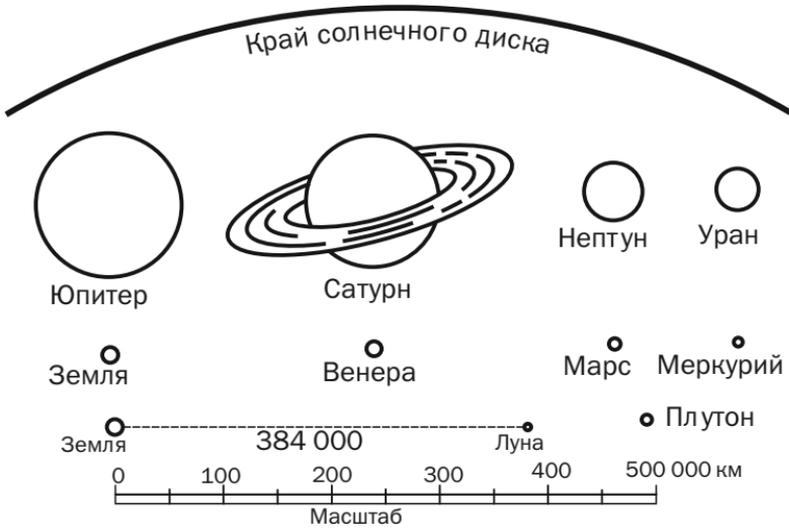
Связь эта объясняется воззрением алхимиков, посвящавших каждый металл одному из древних мифологических божеств. Наконец, отголоском средневекового почтения к планетным знакам является употребление современными ботаниками и зоологами знаков Марса и Венеры для обозначения мужских и женских экземпляров. Ботаники употребляют также астрономический знак Солнца для обозначения однолетних растений, для двухлетних берется тот же знак, но видоизмененный (с двумя точками в кружке), для многолетних трав — знак Юпитера, для кустарников и деревьев — знак Сатурна.

→ Чего нельзя изобразить

К числу вещей, которые никак нельзя изобразить на бумаге, принадлежит точный план нашей Солнечной системы. То, что под именем плана Солнечной системы приводится в книгах по астрономии, есть чертеж планетных путей, а никак не Солнечной системы: самих планет на таких чертежах нельзя изобразить без грубого нарушения масштаба. Планеты, по сравнению с разделяющими их расстояниями, так ничтожно малы, что трудно даже составить себе сколько-нибудь правильное представление об этом соотношении. Мы облегчим работу воображения, если обратимся к уменьшенному подобию планетной системы. Тогда станет ясно и то, почему нет возможности представить Солнечную систему ни на каком чертеже. Все, что мы в состоянии сделать на чертеже, — это показать сравнительные размеры планет и Солнца.

Изберем для земного шара самую скромную величину — булавочную головку: пусть Земля изображается шариком, поперечник которого около 1 мм. Точнее говоря, мы будем пользоваться масштабом примерно 15 000 км в 1 мм, или 1 : 15 000 000 000. Луну в виде крупинки в $\frac{1}{4}$ мм диаметром надо будет поместить в 3 см от булавочной головки. Солнце величиной с мяч или крокетный шар (10 см) должно отстоять на 10 м от Земли. Мяч, помещенный в одном углу просторной комнаты, и булавочная головка в другом — вот подобие того, что представляют собой в мировом пространстве Солнце и Земля. Вы видите, что здесь гораздо больше пустоты, чем вещества. Правда, между Солнцем и Землей есть две планеты — Меркурий и Венера, но они мало способ-
ствуют заполнению пространства.

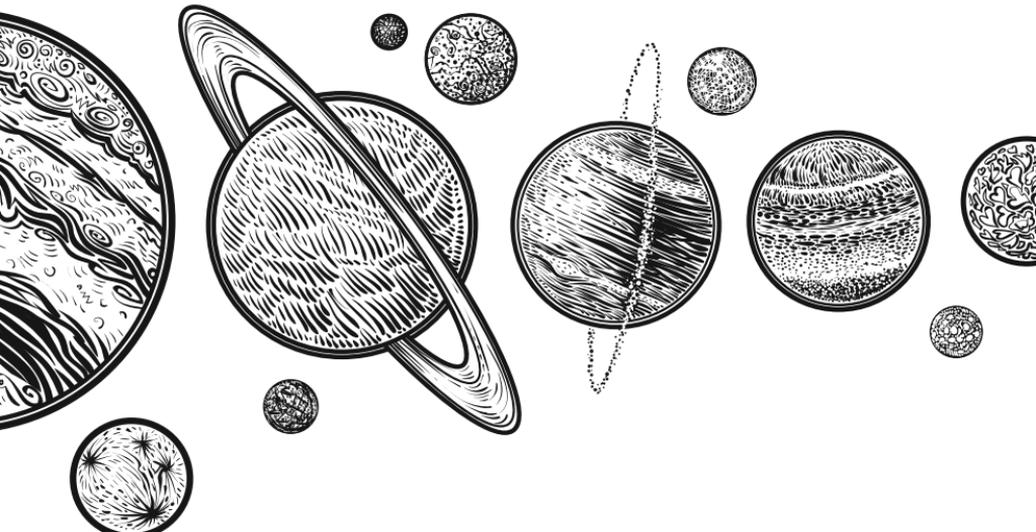




▲ Сравнительные размеры планет и Солнца.

Диаметр диска Солнца в этом масштабе равен 19 см

В нашей комнате прибавятся лишь две крупинки: одна в $\frac{1}{3}$ мм поперечником (Меркурий) на расстоянии 4 м от мяча-Солнца и вторая — с булавочную головку (Венера) — в 7 м от мяча. Но будут еще крупинки вещества по другую сторону от Земли. В 16 м от мяча-Солнца кружится Марс — крупинка в 0,5 мм поперечником. Каждые 15 лет обе крупинки, Земля и Марс, сближаются до 4 м; так выглядит здесь кратчайшее расстояние между двумя мирами.



У Марса два спутника, но изобразить их в нашей модели невозможно: в принятом масштабе им следовало бы придать размеры бактерий! Почти столь же ничтожные размеры должны иметь в нашей модели астероиды — малые планеты, известные уже в числе свыше полутора тысяч, кружащиеся между Марсом и Юпитером. Их среднее расстояние от Солнца в нашей модели — 28 м. Наиболее крупные из них имеют (в модели) толщину волоса, мельчайшие же — величиной с бактерию.

Исполин Юпитер будет представлен у нас шариком величиной с орех (1 см) в 52 м от мяча-Солнца. Вокруг него на расстоянии 3, 4, 7 и 12 см кружатся самые крупные из двенадцати его спутников. Размеры этих больших лун — около 0,5 мм, остальные

представляются в модели опять-таки бактериями.

Наиболее удаленный из его спутников, IX, пришлось бы поместить в 2 м от ореха-Юпитера. Значит, вся система Юпитера имеет у нас 4 м в поперечнике. Это очень много по сравнению с системой Земля — Луна (поперечник 6 см), но довольно скромно, если сопоставить такие размеры с поперечником орбиты Юпитера (104 м) на нашей модели.

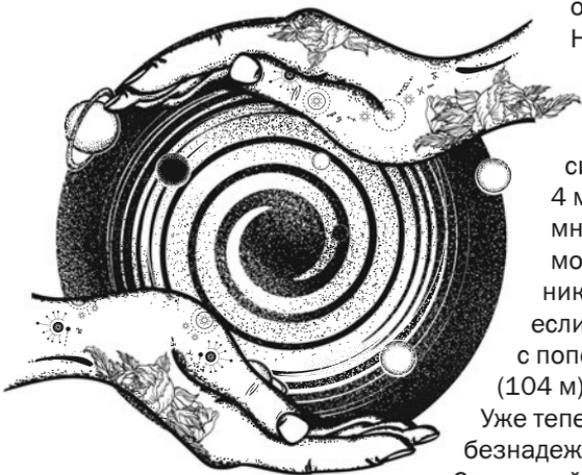
Уже теперь очевидно, насколько безнадежны попытки уместить план Солнечной системы на одном чертеже.

Невозможность эта станет в дальней-

шем еще убедительнее. Планету Сатурн пришлось бы поместить в 100 м от мяча-Солнца в виде орешка 8 мм поперечником.

Прославленные кольца Сатурна шириной 4 мм и толщиной $\frac{1}{250}$ мм будут находиться в 1 мм от поверхности орешка.

Девять спутников разбросаны вокруг планеты на протяжении 0,5 м в виде крупинки диаметром 0,1 мм и менее.



Пустыни, разделяющие планеты, прогрессивно увеличиваются с приближением к окраинам системы. Уран в нашей модели отброшен на 196 м от Солнца. Это горошина в 3 мм поперечником с 27 пылинками-спутниками, разбросанными на расстоянии до 4 см от центральной крупинки.

В 300 м от центрального крокетного шара медлительно совершает свой путь Нептун: горошина с двумя (самыми большими из тринадцати) спутниками Тритоном и Нереидой в 3 и 70 см от нее. Еще далее обращается небольшая планета — Плутон, расстояние которой в нашей модели выразится в 400 м, а поперечник — около половины земного.

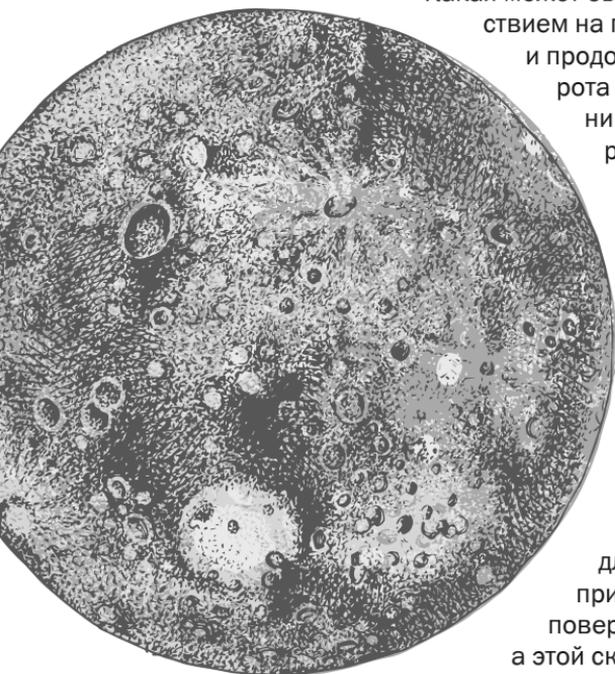
Но орбиту последней планеты нельзя считать границей нашей Солнечной системы. Кроме планет, к ней принадлежат кометы, многие из которых движутся по замкнутым путям около Солнца. Среди этих «волосатых звезд» (подлинное значение слова «комета») есть ряд таких, период обращения которых доходит до 800 лет. Путь каждой из них на модели изобразился бы вытянутым эллипсом, один конец которого, ближайший (перигелий), расположен всего в 12 мм от Солнца, а дальний (афелий) — в 1700 м от него, в четыре раза дальше Плутона. Если исчислить размеры Солнечной системы по этим кометам, то наша модель вырастет до $3\frac{1}{2}$ в поперечнике и займет площадь 9 км² при величине Земли с булавоочную головку! На этих 9 км² помещается такой инвентарь:

- ✦ 1 крокетный шар;
- ✦ 2 орешка;
- ✦ 2 горошины;
- ✦ 2 булавоочные головки;
- ✦ 3 крупинки помельче.

Вещество комет, как бы они ни были многочисленны, в расчет не принимается: их масса так мала, что они справедливо названы «видимое ничто».

Итак, наша планетная система не поддается изображению на чертеже в правильном масштабе.

→ Почему на Меркурии нет атмосферы?

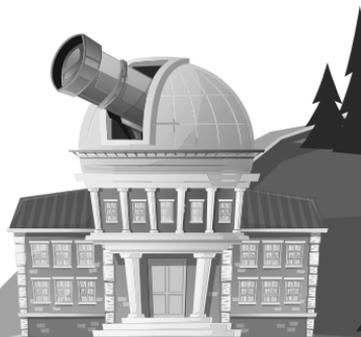


Какая может быть связь между присутствием на планете атмосферы и продолжительностью ее оборота вокруг оси? Казалось бы, никакой. И все же на примере ближайшей к Солнцу планеты, Меркурия, мы убеждаемся, что в некоторых случаях такая связь существует.

По силе тяжести на своей поверхности Меркурий мог бы удерживать атмосферу такого состава, как земная, хотя и не столь плотную.

Скорость, необходимая для полного преодоления притяжения Меркурия на его поверхности, равна 4200 м/с, а этой скорости при невысоких температурах не достигают быстрее-шие из молекул нашей атмосферы. И тем

не менее Меркурий лишен атмосферы. Причина в том, что он движется вокруг Солнца как Луна около Земли, то есть всегда обращен к центральному светилу одной и той же стороной. Время обхода орбиты (88 суток) равно времени оборота вокруг оси. Поэтому на одной стороне Меркурия (той, которая всегда обращена к Солнцу) непрерывно длится день и стоит вечное лето, а на другой стороне, отвернутой от Солнца, царят непрерывная ночь и вечная зима. Легко вообразить себе, какой зной должен господствовать на дневной стороне планеты: Солнце здесь в 2,5 раза ближе, чем на Земле,

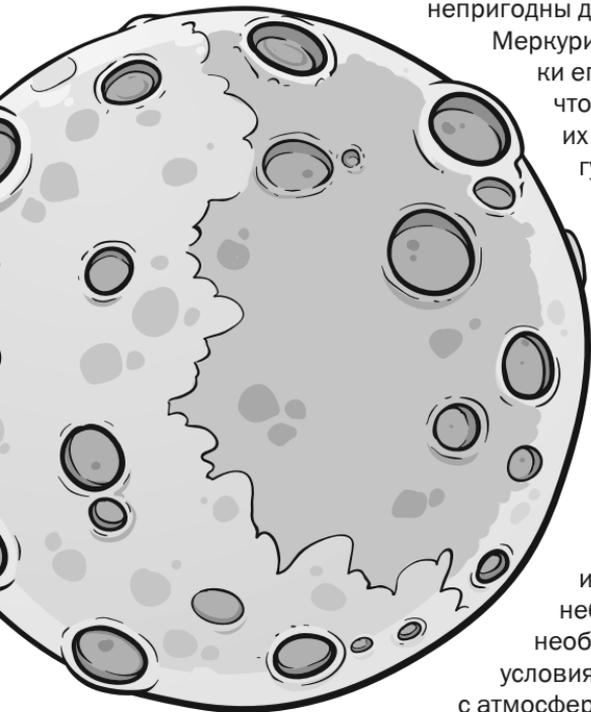


и палящая сила его лучей должна возрасти в $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$, то есть в $6\frac{1}{4}$ раза. На ночную сторону, напротив, в течение миллионов лет не проникал ни один луч Солнца, и там должен господствовать мороз, близкий к холоду мирового пространства (около $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$), так как теплота дневной стороны не может проникать сквозь толщу планеты. А на границе дневной и ночной стороны существует полоса шириной в 23° , куда вследствие либрации Солнце заглядывает лишь на время.

Если учесть, что меркурианский год равен всего 88 суткам, то воображаемый космонавт, оказавшийся на этой планете, увидел бы странные картины: Солнце то остаётся на небосводе, то возвращается назад, а в некоторых зонах планеты восходы и заходы Солнца наблюдаются дважды за одни сутки, причём как на востоке, так и на западе.



Средняя температура поверхности равна $+330^{\circ}\text{C}$. Из-за близости Солнца дневная сторона Меркурия прогревается до температуры $290\text{--}420^{\circ}\text{C}$. Зато на ночной стороне температура падает до -173° . Атмосферное давление на Меркурии в 300 раз меньше, чем на Земле. То есть атмосфера практически отсутствует. Такие условия совершенно непригодны для жизни. Это тоже роднит Меркурий с Луной. Да и фотоснимки его так похожи на лунные, что даже специалист не сразу их различит. Весь Меркурий густо испещрен кратерами, такими же круглыми, как лунные, и очень похожи на лунные его «моря» и долины. Естественно, ведь поверхности обеих планет формировали вулканические извержения и бесчисленные удары больших и малых метеоритов. И не было плотной атмосферы, которая бы предотвратила или смягчила эти жестокие небесные удары. При таких необычайных климатических условиях что же должно произойти с атмосферой планеты?



Очевидно, на ночной половине под влиянием страшного холода атмосфера сгустится в жидкость и замерзнет. Вследствие резкого понижения атмосферного давления туда устремится газовая оболочка дневной стороны планеты и затвердеет. В итоге вся атмосфера должна в твердом виде собраться на ночной стороне планеты, вернее, в той ее части, куда Солнце вовсе не заглядывает. Таким образом, отсутствие на Меркурии атмосферы является неизбежным следствием физических законов.

Мы должны отвергнуть и нередко высказываемую догадку, будто атмосфера имеется на невидимой стороне Луны. Можно с уверенностью утверждать, что если нет атмосферы на одной стороне Луны, то не может ее быть и на противоположной.

Мы должны отвергнуть и нередко высказываемую догадку, будто атмосфера имеется на невидимой стороне Луны. Можно с уверенностью утверждать, что если нет атмосферы на одной стороне Луны, то не может ее быть и на противоположной.

В этом пункте расходится с истиной фантастический роман Г. Уэллса «Первые люди на Луне». Романист допускает, что на Луне есть воздух, который в течение сплошной 14-суточной ночи успевает сгуститься и замерзнуть, а с наступлением дня вновь переходит в газообразное состояние, образуя атмосферу. Ничего подобного, однако, происходить не может. «Если, — писал по этому поводу профессор О. Д. Хвольсон, — на темной стороне Луны воздух затвердевает, то почти весь воздух должен перейти от светлой стороны в темную и там также замерзнуть. Под влиянием солнечных лучей твердый воздух должен превращаться в газ, который немедленно будет переходить на темную сторону и там затвердевать... Должна происходить непрерывная дистилляция воздуха, и нигде и никогда не может достигнуть сколько-нибудь заметной упругости.»

Если для Меркурия и Луны можно считать доказанным отсутствие атмосферы, то для Венеры, второй от Солнца планеты нашей системы, присутствие атмосферы несомненно.

Установлено даже, что в атмосфере, точнее в стратосфере Венеры, много углекислого газа — в 10 000 раз больше, чем в земной атмосфере.



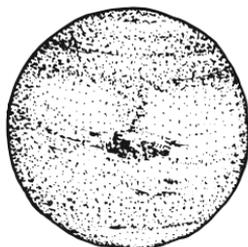
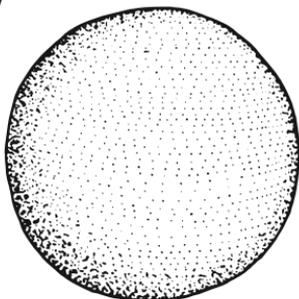
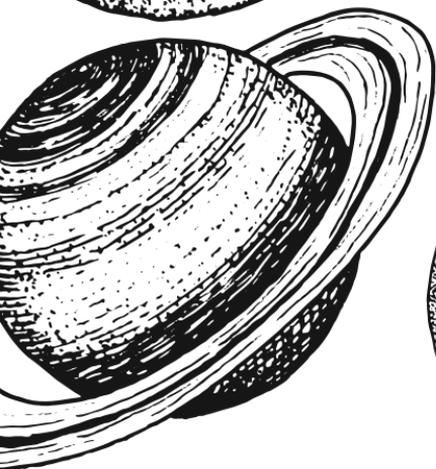
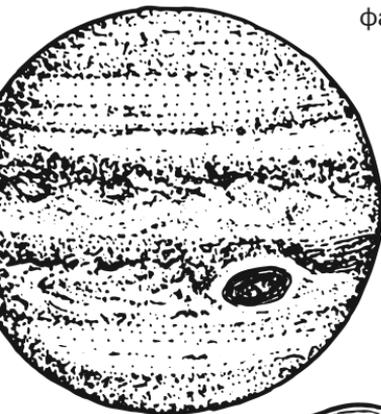


Фазы Венеры



Известный математик К. Гаусс рассказывает, что однажды он предложил своей матери посмотреть в астрономическую трубу на Венеру, ярко сиявшую на вечернем небе. Математик думал поразить мать неожиданностью, так как в трубу Венера видна в форме серпа. Удивиться, однако, пришлось ему самому: приставив глаз к окуляру, женщина не выразила никакого изумления по поводу вида планеты, а осведомилась лишь, почему серп обращен в трубу в обратную сторону... Гаусс не подозревал до того времени, что мать его различает фазы Венеры даже невооруженным глазом. Такое острое зрение встречается очень редко, поэтому до изобретения зрительной трубы никто не подозревал о существовании фаз Венеры, подобных лунным.

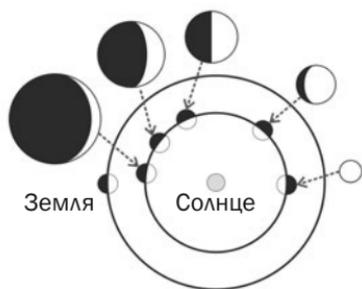
Особенность фаз Венеры в том, что поперечник планеты в разных фазах неодинаков: узкий серп по диаметру значительно больше полного диска. Причина — различное удаление от нас этой планеты в различных фазах. Среднее расстояние от Венеры до Солнца — 108 млн км, до Земли — 150 млн км. Легко понять, что ближайшее расстояние обеих планет равно разности $150 - 108$, то есть 42 млн км, а самое дальнее — сумме $150 + 108$, то есть 258 млн км.



Следовательно, удаление Венеры от нас изменяется в этих пределах. В ближайшем соседстве с Землей Венера обращена к нам неосвещенной стороной, и потому наиболее крупная ее фаза совершенно невидима. Отходя от этого положения «нововенерия», планета принимает вид серпа, диаметр которого тем меньше, чем серп шире. Наибольшей яркости Венера достигает не тогда, когда она видна полным диском, и не тогда, когда диаметр ее наибольший, а в некоторой промежуточной фазе. Полный диск Венеры виден под углом зрения $10''$, наибольший серп — под углом $64''$.

Высшей же яркости планета достигает спустя три декады после «нововенерия», когда угловой диаметр ее $40''$ и угловая ширина серпа — $10''$.

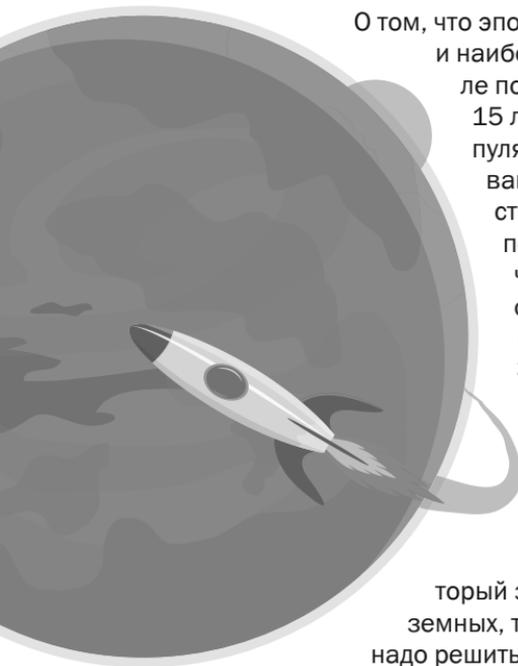
Тогда она светит в 13 раз ярче Сириуса, самой яркой звезды всего неба.



▲ Фазы Венеры, видимые в телескоп. Венера в разных фазах имеет различный видимый диаметр вследствие изменения расстояния от Земли



→ Великие противостояния



О том, что эпохи наибольшей яркости Марса и наибольшего его приближения к Земле повторяются примерно каждые 15 лет, известно многим. Очень популярно и астрономическое наименование этих эпох: великие противостояния Марса. Но мало кто знает, почему это событие повторяется через каждые 15 лет. Между тем относящаяся сюда «математика» весьма несложна.

Земля совершает полный обход своей орбиты за $365\frac{1}{4}$ суток, Марс — за 687 суток. Если обе планеты сошлись однажды на ближайшее расстояние, то они должны сойтись вновь через такой промежуток времени, который включает целое число годов как земных, так и марсовых. Другими словами, надо решить в целых числах уравнение

$$365 \frac{1}{4} x = 687y,$$

или $x = 1,88y$, откуда

$$\frac{x}{y} = 1,88 = \frac{47}{25}.$$

Развернув последнюю дробь в непрерывную, получаем

$$\frac{47}{25} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{7 + \frac{1}{3}}}.$$

Взяв первые три звена, имеем приближение

$$1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{7}} = \frac{15}{8}$$

и заключаем, что 15 земных лет равны восьми марсовым. Значит, эпохи наибольшего приближения Марса должны повторяться каждые 15 лет.

Таким же способом можно найти и период повторения наибольшей близости Юпитера. Год Юпитера равен 11,86 земного. Развернем это дробное число в непрерывную дробь:

$$11,86 = 11 \frac{43}{50} = 11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6 + \frac{1}{7}}}$$

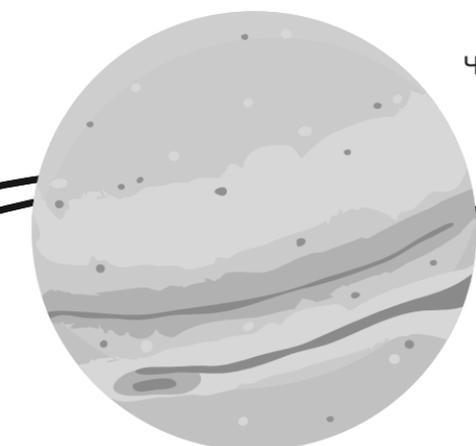
Первые три звена дают приближение $83/7$. Значит, великие противостояния Юпитера повторяются каждые 83 земных года (или 7 юпитеровых). Расстояние Юпитера от Земли в эти моменты равно 587 млн км. Это наименьшее расстояние, на какое подходит к нам крупнейшая планета Солнечной системы. Во время противостояния Юпитер достигает и наибольшей видимой яркости.



→ Планета или меньшее Солнце?

Такой вопрос можно поставить относительно Юпитера — самой крупной из планет нашей системы. Этот исполин, из которого можно было бы сделать 1314 шаров такого объема, как земной, своим могучим притяжением заставляет обращаться вокруг себя целый рой спутников. Астрономами обнаружено у Юпитера 16 больших и более 20 малых лун. Самые крупные из них — те четыре, которые еще три века назад были открыты Галилеем, обозначаются они римскими цифрами I, II, III, IV. Спутники III и IV по размерам не уступают «настоящей» планете — Меркурию. В следующей табличке поперечники этих спутников сопоставлены с размерами диаметров Меркурия и Марса. Заодно в ней указаны поперечники первых двух спутников Юпитера, а также нашей Луны.

Объект	Поперечник, км
Марс	6600
IV спутник Юпитера	5150
III спутник Юпитера	5150
Меркурий	4700
I спутник Юпитера	3700
Луна	3480
II спутник Юпитера	3220



Что касается мощи Юпитера как притягивающего центра, то она внушительно выступает при обозрении расстояний, на которых планета-гигант заставляет обращаться вокруг себя свои луны. Вот табличка этих расстояний.

Расстояние	В км	Сравнительное
от Луны до Земли	380 000	1
от III спутника до Юпитера	1 070 000	3
от IV спутника до Юпитера	1 900 000	5
от IX спутника до Юпитера	24 000 000	63

Вы видите, что система Юпитера имеет размеры, в 62 раза большие, чем система Земля — Луна. Столь широко раскинувшейся семьей спутников не владеет никакая другая планета. Не без основания, значит, уподобляют Юпитер маленькому солнцу. Масса его втрое больше массы всех прочих планет, вместе взятых, и исчезни вдруг Солнце, его место мог бы занять Юпитер, заставляя все планеты, хотя и медленно, обращаться вокруг него как около нового центрального тела системы.

Есть черты сходства Юпитера с Солнцем и по физическому устройству. Средняя плотность его вещества — 1,33 по отношению к воде — близка к плотности Солнца. Однако сильная сплюснутость Юпитера приводит к представлению о том, что Юпитер обладает плотным ядром, окруженным толстым слоем льда и гигантской атмосферой.

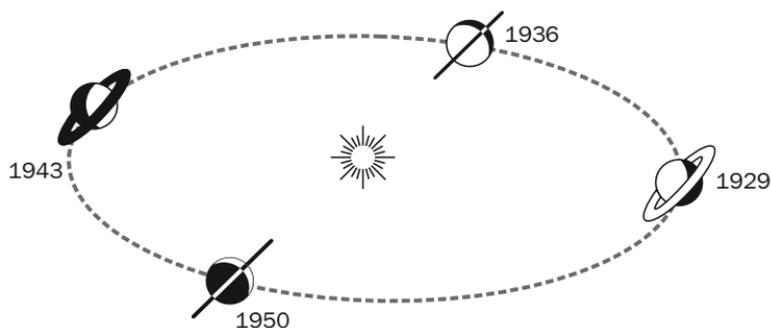
Еще совсем недавно уподобление Юпитера Солнцу простирали дальше: предполагалось, что эта планета не покрыта твердой корой и едва вышла из стадии самосветящегося тела. Сейчас этот взгляд приходится отвергнуть: непосредственное измерение температуры Юпитера показало, что она чрезвычайно низка: на 140 °С ниже нуля! Правда, речь идет о температуре облачных слоев, плавающих в юпитеровой атмосфере. Низкая температура Юпитера делает трудноразрешимой задачей объяснение его физических особенностей: бурных явлений в атмосфере, полос, пятен и т. п. Астрономия стоит здесь перед целым клубком загадок.

В атмосфере Юпитера (а также его соседа Сатурна) обнаружено несомненное присутствие большого количества аммиака и метана.

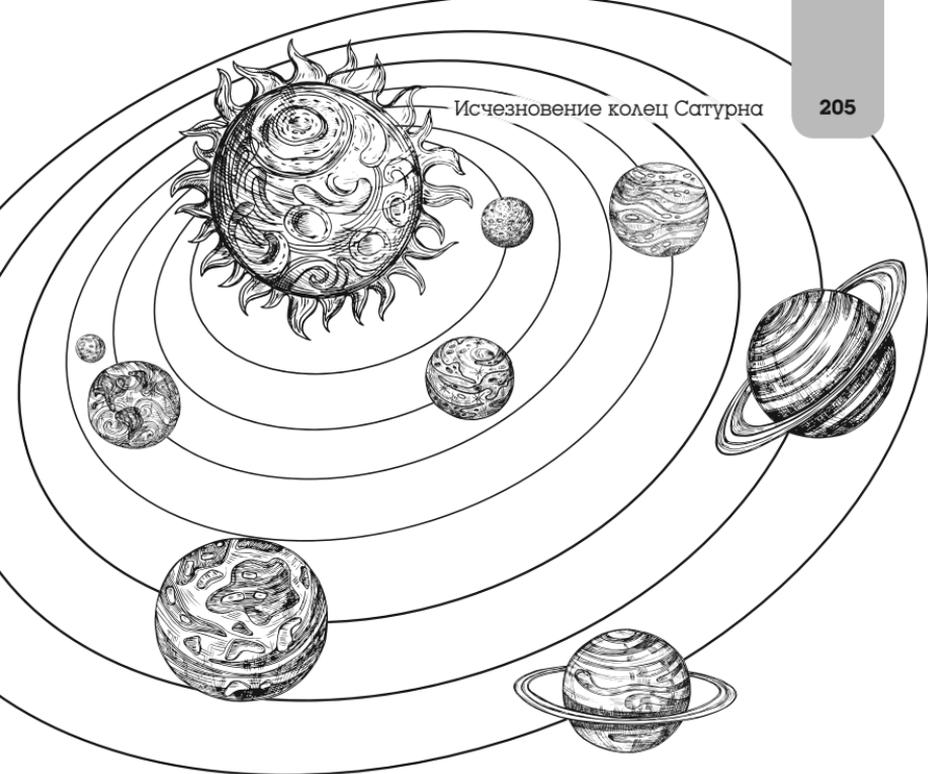
→ Исчезновение колец Сатурна

В 1921 г. разнесся сенсационный слух: Сатурн лишился своих колец! Мало того, обломки разрушенных колец летят в мировом пространстве по направлению к Солнцу и по пути должны обрушиться на Землю. Называли даже день, когда должно произойти катастрофическое столкновение...

История эта может служить характерным примером того, как зарождаются слухи. Поводом к возникновению сенсации послужило попросту то, что в названном году кольца Сатурна на короткое время перестали быть видимыми, «исчезли», по выражению астрономического календаря. Молва поняла это выражение буквально как физическое исчезновение, то есть разрушение колец, и украсила событие дальнейшими подробностями, приличествующими мировой катастрофе; отсюда падение обломков колец к Солнцу и неизбежное столкновение с Землей.



▲ Какие положения занимают кольца Сатурна по отношению к Солнцу в течение 29-летнего обращения планеты по орбите



Сколько шуму наделало невинное сообщение астрономического календаря об оптическом исчезновении сатурновых колец! Чем же обуславливается это исчезновение? Кольца Сатурна очень тонкие. Их толщина измеряется двумя-тремя десятками километров. По сравнению с их шириной, они имеют толщину листа бумаги. Поэтому когда кольца становятся к Солнцу ребром, их верхние и нижние поверхности не освещаются, и кольца делаются невидимыми. Невидимы они также тогда, когда становятся ребром к земному наблюдателю.

Кольца Сатурна наклонены к плоскости земной орбиты под углом 27° , но за время 29-летнего обхода по планетной орбите кольца в двух диаметрально противоположных ее точках становятся ребром к Солнцу и к земному наблюдателю (см. рисунок слева). А в двух других точках, расположенных на 90° от первых, кольца, напротив, показывают Солнцу и Земле свою наибольшую ширину или «раскрываются», как говорят астрономы.



→ Астрономические анаграммы

Исчезновение колец Сатурна некогда сильно озадачило Галилея, который был близок к открытию этой достопримечательности планеты, но не осуществил его именно из-за непонятого исчезновения колец. История эта очень любопытна. В то время существовал обычай закреплять за собой право на первенство в каком-либо открытии своеобразным способом. Напав на открытие, которое нуждается в дальнейшем подтверждении, ученый из опасения, чтобы его не опередили другие, прибегал к помощи анаграммы (перестановки букв). Он кратко объявлял о сущности своего открытия в форме анаграммы, истинный смысл которой был известен лишь ему одному. Это давало ученому возможность не спеша проверить свое открытие, а в случае появления другого претендента доказать свое пер-



венство. Когда же он окончательно убедился в правильности первоначальной догадки, он раскрывал секрет анаграммы. Заметив в свою несовершенную трубу, что Сатурн имеет по бокам какие-то придатки, Галилей поспешил сделать заявку на это открытие и опубликовал следующий набор букв:

*Smaismrmiepmepoetaleumibuvne
nugttaviras.*

Догадаться, что скрывается под этим шифром, совершенно невозможно. Конечно, можно испытать все перестановки из этих 39 букв и таким образом разыскать ту фразу, которую составил Галилей, но пришлось бы проделать чудовищную работу. Кто знаком с теорией соединений, тот может выразить общее число возможных здесь различных перестановок (с повторениями). Вот оно

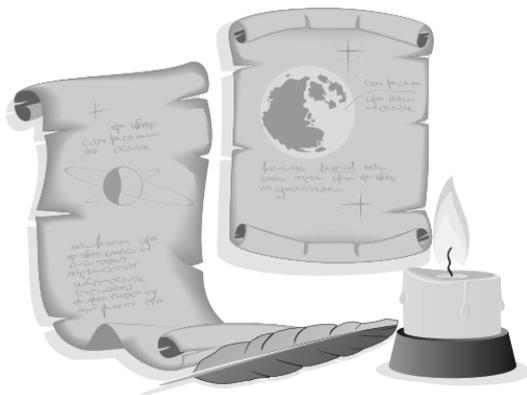


39!

3! 5! 4! 4! 2! 2! 5! 3! 3! 2! 2!

Число это состоит примерно из 35 цифр (вспомним, что число секунд в году состоит только из восьми цифр). Теперь понятно, как хорошо зашифровал Галилей секрет своей заявки. Современник итальянского ученого Кеплер с присущим ему беспримерным терпением затратил немало труда на то, чтобы проникнуть в сокровенный смысл заявки Галилея, и ему казалось, что он добился этого, когда из опубликованных букв (опустив две) составил такую латинскую фразу:

Salve, umbistineum geminatum Martia proles, что значит «Привет вам, близнецы, Марса порождение».



Кеплер был убежден, что Галилей открыл те два спутника Марса, существование которых подозревал он сам (они в действительности и были открыты, но спустя два с половиной века). Однако остроумие Кеплера на этот раз не привело к цели. Когда Галилей раскрыл наконец секрет своей заявки, оказалось, что фраза, если пренебречь двумя ее буквами, такова: *Altissimum planetam tergeminum observavi* («Высочайшую планету тройную наблюдал»).

Из-за слабости своей трубы Галилей не мог понять истинного значения этого «тройного» образа Сатурна, а когда спустя несколько лет боковые придатки планеты совершенно исчезли, Галилей решил, что ошибся и никаких придатков у Сатурна нет.

Открыть кольца Сатурна посчастливилось только через полвека Гюйгенсу. Подобно Галилею, он не сразу опубликовал свое открытие, а скрыл догадку под тайнописью:

*Aaaaaaacccccdeeeeghiiiiiiillmmnnnnnnnnn
ooooopqrstttttuuuuu.*

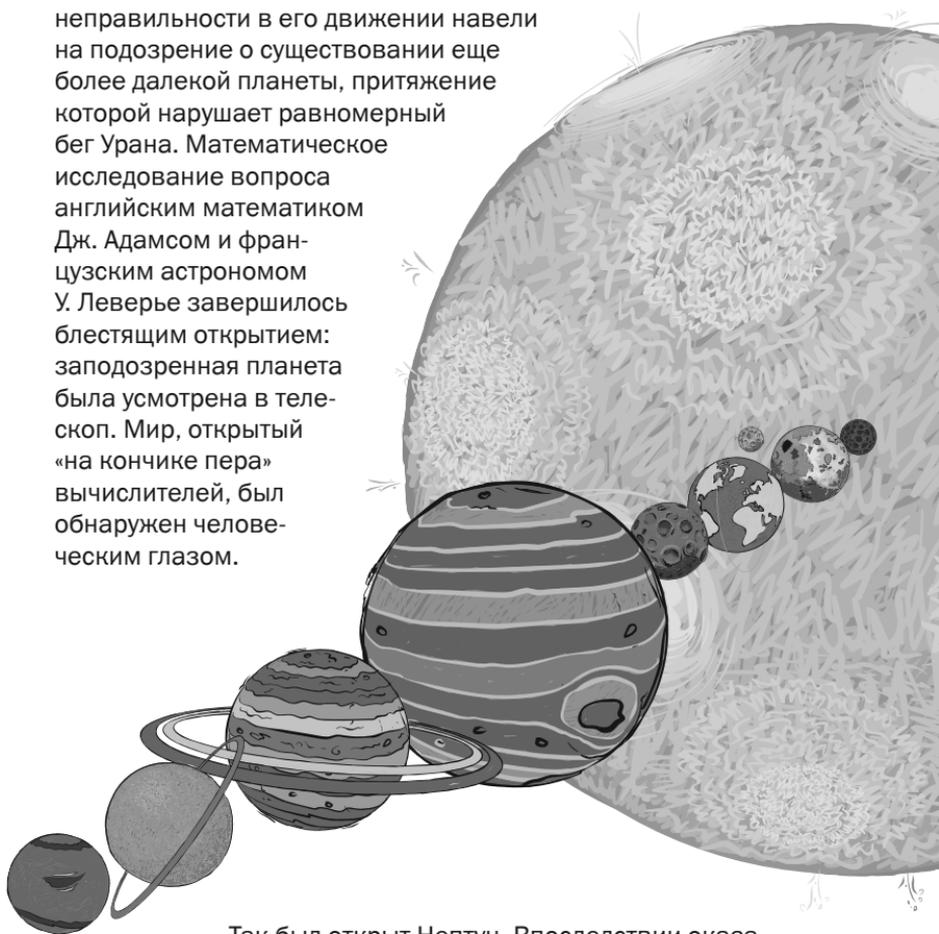
Спустя три года, убедившись в правильности своей догадки, Гюйгенс обнародовал смысл заявки: *Annulo cingitur, tenui, piano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato* («Кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклоненным»).

→ Планета дальше Нептуна

В первом издании этой книги (1929 г.) я писал, что последняя известная нам планета Солнечной системы — Нептун, находящийся в 30 раз дальше от Солнца, чем Земля. Уже во втором издании книги я не мог повторить этого, потому что в 1930 г. в нашей Солнечной системе появился новый член — девятая крупная планета, обращающаяся около Солнца далее Нептуна. Открытие это не было полной неожиданностью. Астрономы давно уже склонялись к мысли о существовании неизвестной планеты далее Нептуна. Немногом больше 100 лет назад крайней планетой Солнечной системы считался Уран. Некоторые



неправильности в его движении навели на подозрение о существовании еще более далекой планеты, притяжение которой нарушает равномерный бег Урана. Математическое исследование вопроса английским математиком Дж. Адамсом и французским астрономом У. Леверье завершилось блестящим открытием: заподозренная планета была усмотрена в телескоп. Мир, открытый «на кончике пера» вычислителей, был обнаружен человеческим глазом.



Так был открыт Нептун. Впоследствии оказалось, что влияние Нептуна не объясняет без остатка всех неправильностей в движении Урана. Тогда была выдвинута мысль о существовании еще одной занептунной планеты. Ее нужно было отыскать, и вычислители стали работать над этой задачей. Предложены были разнообразные варианты ее решения: девятую планету относили на различные расстояния от Солнца и наделяли разыскиваемое небесное тело различной массой.

В 1930 г. телескоп наконец извлек из мрака окраин Солнечной системы нового члена нашей планетной семьи, получившего название Плутон. Это важное открытие было сделано молодым американским астрономом К. Томбо.

Что мы знаем об этом новооткрытом мире? Пока немного: он так далек от нас и так скупо освещается Солнцем, что в сильнейшие инструменты с трудом удалось измерить его диаметр. Он оказался равным 6000 км, то есть около половины диаметра Земли.

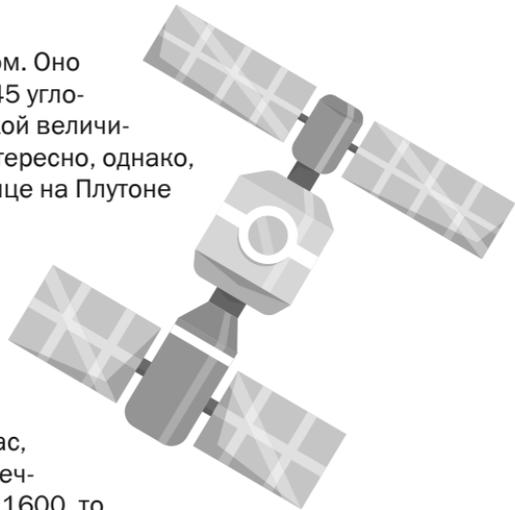
Плутон движется вокруг Солнца по довольно вытянутой (эксцентриситет — 0,25) орбите, заметно наклоненной (17°) к плоскости земной орбиты, на расстоянии от Солнца, в 40 раз большем, чем Земля. Планете нужно около 250 лет, чтобы обойти этот огромный путь.



На небе Плутона Солнце светит в 1600 раз слабее, чем на земном. Оно виднеется маленьким диском в 45 угловых секунд, то есть примерно такой величины, каким мы видим Юпитер. Интересно, однако, установить, что светит ярче: Солнце на Плуtone или полная Луна на Земле.

Оказывается, далекий Плутон вовсе не так обделен солнечным светом, как можно думать. Полная Луна светит у нас в 440 000 раз слабее Солнца. На небе же Плутона дневное светило слабее, чем у нас, в 1600 раз. Значит, яркость солнечного света на Плуtone $440\,000 / 1600$, то есть в 275 раз, сильнее, чем свет полной Луны на Земле.

Дневное освещение там равно освещению 275 полных лун и раз в 30 ярче самой светлой белой ночи в Петербурге, поэтому называть Плутон царством вечной ночи было бы неправильным.

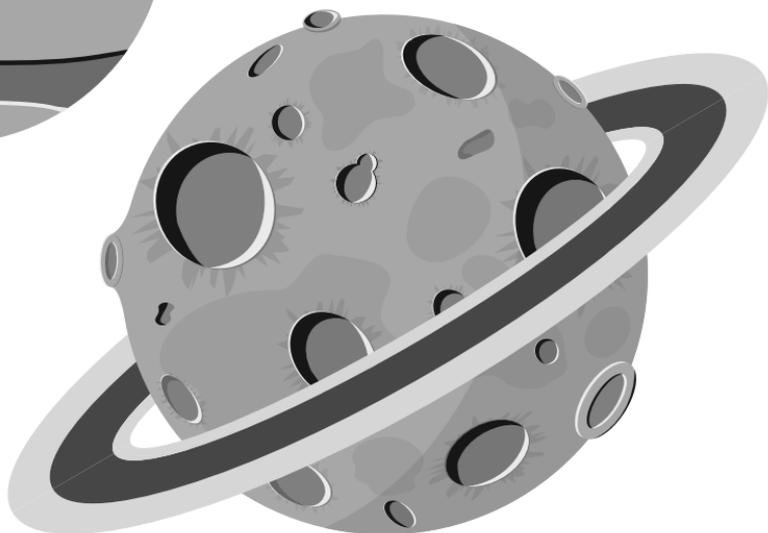
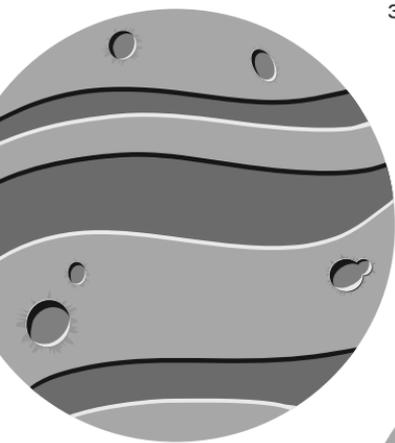


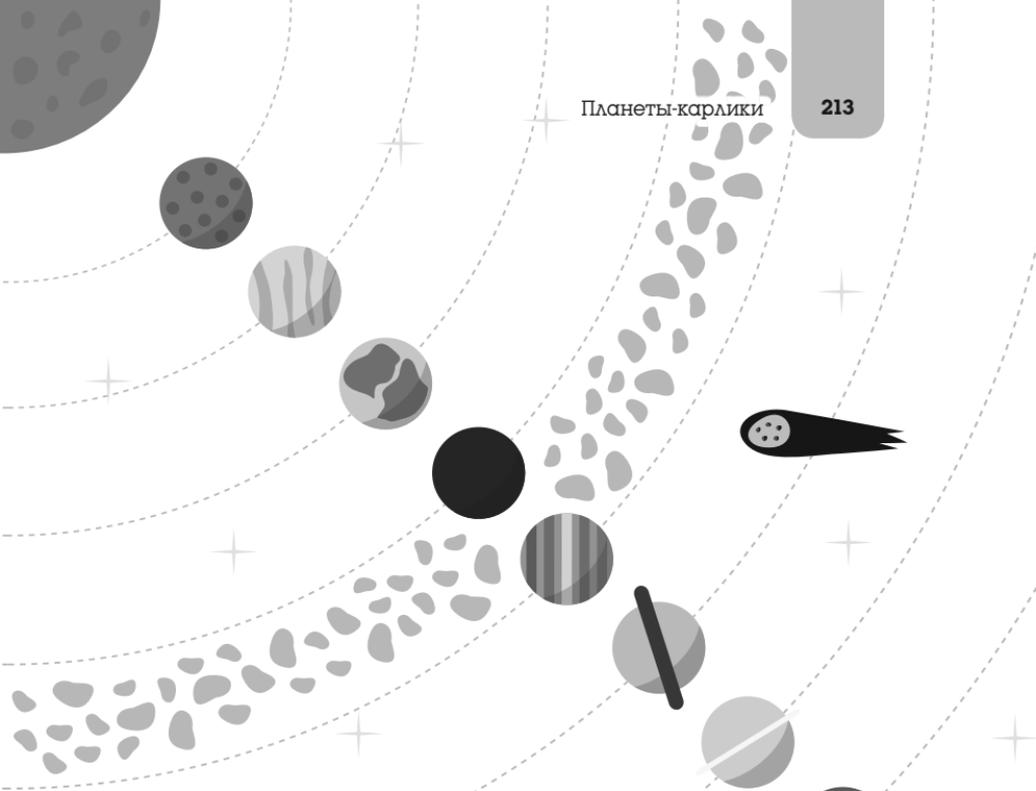
→ Планеты-карлики

Девять крупных планет, о которых мы до сих пор беседовали, не исчерпывают всего планетного населения нашей Солнечной системы. Они только наиболее заметные по величине его представители. Кроме них, около Солнца кружится на разных расстояниях множество гораздо более мелких планеток. Эти карлики планетного мира называются астероидами (буквально — «звездopodobными») или просто «малыми планетами».

Наиболее значительная из них, Церера, имеет в поперечнике 770 км. Она была открыта 1 января 1801 г. В течение XIX в. планет-карликов было обнаружено свыше 400. Все они движутся вокруг Солнца, между орбитами Марса и Юпитера, поэтому до недавнего времени считалось, что астероиды скучены кольцом в широком промежутке между орбитами двух названных планет.

В XX в. границы пояса астероидов существенно раздвинулись. Найденный в 1898 г. Эрос выступал за эти пределы, потому что значительная часть его пути находится внутри орбиты Марса. В 1920 г. астрономы наткнулись на астероид Гидальго, путь которого пересекает орбиту Юпитера и проходит недалеко от орбиты Сатурна. Астероид Гидальго замечателен и в другом отношении: из всех известных





планет он обладает чрезвычайно вытянутой орбитой (эксцентриситет ее равен 0,66), к тому же всего сильнее наклоненной к плоскости земной орбиты: под углом 43° . Отметим, кстати, что наименование свое планетка получила в честь Гидальго-и-Кастилья — мексиканского борца за независимость.

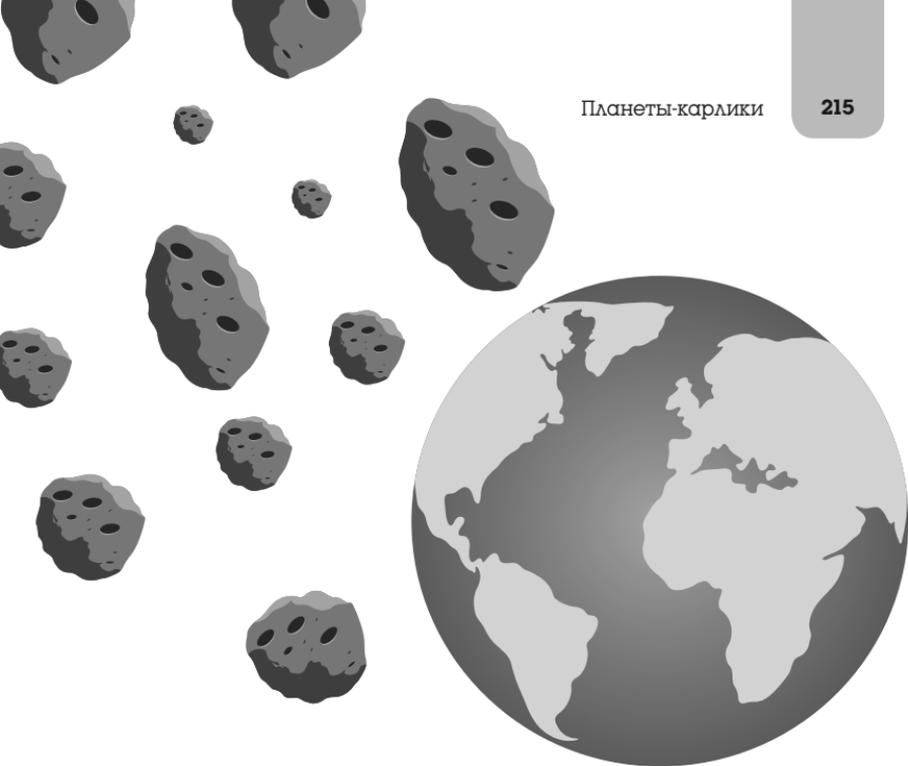
Еще более расширилась зона карликовых планет в 1936 г., когда был открыт астероид с эксцентриситетом 0,78. Новый член нашей Солнечной системы получил название Адо-нис. Особенность новооткрытой планетки в том, что в наиболее удаленной точке своего пути она отходит от Солнца почти на расстояние Юпитера, в ближайшей же проходит недалеко от орбиты Меркурия.

Наконец, в 1949 г. открыта малая планета Икар, имеющая исключительную орбиту. Ее эксцентриситет равен 0,83, наибольшее удаление от Солнца вдвое больше радиуса земной орбиты, а наименьшее — около одной пятой расстояния от Земли до Солнца. Ни одна из известных планет не подходит к Солнцу так близко, как Икар.

Система регистрации вновь открываемых астероидов не лишена общего интереса, так как может быть с успехом применена и не для астрономических целей.

Сначала выписывается год открытия планетки, затем буква, означающая полумесяц открытия. Так как в течение полумесяца нередко открывают несколько планеток, они обозначаются вторыми буквами в порядке алфавита. Если 24 букв не хватает, повторяют их сначала, но с числами около них. Например, 1932 EA1 есть астероид, открытый в 1932 г. в первой половине марта, 25-й по счету. После вычисления орбиты вновь открытой планеты она получает порядковый номер, а затем и имя.

В настоящее время число уловленных астрономами планет-карликов превышает полторы тысячи: из них свыше сотни открыто астрономами Симеизской обсерватории, расположенной в Крыму, на берегу Чёрного моря, главным образом стараниями усердного ловца астероидов Г. Н. Неуймина. Читатель не удивится, встретив в списке малых планет такие имена, как Владилена (в честь В. И. Ленина), а также Морозовия и Фигнерия (в честь шлиссельбургских героев), Симеиза и др. По числу открытых астероидов Симеиз занимает одно из первых мест среди обсерваторий мира; по разработке теоретических вопросов, свя-

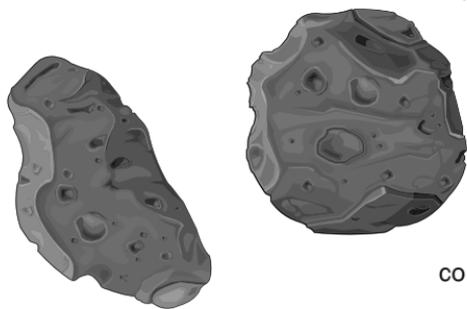


занных с астероидами, советская астрономия также занимает видное место в мировой науке.

Размеры малых планет крайне разнообразны. Таких крупных, как Церера или Паллада (диаметр — 490 км), насчитывается лишь несколько. Около 70 астероидов обладают поперечником свыше 100 км. Большая часть известных планеток имеет в диаметре от 20 до 40 км. Но есть много и совсем «крошечных» астероидов, диаметр которых едва достигает 2–3 км (слово «крошечный» взято в кавычки, потому что в устах астронома его надо понимать относительно). Хотя обнаружены далеко не все члены кольца астероидов, есть все же основания утвер-

ждать, что совокупная масса всех астероидов, открытых и неоткрытых, составляет около тысячной доли массы земного шара.

Полагают, что открыто пока не более 5 % того числа астероидов, которое может быть доступно современным телескопам.



→ Наши ближайшие соседи

Упомянутый в предыдущей статье астероид Адонис выделяется среди других не только чрезвычайно большой, чисто кометной вытянутостью своей орбиты. Он замечателен и тем, что подходит очень близко к Земле. В год своего открытия Адонис пролетел на расстоянии 1,5 млн км от Земли. Правда, Луна ближе к нам, но ведь Луна, хотя и значительно крупнее астероидов, рангом ниже их: она не самостоятельная планета, а спутник планеты. Другой астероид — Аполлон — также вправе числиться в списке планет, самых близких к Земле. Этот астероид прошел в год своего открытия на расстоянии всего 3 млн км от Земли. Такая дистанция должна быть признана (на планетную мерку) очень короткой, потому что Марс не приближается к Земле менее чем на 55 млн км, а Венера подходит к нам не ближе 40 млн км. Любопытно, что к Венере тот же астероид приближается еще теснее: всего на 200 000 км — вдвое ближе, чем Луна к Земле! Более тесного сближения планет мы в Солнечной системе не знаем.

Этот наш планетный сосед замечателен еще и тем, что он относится к числу самых маленьких планет, зарегистрированных астрономами. Диаметр его не больше 2 км, а может быть, и меньше. В 1937 г. был открыт астероид Гермес, который может сближаться с Землей на расстояние того же порядка, какое отделяет от нас Луну (500 000 км). Диаметр его не превышает 1 км.

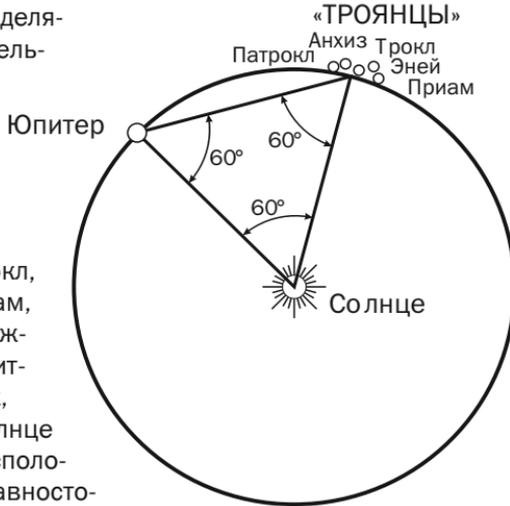
Поучительно рассмотреть на этом примере, что означает на языке астрономии слово «маленький». Крошечный астероид, имеющий в объеме всего $0,52 \text{ км}^3$, то есть $520\,000\,000 \text{ м}^3$, если он гранитный, весит примерно $1\,500\,000\,000 \text{ т}$. Из такого материала можно было бы возвести 300 пирамид Хеопса.



Вы видите, как своеобразно надо понимать слово «маленький», когда его употребляет астроном.

→ Попутчики Юпитера

Среди 1600 известных пока астероидов выделяется своим замечательным движением группа из пятнадцати малых планет, которым присвоены имена героев Троянской войны: Ахилл, Патрокл, Гектор, Нестор, Приам, Агамемнон и т. д. Каждый «троянец» кружится около Солнца так, что он, Юпитер и Солнце в любой момент расположены в вершинах равностороннего треугольника. «Троянцев» можно считать своеобразными



попутчиками Юпитера, которые сопровождают его, оставаясь на большом расстоянии: одни находятся на 60° впереди Юпитера, другие — на столько же позади него, но все завершают оборот около Солнца в одно и то же время.

Равновесие этого планетного треугольника устойчиво: если бы астероид вышел из своего положения, силы тяготения вернули бы его к покинутому месту.

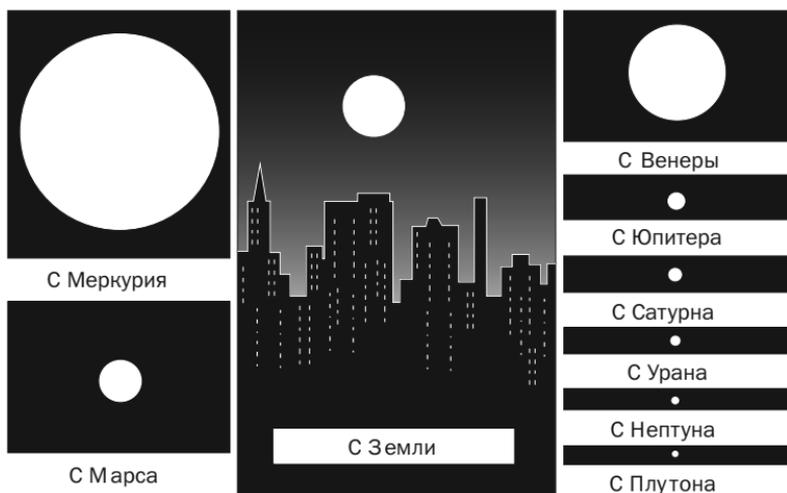
Задолго до открытия «троянцев» подобный случай подвижного равновесия трех притягивающихся тел был предусмотрен в чисто теоретических исследованиях французского математика Ж. Л. Лагранжа. Он рассматривал этот случай как любопытную математическую задачу и полагал, что едва ли где-нибудь во Вселенной подобные соотношения осуществляются реально. Усердные поиски астероидов привели к тому, что для теоретического случая Лагранжа найдена была реальная иллюстрация в пределах нашей собственной планетной системы. Здесь наглядно обнаруживается, какое значение для развития астрономии имеет тщательное изучение тех многочисленных небесных тел, которые объединяются под наименованием малых планет.

→ Чужие небеса

Мы уже совершили воображаемый перелет на поверхность Луны, чтобы бросить оттуда беглый взгляд на нашу Землю и другие светила. Теперь мысленно посетим планеты Солнечной системы и полюбуемся открывающимися оттуда небесными картинами.

ВЕНЕРА

Если бы атмосфера там была достаточно прозрачной, мы бы увидели диск Солнца, вдвое больший по площади, чем тот, который сияет на нашем небе (см. рисунок ниже). Соответственно, Солнце посылает на Венеру вдвое больше тепла и света, чем на Землю. На ночном небе Венеры нас поразила бы звезда необычайной яркости. Это Земля, сияющая здесь гораздо ярче, чем Венера у нас, хотя размеры обеих планет почти одинаковы. Легко понять, почему это так. Венера кружится около Солнца ближе, чем Земля. Поэтому в пору наибольшей ее близости



▲ Видимые размеры Солнца с Земли и других планет (рисунок нужно держать на расстоянии около 50 см)

к Земле мы совсем не можем ее видеть: она обращена к нам неосвещенной стороной. Она должна несколько удалиться в сторону, чтобы стать видимой, и тогда свет исходит лишь от узкого серпа, составляющего небольшую часть диска Венеры. Земля же на небе Венеры в пору наибольшей близости к ней светит полным диском, как у нас Марс в противостоянии. В итоге Земля на небе Венеры, находясь в полной фазе, светит в шесть раз ярче, чем Венера у нас при наибольшей ее яркости, если только, повторяем, небо нашей соседки вполне ясно. Было бы, однако, заблуждением думать, что земное сияние, обильно заливая ночную половину Венеры, может обусловить ее «пепельный свет»: освещение Венеры Землей равно по своей силе освещению нормальной свечи с расстояния 35 м. Этого, конечно, недостаточно, чтобы породить явление «пепельного света».

К свету Земли на небе Венеры присоединяется нередко и свет Луны, которая сама по себе сияет здесь в четыре раза ярче Сириуса. Едва ли во всей Солнечной системе найдется объект блистательнее двойного светила Земля — Луна, украшающего небо Венеры. Наблюдатель на Венере значительную часть времени видел бы Землю и Луну раздельно, а в телескоп оттуда различались бы даже детали лунной поверхности.



Другая планета, ярко сияющая на небе Венеры, — Меркурий, ее утренняя и вечерняя звезда. Впрочем, и с Земли Меркурий виден яркой звездой, перед которой меркнет свет Сириуса. На Венере эта планета светит почти в три раза ярче, чем на Земле. Зато Марс сияет в два с половиной раза слабее: чуть тусклее, чем у нас светит Юпитер.

Что касается неподвижных звезд, то очертания созвездий совершенно одинаковы на небе всех планет Солнечной системы. С Меркурия, Юпитера, Сатурна, Нептуна и Плутона мы увидели бы одни и те же звездные узоры. Так велико удаление звезд по сравнению с планетными расстояниями.



МЕРКУРИЙ

Умчимся с Венеры на маленький Меркурий, перенесемся в странный мир, лишенный атмосферы, не знающий смены дня и ночи. Солнце здесь неподвижно висит на небе огромным диском, в шесть раз большим (по площади), чем на Земле. Наша планета на небе Меркурия светит примерно

вдвое ярче, чем Венера на земном небе. Сама Венера сияет здесь необычайно ярко. Никакая другая

звезда или планета нигде в нашей системе не светит так ослепительно, как Венера на черном, безоблачном небе Меркурия.



МАРС

Солнце кажется отсюда диском, втрое меньшим по площади, чем с Земли. Наш собственный мир сияет на небе Марса утренней и вечерней звездой, как у нас Венера, но тусклее ее, примерно так, как мы видим Юпитер. Земля никогда не видна здесь в своей полной фазе: марсиане могли бы видеть сразу не больше $\frac{3}{4}$ ее диска. Наша Луна видна была бы с Марса простому глазу звездой, почти столь же яркой, как Сириус. В телескоп и Земля, и сопутствующая ей Луна показали бы свои фазы.

Гораздо больше внимания должен привлекать к себе на марсовом небе ближайший спутник Марса — Фобос: при ничтожных своих размерах (16 км в диаметре) он настолько близок к Марсу, что в период «полнофобосия» сияет в 25 раз ярче, чем Венера у нас. Так как период его обращения вокруг Марса меньше, чем период вращения планеты, Фобос восходит на западе, пересекает марсианское небо против суточного движения звезд и заходит на востоке. Второй спутник, Деймос, заметно менее ярк, но и он затмевает свет Земли на марсовом небе. Несмотря на малые размеры, Фобос так близок к Марсу, что его фазы с Марса хорошо видны. Человек с очень острым зрением, вероятно, заметил бы и фазы Деймоса (Деймос виден с Марса под углом $1'$ а Фобос — под углом около $6'$).

С поверхности Фобоса мы увидим совершенно исключительное зрелище: на небе сияет, быстро меняя фазы, исполинский диск в несколько тысяч раз ярче нашей Луны. Это Марс. Диск его занимает на небе 41° , то есть в 80 раз больше, чем у нас Луна.

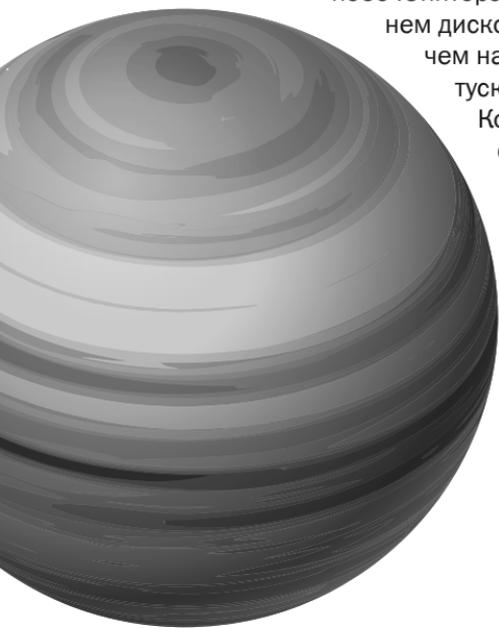
Только на ближайшем спутнике Юпитера можно наблюдать подобную необычайную достопримечательность.

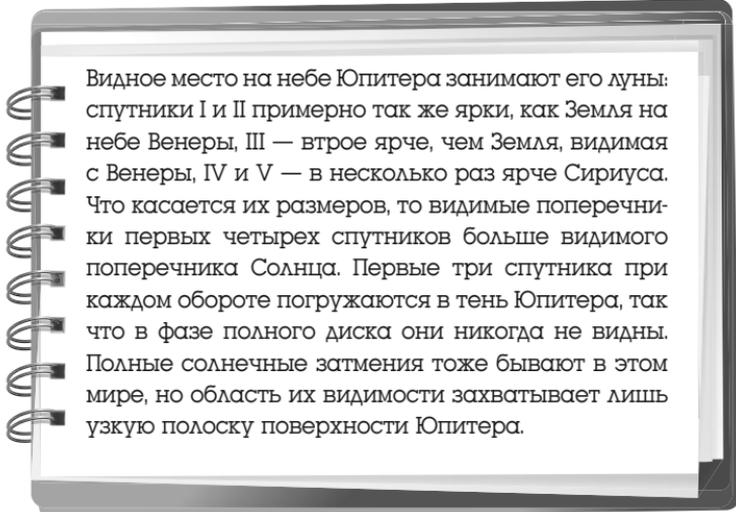


ЮПИТЕР

Перенесемся на поверхность планеты-исполина. Если бы небо Юпитера было ясно, Солнце сияло бы на нем диском, в 25 раз меньшим по площади, чем на нашем небе. Во столько же раз тусклее на Юпитере светит Солнце.

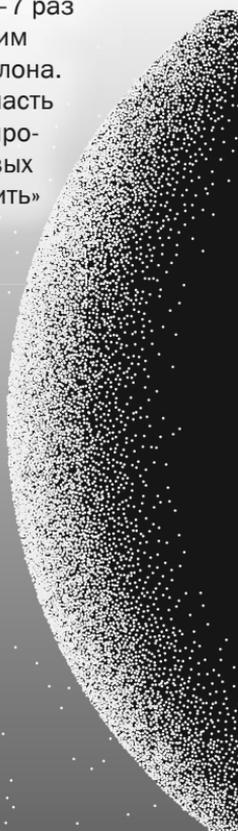
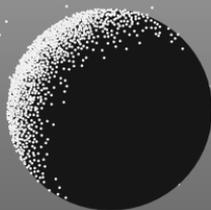
Короткий пятичасовой день быстро сменяется ночью. На звездном фоне станем искать знакомые планеты. Мы их найдем, но как они здесь изменились! Меркурий совершенно теряется в лучах Солнца; Венеру и Землю можно наблюдать в телескоп только в сумерках: они заходят вместе с Солнцем. Марс едва заметен, зато Сатурн соперничает по яркости с Сириусом.





Видное место на небе Юпитера занимают его луны: спутники I и II примерно так же ярки, как Земля на небе Венеры, III — втрое ярче, чем Земля, видимая с Венеры, IV и V — в несколько раз ярче Сириуса. Что касается их размеров, то видимые поперечники первых четырех спутников больше видимого поперечника Солнца. Первые три спутника при каждом обороте погружаются в тень Юпитера, так что в фазе полного диска они никогда не видны. Полные солнечные затмения тоже бывают в этом мире, но область их видимости захватывает лишь узкую полосу поверхности Юпитера.

Необыкновенно эффектное зрелище представляет сам Юпитер, видимый со своих ближайших спутников. Например, с V (самого близкого) спутника исполинский диск планеты имеет поперечник почти в 90 раз больше нашей Луны и сияет всего в 6–7 раз слабее Солнца. Когда он касается горизонта своим нижним краем, его верхний край оказывается у середины небосклона. А погружаясь под горизонт, диск этот занимает восьмую часть всего кругозора. По этому быстро вращающемуся диску проходят время от времени темные кружки — тени юпитеровых лун, бессильных, конечно, сколько-нибудь заметно «затмить» гигантскую планету.



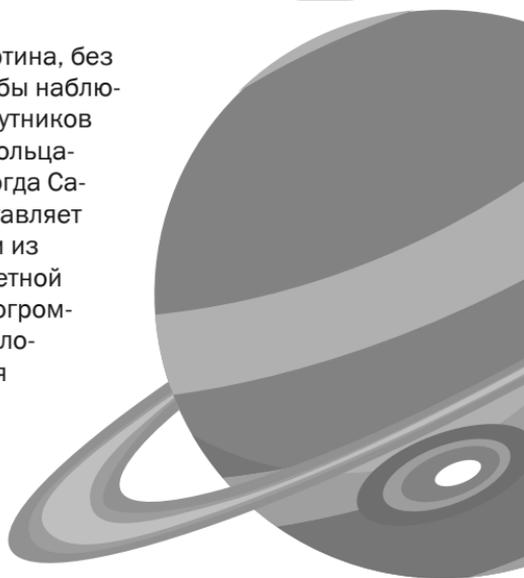
САТУРН

Переходя к этой планете, проследим лишь за тем, в каком виде представляются наблюдателю на Сатурне знаменитые кольца этой планеты. Оказывается прежде всего, что кольца видны не из всех точек поверхности Сатурна. От полюсов до 64-й параллели расположены те места, где кольца вовсе не видны. На границе этих полярных областей можно видеть лишь внешний край наружного кольца. С 64-й параллели до 50-й условия видимости колец улучшаются, видна все большая их часть, а на 50-й параллели наблюдатель может любоваться всей шириной колец, которые здесь представляются под наибольшим углом — 12° . Ближе к экватору планеты они сужаются для наблюдателя, хотя и поднимаются выше над горизонтом. На самом экваторе Сатурна можно наблюдать кольца в виде очень узкой полоски, пересекающей небесный свод с запада на восток и проходящей через зенит.

Сказанное не дает полного представления об условиях видимости колец. Надо помнить, что освещена всегда только одна сторона колец, другая остается в тени. Эта освещенная часть видна лишь с той половины Сатурна, к которой она обращена. В течение половины долгого сатурнова года можно видеть кольца только с одной половины планеты (в остальное время они видны с другой половины), да и то преимущественно только днем. В те краткие часы, когда кольца видны ночью, они частью затмеваются тенью планеты. Наконец, еще одна любопытная подробность: экваториальные районы в течение ряда земных лет бывают затемнены кольцами.

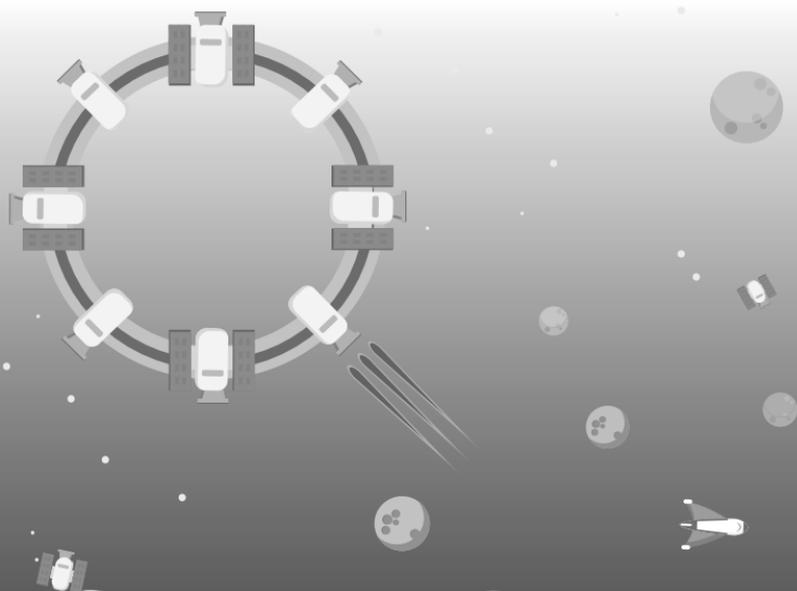


Самая феерическая небесная картина, без сомнения, та, которая открылась бы наблюдателю с одного из ближайших спутников Сатурна. Эта планета со своими кольцами, особенно в неполной фазе, когда Сатурн виден в форме серпа, представляет зрелище, какого нельзя видеть ни из какого другого места нашей планетной семьи. На небе вырисовывается огромный серп, пересеченный узкой полоской колец, которые наблюдаются с ребра, а вокруг них — группа сатурновых спутников также в виде серпов, только гораздо меньших размеров.



* * *

Приводим, наконец, ряд числовых данных. Они могут понадобиться читателю для справок.



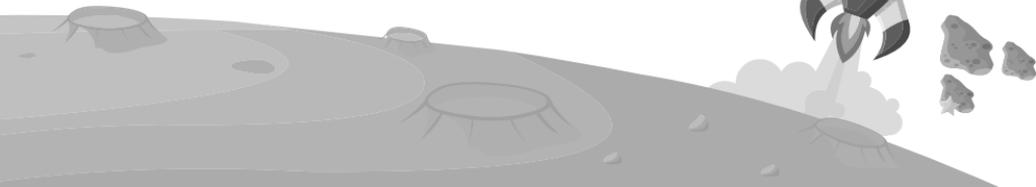
Размеры. Масса. Плотность. Спутники
 (для планет-гигантов приводится число самых крупных спутников,
 а в скобках – общее количество)

Названия планет	Средний поперечник			Объем (Земля = 1)
	Видимый в секундах дуги	истинный		
		в км	Земля = 1	
Меркурий	13–14,7	4860	0,39	0,055
Венера	64–10	12 150	0,95	0,870
Земля	—	12 742	1,00	1,000
Марс	25–3,5	6790	0,53	0,150
Юпитер	50–30,5	140 720	11,20	1347
Сатурн	20,5–15	116 820	9,41	770
Уран	4,2–3,4	49 200	3,75	51
Нептун	2,4–2,2	47 100	3,50	43
Плутон	0,23	3000	0,25	0,1



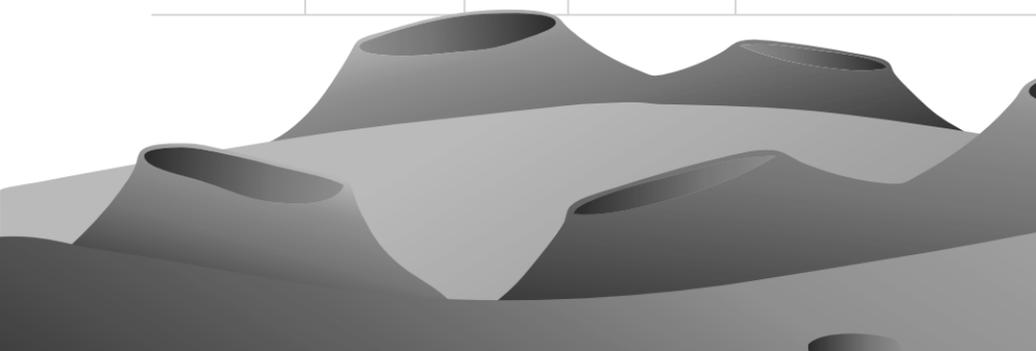


	Масса (Земля = 1)	Плотность		Число спутников
		Земля = 1	Вода = 1	
	0,056	0,70	5,6	—
	0,814	0,88	5,15	—
	1,000	1,00	5,52	1
	0,108	0,72	3,97	2
	317,82	0,24	1,33	16 (63)
	95,11	0,13	0,71	18 (60)
	14,52	0,23	1,47	15 (27)
	17,22	0,38	1,70	6 (13)
	0,0024	1	1,3	1



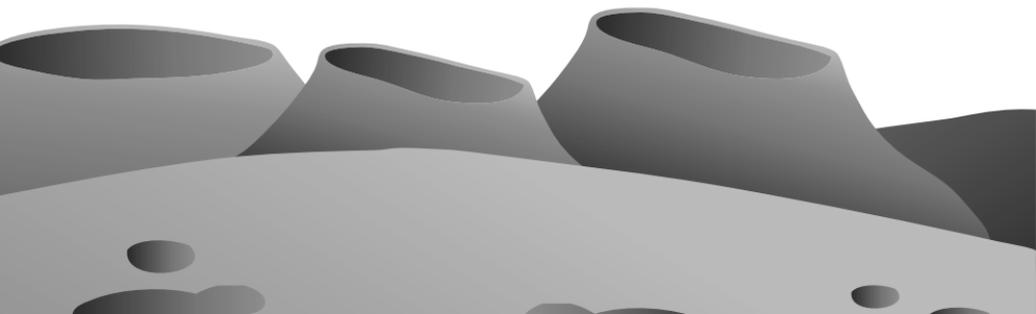
Расстояния. Обращение. Вращение. Тяжесть

Названия планет	Среднее расстояние		Эксцентриситет орбиты	Время обращения вокруг Солнца в земных годах
	в астрономических единицах	в млн км		
Меркурий	0,387	57,9	0,206	0,24
Венера	0,723	108,1	0,007	0,62
Земля	1,000	149,6	0,017	1,00
Марс	1,524	227,9	0,093	1,88
Юпитер	5,203	778,3	0,048	11,86
Сатурн	9,539	1427	0,056	29,46
Уран	19,182	2870	0,047	84,02
Нептун	30,057	4496	0,009	164,78
Плутон	39,439	5910	0,250	247,7



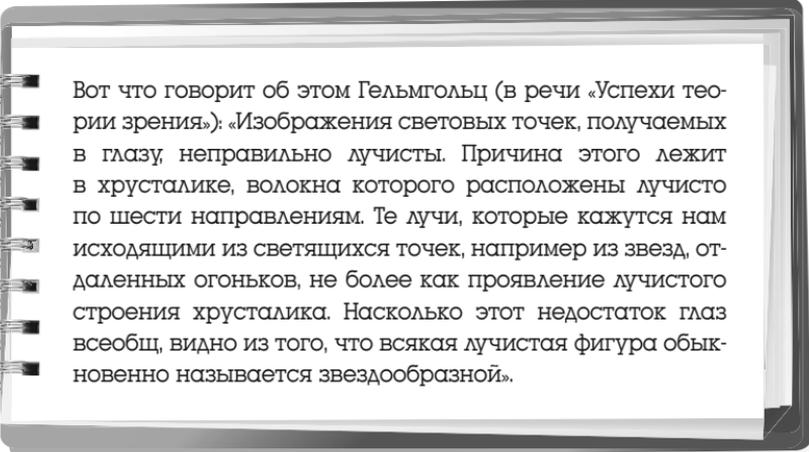


	Средняя скорость по орбите в км/с	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Напряжение силы тяжести (Земля = 1)
	47,9	59 д	7°	0,26
	35,0	220 д	5°	0,90
	29,8	23 ч 56 мин	23°27'	1
	24,1	24 ч 37 мин	25°10'	0,37
	13,1	9 ч 50 мин	3°01'	2,64
	9,6	10 ч 14 мин	26°45'	1,13
	6,8	10 ч 49 мин	98°00'	0,84
	5,4	15 ч 40 мин	29°36'	1,14
	4,7	6,4 дня	?	?



→ Почему звезды кажутся звездами?

Глядя на звезды невооруженным глазом, мы видим их лучистыми. Причина лучистого вида звезд кроется в нашем глазу, а именно в недостаточной прозрачности хрусталика, имеющего не однородное строение, как хорошее стекло, а волокнистое.



Вот что говорит об этом Гельмгольц (в речи «Успехи теории зрения»): «Изображения световых точек, получаемых в глазу, неправильно лучисты. Причина этого лежит в хрусталике, волокна которого расположены лучисто по шести направлениям. Те лучи, которые кажутся нам исходящими из светящихся точек, например из звезд, отдаленных огоньков, не более как проявление лучистого строения хрусталика. Насколько этот недостаток глаз всеобщ, видно из того, что всякая лучистая фигура обыкновенно называется звездообразной».

Существует способ освободиться от влияния этого недостатка нашего хрусталика и видеть звезды без лучей, не обращая притом к услугам телескопа. Способ этот еще 400 лет назад указал Леонардо да Винчи.



A decorative header illustration featuring several stylized, layered clouds in shades of gray. A ladder is positioned on the left, leaning against a cloud. Scattered throughout the scene are various sizes of stars, some with dashed outlines, suggesting they are being observed or reached for.

«Посмотри, — писал он, — на звезды без лучей. Этого можно достигнуть, наблюдая их сквозь малое отверстие, сделанное концом тонкой иглы и помещенное вплотную к глазу. Ты увидишь звезды столь малыми, что ничто другое не может казаться меньше».

Это не противоречит тому, что сказано о происхождении звездных лучей у Гельмгольца. Напротив, описанный опыт подтверждает его теорию: смотря сквозь небольшое отверстие, мы пропускаем в свой глаз лишь тонкий световой пучок, проходящий сквозь центральную часть хрусталика и потому не претерпевающий воздействия его лучистой структуры.

Итак, будь наш глаз устроен совершеннее, мы видели бы на небе не «звезды», а светящиеся точки.



→ Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно?

Отличить простым глазом неподвижную звезду от «блуждающей», то есть планеты, очень легко, даже не зная карты звездного неба. Планеты сияют спокойным светом, звезды же непрерывно мерцают, как бы вспыхивают, дрожат, меняют яркость, а яркие звезды невысоко над горизонтом еще непрерывно переливаются разными цветами. «Этот свет, — говорит астроном К. Фламарион, — то яркий, то слабый, перемежающийся, то белый, то зеленый, то красный, сверкающий, как прозрачный алмаз, оживляет звездные пустыни, побуждая видеть в звездах словно глаза, глядящие на Землю». Особенно сильно и красочно мерцают звезды в морозные ночи и в ветреную погоду, а также после дождя, когда небо быстро очистилось от туч. Звезды, стоящие над горизонтом, мерцают заметнее, чем горящие высоко в небе; звезды белые — сильнее, чем желтоватые и красноватые.

Как и лучистость, мерцание не есть свойство, присущее самим звездам. Оно придается им земной атмосферой, через которую лучи звезд должны пройти, прежде чем достигнуть глаза. Поднявшись выше беспокойной газовой оболочки, сквозь которую мы рассматриваем Вселенную, мы бы не заметили мерцания звезд: они сияют там спокойным, постоянным светом.



Причина мерцания та же, что заставляет дрожать отдаленные предметы, когда в знойные дни почва сильно нагрета Солнцем. Звездному свету приходится пронизывать тогда не однородную среду, но газовые слои различной температуры, различной плотности, а значит, и различной преломляемости. В подобной атмосфере словно рассеяны многочисленные оптические призмы, выпуклые и вогнутые линзы, непрестанно меняющие свое расположение. Лучи света претерпевают в них многочисленные отклонения от прямого пути, то сосредоточиваясь, то рассеиваясь. Отсюда частые изменения яркости звезды. А так как преломление сопровождается цветорассеянием, то наряду с колебаниями яркости наблюдаются и изменения окраски.



«Существуют, — писал известный советский астроном Г. А. Тихов, исследовавший явление мерцания, — способы, позволяющие сосчитать число перемен цвета мерцающей звезды в определенное время. Оказывается, что эти перемены совершаются чрезвычайно быстро и число их колеблется в разных случаях от нескольких десятков до ста и более в секунду. Убедиться в этом можно следующим простым способом. Возьмите бинокль и смотрите в него на яркую звезду, приводя объективный конец бинокля в быстрое круговое вращение. Тогда вместо звезды вы увидите кольцо, состоящее из многих отдельных разноцветных звезд. При более медленном мерцании или при очень быстром движении бинокля кольцо это распадается вместо звезд на разноцветные дуги большой и малой длины».

Остается объяснить, почему планеты, в отличие от звезд, не мерцают, а светят ровно, спокойно. Планеты гораздо ближе к нам, чем звезды, поэтому они представляются глазу не точкой, а светящимся кружочком, диском, хотя и столь малых угловых размеров, что вследствие их слепящей яркости эти угловые размеры почти неощутимы.

Каждая отдельная точка такого кружка мерцает, но перемены яркости и цвета отдельных точек совершаются независимо одна от другой, в разные моменты времени, а потому восполняют друг друга. Ослабление яркости одной точки совпадает с усилением яркости другой, так что общая сила света планеты остается неизменной. Отсюда спокойный, немерцающий блеск планет. Значит, планеты представляются нам немерцающими потому, что мерцают во многих точках, но в разные моменты времени.

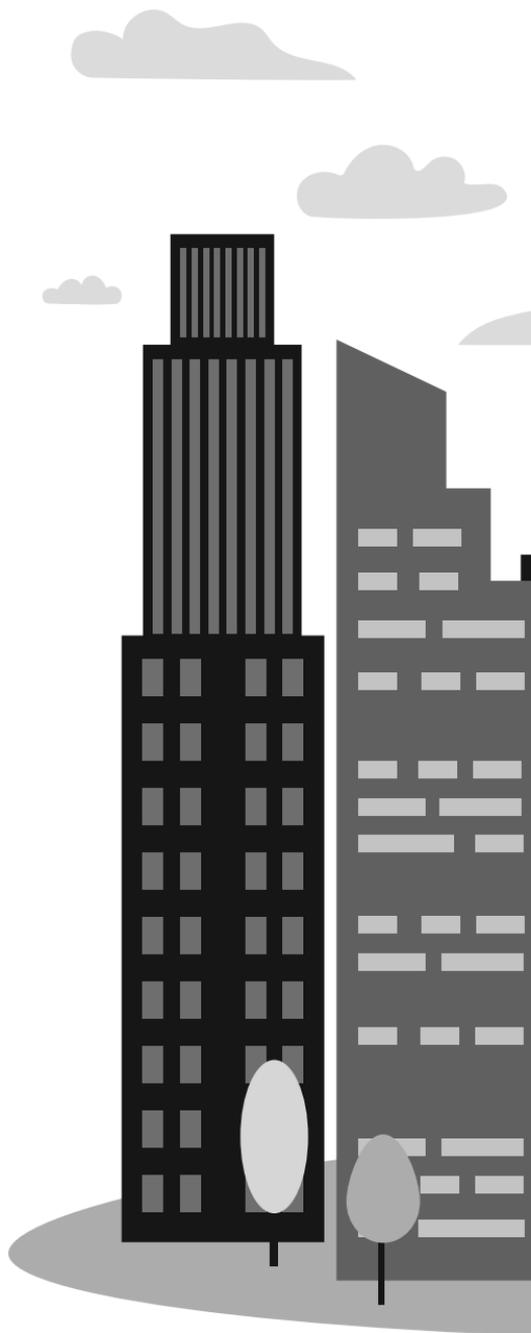


→ Видны ли звезды днем?

Днем над нашими головами находятся те созвездия, которые полгода назад видны были ночью и спустя шесть месяцев вновь украсят ночное небо. Освещенная атмосфера Земли мешает нам их видеть, так как частицы воздуха рассеивают солнечные лучи в большем количестве, чем посылают нам звезды.

Несложный опыт может наглядно пояснить это исчезновение звезд при дневном свете.

В стенке картонной коробки пробивают несколько дырочек, расположенных наподобие какого-нибудь созвездия, а снаружи наклеивают лист белой бумаги. Ящик помещают в темную комнату и освещают изнутри: на пробитой стенке явственно выступают тогда освещенные изнутри дырочки — это звезды на ночном небе. Но стоит только, не прекращая освещения изнутри, зажечь в комнате достаточно яркую лампу, и искусственные звезды на листе бумаги бесследно исчезают: это «дневной свет» гасит звезды. Часто приходится читать о том, что со дна глубоких шахт, колодцев, высоких дымовых труб и т. п. можно



различать звезды и днем. Это распространенное убеждение, поддерживаемое ссылками на авторитетные имена, подвергнуто было критической проверке и не подтвердилось.



В сущности, ни один из писавших об этом авторов — от Аристотеля в древности до Дж. Гершеля в XIX в. — не наблюдал звезд сам при подобных условиях. Все ссылаются на свидетельство третьих лиц. Насколько, однако, мало надежны бывают свидетельства «очевидцев», показывает следующий любопытный пример. В американском журнале появилась статья, относившая дневную видимость звезд со дна колодцев к числу басен. Мнение это было энергично опровергнуто письмом одного фермера, утверждавшего, что он сам видел днем Капеллу и Алголя из 20-метровой силосной башни. Проверка выяснила, однако, что на той широте, где находится ферма наблюдателя, ни та, ни другая звезда не бывают в зените в указанное время года и, следовательно, не могли быть видны из глубины башни.



Теоретически нет оснований для того, чтобы шахта или колодец могли помочь увидеть звезды днем. Как мы уже говорили, звезды не видны днем потому, что тонут в свете неба. Это условие не изменяется для глаза, помещенного на дне шахты. Отпадает лишь боковой свет на протяжении шахты, но лучи, испускаемые всеми частицами воздушного слоя выше отверстия шахты, должны по-прежнему мешать видимости звезд.

Имеет значение в данном случае лишь то, что стены колодца ограждают глаза от ярких лучей Солнца, но это может облегчить лишь наблюдение ярких планет, а не звезд.

В телескоп звезды видны днем вовсе не потому, как многие думают, что на них смотрят «со дна трубы» а потому, что преломление лучей в стеклах или отражение в зеркалах ослабляет яркость рассматриваемого участка неба, между тем как яркость самой звезды (представляющейся в виде точки), напротив, усиливается. В телескоп, имеющий объектив диаметром 7 см, можно уже видеть днем звезды первой и даже второй величины. Но к колодцам, шахтам, печным трубам сказанное неприменимо.

Другое дело — яркие планеты: Венера, Юпитер, Марс. Они светят гораздо ярче звезд, а потому при благоприятных условиях могут быть видны и на дневном небе.



→ Что такое звездная величина?

О существовании звезд первой и не первой величины знают даже люди, весьма далекие от астрономии: выражения эти общеупотребительны. Но о звездах ярче первой величины — нулевой и даже отрицательной — они едва ли слышали. Им покажется несообразным, что к звездам отрицательной величины принадлежат самые яркие светила неба, а наше Солнце есть «звезда минус 27-й величины». Иные усмотрят в этом, пожалуй, даже извращение понятия отрицательного числа. А между тем мы имеем здесь как раз наглядный пример последовательного проведения учения об отрицательных числах.

Остановимся подробнее на классификации звезд по величинам. Едва ли надо напоминать о том, что под словом «величина» понимают не геометрические размеры звезды, а ее видимый блеск. Уже в древности были выделены наиболее яркие звезды, раньше остальных загорающиеся на вечернем небе, и отнесены к звездам первой величины. За ними следовали звезды второй величины, третьей и т. д. до звезд шестой величины, едва различимых невооруженным глазом. Такое субъективное распределение звезд по их блеску не могло удовлетворять астрономов нового времени. Были выработаны более твердые основания для классификации звезд по блеску. Они состоят в следующем. Найдено, что наиболее яркие звезды в среднем (звезды эти неодинаковы по блеску) ярче наиболее слабых звезд, еще видимых простым глазом, ровно в 100 раз. Шкала звездного блеска установлена так, что отношение блеска звезд двух смежных величин остается постоянным. Обозначив это «световое отношение» через n , имеем:

звезды 2-й величины слабее звезд 1-й величины в n раз;

**звезды 3-й величины слабее звезд 2-й величины в n раз;
звезды 4-й величины слабее звезд 3-й величины в n раз и т. д.**

Если же сравнить блеск звезд всех прочих величин с блеском звезд первой величины, то получим:

**звезды 3-й величины слабее звезд 1-й величины в n^2 раз;
звезды 4-й величины слабее звезд 1-й величины в n^3 раз;
звезды 5-й величины слабее звезд 1-й величины в n^4 раз;
звезды 6-й величины слабее звезд 1-й величины в n^5 раз.**

Из наблюдений было найдено, что $n^5 = 100$. Найти теперь величину светового отношения n легко (с помощью логарифмов):

$$n = \sqrt[5]{100} = 2,5.$$

Итак, звезды каждой следующей звездной величины светят в 2,5 раза слабее звезд предыдущей звездной величины.

→ Звездная алгебра

Рассмотрим немного подробнее группу наиболее ярких звезд. Мы уже отмечали, что блеск этих звезд неодинаков: одни светят в несколько раз ярче среднего, другие — тусклее (средняя степень их яркости такая, которая в 100 раз превышает яркость звезд, едва различимых простым глазом).

Найдем сами обозначение блеска звезд, которые в 2,5 раза ярче средней звезды первой величины. Какое число предшествует единице? Число 0. Значит, такие звезды надо отнести к звездам нулевой величины. А куда отнести звезды, которые ярче звезд первой величины не в два с половиной, а всего в полтора или два раза? Их место между 1 и 0, то есть звездная величина такого светила выражается положительным дробным числом (говорят «звезда 0,9 величины», «0,6 величины» и т. п.). Такие звезды ярче первой величины.

Теперь станет понятной и необходимость введения отрицательных чисел для обозначения блеска звезд. Так как существуют

звезды, по силе света превышающие нулевую величину, то, очевидно, их блеск должен быть выражен числами, стоящими по другую сторону от нуля, то есть отрицательными. Отсюда такие определения блеска, как «минус 1», «минус 2», «минус 1,4», «минус 0,9» и т. п.

В астрономической практике величина звезд определяется с помощью особых приборов — фотометров: блеск светила сравнивается с блеском определенной звезды, сила света которой известна, или же с «искусственной звездой» в приборе.

Просматривая перечень, приведенный ниже, мы видим, что звезд точно первой величины не существует вовсе: от звезд величины 0,9 список переводит нас к звездам величины 1,1, величины 1,2 и т. д., минуя величину 1,0 (первую). Звезда первой величины есть, следовательно, не более как условный стандарт блеска, но на небе ее нет.

Перечень самых ярких звезд неба с обозначением их звездной величины (в скобках указано наименование созвездия):

Сириус (α Большого Пса)	-1,6	Бетельгейзе (α Ориона)	0,9
Канопус (α Киля)	-0,9	Альгаир (α Орла)	0,9
α Центавра	0,1	α Южного Креста	1,1
Вега (α Лирь)	0,1	Альдебаран (α Тельца)	1,1
Капелла (α Возничего)	0,2	Поллукс (β Близнецов)	1,2
Арктур (α Волопаса)	0,2	Спика (α Девы)	1,2
Ригель (β Ориона)	0,3	Антарес (α Скорпиона)	1,2
Процион (α Малого Пса)	0,5	Фомальгаут (α Южной Рыбы)	1,3
Ахернар (α Эридана)	0,6	Денеб (α Лебеда)	1,3
β Центавра	0,9	Регул (α Льва)	1,3

Не следует думать, что распределение звезд по звездным величинам обусловлено физическими свойствами самих звезд. Оно вытекает из особенностей нашего зрения и является следствием общего для всех органов чувств психофизиологического закона Вебера — Фехнера. В применении к зрению закон звучит следующим образом: когда сила источника света изменяется в геометрической прогрессии, ощущение яркости изменяется в прогрессии арифметической.

Познакомившись с астрономической шкалой блеска, займемся некоторыми поучительными подсчетами. Вычислим, например, сколько звезд третьей величины, вместе взятых, светят так же, как одна звезда первой величины. Мы знаем, что звезда третьей величины слабее звезды первой величины в $2,5^2$, то есть в 6,3 раза, значит, для замены понадобится 6,3 такой звезды. Звезд четвертой величины для замены одной звезды первой величины пришлось бы взять 15,8 и т. д. Подобными расчетами найдены числа приведенной ниже таблицы.

Для замены одной звезды первой величины нужно следующее число звезд других величин:

2-й — 2,5	7-й — 250
3-й — 6,3	10-й — 4000
4-й — 16	11-й — 10 000
5-й — 40	16-й — 1 000 000
6-й — 100	

Начиная с седьмой величины, мы вступаем уже в мир звезд, недоступных простому глазу. Звезды 16-й величины различаются лишь в весьма сильные телескопы: чтобы можно было видеть их невооруженным глазом, чувствительность естественного зрения должна возрасти в 10 000 раз, тогда мы увидим их такими, какими видим сейчас звездочки шестой величины.

Наконец, еще один любопытный подсчет: сколько звезд первой величины могли бы заменить свет всего звездного неба (видимого простым глазом)?

Примем, что звезд первой величины на одном полушарии неба 10. Замечено, что число звезд следующего класса примерно в три раза больше числа звезд предыдущего, яркость же их в 2,5 раза меньше. Искомое число звезд равно поэтому сумме членов прогрессии:

$$10 + \left(10 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2,5}\right) + \left(10 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2,5^2}\right) + \dots + \left(10 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2,5^5}\right).$$



Получаем

$$\frac{10 \cdot \left(\frac{3}{2,5}\right)^6 - 10}{\frac{3}{2,5} - 1} = 95.$$

Итак, суммарный блеск всех звезд одного полушария, видимых простым глазом, равен приблизительно 100 звездам первой величины (или одной звезде минус 4-й величины).

Если же подобное вычисление повторить, имея в виду не только звезды, видимые простым глазом, но и все те, которые доступны современному телескопу, то окажется, что суммарный свет их равносителен сиянию 1100 звезд первой величины (или одной звезды минус 6,6-й величины).

→ Глаз и телескоп

Сравним телескопическое наблюдение звезд с наблюдением их простым глазом.

Поперечник зрачка человеческого глаза при ночных наблюдениях примем равным 7 мм. Телескоп с объективом, поперечник которого равен 5 см, пропускает лучей больше, чем зрачок, в $(50/7)^2$, то есть примерно в 50 раз, а с поперечником 50 см — в 5000 раз. Вот во сколько раз телескоп усиливает яркость наблюдаемых в нем звезд (сказанное относится только к звездам, но не к планетам, имеющим заметный диск. Для планет при расчете яркости изображения следует принимать во внимание оптическое увеличение телескопа). Зная это, вы можете рассчитать, каков должен быть поперечник объектива телескопа, чтобы в него видны были звезды той или иной величины, но при этом необходимо знать, до какой величины видны звезды в телескоп с объективом одного известного размера.

Пусть, например, вы знаете, что в телескоп с диаметром отверстия 64 см можно различать звезды до 15-й величины включительно. Каким объективом надо располагать, чтобы видеть звезды следующей, 16-й, величины? Составляем пропорцию:



$$\frac{x^2}{64^2} = 2,5,$$

где x — искомый диаметр фотообъектива. Имеем

$$x = 64 \sqrt{2,5} \approx 100 \text{ см.}$$

Понадобится телескоп с поперечником объектива в целый метр. Вообще, для увеличения зоркости телескопа на одну звездную величину необходимо увеличение диаметра его объектива в $\sqrt{2,5}$, то есть в 1,6 раза.

→ Звездная величина Солнца и Луны

Продолжим нашу алгебраическую экскурсию к небесным светилам. В шкале, которая применяется для оценки блеска звезд, могут, помимо неподвижных звезд, найти себе место и другие светила — планеты, Солнце, Луна. О яркости планет мы побеседуем особо, здесь же укажем звездную величину Солнца и Луны. Звездная величина Солнца выражается числом $-26,8$, а полной Луны — $-12,6$. Почему оба числа отрицательные, читателю, надо думать, понятно после всего сказанного ранее.

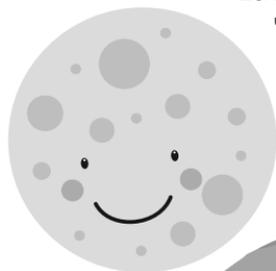
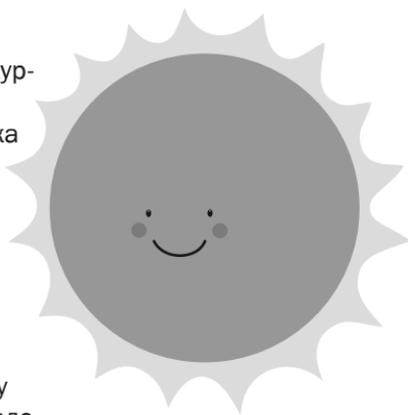
Но, быть может, его приведет в недоумение недостаточно большая разница между звездными величинами Солнца и Луны: первая всего вдвое больше второй.

Не забудем, однако, что обозначение звездной величины есть, в сущности, некоторый логарифм (при основании 2,5). И как нельзя, сравнивая числа, делить один на другой их логарифмы, так не имеет никакого смысла, сравнивая между собой звездные величины, делить одно число на другое. Каков результат правильного сравнения, показывает следующий расчет.

Если звездная величина Солнца $-26,8$, это значит, что Солнце ярче звезды первой величины в $2,5^{27,8}$ раза. Луна же ярче звезды первой величины в $2,5^{13,6}$ раза. Значит, яркость Солнца больше яркости полной Луны в

$$\frac{2,5^{27,8}}{2,5^{13,6}} \approx 2,5^{14,2} \text{ раза.}$$

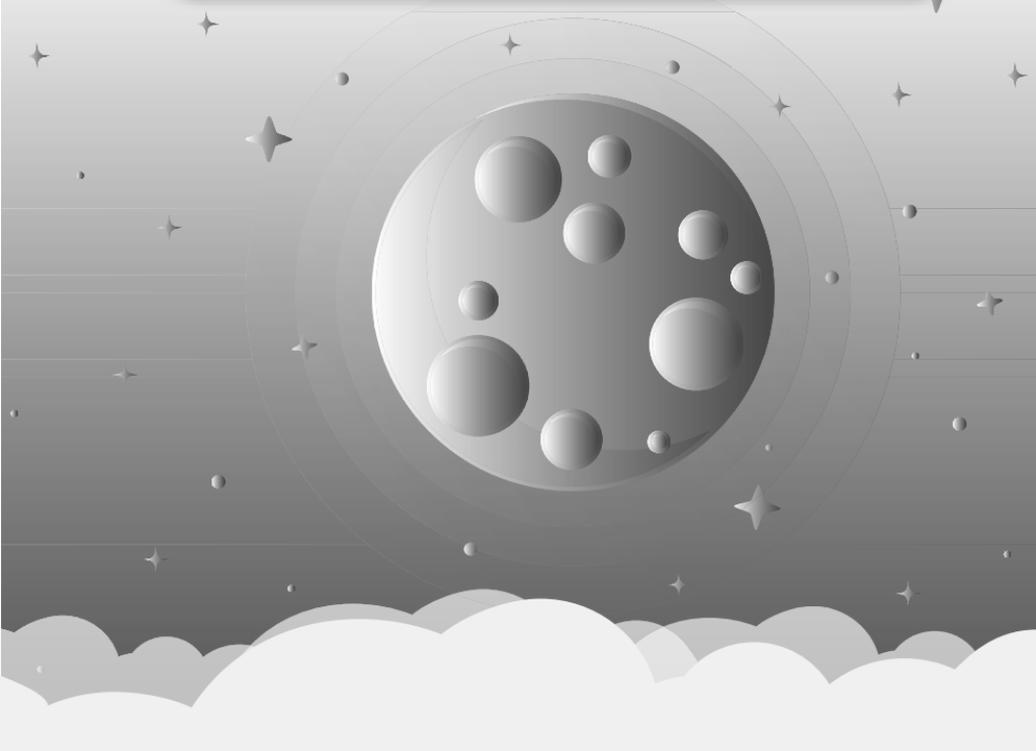
Вычислив эту величину (с помощью таблиц логарифмов), получаем 447 000. Вот, следовательно, правильное отношение яркостей Солнца и Луны:



дневное светило в ясную погоду освещает Землю в 447 000 раз сильнее, чем полная Луна в безоблачную ночь.

Считая, что количество теплоты, выделяемое Луной, пропорционально количеству рассеиваемого ею света (а это, вероятно, близко к истине), надо признать, что Луна посылает нам и теплоты в 447 000 раз меньше, чем Солнце. Известно, что каждый квадратный сантиметр на границе земной атмосферы получает от Солнца около двух малых калорий теплоты за 1 мин. Значит, Луна посылает на 1 см² Земли ежеминутно не более 225 000-й доли малой калории (то есть может нагреть 1 г воды за 1 мин на 225 000-ю часть градуса). Отсюда видно, насколько необоснованны все попытки приписать лунному свету какое-либо влияние на земную погоду.

Распространенное убеждение, что облака нередко тают под действием лучей полной Луны, — грубое заблуждение, объясняемое тем, что исчезновение облаков в ночное время (обусловленное другими причинами) становится заметным лишь при лунном освещении.



Оставим теперь Луну и вычислим, во сколько раз Солнце ярче самой блестящей звезды всего неба — Сириуса. Рассуждая так же, как и раньше, получаем отношение их блеска:



$$\frac{2,5^{27,8}}{2,5^{2,6}} = 2,5^{25,2} = 10\,000\,000\,000,$$

то есть Солнце ярче Сириуса в 10 млрд раз.

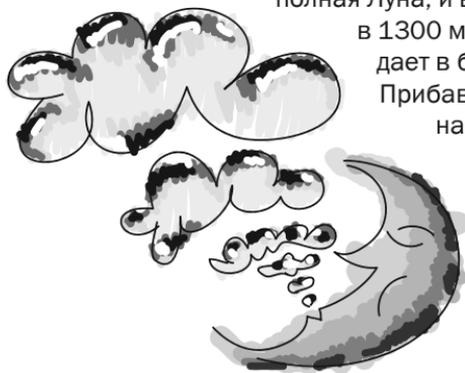
Очень интересен также следующий расчет: во сколько раз освещение, даваемое полной Луной, ярче совокупного освещения всего звездного неба, то есть всех звезд, видимых простым глазом на одном небесном полушарии? Мы уже вычислили, что звезды от первой до шестой величины включительно светят вместе так, как сотня звезд первой величины. Задача, следовательно, сводится к вычислению того, во сколько раз Луна ярче сотни звезд первой величины.

Это отношение равно

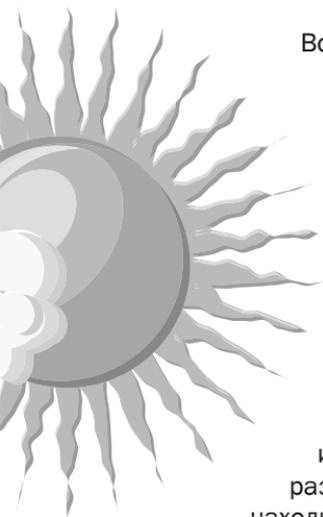
$$\frac{2,5^{13,6}}{100} = 3000.$$

Итак, в ясную безлунную ночь мы получаем от звездного неба лишь 3000-ю долю того света, какой посылает полная Луна, и в $3000 \times 437\,000$, то есть в 1300 миллионов раз меньше, чем дает в безоблачный день Солнце.

Прибавим еще, что звездная величина нормальной международной «свечи» на расстоянии 1 м равна $-14,2$, значит, свеча на указанном расстоянии освещает ярче полной Луны в $2,5^{14,2-12,6}$, то есть в четыре раза.



→ Истинный блеск звезд и Солнца

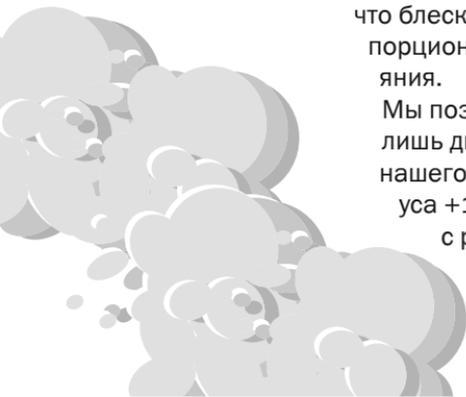


Все оценки блеска, которые мы делали до сих пор, относились только к видимому блеску. Приведенные числа выражают блеск светил на тех расстояниях, на каких каждое из них в действительности находится. Но мы хорошо знаем, что звезды удалены от нас неодинаково. Видимый блеск звезд говорит нам поэтому как об их истинном блеске, так и об их удалении от нас, вернее, ни о том, ни о другом, пока мы не расчленим оба фактора. Между тем важно знать, каков был бы сравнительный блеск или, как говорят, «светимость»

различных звезд, если бы они находились от нас на одинаковом расстоянии.

Ставя так вопрос, астрономы вводят понятие об абсолютной звездной величине звезд. Абсолютной звездной величиной звезды называется та, которую звезда имела бы, если бы находилась от нас на расстоянии 10 парсеков. Парсек — особая мера длины, употребляемая для звездных расстояний. О ее происхождении мы побеседуем позднее, здесь скажем лишь, что один парсек составляет около 30 800 000 000 000 км. Расчет абсолютной звездной величины произвести нетрудно, если знать расстояние звезды и принять во внимание, что блеск должен убывать пропорционально квадрату расстояния.

Мы познакомим читателя с результатом лишь двух таких расчетов: для Сириуса и для нашего Солнца. Абсолютная величина Сириуса +1,3, Солнца — +4,8. Это значит, что с расстояния 30 800 000 000 000 км



Сириус сиял бы нам звездой 1,3-й величины, а Солнце — 4,8-й величины, то есть слабее Сириуса в

$$\frac{2,5^{3,7}}{2,5^{0,3}} = 2,5^{3,4} = 25 \text{ раз,}$$

хотя видимый блеск Солнца в 10 000 000 000 раз больше блеска Сириуса.

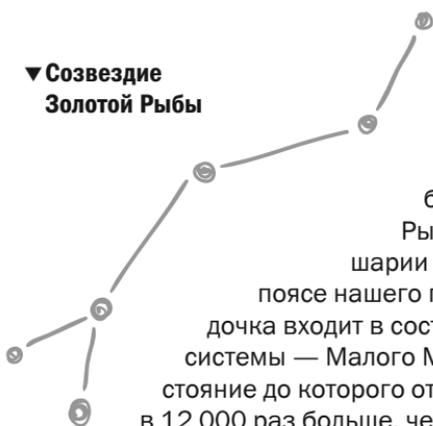
Мы убедились, что Солнце — далеко не самая яркая звезда на небе. Не следует, однако, считать наше Солнце пигмеем среди окружающих его звезд: светимость его все же выше средней. По данным звездной статистики, средними по светимости из звезд, окружающих Солнце до расстояния 10 парсеков, являются звезды 9-й абсолютной величины. Так как абсолютная величина Солнца равна 4,8, то оно ярче, нежели средняя из соседних звезд, в

$$\frac{2,5^8}{2,5^{3,7}} = 2,5^{4,3} = 50 \text{ раз.}$$

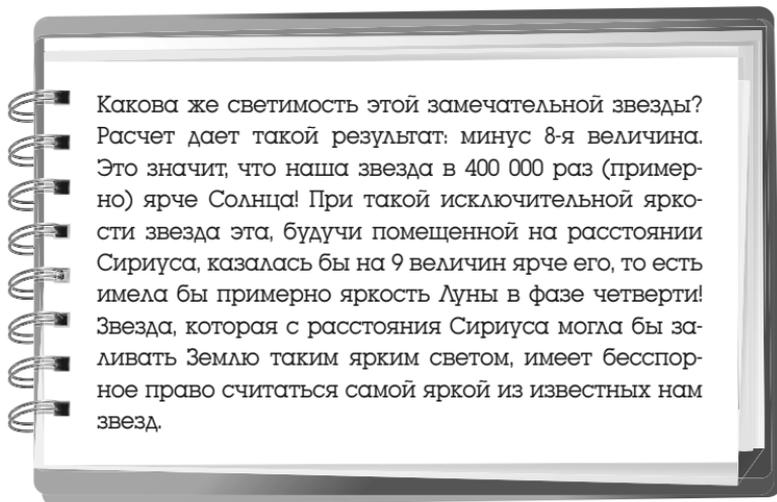
Будучи в 25 раз тусклее Сириуса, Солнце в 50 раз ярче, чем средние из окружающих его звезд.

→ Самая яркая звезда ИЗ ИЗВЕСТНЫХ

▼ Созвездие Золотой Рыбы



Самой большой светимостью обладает недоступная простому глазу звездочка 8-й величины в созвездии Золотой Рыбы, обозначаемая латинской буквой S. Созвездие Золотой Рыбы находится в Южном полушарии неба и не видно в умеренном поясе нашего полушария. Упомянутая звездочка входит в состав соседней с нами звездной системы — Малого Магелланова Облака, расстояние до которого от нас оценивается примерно в 12 000 раз больше, чем расстояние до Сириуса. На таком огромном удалении звезда должна обладать совершенно исключительной светимостью, чтобы казаться даже 8-й величины. Сириус, заброшенный так же глубоко в пространстве, сиял бы звездой 17-й величины, то есть был бы едва виден в самый могущественный телескоп.



→ Звездная величина планет на земном и чужом небе

Возвратимся теперь к мысленному путешествию на другие планеты (проделанному нами в разделе «Чужие небеса») и оценим более точно блеск сияющих там светил. Прежде всего укажем звездные величины планет в максимуме их блеска на земном небе.

На небе Земли:

Венера	-4,3	Сатурн	-0,4
Марс	-2,8	Уран	+5,7
Юпитер	-2,5	Нептун	+7,6
Меркурий	-1,2		

Видим, что Венера ярче Юпитера почти на две звездные величины, то есть в $2,5^2 = 6,25$ раза, а Сириуса

в $2,5^{2,8} = 13$ раз (блеск Сириуса — 1,6-й величины). Отсюда видно, что тусклая планета Сатурн ярче всех неподвижных звезд, кроме Сириуса и Канопуса. Здесь мы находим объяснение тому факту, что планеты (Венера, Юпитер) бывают иногда днем видны простым глазом, звезды же при дневном свете совершенно недоступны невооруженному зрению.

Далее приводим оценку блеска светил на небе Венеры, Марса и Юпитера без пояснений, так как они представляют собой лишь количественное выражение того, о чем говорилось в разделе «Чужие небеса».

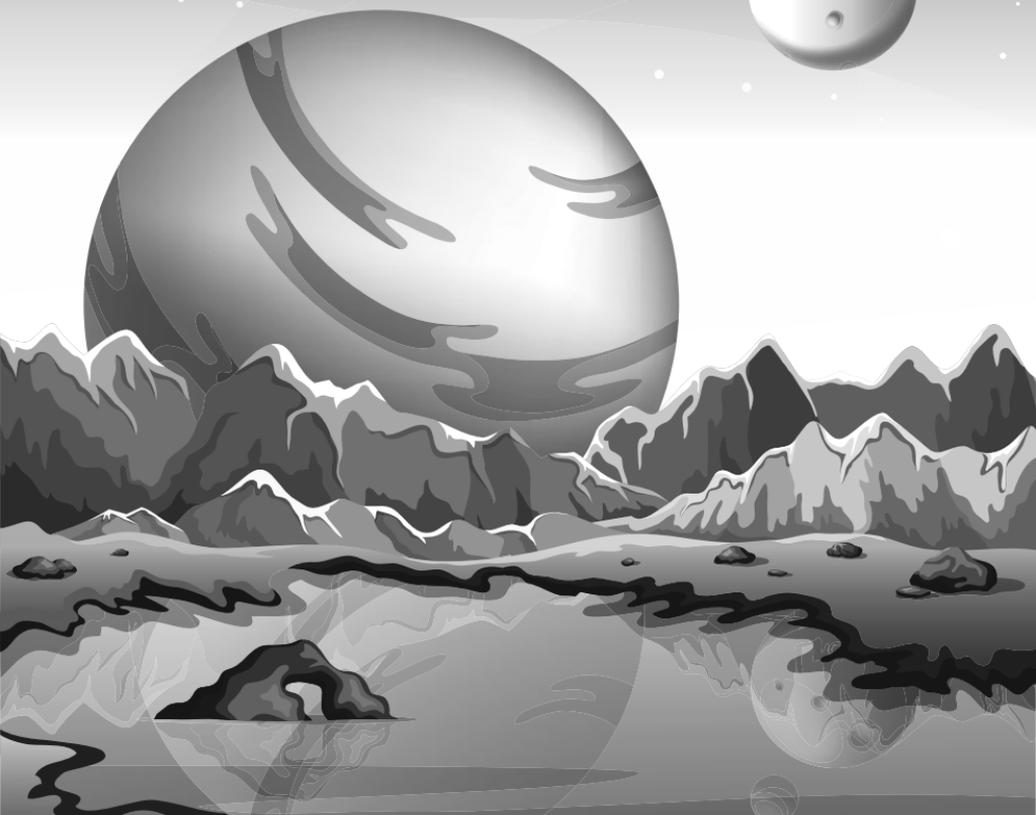


На небе Марса:

Солнце	-26	Венера	-3,2
Фобос	-8	Юпитер	-2,8
Деймос	-3,7	Земля	-2,6
Меркурий	-0,8	Сатурн	-0,6

На небе Венеры:

Солнце	-27,5	Юпитер	-2,4
Земля	-6,6	Луна	-2,4
Меркурий	-2,7	Сатурн	-0,3



На небе Юпитера:

Солнце	-23	IV спутник	-3,3
I спутник	-7,7	V спутник	-2,8
II спутник	-6,4	Сатурн	-2
III спутник	-5,6	Венера	-0,3



Оценивая яркость планет на небе их собственных спутников, следует на первое место поставить полный Марс в небе Фобоса (-22,5), затем полный Юпитер в небе V спутника (-21) и полный Сатурн в небе его спутника Мимаса (-20): Сатурн здесь всего впятеро менее ярк, чем Солнце!

Поучительна, наконец, следующая оценка блеска планет, наблюдаемых одна с другой. Располагаем их в порядке убывания блеска.



Венера с Меркурия	-7,7	Меркурий с Венеры	-2,7
Земля с Венеры	-6,6	Земля с Марса	-2,6
Земля с Меркурия	-5	Юпитер с Земли	-2,5
Венера с Земли	-4,3	Юпитер с Венеры	-2,4
Венера с Марса	-3,2	Юпитер с Меркурия	-2,2
Юпитер с Марса	-2,8	Сатурн с Юпитера	-2
Марс с Земли	-2,8		

Отсюда видно, что на небе главных планет самыми яркими светилами являются Венера, наблюдаемая с Меркурия, Земля, видимая с Венеры, и Земля, видимая с Меркурия.

→ Почему телескоп не увеличивает звезды?

Людей, впервые направляющих зрительную трубу на неподвижные звезды, поражает то, что труба, так заметно увеличивающая Луну и планеты, нисколько не увеличивает размеры звезд, даже уменьшает их, превращая в яркую точку, не имеющую диска. Это заметил еще Галилей, первый человек, взглянувший на небо вооруженным глазом.

Чтобы объяснить такое бессилие телескопа по отношению к звездам, придется вспомнить кое-что из физиологии и физики зрения. Когда мы следим за удаляющимся от нас человеком, его изображение на сетчатке глаза становится все меньше.

При достаточном удалении голова и ноги человека настолько сближаются на сетчатке, что попадают уже не на разные ее элементы (нервные окончания), а на один и тот же, и тогда человеческая фигура кажется нам точкой, лишенной очертаний. У большинства людей это наступает тогда, когда угол, под которым усматривается предмет, уменьшается до $1'$.

Назначение телескопа состоит в том, чтобы увеличить угол, под которым глаз видит предмет, или, что то же самое, растянуть изображение каждой детали предмета на несколько смежных элементов сетчатки. О телескопе говорят, что он «увеличивает в 100 раз», если угол, под которым мы





видим предметы в этот телескоп, в 100 раз больше угла, под которым мы на том же расстоянии видим их простым глазом. Если же какая-нибудь деталь и при таком увеличении усматривается под углом меньше $1'$, то данный телескоп недостаточен для рассмотрения этой подробности.

Нетрудно рассчитать, что самая мелкая подробность, какую можно различить на расстоянии Луны в телескоп, увеличивающий в 1000 раз, имеет в поперечнике 110 м, а на расстоянии Солнца — 40 км. Но если тот же расчет сделать для ближайшей звезды, то получим огромную величину — 12 000 000 км. Поперечник нашего Солнца меньше этой величины в $8\frac{1}{2}$ раза. Значит, перенесенное на расстояние ближайшей звезды, Солнце наше должно казаться точкой даже в телескоп с тысячекратным увеличением. Ближайшая звезда должна обладать объемом, в 600 раз большим Солнца, чтобы сильные телескопы могли показать ее диск. На расстоянии Сириуса звезда должна для этого быть больше Солнца по объему в 5000 раз. Так как большинство звезд расположено гораздо дальше сейчас упомянутых, а размеры их в среднем не превышают в такой степени размеров Солнца, то звезды и в сильные телескопы представляются нам точками.

«Ни одна звезда на небе, — говорит Дж. Х. Джинне, — не имеет большего углового размера, чем булавочная головка с расстояния в 10 км, и нет еще такого телескопа, в который предмет столь малых размеров был бы виден, как диск». Напротив, крупные небесные тела, входящие в состав нашей Солнечной системы, показывают при наблюдении в телескоп свои диски тем крупнее, чем больше увеличение. Но, как мы уже имели случай упомянуть, астроном встречается здесь с другим неудобством: вместе с увеличением изображения ослабевает его яркость (вследствие распределения потока лучей на большую поверхность), слабая же яркость затрудняет различение подробностей. Потому при наблюдении планет и особенно комет приходится пользоваться лишь умеренными увеличениями телескопа.



Читатель, пожалуй, задаст вопрос: если телескоп не увеличивает звезды, то зачем же им пользуются при их наблюдении?

После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно долго останавливаться на ответе. Телескоп бессильно увеличивать видимые размеры звезд, но он усиливает их яркость, а следовательно, умножает число звезд, доступных зрению. Второе, что достигается благодаря телескопу, это разделение тех звезд, которые представляются невооруженному глазу сливающимися в одну. Телескоп не может увеличивать видимого поперечника звезд, но увеличивает видимое расстояние между ними. Поэтому телескоп открывает нам двойные, тройные и еще более сложные звезды там, где невооруженный глаз видит одиночную звезду. Звездные скопления, для простого глаза сливающиеся за дальностью расстояния в туманное пятнышко, а в большинстве случаев и вовсе невидимые, рассыпаются в поле телескопа на многие тысячи отдельных звезд. И, наконец, третья услуга телескопа при изучении мира звезд состоит в том, что он дает возможность измерять углы с поразительной точностью: на фотографиях, полученных современными большими телескопами, астрономы измеряют углы величиной в $0,01'$. Под таким углом усматривается копейка с расстояния 300 км или человеческий волос с расстояния 100 м!



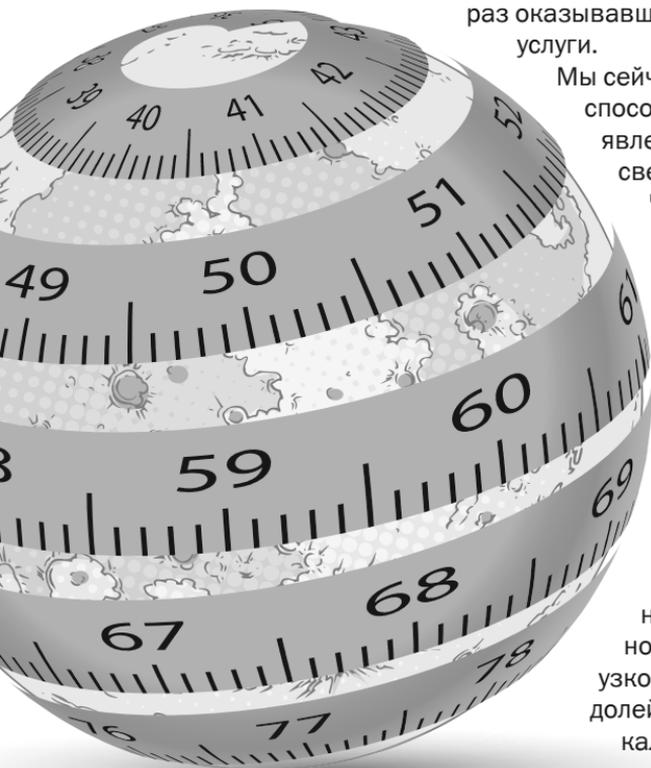
→ Как измерили поперечники звезд?

В самый сильный телескоп, как мы сейчас объяснили, нельзя увидеть поперечники неподвижных звезд. До недавнего времени все соображения о том, каковы размеры звезд, были только догадками. Допускали, что каждая звезда в среднем примерно такой же величины, как наше Солнце, но эту догадку ничем не могли подкрепить. И так как для различения звездных диаметров необходимы более мощные телескопы, чем самые сильные телескопы нашего времени, то задача определения истинных диаметров звезд казалась неразрешимой.

Так обстояло дело до 1920 г., когда новые приемы и орудия исследования открыли астрономам путь к измерению истинных размеров звезд. Этим новейшим достижением астрономия обязана своей верной союзнице — физике, не раз оказывавшей ей самые ценные услуги.

Мы сейчас изложим сущность способа, основанного на явлении интерференции света.

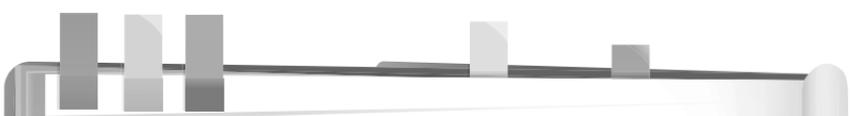
Чтобы уяснить принцип, на котором основан этот метод измерений, произведем опыт, требующий несложных средств: небольшого телескопа, дающего увеличение в 30 раз, и находящегося на расстоянии 10–15 м от него яркого источника света, загороженного экраном с очень узкой (несколько десятых долей миллиметра) вертикальной щелью. Об-





ektiv закроем непрозрачной крышкой с двумя круглыми отверстиями около 3 мм в диаметре, расположенными симметрично относительно центра объектива на расстоянии 15 мм друг от друга. Без крышки щель в телескоп имеет вид узкой полосы со значительно более слабыми полосками по бокам. При наблюдении же с крышкой центральная яркая полоса представляется исчерченной вертикальными темными полосами. Эти полосы появились как следствие взаимодействия (интерференции) двух световых пучков, прошедших сквозь два отверстия в крышке объектива. Если закрыть одно из отверстий, полоски исчезнут.

Если отверстия перед объективом сделать подвижными, так что расстояние между ними можно будет изменять, то по мере их раздвижения темные полосы будут становиться все менее яркими и наконец исчезнут. Зная расстояние между отверстиями в этот момент, можно определить угловую ширину щели, то есть угол, под которым видна ширина щели наблюдателю. Если же знать расстояние до самой щели, то можно вычислить ее действительную ширину. Если вместо щели у нас будет маленькое круглое отверстие, то способ определения ширины такой круглой щели (то есть диаметра кружка) остается тем же самым, надо лишь полученный угол умножить на 1,22. При измерении диаметров звезд мы следуем тем же путем, но ввиду чрезвычайной малости углового диаметра звезд должны применять весьма большие телескопы.



Помимо работы описанным инструментом, интерферометром, есть и другой, более оокольный способ оценки истинного диаметра звезд, основанный на исследовании их спектров.

По спектру звезды астроном узнает ее температуру, а отсюда вычисляет величину излучения 1 см^2 ее поверхности. Если, кроме того, известны расстояние до звезды и ее видимый блеск, то определяется и величина излучения всей ее поверхности. Отношение второй величины к первой дает размер поверхности звезды, а значит, и ее диаметр. Таким образом найдено, например, что поперечник Капеллы в 16 раз больше солнечного, Бетельгейзе — в 350 раз, Сириуса — в два раза, Веги — в два с половиной раза, а поперечник спутника Сириуса составляет 0,02 солнечного.

Земля

Нептун

Уран

Сатурн

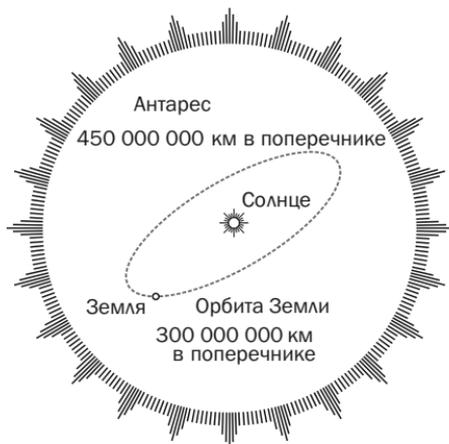
Юпитер

→ Гиганты звездного мира

Результаты определения звездных поперечников оказались поистине поразительными. Астрономы не подозревали раньше, что во Вселенной могут быть такие гигантские звезды. Первой звездой, истинные размеры которой удалось определить (в 1920 г.), была яркая звезда α Ориона, носящая арабское название Бетельгейзе. Ее поперечник оказался превышающим диаметр орбиты Марса!

Другим гигантом является Антарес — самая яркая звезда в созвездии Скорпиона: ее поперечник примерно в полтора раза больше диаметра земной орбиты (см. рисунок ниже). В ряд открытых звездных гигантов надо поставить и так называемую «дивную» (Мира) звезду в созвездии Кита, диаметр которой в 400 раз больше диаметра нашего Солнца.

► **Звезда-гигант Антарес (α Скорпиона) могла бы включить в себя наше Солнце с земной орбитой**



Остановимся теперь на физическом устройстве этих исполинов. Он показывает, что подобные звезды, несмотря на чудовищные размеры, содержат несоразмерно мало вещества. Они тяжелее Солнца всего в несколько раз, а так как по объему Бетельгейзе, например, больше Солнца в 90 000 000 раз, то плотность этой звезды должна быть ничтожна. И если вещество Солнца в среднем по плотности приближается к воде, то вещество звезд-гигантов в этом отношении походит на разреженный воздух. Звезды эти, по выражению одного астронома, «напоминают громадный аэростат малой плотности, значительно меньшей, нежели плотность воздуха».

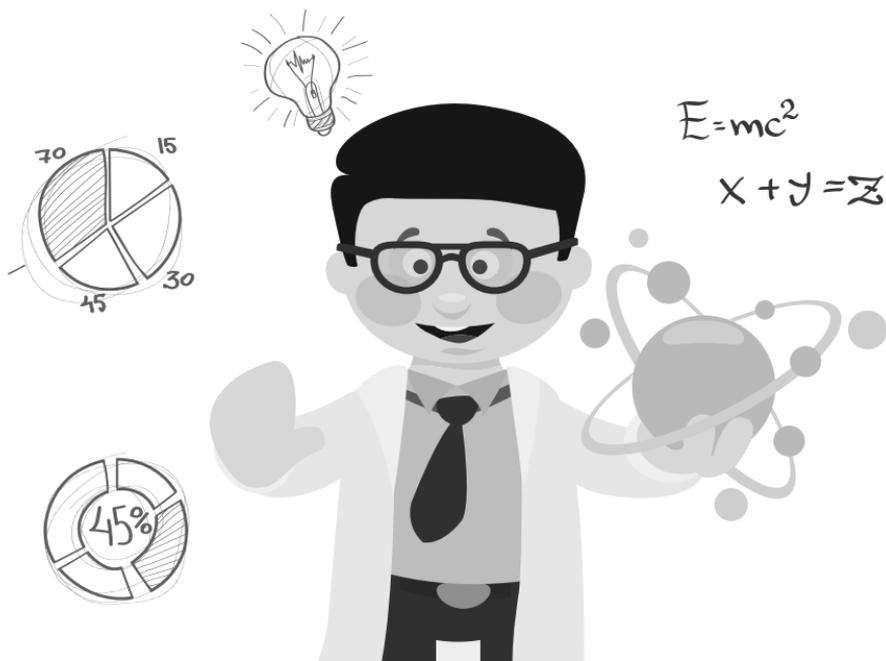
→ Неожиданный расчет

Интересно рассмотреть в связи с предыдущим, сколько места заняли бы на небе все звезды, если бы их видимые изображения были примкнуты одно к другому.

Мы уже знаем, что совместный блеск всех звезд, доступных телескопу, равен блеску звезды $-6,6$ -й величины (см. выше). Такая звезда светит на 20 звездных величин слабее нашего Солнца, то есть дает света меньше в 100 000 000 раз. Если считать Солнце по температуре его поверхности звездой средней, то можно принять, что видимая поверхность нашей воображаемой звезды в указанное число раз меньше видимой поверхности Солнца. А так как диаметры кругов пропорциональны квадратным корням из их поверхностей, то видимый диаметр нашей звезды должен быть меньше видимого диаметра Солнца в 10 000 раз, то есть равняться

$$30' : 10\,000 \approx 0,2''.$$

Результат поразительный: совместная видимая поверхность всех звезд занимает на небе столько места, сколько кружок с угловым диаметром в $0,2''$. Небо содержит 41 253 квадратных градуса, поэтому легко сосчитать, что видимые в телескоп звезды покрывают только одну двадцатитриллионную долю всего неба!



→ Самое тяжелое вещество

Среди диковинок, скрытых в глубинах Вселенной, вероятно, навсегда сохранит одно из значительных мест небольшая звездочка близ Сириуса. Она состоит из вещества, в 60 000 раз более тяжелого, нежели вода! Когда мы берем в руки стакан ртути, нас удивляет его грузность: он весит около 3 кг. Но что сказали бы мы о стакане вещества, весящем 12 т и требующем для перевозки железнодорожной платформы? Это кажется абсурдом, а между тем таково одно из открытий астрономии. Открытие это имеет длинную и в высшей степени поучительную историю. Уже давно было замечено, что блистательный Сириус движется среди звезд не по прямой линии, как большинство других звезд, а по странному извилистому пути. Чтобы объяснить особенности его движения, известный астроном Ф. Бессель предположил, что Сириуса сопровождает спутник, своим притяжением «возмущающий» его движение. Это было в 1844 г. — за два года до того, как был открыт Нептун «на

кончике пера». А в 1862 г., уже после

смерти Бесселя, его догадка получила полное подтверждение, так как заподозренный спутник Сириуса был усмотрен в телескоп.

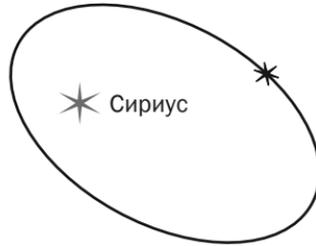




Спутник Сириуса, так называемый Сириус В, обращается около главной звезды за 49 лет на расстоянии в 20 раз большем, чем Земля вокруг Солнца (то есть примерно на расстоянии Урана) (см. рисунок справа). Это слабая звездочка 8–9-й величины, но ее масса весьма внушительна — почти 0,8 массы нашего Солнца. На расстоянии Сириуса наше Солнце должно было бы светить звездой 1,8-й величины, поэтому если бы

спутник Сириуса имел поверхность, уменьшенную по сравнению с солнечной в соответствии с отношением масс этих светил, то при той же температуре он должен был бы сиять, как звезда примерно второй величины, а не 8–9-й. Столь слабую яркость астрономы первоначально объясняли низкой температурой на поверхности этой звезды. Ее рассматривали как остывающее солнце, покрываемое твердой корой.

► **Орбита спутника Сириуса по отношению к Сириусу (Сириус не находится в фокусе видимого эллипса, потому что истинный эллипс искажен проекцией — мы видим его под углом)**

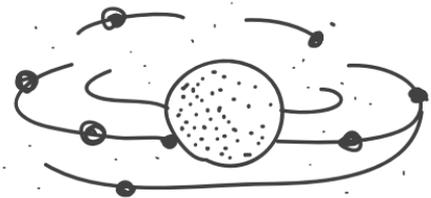


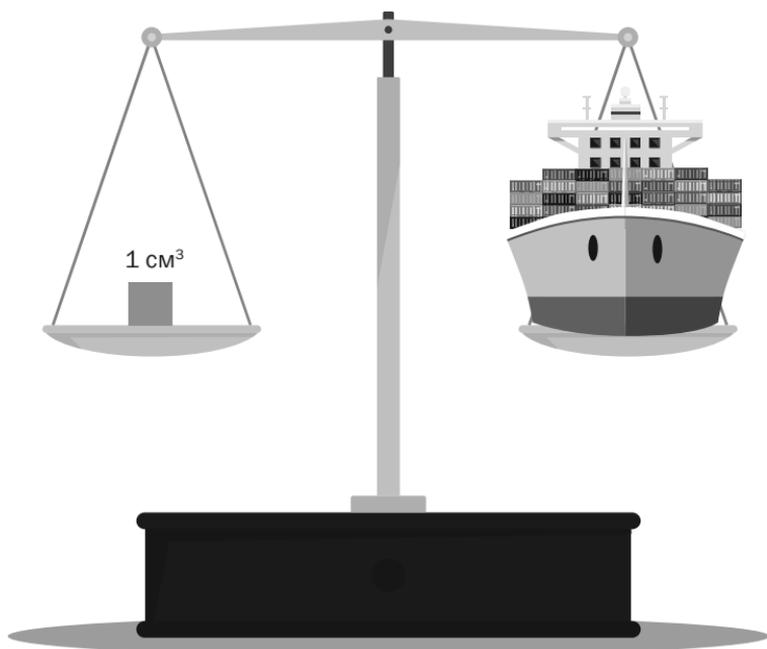
Но такое допущение оказалось ошибочным. Скромный спутник Сириуса — вовсе не угасающая звезда, а, напротив, принадлежит к звездам, температура поверхности которых гораздо выше, чем у Солнца. Это совершенно меняет дело. Слабую яркость приходится, следовательно, приписать только малой величине поверхности этой звезды. Вычислено, что она посылает в 360 раз меньше света, чем Солнце. Значит, поверхность ее должна быть по крайней мере в 360 раз меньше солнечной, а радиус в 360, то есть в 19 раз, меньше солнечного. Отсюда заключаем, что объем спутника Сириуса должен составлять менее чем 6800-ю долю объема Солнца, между тем как масса его составляет почти 0,8 массы дневного светила. Уже это одно говорит о большой уплотненности вещества этой звезды. Более точный расчет дает для диаметра планеты всего 40 000 км, а следовательно, для плотности — то чудовищное число, которое мы привели в начале раздела: в 60 000 раз больше плотности воды. «Навострите уши, физики: замышляется вторжение в вашу область», — приходят на память слова Кеплера, сказанные им, правда, по другому поводу.



Действительно, ничего подобного не мог представить себе до сих пор ни один физик. В обычных условиях столь значительное уплотнение совершенно немислимо, так как промежутки между нормальными атомами в твердых телах слишком малы, чтобы допустимо было сколько-нибудь заметное сжатие их вещества. Иначе обстоит дело в случае «изувеченных» атомов, утративших те электроны, которые кружились вокруг ядер. Потеря электронов уменьшает поперечник атома в несколько тысяч раз, почти не уменьшая его массы. Обнаженное ядро меньше нормального атома примерно во столько раз, во сколько муха меньше крупного здания. Сдвигаемые чудовищным давлением, господствующим в недрах звездного шара, эти уменьшенные атомы-ядра могут сблизиться в тысячи раз теснее, чем нормальные атомы, и создать вещество той неслыханной плотности, какая обнаружена на спутнике Сириуса. Более того, сейчас указанная плотность даже превзойдена в так называемой Звезде ван Маанена. Эта звездочка 12-й величины, по размерам не превышающая земного шара, состоит из вещества, в 400 000 раз более плотного, нежели вода!

И это еще не самая крайняя степень плотности. Теоретически можно допускать существование гораздо более плотных веществ. Диаметр атомного ядра составляет не более одной десятитысячной диаметра атома, а объем, следовательно, не более $(1/10)^3$ объема атома. 1 м³ металла содержит всего около $1/1000$ мм³ атомных ядер, и в этом крошечном объеме сосредоточена вся масса металла. 1 см³ атомных ядер должен, таким образом, весить примерно 10 млн т.





▲ 1 см³ атомных ядер при весьма неплотной упаковке мог бы уравновесить океанский пароход. Плотно же уложенные в объеме 1 см³ атомные ядра весили бы 10 млн т!

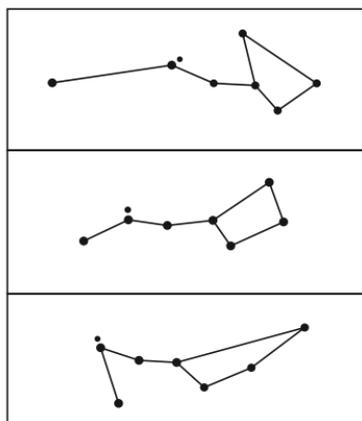
После сказанного не будет казаться невероятным открытие звезды, средняя плотность вещества которой еще в 500 раз больше, чем у вещества упомянутой ранее звезды Сириус В. Мы говорим о небольшой звездочке 13-й величины в созвездии Кассиопеи, открытой в конце 1935 г. Будучи по объему не больше Марса и в восемь раз меньше земного шара, звезда эта обладает массой, почти втрое превышающей массу Солнца (точнее, в 2,8 раза). В обычных единицах средняя плотность ее вещества выражается числом 36 000 000 г/см³. Это означает, что 1 см³ такого вещества весил бы на Земле 36 т! Вещество это, следовательно, плотнее золота почти в два миллиона раз. Немного лет назад ученые, конечно, считали бы немыслимым существование вещества в миллионы раз плотнее платины. Бездны мироздания скрывают, вероятно, еще немало подобных диковинок природы.

→ Почему звезды называются неподвижными?

Когда в старину ученые дали звездам такой эпитет, они желали подчеркнуть, что, в отличие от планет, звезды сохраняют на небесном своде неизменное расположение. Они, конечно, участвуют в суточном движении всего неба вокруг Земли, но это кажущееся движение не нарушает их взаимного расположения. Планеты же непрестанно меняют свои места относительно звезд, бродят между ними и оттого получили в древности наименование блуждающих звезд (буквальный смысл слова «планета»).



► **Фигуры созвездий медленно меняются с течением времени.**
Средний рисунок изображает ковш Большой Медведицы в настоящее время, верхний — 100 000 лет назад, нижний — через 100 000 лет после нашего времени

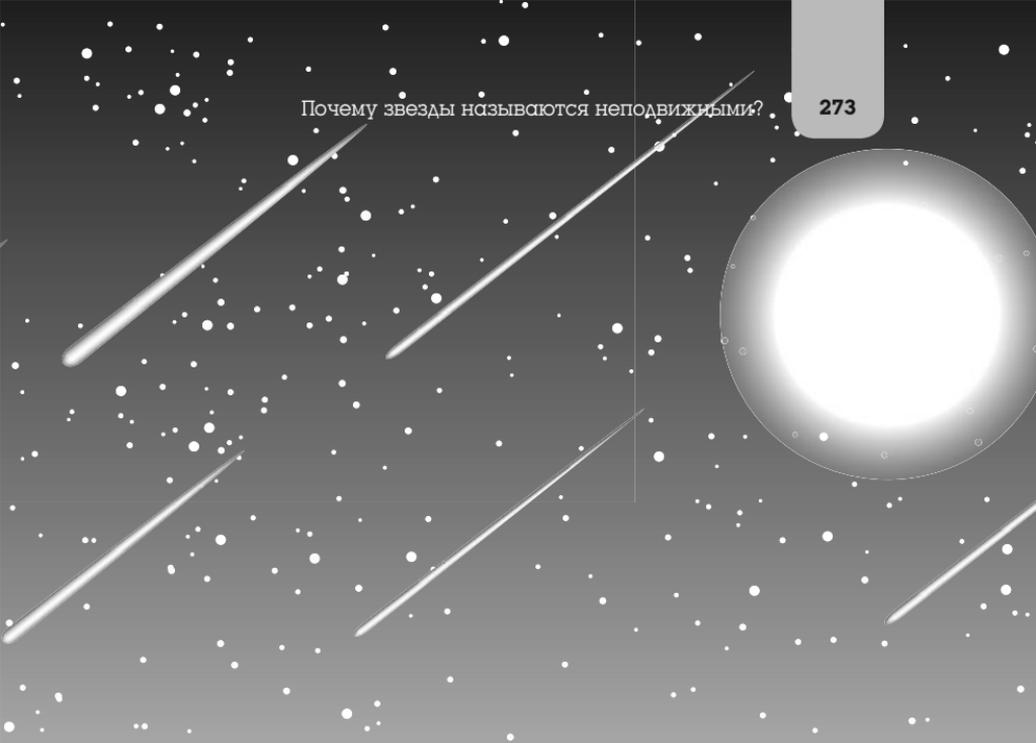


Мы знаем теперь, что представление о звездном мире как о собрании солнц, застывших в своей неподвижности, совершенно превратно. Все звезды, в том числе и наше Солнце, движутся одна относительно другой со скоростью в среднем 30 км/с, то есть с такой же, с какой планета наша обегает свою орбиту. Значит, звезды не менее подвижны, чем планеты. Напротив, в мире звезд мы встречаемся в отдельных случаях с такими огромными скоростями, каких нет в семье планет. Известны звезды (их называют «летающими»), которые несутся по отношению к нашему Солнцу с огромной скоростью (250–300 км/с). Но если все видимые нами звезды хаотически движутся с громадными скоростями, пробегая миллиарды километров ежегодно, то почему мы не замечаем этого бешеного движения? Почему звездное небо представляет издавна картину величавой неподвижности?

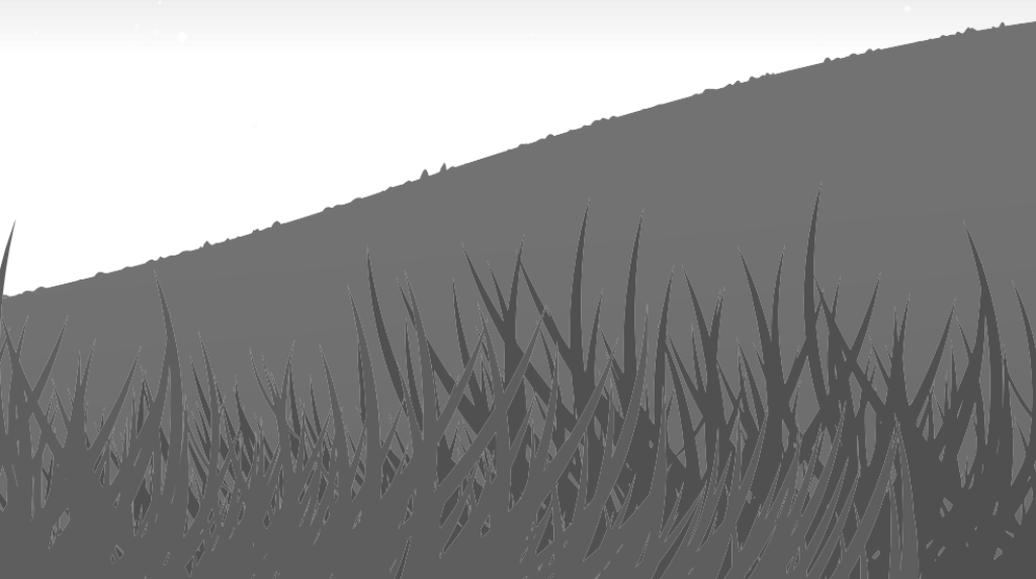




Причину нетрудно разгадать: она кроется в невообразимой удаленности звезд. Случалось ли вам наблюдать с возвышенного пункта за поездом, движущимся вдаль, близ горизонта? Разве не казалось вам тогда, что курьерский поезд ползет как черепаха? Скорость, головокружительная для наблюдателя вблизи, превращается в черепаший шаг при наблюдении с большого расстояния. То же происходит и с движением звезд, только в этом случае относительное удаление наблюдателя от движущегося тела гораздо значительнее. Самые яркие звезды удалены от нас в среднем менее других — именно (по Каптейну) на 800 миллионов миллионов километров, перемещение же такой звезды за год составляет, скажем, миллиард (1000 миллионов) километров, то есть в 800 000 раз меньше. Такое перемещение должно усматриваться с Земли под углом менее 0,25" — величина, едва уловимая точнейшими астрономическими инструментами. Для невооруженного же глаза оно совершенно незаметно, даже если длится столетия. Только кропотливыми инструментальными измерениями удалось обнаружить движение многих звезд.



Итак, «неподвижные звезды», несмотря на то что увлекаются невообразимо стремительным движением, имеют полное право именоваться неподвижными, поскольку речь идет о наблюдениях невооруженным глазом. Из сказанного читатель сам может вывести заключение, как ничтожна вероятность встречи между звездами, несмотря на их стремительное движение.



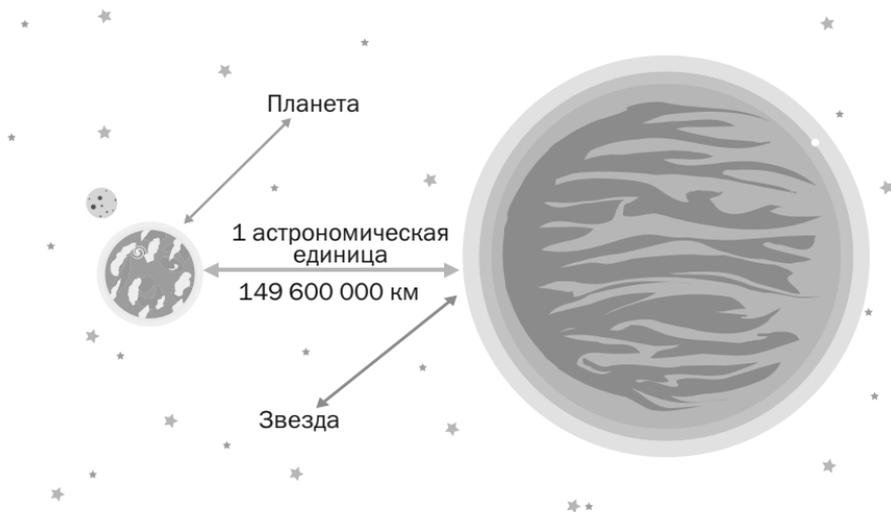
→ Меры звездных расстояний

Наши крупные меры длины — километр, морская миля (1852 м) и географическая миля (равная четырем морским), достаточные для измерения расстояний на земном шаре, оказываются слишком ничтожными для измерений небесных. Мерить ими небесные расстояния столь же неудобно, как измерять миллиметрами длину железной дороги.

Чтобы не иметь дела с длинными рядами нулей в конце чисел, астрономы пользуются более крупными единицами длины. Для измерений, например, в пределах Солнечной системы единицей длины принято считать среднее расстояние от Земли до Солнца (149 600 000 км). Это так называемая астрономическая единица. В таких мерах расстояние от Юпитера до Солнца равно 5,2, от Сатурна — 9,54, от Меркурия — 0,387 и т. п.

Но для расстояний от нашего Солнца до других солнц приведенная мера слишком мала. Например, расстояние до самой близкой к нам звезды (так называемой Проксимы в созвездии Центавра, красноватой звездочки 11-й величины) выражается в этих единицах числом 260 000. И это лишь ближайшая звезда, прочие расположены гораздо дальше. Введенные в употребление более крупные единицы значительно упростили запоминание подобных чисел и обращение с ними. В астрономии имеются следующие исполинские единицы расстояний: световой год и успешно вытесняющий его парсек.

Световой год — это путь, пробегаемый в пустом пространстве лучом света за год времени. Как велика эта мера, мы поймем, вспомнив, что солнечный свет достигает Земли всего за



8 мин. Световой год, следовательно, во столько раз больше радиуса земной орбиты, во сколько раз год времени больше 8 мин. В километрах эта мера длины выражается числом 9 460 000 000 000, то есть световой год равен примерно 9,5 миллиардов километров.

Сложнее происхождение другой единицы звездных расстояний, к которой астрономы прибегают охотнее, — парсека.

Парсек — это расстояние, на которое надо удалиться, чтобы полуциркуль земной орбиты был виден под углом в одну угловую секунду. Угол, под которым виден со звезды полуциркуль земной орбиты, называется в астрономии годичным параллаксом этой звезды.

От соединения слов «параллакс» и «секунда» образовано слово «парсек». Параллакс названной выше звезды альфа Центавра — 0,76 с. Легко сообразить, что расстояние до этой звезды — 1,31 парсека. Нетрудно вычислить, что один парсек должен заключать в себе 206 265 расстояний от Земли до Солнца. Соотношение между парсеком и другими единицами длины таково: 1 парсек = 3,26 светового года = 30 800 000 000 000 км. Вот расстояния нескольких ярких звезд, выраженные в парсеках и световых годах:

	Парсек	Световой год
α Центавра	1,31	4,3
Сириус	2,67	8,7
Процион	3,39	10,4
Альтаир	4,67	15,2

Это сравнительно близкие к нам звезды. Какого порядка их «близость», вы поймете, когда вспомните, что для выражения приведенных расстояний в километрах надо каждое из чисел первого столбца увеличить в 30 миллиардов раз (разумея под миллиардом миллион миллионов). Однако световой год и парсек — еще не самые крупные меры, употребляемые в науке



о звездах. Когда астрономы приступили к измерению расстояний и размеров звездных систем, то есть целых вселенных, состоящих из многих миллионов звезд, понадобилась мера, еще более крупная. Ее образовали из парсека, как километр образован из метра: составилась килопарсек, равный 1000 парсекам, или 30 800 миллиардам километров. В этих мерах, например, поперечник Млечного Пути выражается числом 30, а расстояние от нас до туманности Андромеды — около 300.

Но и килопарсек вскоре оказался недостаточно большой мерой, поэтому пришлось ввести в употребление мегапарсек, содержащий миллион парсеков. Итак, вот звездные меры длины:

1 мегапарсек = 100 000 парсеков;

1 килопарсек = 1000 парсеков;

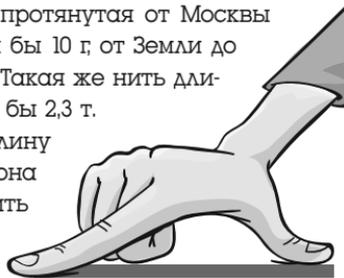
1 парсек = 206 265 астрономических единиц;

1 астрономическая единица = 149 500 000 км.

Представить себе мегапарсек наглядно нет никакой возможности. Даже если уменьшить километр до толщины волоса (0,05 мм), то мегапарсек и тогда будет превосходить силу человеческого воображения, так как сделается равным 1,5 млрд км — десятикратному расстоянию от Земли до Солнца.

Приведу, впрочем, одно сопоставление, которое, быть может, облегчит читателю оценку невообразимой огромности мегапарсека. Тончайшая паутинная нить, протянутая от Москвы до Петербурга, весила бы 10 г, от Земли до Луны — не более 6 кг. Такая же нить длиной до Солнца весила бы 2,3 т.

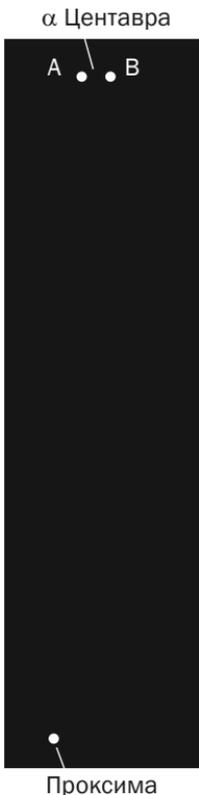
Но, протянутая на длину одного мегапарсека, она должна была бы весить 500 000 000 000 т!



→ Система ближайших звезд

Сравнительно давно, около 100 лет назад, стало известно, что самой близкой звездной системой является двойная звезда первой величины южного созвездия Центавра. Последние годы обогатили наши знания об этой системе интересными подробностями. Открыта была вблизи α Центавра небольшая звездочка 11-й величины, составляющая с двумя звездами α Центавра одну систему тройной звезды. То, что третья звезда физически входит в систему α Центавра, хотя их и разделяет на небе расстояние свыше 2° , подтверждается одинаковостью их движения: все три звезды увлекаются с одной скоростью в одном направлении. Самое замечательное в третьем члене этой системы то, что он расположен в пространстве ближе к нам,





▲ Система ближайшей к Солнцу звезды: А, В и Проксима Центавра

чем другие две звезды, и должен быть поэтому признан ближайшей из всех звезд, расстояния которых до сих пор определены. Звездочку эту так и называют Ближайшая, или по-латыни Проксима. Она ближе к нам, нежели звезды Центавра (их называют α Центавра А и α Центавра В), на 3960 астрономических единиц. Вот их параллаксы:

α Центавра (А и В).....0,755
Проксима Центавра.....0,762

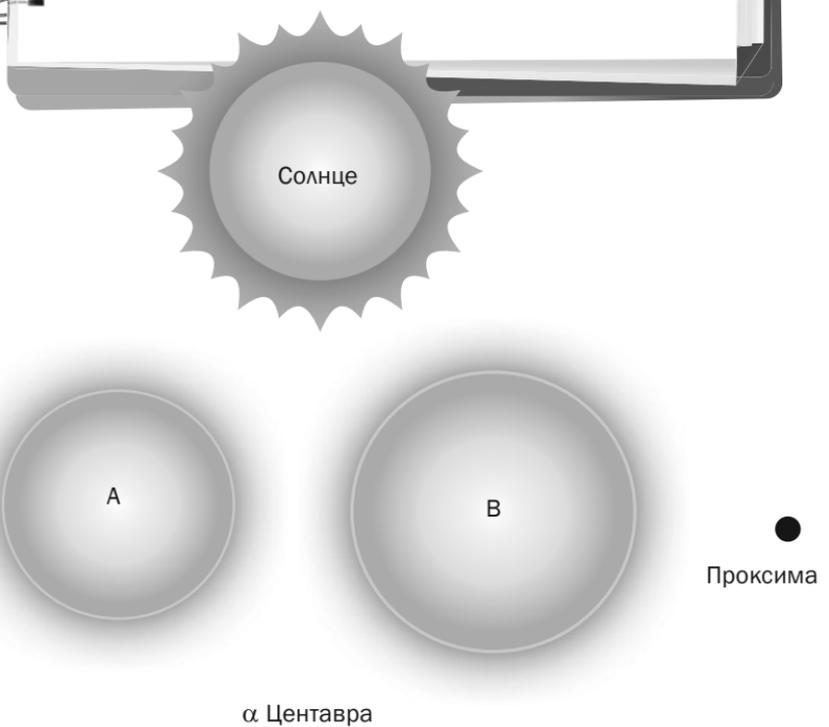
Так как звезды А и В отделены друг от друга расстоянием только в 34 астрономические единицы, то вся система имеет довольно странный вид, представленный на рисунке. А и В раздвинуты немного больше, чем Уран и Солнце. Проксима же отстоит от них на 59 световых суток. Звезды эти медленно меняют свое расположение: период обращения звезд А и В вокруг их общего центра тяжести равен 79 годам, Проксима же завершает один оборот более чем за 100 000 лет, так что нечего опасаться, что вскоре она перестанет быть ближайшей к нам звездой, уступив место одной из составляющих α Центавра.

Что же известно о физических особенностях звезд этой системы? α Центавра А по яркости, массе и диаметру лишь немногим больше Солнца (см. рисунок справа). α Центавра В обладает несколько меньшей массой, больше Солнца по диаметру на $\frac{1}{5}$, но светит в три раза менее ярко, соответственно, ее поверхностная температура ниже, нежели солнечная (4400 °С, Солнце — 6000 °С). Еще холоднее Проксима: температура на ее поверхности 3000 °С. Звезда эта красного цвета. Диаметр ее в 14 раз меньше солнечного, так что по размерам эта звездочка даже несколько меньше Юпитера и Сатурна (превосходя их, однако, по массе в сотни раз).

Если бы мы перенеслись на α Центавра А, то увидели бы оттуда звезду В примерно такой же величины, какой Солнце наше сияет на небе Урана, Проксима же казалась бы даже оттуда маленькой и тусклой звездочкой: она ведь удалена в 250 раз больше, чем Плутон от Солнца, и в 1000 раз дальше, чем Сатурн.



После тройной звезды α Центавра следующая близкая соседка нашего Солнца — маленькая звездочка (9,5-й величины) в созвездии Змееносца, названная «Летающей звездой». Такое наименование она получила из-за чрезвычайно быстрого видимого движения, которым обладает. Звезда эта в полтора раза дальше от нас, чем система α Центавра, но в Северном полушарии неба она наша ближайшая соседка. Полет ее, направленный косо к движению Солнца, так стремителен, что менее чем через десять тысячелетий она приблизится к нам вдвое и будет тогда ближе тройной звезды α Центавра.



Солнце

А

В

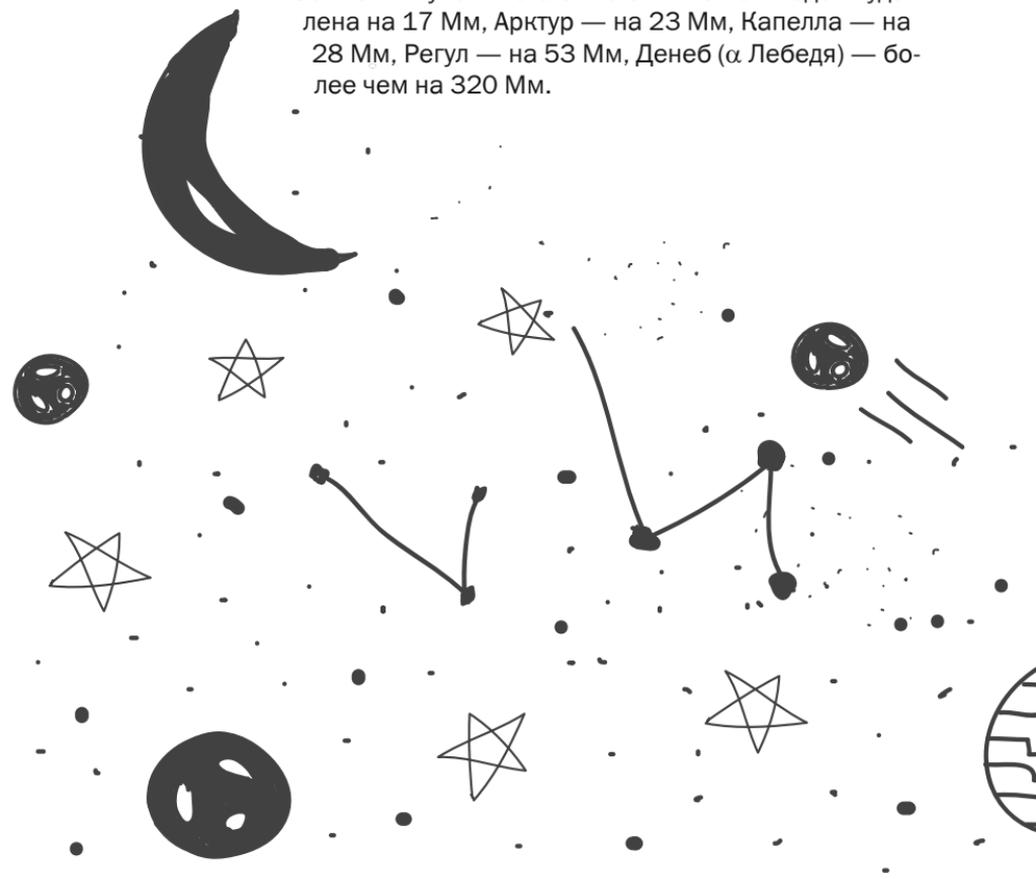
Проксима

α Центавра

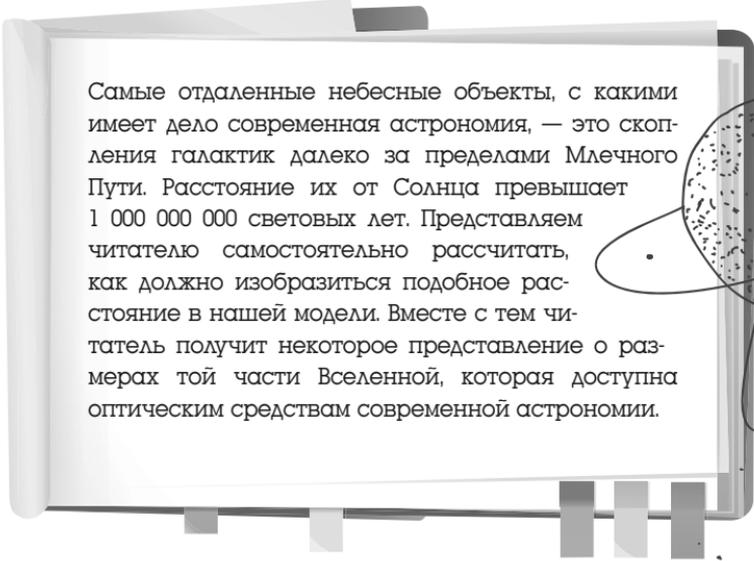
→ Масштаб Вселенной

Возвратимся к той уменьшенной модели Солнечной системы, которую мы мысленно изготовили по указаниям главы о планетах, и попробуем достроить ее, включив мир звезд. Что получится?

Вы помните, что в нашей модели Солнце изображалось шаром 10 см в диаметре, а вся планетная система — кругом с поперечником в 800 м. На каких расстояниях от Солнца следовало бы поместить звезды, если строго придерживаться того же масштаба? Нетрудно рассчитать, что, например, Проксима Центавра — самая близкая звезда — оказалась бы на расстоянии 2700 км, Сириус — 5500 км, Альтаир — 9700 км. Этим «ближайшим» звездам даже на модели было бы тесно в Европе. Для звезд более отдаленных возьмем меру крупнее километра, а именно 1000 км, называемую мегаметро (Мм). Таких единиц всего 40 в окружности земного шара и 380 между Землей и Луной. Вега была бы в нашей модели удалена на 17 Мм, Арктур — на 23 Мм, Капелла — на 28 Мм, Регул — на 53 Мм, Денеб (α Лебедя) — более чем на 320 Мм.



Расшифруем это последнее число. $320 \text{ Мм} = 320\,000 \text{ км}$, то есть немного меньше расстояния до Луны. Как видим, уменьшенная модель, в которой Земля — булавочная головка, а Солнце — крокетный шар, сама приобретает космические размеры! Наша модель еще не достроена. Крайние, наиболее отдаленные звезды Млечного Пути, разместятся в модели на расстоянии $30\,000 \text{ Мм}$, то есть почти в 100 раз дальше Луны. Но Млечный Путь не вся Вселенная. Далеко за его пределами расположены другие звездные системы, например та, которая видна даже простым глазом в созвездии Андромеды, или доступные невооруженному зрению Магеллановы Облака. На нашей модели пришлось бы представить Малое Магелланово Облако в виде объекта с поперечником в $4\,000 \text{ Мм}$, Большое — в $5\,500 \text{ Мм}$, удалив их на $70\,000 \text{ Мм}$ от модели Млечного Пути. Модели туманности Андромеды мы должны были бы дать поперечник в $60\,000 \text{ Мм}$ и отодвинуть ее от модели Млечного Пути на $500\,000 \text{ Мм}$, то есть почти на действительное расстояние Юпитера!



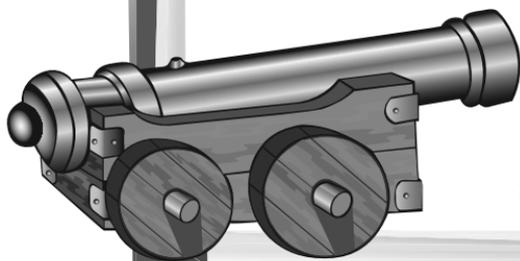
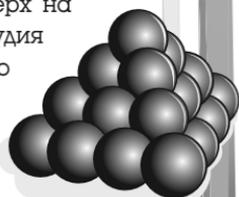
Самые отдаленные небесные объекты, с которыми имеет дело современная астрономия, — это скопления галактик далеко за пределами Млечного Пути. Расстояние их от Солнца превышает $1\,000\,000\,000$ световых лет. Представляем читателю самостоятельно рассчитать, как должно изобразиться подобное расстояние в нашей модели. Вместе с тем читатель получит некоторое представление о размерах той части Вселенной, которая доступна оптическим средствам современной астрономии.



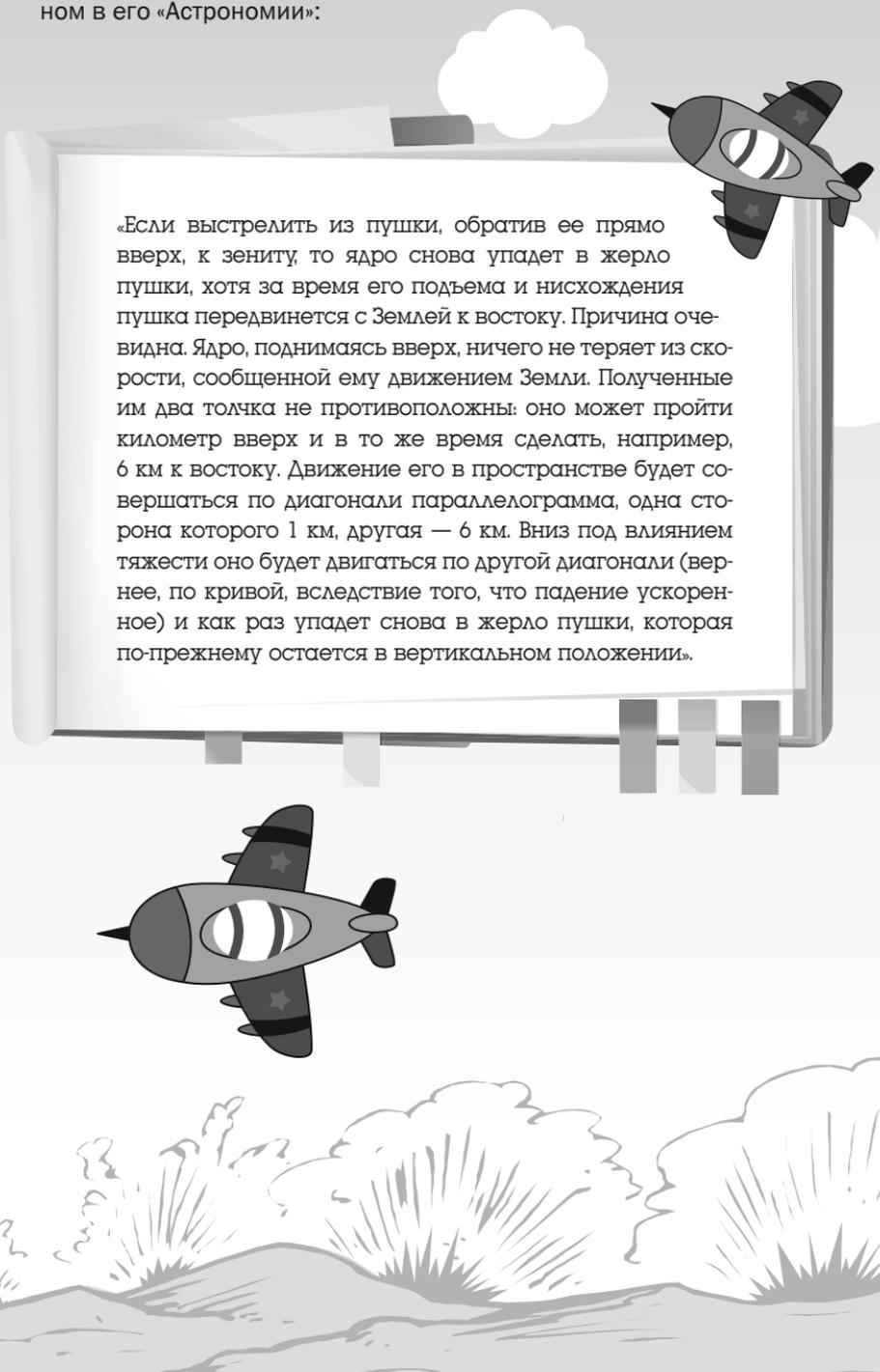
→ Из пушки вверх

Куда упал бы снаряд, пущенный отвесно вверх из пушки, установленной на экваторе? Такая задача обсуждалась лет 20 назад в одном журнале применительно к воображаемому снаряду, пущенному со скоростью 8000 м в первую секунду. Снаряд этот должен через 70 мин достичь высоты 6400 км (земного радиуса). Вот что писал журнал:

«Если снаряд выпущен отвесно вверх на экваторе, то он при вылете из орудия обладает еще и круговой скоростью точек экватора по направлению на восток (465 м/с). С этой скоростью снаряд будет переноситься параллельно экватору. Точка на высоте 6400 км, находившаяся в момент выстрела отвесно над точкой отправления снаряда, перемещается по кругу двойного радиуса с двойною скоростью. Она, следовательно, опережает снаряд в восточном направлении. Когда снаряд достигнет высшей точки своего пути, он будет находиться не отвесно над пунктом отправления, а отстанет от него к западу. То же произойдет и при обратном падении снаряда. В результате снаряд за 70 мин полета вверх и обратно отстанет примерно на 4000 км к западу. Здесь и следует ожидать его падения. Чтобы заставить снаряд возвратиться в точку отправления, следует выпустить его не отвесно, а немного наклонно, в нашем случае с наклоном в 5° ».



Совершенно иначе решается подобная задача К. Фламарионом в его «Астрономии»:



«Если выстрелить из пушки, обратив ее прямо вверх, к зениту, то ядро снова упадет в жерло пушки, хотя за время его подъема и нисхождения пушка передвинется с Землей к востоку. Причина очевидна. Ядро, поднимаясь вверх, ничего не теряет из скорости, сообщенной ему движением Земли. Полученные им два толчка не противоположны: оно может пройти километр вверх и в то же время сделать, например, 6 км к востоку. Движение его в пространстве будет совершаться по диагонали параллелограмма, одна сторона которого 1 км, другая — 6 км. Вниз под влиянием тяжести оно будет двигаться по другой диагонали (вернее, по кривой, вследствие того, что падение ускоренное) и как раз упадет снова в жерло пушки, которая по-прежнему остается в вертикальном положении.»

Два решения задачи, как видим, находятся в резком разногласии. Один автор утверждает, что ядро упадет далеко к западу от места выстрела, другой — что оно должно упасть непременно в жерло орудия. Кто же прав?

Строго говоря, неверны оба решения, но фламарионово гораздо ближе к истине. Ядро должно упасть к западу от пушки, однако не столь значительно, как утверждает первый автор, и не в самое жерло, как был убежден второй.

Задача, к сожалению, не может быть решена средствами элементарной математики. Поэтому ограничусь лишь тем, что приведу здесь окончательный результат.

Если обозначим начальную скорость ядра через v , угловую скорость вращения земного шара через ω , а ускорение силы тяжести через g , то для расстояния x точки падения ядра к западу от пушки получим выражения:

на экваторе

$$x = \frac{4}{3} \omega \frac{v^3}{g^2},$$

а на широте φ

$$x = \frac{4}{3} \omega \frac{v^3}{g^2} \cos \varphi.$$

Применяя формулу к задаче, поставленной первым автором, имеем

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164},$$

$$v = 8000 \text{ м/с},$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$





Подставив эти величины в первую формулу, получаем $x = 520$ км: ядро упадет в 520 км к западу от пушки (а не в 4000 км, как думал первый автор).

Что же дает формула для случая, рассмотренного К. Фламарионом? Выстрел произведен был не на экваторе, а близ Парижа на широте 48° . Начальную скорость ядра старинной пушки примем равной 300 м/с. Подставив во вторую формулу

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164}$$

$$v = 300 \text{ м/с,}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2,$$

$$\varphi = 48^\circ,$$

получаем $x = 18$ м; ядро упадет на 18 м к западу от пушки (а не в самое жерло, как полагал французский астроном). При этом нами, конечно, не было принято во внимание возможное отклоняющее действие воздушных течений, способное заметно исказить результат.

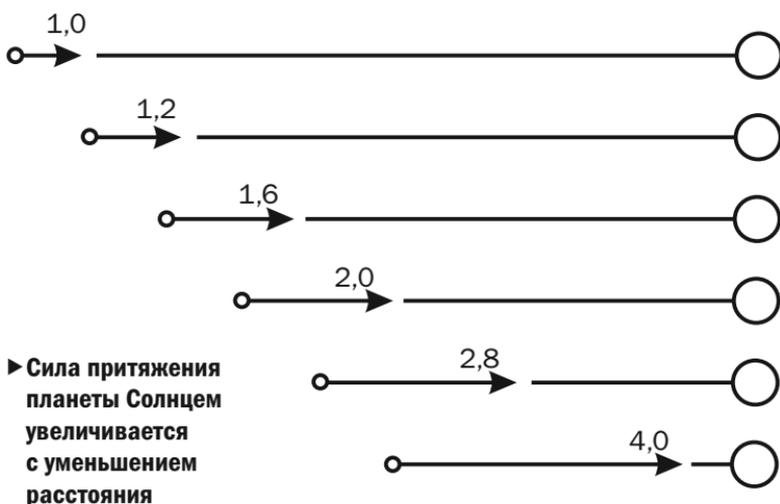


→ С циркулем по планетным путям

Из трех законов планетных движений, с огромными усилиями вырванных у природы гением Кеплера, наименее понятен для многих, пожалуй, первый.

Закон этот утверждает, что планеты движутся по эллипсам.

Почему же именно по эллипсам? Казалось бы, раз от Солнца во все стороны исходит одинаковая сила, ослабевающая с удалением в одинаковой мере, то планеты должны обходить Солнце по кругам, а никак не по вытянутым замкнутым путям, в которых Солнце к тому же не занимает центрального положения. Недоумения подобного рода исчерпывающе разъясняются при математическом рассмотрении вопроса. Но необходимыми познаниями из высшей математики владеют лишь немногие друзья неба. Постараемся же сделать ощутительной правильность законов Кеплера для тех наших читателей, которые могут распоряжаться только арсеналом элементарной математики. Вооружившись циркулем, масштабной линейкой и большим листом бумаги, будем сами строить планетные пути и таким образом убедимся графически, что получаются они такими, какими должны быть согласно законам Кеплера.





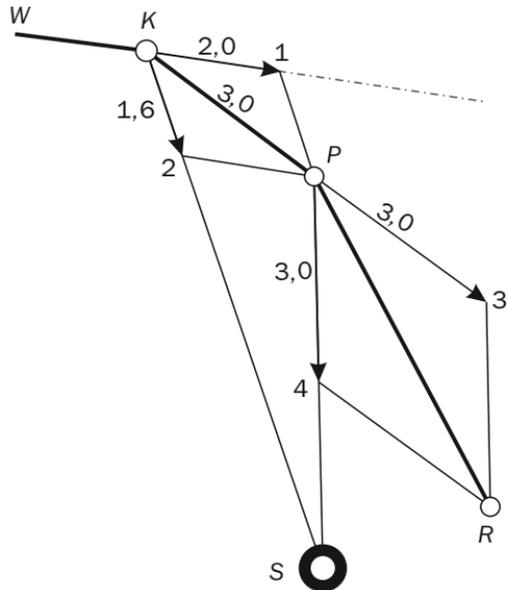
Движение планет управляется силой тяготения. Займемся ею. Кругок в правой части рисунка, приведенного на с. 286, изображает некое воображаемое солнце; слева от него — воображаемая планета. Расстояние между ними пусть будет 1 000 000 км, на чертеже оно представлено 5 см — в масштабе в 1 см 200 000 км. Стрелка в 0,5 см длины изображает силу, с которой наша планета притягивается к Солнцу. Пусть

теперь планета под действием этой силы приблизилась к Солнцу и находится от него на расстоянии всего 900 000 км, то есть 4,5 см на нашем чертеже. Притяжение планеты к Солнцу теперь усилится по закону тяготения в $(\frac{10}{9})^2$, то есть в 1,2 раза. Если раньше притяжение изображено было стрелкой в 1 единицу длины, то теперь мы должны придать стрелке размер 1,2 единицы. Когда расстояние уменьшится до 800 000 км, то есть до 4 см на нашем чертеже, сила притяжения возрастет в $(\frac{5}{4})^2$, то есть в 1,6 раза, и изобразится стрелкой в 1,6 единицы.

При дальнейшем приближении планеты к Солнцу до расстояния 700 000, 600 000, 500 000 км сила притяжения соответственно выразится стрелками в 2, в 2,8 и в 4 единицы длины.

Можно представить себе, что те же стрелки изображают не только притягивающие силы, но и перемещения, которые тело

► Как Солнце S искривляет путь планеты $WKPR$



совершает под влиянием этих сил за единицу времени (в этом случае перемещения пропорциональны ускорениям, а стало быть, и силам). В дальнейших наших построениях мы будем пользоваться этим чертежом как готовым масштабом перемещений планеты.

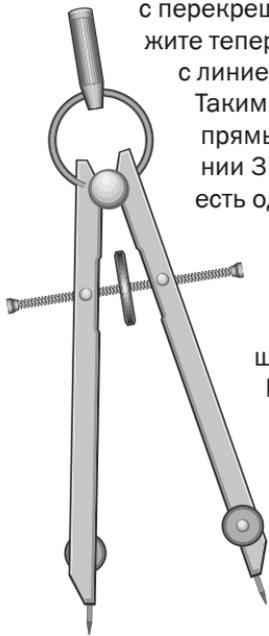
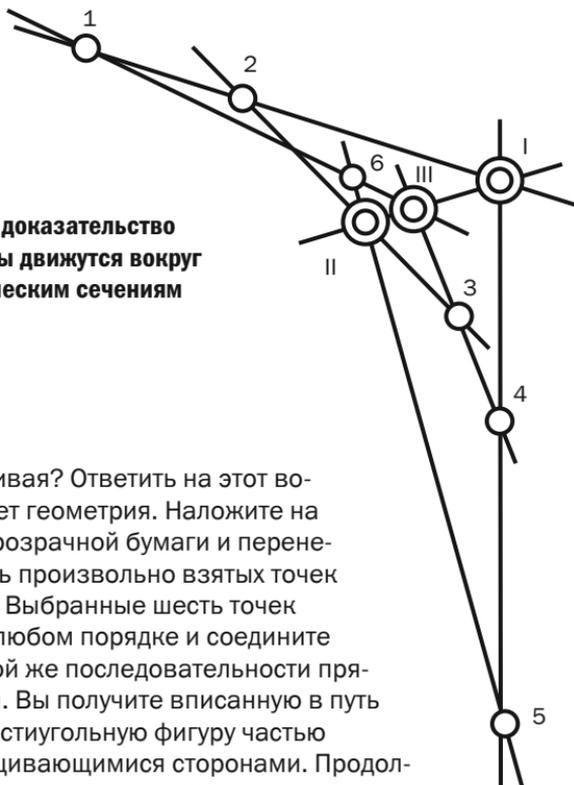
Приступим теперь к построению пути планеты, обращающейся вокруг Солнца. Пусть в некоторый момент планета той же массы, что и сейчас рассмотренная, двигаясь в направлении WK со скоростью в 2 единицы длины, очутилась в точке K , находящейся на расстоянии 800 000 км от Солнца (см. рисунок выше). На этом расстоянии от Солнца его притяжение будет действовать на планету с такой силой, что заставит ее в единицу времени переместиться по направлению к Солнцу на 1,6 единицы длины. За тот же промежуток времени планета продвинется в первоначальном направлении WK на 2 единицы. В результате она переместится по диагонали KP параллелограмма, построенного на перемещениях K_1 и K_2 ; эта диагональ равна 3 единицам длины. Очутившись в точке P , планета стремится двигаться дальше по направлению KP со скоростью 3 единицы. Но в то же время под действием притяжения Солнца на расстоянии $SP = 5,8$ она должна в направлении SP пройти путь $P4 = 3$. В результате она пройдет диагональ PR параллелограмма.

► **Геометрическое доказательство того, что планеты движутся вокруг Солнца по коническим сечениям**

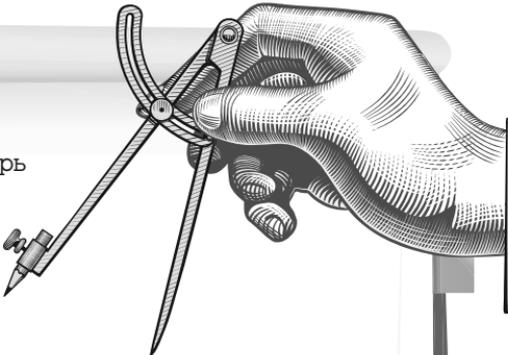
Что же это за кривая? Ответить на этот вопрос нам поможет геометрия. Наложите на чертеж листок прозрачной бумаги и перенесите на нее шесть произвольно взятых точек планетного пути. Выбранные шесть точек пронумеруйте в любом порядке и соедините между собой в той же последовательности прямыми отрезками. Вы получите вписанную в путь планеты шестиугольную фигуру частью с перекрещивающимися сторонами. Продолжите теперь прямую 1 — 2 до пересечения с линией 4 — 5 в точке I (см. рисунок выше).

Таким же образом получите точку II на пересечении прямых 2 — 3 и 5 — 6, затем точку III на пересечении 3 — 4 и 1 — 6. Если исследуемая нами кривая есть одно из так называемых «конических сечений», то есть эллипс, парабола или гипербола, то три точки I, II и III должны оказаться на одной прямой линии. Такова геометрическая теорема (не из числа тех, что проходят в средней школе), носящая название шестиугольника Паскаля.

Тщательно выполненный чертеж всегда даст указанные точки пересечения на одной прямой. Это доказывает, что исследуемая кривая есть либо эллипс, либо парабола, либо гипербола. К последнему чертежу первое, очевидно, не подходит (кривая незамкну-



тая), значит, планета двигалась здесь по параболе или гиперболе. Соотношение первоначальной скорости и силы притяжения таково, что Солнце лишь отклоняет планету от прямолинейного пути, но не в состоянии заставить ее обращаться вокруг себя, «захватить» ее, как говорят астрономы.



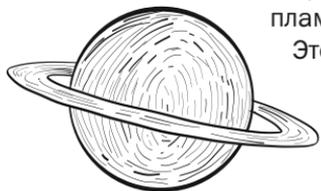
Постараемся теперь подобным же образом уяснить второй закон движения планет, так называемый закон площадей. Рассмотрите внимательно рисунок в статье «Три „если бы“», а именно подпункт «Если бы путь Земли был вытянут сильнее». Двенадцать намеченных на фигуре точек делят ее на 12 участков. Они не равны по длине, но нам известно, что они проходятся планетой в одинаковое время. Соединив точки 1, 2, 3 и т. д. с Солнцем, получим 12 фигур, которые приблизительно можно представить треугольниками, если соединить точки хордами. Измерив их основания и высоты, вычислите их площади. Вы убедитесь, что все треугольники имеют одинаковую площадь. Другими словами, вы приходите ко второму закону Кеплера: радиус-векторы планетных орбит описывают в равные промежутки времени равные площади.

Итак, циркуль до известной степени помогает постичь первые два закона планетных движений. Чтобы уяснить себе третий закон, сменим циркуль на перо и продедаем несколько численных упражнений.

→ Падение планет на Солнце

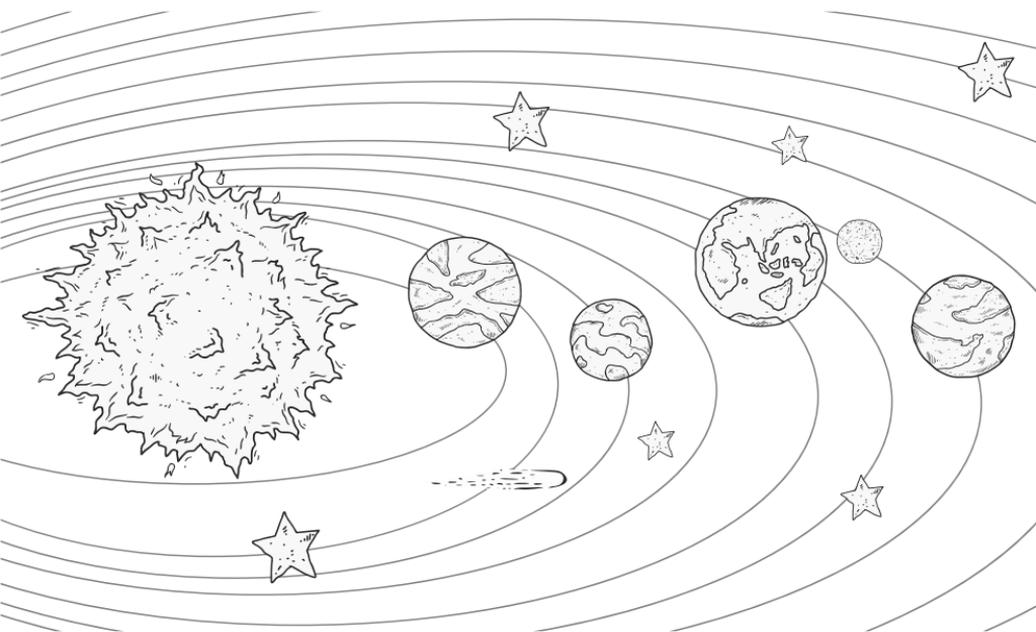
Задумывались ли вы над тем, что произошло бы с Землей, если бы, встретив препятствие, она внезапно была остановлена в своем беге вокруг Солнца? Прежде всего, конечно, тот огромный запас энергии, которым наделена наша планета как движущееся тело, превратится в теплоту и нагреет земной шар. Земля мчится по орбите в десятки раз быстрее пули, и нетрудно вычислить, что переход энергии ее движения в теплоту породит чудовищный жар, который мгновенно превратит наш мир в исполинское облако раскаленных газов.

Но если бы даже Земля при внезапной остановке избежала этой участи, она все-таки была бы обречена на огненную гибель: увлекаемая Солнцем, планета устремилась бы к нему с возрастающей скоростью и погибла бы в его пламенных объятиях.



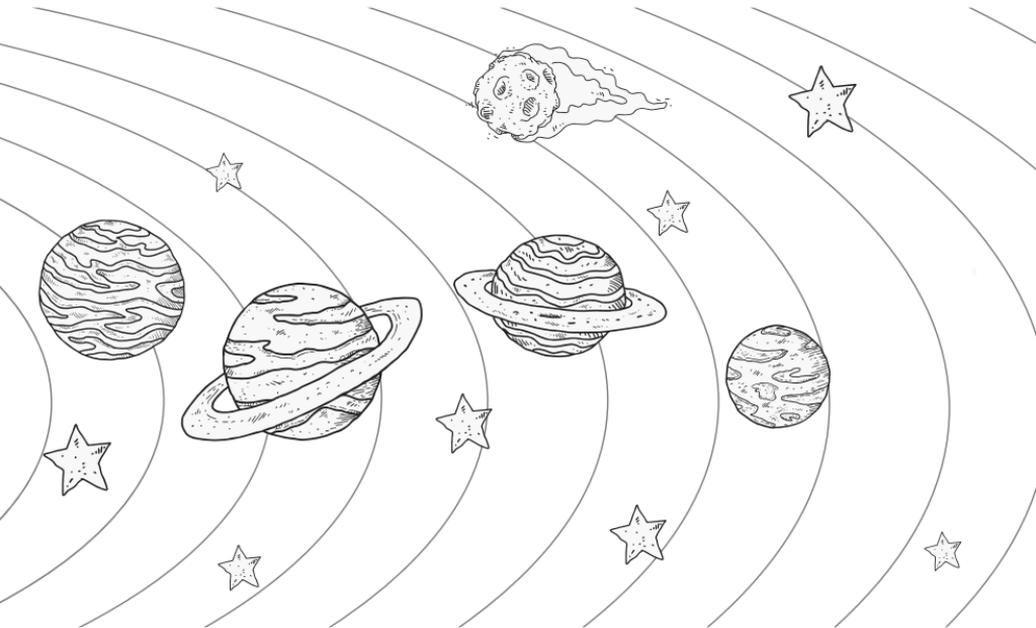
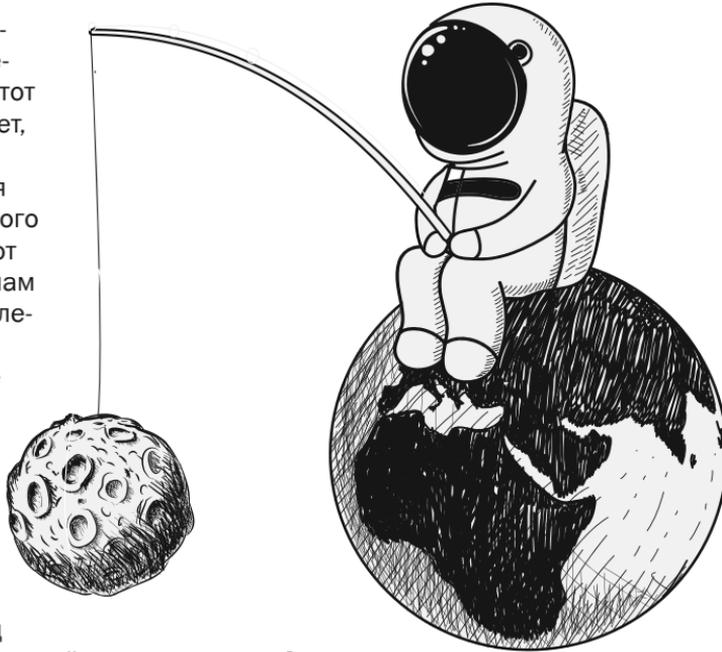
Это роковое падение началось бы медленно, с черепашей скоростью: в первую секунду Земля приблизилась бы к Солнцу только на 3 мм. Но с каждой секундой скорость ее движения прогрессивно возрастала бы, достигнув в последнюю секунду 600 км.

С этой невообразимой скоростью земной шар обрушился бы на раскаленную поверхность Солнца.



Интересно вычислить, сколько времени длился бы этот гибельный перелет, долго ли продолжалась бы агония нашего обреченного мира. Сделать этот расчет поможет нам третий закон Кеплера, который распространяется не только на движение планет, но и комет и всех вообще небесных тел, движущихся в мировом пространстве под

действием центральной силы тяготения. Закон этот связывает время обращения планеты (ее «год») с ее расстоянием от Солнца и гласит: квадраты времен обращения планет относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит.



В нашем случае мы можем земной шар, прямо летящий к Солнцу, уподобить воображаемой комете, движущейся по сильно вытянутому, сжатому эллипсу, крайние точки которого расположены следующим образом: одна — на земной орбите, другая — в центре Солнца. Большая полуось орбиты такой кометы, очевидно, вдвое меньше большой полуоси орбиты Земли. Вычислим же, каков должен быть период обращения этой воображаемой кометы. Составим пропорцию на основании третьего закона Кеплера:

$$\frac{(\text{период обр. Земли})^2}{(\text{период обр. кометы})^2} = \frac{(\text{б. полуось обр. Земли})^3}{(\text{б. полуось обр. кометы})^3}$$



Период обращения Земли равен 365 суткам. Примем за единицу большую полуось ее орбиты, и тогда большая полуось орбиты кометы выразится дробью 0,5. Пропорция наша принимает теперь такой вид:

$$\frac{365^2}{(\text{период обр. кометы})^2} = \frac{1}{0,5^2},$$

откуда

$$(\text{период обращения кометы})^2 = 365^2 \times \frac{1}{8}.$$

Следовательно,

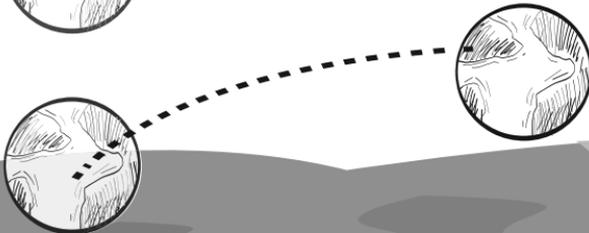
$$(\text{период обращения кометы}) = 365 \times \frac{1}{\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{8}}.$$



Нас интересует, собственно, не полный период обращения этой воображаемой кометы, а половина периода, то есть продолжительность полета в один конец — от земной орбиты до Солнца: это и будет искомое время падения Земли на Солнце. Вычислим его:



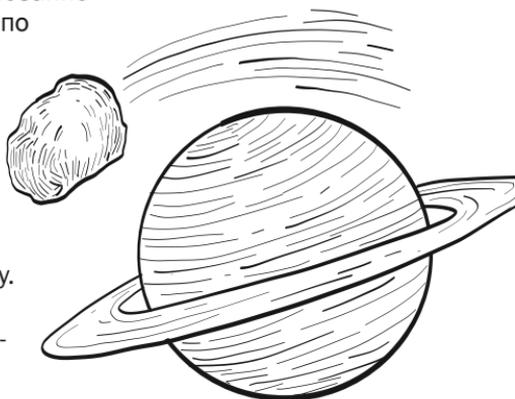
$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{2\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{32}} = \frac{365}{5,6}.$$



Итак, мы вычислили, что Земля, внезапно остановленная в своем движении по орбите, падала бы на Солнце в течение более чем двух месяцев.

Легко видеть, что полученная выше на основании третьего закона Кеплера простая формула применима не к одной только Земле, но и к каждой другой планете и даже к каждому спутнику. Иначе говоря, чтобы узнать, во сколько времени планета или спутник упадут на свое центральное светило, нужно период их обращения разделить на $\sqrt{32}$, то есть на 5,6.

Поэтому, например, Меркурий — самая близкая к Солнцу планета, обращающийся за 88 дней, упал бы на Солнце за 15,5 дня. Нептун, один «год» которого равняется 165 нашим годам, падал бы на Солнце 29,5 года, а Плутон — 44 года.



За сколько времени упала бы на Землю Луна, если бы внезапно остановился ее бег? Делим время обращения Луны (27,3 дня) на 5,6. Получим почти пять дней. И не только Луна, но и всякое вообще тело, находящееся от нас на расстоянии Луны, падало бы на Землю в течение пяти дней, если только ему не сообщена какая-нибудь начальная скорость и оно падает, подчиняясь лишь действию земного притяжения (влияние Солнца мы ради простоты здесь исключаем). Пользуясь той же формулой, нетрудно проверить продолжительность перелета на Луну, указанную Ж. Верном в романе «Из пушки на Луну».

→ Наковальня Вулкана



Сейчас воспользуемся выведенным правилом для решения любопытной задачи из области мифологии. Древнегреческий миф о Вулкане повествует, что этот бог однажды уронил свою наковальню, и она падала с неба целых девять дней, прежде чем долетела до Земли. По мнению древних, срок этот отвечает представлению о невообразимой высоте небес, где обитают боги, ведь с вершины Хеопсовой пирамиды наковальня долетела бы до Земли всего за 5 с!

Нетрудно, однако, вычислить, что вселенная древних греков, если измерять ее по этому признаку, была бы, по нашим понятиям, довольно тесновата.

Мы уже знаем, что Луна падала бы на Землю в течение пяти дней, мифическая же наковальня падала девять дней. Значит, «небо», с которого упала наковальня, находится дальше лунной орбиты. На много ли дальше? Если умножим девять дней на $\sqrt{32}$, мы узнаем величину того периода, в течение которого наковальня обращалась бы вокруг земного шара, будь она спутником нашей планеты: $9 \times 5,6 = 51$ сутки. Применим теперь к Луне и к нашему воображаемому спутнику-наковальне третий закон Кеплера. Составим пропорцию

$$\frac{(\text{период обращения Луны})^2}{(\text{период обращения наковальни})^2} = \frac{(\text{расстояние Луны})^3}{(\text{расстояние наковальни})^3}.$$

Подставив числа, имеем

$$\frac{27,3^2}{51^2} = \frac{(380\,000)^3}{(\text{расстояние наковальни})^3}$$

Отсюда неизвестное расстояние наковальни от Земли нетрудно вычислить:

$$\begin{aligned} \text{расстояние наковальни} &= \sqrt[3]{\frac{51^2 \cdot 380\,000^3}{27,3^2}} = \\ &= 380\,000 \sqrt[3]{\frac{51^2}{27,3^2}}. \end{aligned}$$

Вычисление дает следующий результат: 580 000 км. Итак, вот как мизерно было на взгляд современного астронома расстояние до неба древних греков: всего в полтора раза больше расстояния до Луны. Мир древних кончался примерно там, где по нашим представлениям он только начинается.



→ Границы Солнечной системы

Третий закон Кеплера дает также возможность вычислить, насколько далеко должна быть отодвинута граница нашей Солнечной системы, если считать крайними ее точками самые отдаленные концы (афелии) кометных орбит. Нам приходилось уже беседовать об этом раньше, здесь произведем соответствующий расчет. Мы упоминали в главе 3 о кометах, имеющих очень долгий период обращения: 776 лет. Вычислим расстояние x афелия такой кометы, зная, что ближайшее ее расстояние от Солнца (перигелий) равно 1 800 000 км.

Привлекаем в качестве второго тела Землю и составляем пропорцию:

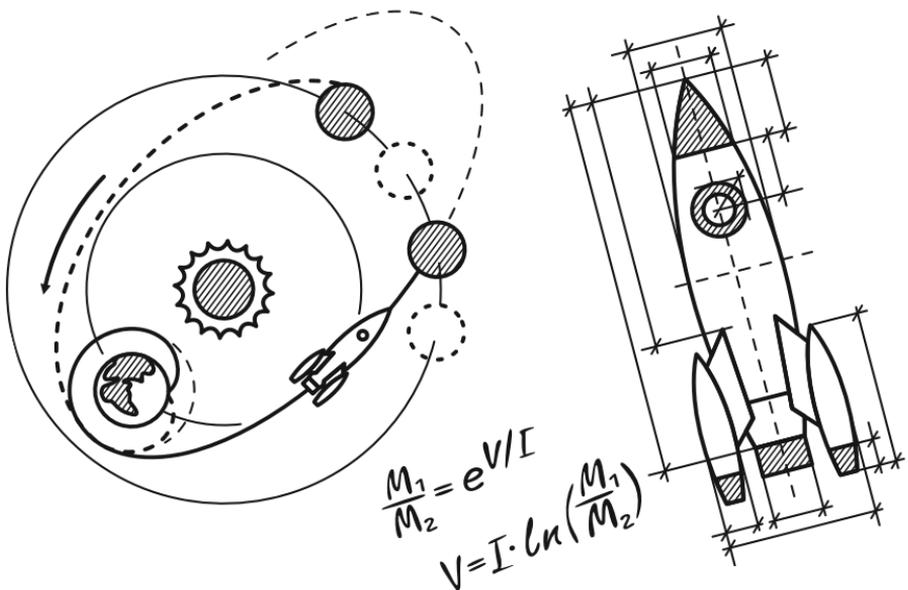
$$\frac{776^2}{1^2} = \frac{\left[\frac{1}{2} (x + 1\,800\,000) \right]^3}{150\,000\,000^3}.$$

Отсюда

$$x + 1\,800\,000 = 2 \cdot 150\,000\,000 \cdot \sqrt[3]{776^2}.$$

Следовательно, $x = 25\,318\,000\,000$ км.

Мы видим, что рассматриваемые кометы должны уходить в 182 раза дальше от Солнца, чем Земля, и, значит, в 4,5 раза дальше, чем последняя из известных нам планет — Плутон.



→ Ошибка в романе Ж. Верна

Вымышленная комета Галлия, на которую Ж. Верн перенес действие романа «Гектор Сервадак», совершает полный оборот вокруг Солнца ровно за два года. Другое указание, имеющееся в романе, относится к расстоянию афелия этой кометы: 820 млн км от Солнца. Хотя расстояние перигелия в романе не указано, мы по тем двум данным, что приведены, уже вправе утверждать, что такой кометы в нашей Солнечной системе быть не может. В этом убеждает нас расчет по формуле третьего закона Кеплера.

Обозначим неизвестное расстояние перигелия через x млн км. Большая ось орбиты кометы выразится тогда через $x + 820$ млн км, а большая полуось — через $(x + 820) / 2$ млн км. Сопоставляя период обращения и расстояние кометы с периодом и расстоянием Земли, имеем по закону Кеплера

$$\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \cdot 150^3},$$

откуда

$$x = -343.$$

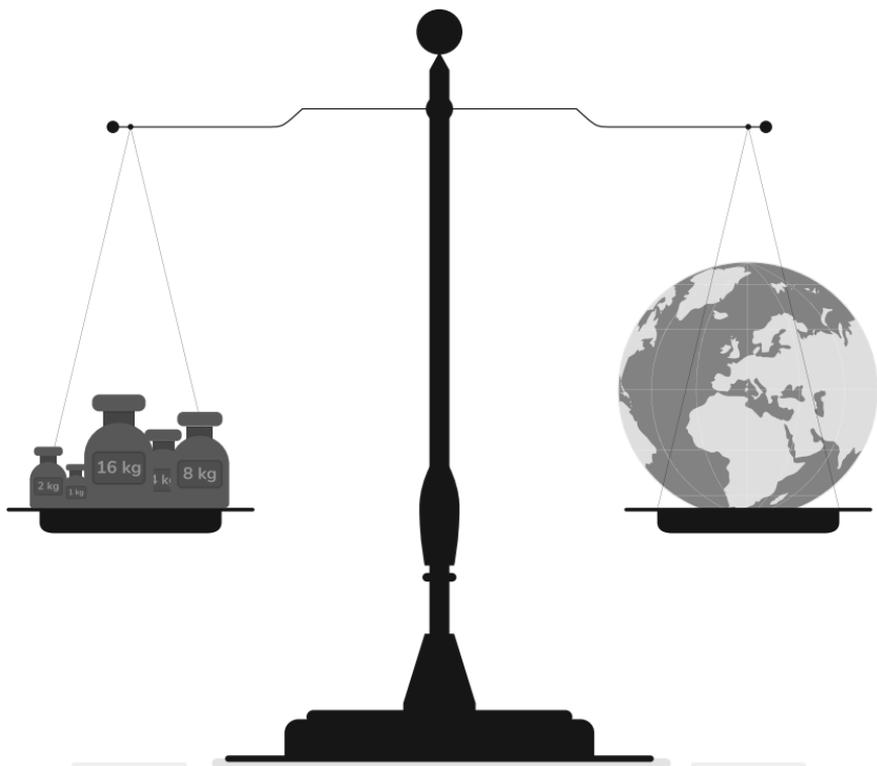
Отрицательный результат для величины ближайшего расстояния кометы от Солнца указывает на несогласованность исходных данных задачи. Другими словами, комета со столь коротким периодом обращения (два года) не могла бы уходить от Солнца так далеко, как указано в романе писателя.



→ Как взвесили Землю?

Существует анекдотический рассказ про наивного человека, которого в астрономии удивляло то, что ученые узнали, как называются звезды. Если говорить серьезно, то наиболее удивительным достижением астрономов должно, вероятно, казаться то, что им удалось взвесить и Землю, на которой мы живем, и далекие небесные светила. В самом деле: каким способом, на каких весах могли взвесить Землю и небо?

Начнем со взвешивания Земли. Прежде всего отдадим себе отчет, что следует понимать под словами «вес земного шара». Весом тела мы называем давление, которое оно оказывает на свою опору, или натяжение, которое оно производит на точку привеса. Ни то, ни другое к земному шару неприменимо: Земля ни на что не опирается и ни к чему не привешена. Значит, в таком смысле земной шар не имеет веса. Что же определили ученые, «взвесив» Землю? Они определили ее массу. В сущности, когда мы просим взвесить нам в лавке 1 кг сахара, нас не



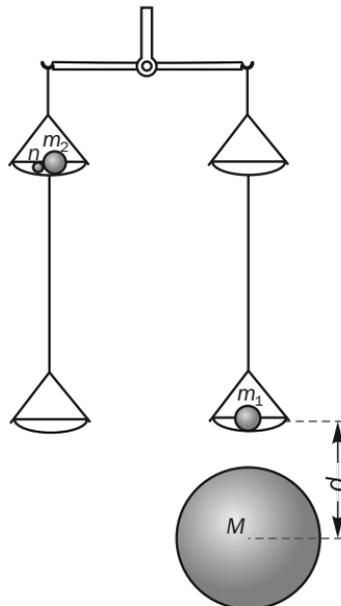
интересует сила, с какой этот сахар давит на опору или натягивает нить привеса. В сахаре нас интересует другое: мы думаем лишь о том, сколько стаканов чая можно с ним выпить, другими словами, нас интересует количество заключающегося в нем вещества.

Для измерения количества вещества существует только один способ: найти, с какой силой тело притягивается Землей. Мы принимаем, что равным массам отвечают равные количества вещества, а о массе тела судим только по силе его притяжения, так как притяжение пропорционально массе.

Переходя к весу Земли, мы скажем, что ее «вес» определится, если станет известна масса. Итак, задачу определения веса Земли надо понимать как задачу исчисления ее массы. Опишем один из способов ее решения (способ Йолли, 1871 г.).

На рисунке вы видите очень чувствитель-

ные чашечные весы, в которых к каждому концу коромысла подвешены две легкие чашки: верхняя и нижняя. Расстояние от верхней до нижней — 20–25 см. На правую нижнюю чашку кладем сферический груз массой m_1 . Для равновесия на левую верхнюю чашку положим груз m_2 . Эти грузы не равны, так как, находясь на разной высоте, они с разной силой притягиваются Землей. Если под правую нижнюю чашку подвести большой свинцовый шар с массой M , то равновесие весов нарушится, так как масса m_1



► Один из способов определения массы Земли: весы Йолли

будет притягиваться массой свинцового шара M с силой F_1 , пропорциональной произведению этих масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния d , разделяющего их центры:

$$F = k \frac{m_1 M}{d^2},$$

где k — так называемая постоянная тяготения.

Чтобы восстановить нарушенное равновесие, положим на верхнюю левую чашку весов малый груз массой n . Сила, с которой он давит на чашку весов, равна его весу, то есть равна силе притяжения этого груза массой всей Земли. Эта сила F' равна

$$F' = k \frac{nM_{\oplus}}{R^2},$$

где M_{\oplus} — масса Земли, а R — ее радиус.

Пренебрегая тем ничтожным влиянием, которое присутствие свинцового шара оказывает на грузы, лежащие на верхней левой чашке, мы можем написать условие равновесия в следующем виде:

$$F = F' \text{ или } \frac{m_1 M}{d^2} = \frac{nM_{\oplus}}{R^2}.$$

В этом соотношении все величины, кроме массы Земли, могут быть измерены. Отсюда определим массу Земли. В тех опытах, о которых говорилось, $M = 5775,2$ кг, $R = 6366$ км, $d = 56,86$ см, $m_1 = 5$ кг и $n = 589$ мг.

В итоге масса Земли оказывается равной $6,15 \times 10^{27}$ г.

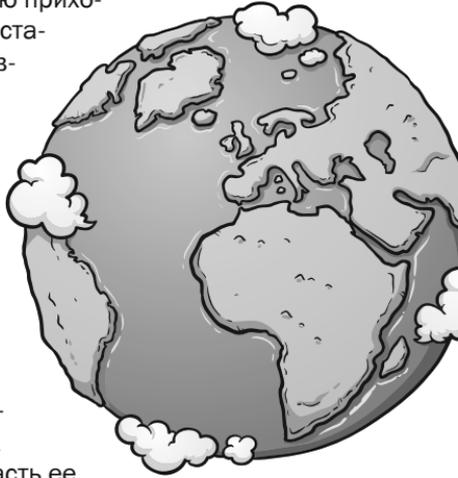
Итак, астрономы определили массу земного шара. Мы имеем полное право сказать, что они взвесили Землю, потому что всякий раз, когда мы взвешиваем тело на рычажных весах, мы, в сущности, определяем не его вес и не силу, с которой оно притягивается Землей, а массу: мы устанавливаем лишь то, что масса тела равна массе гирь.



→ Из чего состоят недра Земли?

Здесь уместно отметить ошибку, которую приходится встречать в популярных книгах и статьях. Стремясь упростить изложение, авторы представляют дело взвешивания Земли так: ученые измерили средний вес 1 см^3 нашей планеты (то есть ее удельный вес) и, вычислив геометрически ее объем, определили вес Земли умножением ее удельного веса на объем. Указываемый путь, однако, неосуществим: нельзя непосредственно измерить удельный вес Земли, так как нам доступна только ее сравнительно тонкая наружная оболочка и ничего не известно о том, из каких веществ состоит остальная, большая часть ее объема.

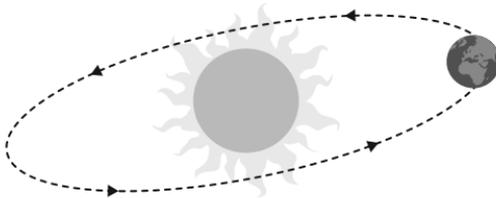
Мы уже знаем, что дело происходило как раз наоборот: определение массы земного шара предшествовало определению его средней плотности. Она оказалась равной $5,5 \text{ г на } 1 \text{ см}^3$ — гораздо больше, чем средняя плотность пород, составляющих земную кору. Это указывает на то, что в глубине земного шара залегают очень тяжелые вещества. По их предполагаемому удельному весу (а также и по другим основаниям) раньше думали, что ядро нашей планеты состоит из железа, сильно уплотненного давлением вышележащих масс. Сейчас считают, что центральные области Земли не отличаются по составу от коры, но плотность их больше вследствие огромного давления.



→ Вес Солнца и Луны

Как ни странно, вес далекого Солнца оказывается несравненно проще определить, чем вес гораздо более близкой к нам Луны. Масса Солнца найдена путем следующего рассуждения. Опыт показал, что 1 г притягивает 1 г на расстоянии 1 см с силой, равной $1/15\,000\,000$ мг. Взаимное притяжение f двух тел с массами M и m на расстоянии D выразится согласно закону всемирного тяготения так:

$$f = \frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{D^2} \text{ мг.}$$



Если M — масса Солнца (в граммах), m — масса Земли, D — расстояние между ними, равное $150\,000\,000$ км, то взаимное их притяжение в миллиграммах равно

$$\frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{15\,000\,000\,000\,000^2} \text{ мг.}$$

С другой стороны, эта сила притяжения есть та центростремительная сила, которая удерживает нашу планету на ее орбите и которая по правилам механики равна (тоже в миллиграммах) mV^2/D , где m — масса Земли (в граммах), V — ее круговая скорость, равная $30 \text{ км/с} = 3\,000\,000 \text{ см/с}$, а D — расстояние от Земли до Солнца. Следовательно,

$$\frac{1}{15\,000\,000} \frac{Mm}{D^2} = m \cdot \frac{3\,000\,000^2}{D}.$$

Из этого уравнения определяется неизвестное M (выраженное, как сказано, в граммах):

$$M = 2 \times 10^{33} \text{ г} = 2 \times 10^{27} \text{ м}.$$

Разделив эту массу на массу земного шара, то есть вычислив $(2 \times 10^{27}) / (6 \times 10^{21})$, получаем $1/3$ миллиона.

Другой способ определения массы Солнца основан на использовании третьего закона Кеплера. Из закона всемирного тяготения третий закон выводится в следующей форме:

$$\frac{(M_{\odot} + m_1)}{(M_{\odot} + m_2)} \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где M_{\odot} — масса Солнца, T — звездный период обращения планеты, a — среднее расстояние планеты от Солнца и m — масса планеты. Применяя этот закон к Земле и Луне, получим

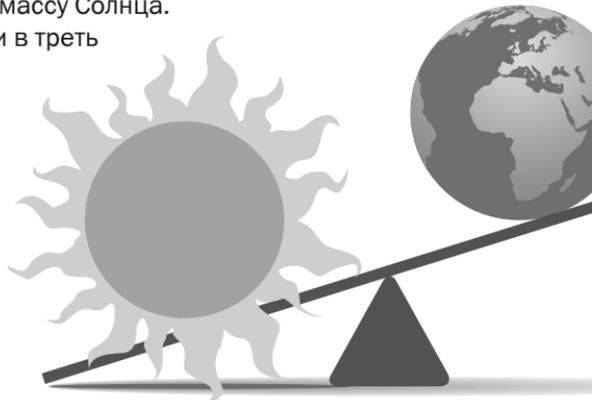
$$\frac{(M_{\odot} + m_{\oplus})}{(m_{\oplus} + m_{\text{л}})} \frac{T_{\oplus}^2}{T_{\text{л}}^2} = \frac{a_{\oplus}^3}{a_{\text{л}}^3}.$$

Подставляя известные из наблюдений a_{\oplus} , $a_{\text{л}}$ и T_{\oplus} , $T_{\text{л}}$ и пренебрегая в первом приближении в числителе массой Земли, малой по сравнению с массой Солнца, а в знаменателе массой Луны, малой по сравнению с массой Земли, получим

$$\frac{M_{\odot}}{m_{\oplus}} = 330\,000.$$

Зная массу Земли, получим массу Солнца.

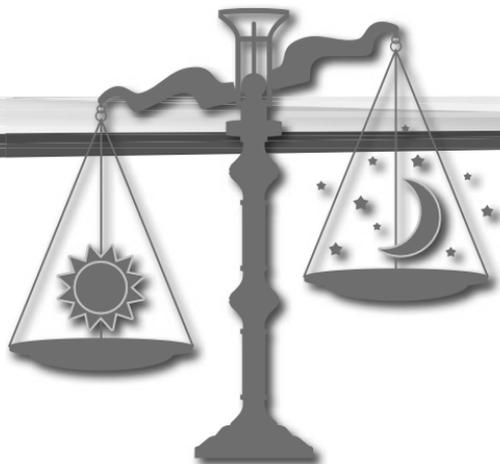
Итак, Солнце тяжелее Земли в треть миллиона раз. Нетрудно вычислить и среднюю плотность солнечного шара: для этого нужно лишь его массу разделить на объем. Оказывается, что плотность Солнца примерно в четыре раза меньше плотности Земли.



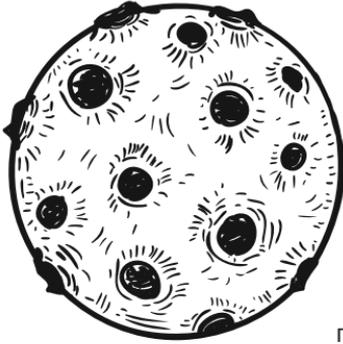
Что же касается массы Луны, то, как выразился один астроном, «хотя она к нам ближе всех других небесных тел, взвесить ее труднее, чем Нептун, самую далекую (тогда) планету». У Луны нет спутника, который помог бы вычислить ее массу, как вычислили мы сейчас массу Солнца. Ученым пришлось прибегнуть к другим, более сложным методам, из которых упомянем только один. Он состоит в том, что сравнивают высоту прилива, производимого Солнцем, и прилива, порождаемого Луной.

Высота прилива зависит от массы и расстояния порождающего его тела, а так как масса и расстояние Солнца известны, расстояние Луны — тоже, то из сравнения высоты приливов и определяется масса Луны. Мы еще вернемся к этому расчету, когда будем говорить о приливах. Здесь сообщим лишь окончательный результат: масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли.

Зная диаметр Луны, вычислим ее объем. Он оказывается в 49 раз меньше объема Земли, поэтому средняя плотность нашего спутника составляет $\frac{49}{81} = 0,6$ плотности Земли. Значит, Луна в среднем состоит из более рыхлого вещества, нежели Земля, но более плотного, чем Солнце.



→ Вес и плотность планет и звезд



Способ, каким «взвесили» Солнце, применим и к взвешиванию любой планеты, имеющей хотя бы один спутник.

Зная среднюю скорость v движения спутника по орбите и его среднее расстояние D от планеты, мы приравняем центробежную силу, удерживающую спутник на его орбите, mv^2/D , к силе взаимного притяжения спутника и планеты,

то есть kmM/D^2 , где k — сила притяжения

1 г к 1 г на расстоянии 1 см, m — масса спутника,

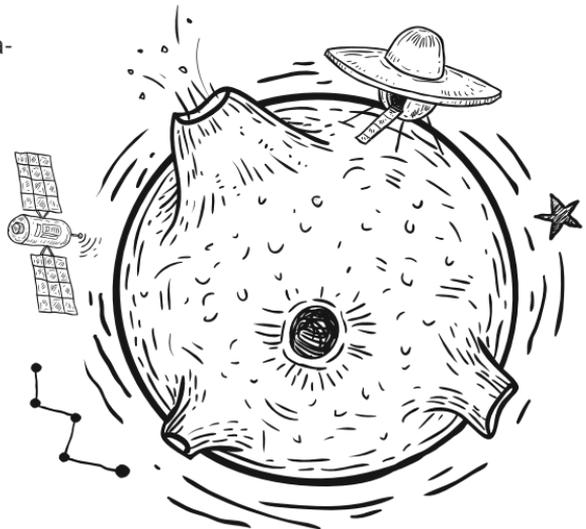
M — масса планеты: $mv^2/D = kmM/D^2$, откуда $M = Dv^2/k$ — формула, по которой легко вычислить массу M планеты.

Третий закон Кеплера применим и к этому случаю:

$$\frac{(M_{\odot} + m_{\text{планеты}})}{(m_{\text{планеты}} + m_{\text{спутника}})} \frac{T_{\text{планеты}}^2}{T_{\text{спутника}}^2} = \frac{a_{\text{планеты}}^3}{a_{\text{спутника}}^3}.$$

И здесь, пренебрегая в скобках малыми слагаемыми, получим отношение массы Солнца к массе планеты.

Зная массу Солнца, можно легко определить массу планеты. Подобное же вычисление применимо и к двойным звездам, с той лишь разницей, что здесь в результате вычисления получают не массы отдельных звезд данной пары, а сумма их масс.



Гораздо труднее определить массу спутников планет, а также массу тех планет, которые вовсе не имеют спутников. Например, массы Меркурия и Венеры найдены из учета того возмущающего влияния, которое они оказывают друг на друга, на Землю, а также на движение некоторых комет.

Для астероидов, масса которых настолько незначительна, что они не оказывают никакого заметного действия один на другой, задача определения массы вообще неразрешима. Известен лишь, и то гадательно, высший предел совокупной массы всех этих крошечных планеток.

По массе и объему планет легко вычисляется их средняя плотность. Результаты сведены в следующую табличку:

Планета	Плотность
Меркурий	0,70
Венера	0,92
Земля	1,00
Марс	0,74
Юпитер	0,24
Сатурн	0,13
Уран	0,23
Нептун	0,22

Мы видим, что наша Земля и Венера — самые плотные из всех планет нашей системы. Малые средние плотности больших планет объясняются тем, что твердое ядро каждой большой планеты покрыто громадным слоем атмосферы, которая обладает малой массой, но весьма увеличивает видимый объем планеты.

→ Тяжесть на Луне и на планетах

Люди, мало начитанные в астрономии, нередко высказывают изумление по поводу того, что ученые, не посетив Луну и планеты, уверенно говорят о силе тяжести на их поверхности. Между тем совсем нетрудно рассчитать, сколько килограммов должна весить гиря, перенесенная в другие миры. Для этого нужно лишь знать радиус и массу небесного тела.

Определим, например, напряжение силы тяжести на Луне. Масса Луны, как мы знаем, в 81 раз меньше массы Земли. Если бы Земля обладала такой маленькой массой, то напряжение силы тяжести на ее поверхности было бы в 81 раз слабее, чем теперь. По закону Ньютона земной шар притягивает так, словно вся его масса сосредоточена в центре. Центр Земли отстоит от ее поверхности на расстоянии земного радиуса, центр Луны — на расстоянии лунного радиуса. Но лунный радиус составляет $\frac{27}{100}$ земного, а от уменьшения расстояния в $\frac{100}{27}$ раза сила притяжения увеличивается в $(\frac{100}{27})^2$ раза. Значит, в конечном итоге напряжение силы тяжести на поверхности Луны

составляет $\frac{100^2}{27^2 \cdot 81} \approx \frac{1}{6}$ земного.

Итак, гиря в 1 кг, перенесенная на поверхность Луны, весила бы там только $\frac{1}{6}$ кг, но уменьшение веса можно было бы обнаружить только с помощью пружинных весов, а не рычажных.

Любопытно, что, если бы на Луне существовала вода, пловец чувствовал бы себя в лунном водоеме так же, как на Земле. Его вес уменьшился бы в шесть раз, но во столько же раз уменьшился бы и вес вытесняемой им воды. Соотношение между ними было бы такое же, как на Земле, и пловец погружался бы в воду Луны ровно на столько же, на сколько погружается на Земле. Впрочем, усилия подняться над водой дали бы на Луне более заметный результат: раз вес тела пловца уменьшился, оно может быть поднято меньшим напряжением мускулов.

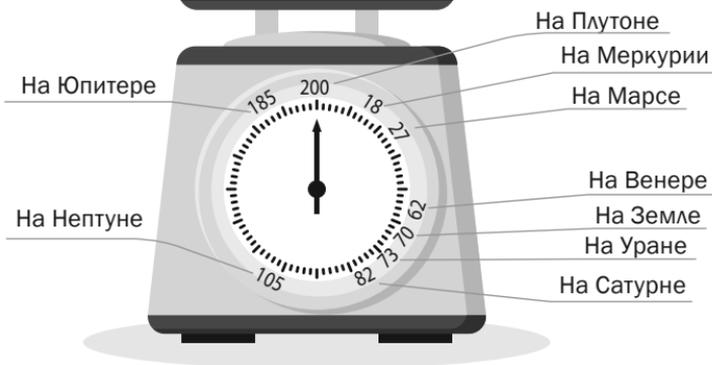
Ниже приведена табличка величины силы тяжести на разных планетах по сравнению с земной.

Планета	Сила тяжести
Меркурий	0,38
Венера	0,88
Земля	1,00
Марс	0,39
Юпитер	2,64
Сатурн	1,17
Уран	1,05
Нептун	1,50

► Сколько бы весил человек на разных планетах



Как видно из таблички, Земля по силе тяжести стоит на пятом месте после Юпитера, Нептуна, Сатурна и Урана.



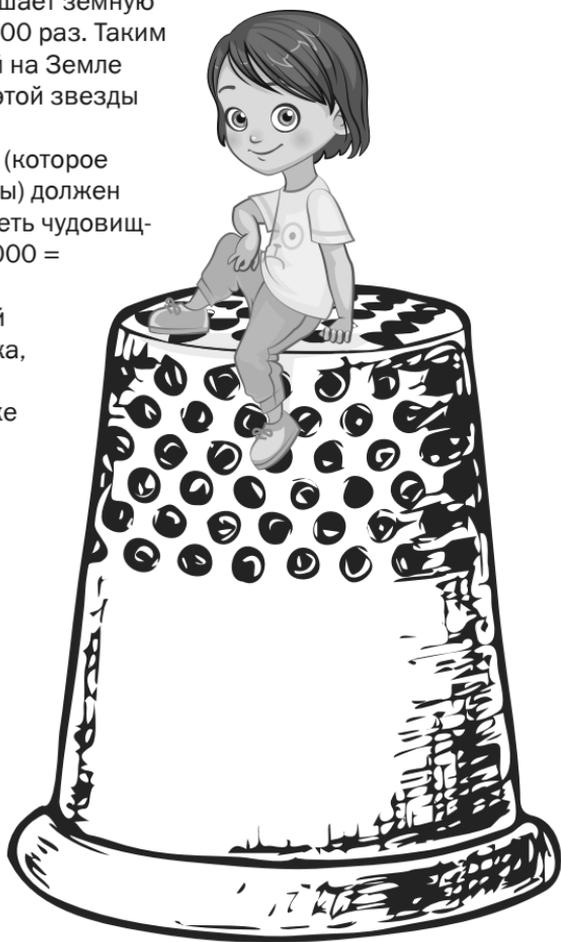
→ Рекордная тяжесть

Самой большой величины сила тяжести достигает на поверхности белых карликов типа Сириуса В, о котором мы говорили в главе 4. Легко сообразить, что огромная масса этих светил при сравнительно небольшом радиусе должна обусловить весьма значительное напряжение силы тяжести на их поверхности. Сделаем расчет для той звезды созвездия Кассиопеи, масса которой в 2,8 раза больше массы нашего Солнца, а радиус вдвое меньше радиуса Земли.

Вспомнив, что масса Солнца в 330 000 раз больше земной, устанавливаем, что сила тяжести на поверхности упомянутой звезды превышает земную в $2,8 \times 330\,000 \times 2^2 = 3\,700\,000$ раз. Таким образом, 1 см³ воды, весящий на Земле 1 г, весил бы на поверхности этой звезды почти $3^{3/4}$ т!

1 см³ вещества самой звезды (которое в 36 000 000 раз плотнее воды) должен в этом удивительном мире иметь чудовищный вес: $3\,700\,000 \times 36\,000\,000 = 133\,200\,000\,000\,000$ г.

Наперсток вещества, весящий 100 млн тонн, — вот диковинка, о существовании которой во Вселенной не помышляли даже самые смелые фантасты.



→ Тяжесть в глубине планет

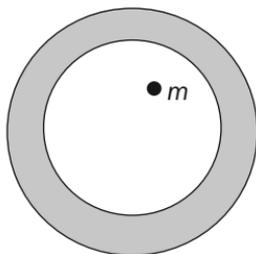
Как изменился бы вес тела, если бы оно было перенесено вглубь планеты, например на дно фантастической глубокой шахты?

Многие ошибочно считают, что на дне такой шахты тело должно сделаться тяжелее, ведь оно ближе к центру планеты, то есть к той точке, к которой притягиваются все тела. Это соображение, однако, неправильно: сила притяжения к центру планеты не возрастает на глубине, а, напротив, ослабевает. Общепонятное разъяснение этого читатель может найти в моей «Занимательной физике». Чтобы не повторять сказанного там, замечу лишь следующее.

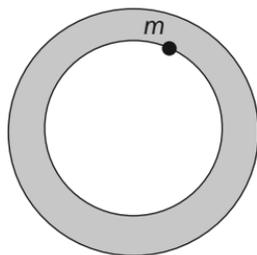
В механике доказывается, что тела, помещенные в полость однородной шаровой оболочки, лишены веса. Отсюда следует, что тело, находящееся внутри сплошного однородного шара, подвержено притяжению только той части вещества, которая заключена в шаре с радиусом, равным удалению тела от центра (см. рисунок).

Опираясь на эти положения, нетрудно вывести закон, по которому изменяется вес тела с приближением к центру планеты. Обозначим радиус планеты (см. рисунок) через R , а расстояние тела от ее центра — через r .

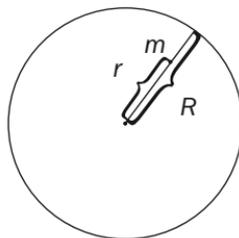
Сила притяжения тела в этой точке должна возрасти в $(R/r)^2$ раз и одновременно ослабеть в $(R/r)^3$ раз (так как притягивающая часть



▲ Тело внутри шаровой оболочки не имеет веса



▲ От чего зависит вес тела в недрах планеты?



▲ Вычисление веса тела с приближением к центру планеты

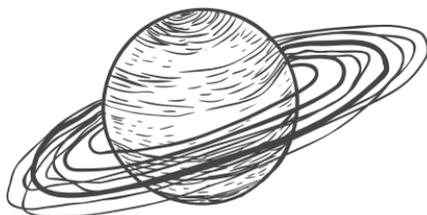
планеты уменьшилась в указанное число раз). В конечном итоге сила притяжения должна ослабеть в

$$\left(\frac{R}{r}\right)^3 : \left(\frac{R}{r}\right)^2, \text{ то есть в } \frac{R}{r} \text{ раза.}$$

Значит, в глубине планет вес тела должен уменьшиться во столько же раз, во сколько раз уменьшилось расстояние до центра. Для планеты таких размеров, как наша Земля, имеющей радиус 6400 км, углубление на 3200 км должно сопровождаться уменьшением веса вдвое, углубление на 5600 км — уменьшением веса в $6400 / (6400 - 500)$, то есть в восемь раз.

В самом центре планеты тело должно потерять свой вес полностью, так как $6400 / (6400 - 6400) = 0$. Это, впрочем, можно было предвидеть и без вычислений, так как в центре планеты тело притягивается окружающим веществом со всех сторон с одинаковой силой.

Высказанные соображения относятся к воображаемой планете, однородной по плотности. К планетам реальным они приложимы лишь с оговорками. В частности, для земного шара, плотность которого в глубине больше, чем близ поверхности, закон изменения силы тяжести с приближением к центру несколько отступает от сейчас установленного: до некоторой (сравнительно небольшой) глубины притяжение возрастает и лишь при дальнейшем углублении начинает убывать.



→ Лунные и солнечные приливы

Не следует думать, что приливная волна поднимается только оттого, что Луна или Солнце притягивают к себе воду. Луна притягивает не только то, что находится на земной поверхности, но и весь земной шар. Дело в том, что от центра земного шара источник притяжения дальше, чем от частиц воды на ее поверхности, обращенной к Луне. В той точке, в зените которой стоит Луна, каждый килограмм воды притягивается ею сильнее, чем килограмм вещества центра Земли на $2kMr/D^3$, а вода в диаметрально противоположной точке Земли — на столько же слабее.

Вследствие этой разницы вода в обоих случаях поднимается над твердой земной поверхностью. В первом случае по той причине, что вода перемещается к Луне больше, чем твердая часть земного шара, а во втором — из-за того, что твердая часть Земли перемещается к Луне больше, чем вода.

Подобное действие на воды океана оказывает и притяжение Солнца. Но чье действие сильнее: солнечное или лунное? Если сравнить их непосредственные притяжения, то, окажется, что действие Солнца сильнее. Действительно, масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз, масса же Луны еще в 81 раз меньше, то есть меньше солнечной в $330\,000 \times 81$ раз. Расстояние от Солнца до Земли равно 23 400 земным радиусам, а от Луны до Земли — 60 земным радиусам. Значит, притяжение Земли Солнцем относится к притяжению ее Луной как

$$\frac{330\,000 \cdot 81}{23\,400^2} : \frac{1}{60^2} \approx 170.$$

Итак, Солнце притягивает все земные предметы в 170 раз сильнее, чем Луна. Можно было бы думать поэтому, что солнечные



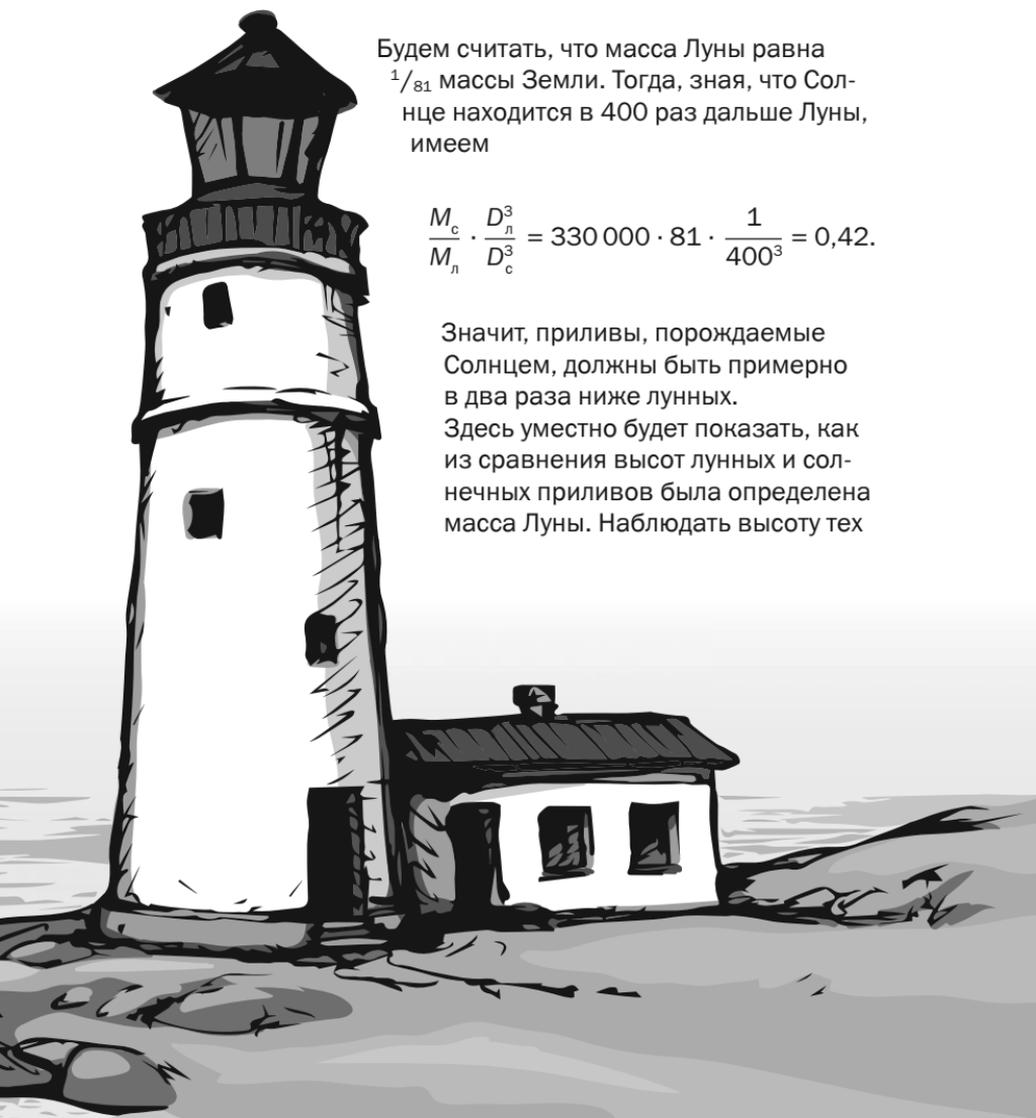
приливы выше лунных. В действительности, однако, наблюдается обратное: лунные приливы больше солнечных. Если массу Солнца обозначим через M_c , массу Луны через M_n , расстояние до Солнца через D_c , до Луны — через D_n , то отношение приливообразующих сил Солнца и Луны равно

$$\frac{2kM_c r}{D_c^3} : \frac{2kM_n r}{D_n^3} = \frac{M_c}{M_n} \cdot \frac{D_n^3}{D_c^3}.$$

Будем считать, что масса Луны равна $1/81$ массы Земли. Тогда, зная, что Солнце находится в 400 раз дальше Луны, имеем

$$\frac{M_c}{M_n} \cdot \frac{D_n^3}{D_c^3} = 330\,000 \cdot 81 \cdot \frac{1}{400^3} = 0,42.$$

Значит, приливы, порождаемые Солнцем, должны быть примерно в два раза ниже лунных. Здесь уместно будет показать, как из сравнения высот лунных и солнечных приливов была определена масса Луны. Наблюдать высоту тех



и других приливов в отдельности нельзя: Солнце и Луна всегда действуют совместно. Но можно измерить высоту прилива тогда, когда действия обоих светил складываются (то есть когда Луна и Солнце расположены на одной прямой линии с Землей), и тогда, когда действия их противоположны (прямая, соединяющая Солнце с Землей, перпендикулярна к прямой, соединяющей Луну с Землей). Наблюдения показали, что вторые приливы по высоте составляют 0,42 первых. Если приливообразующая сила Луны равна x , а Солнца — y , то



$$\frac{x+y}{x-y} = \frac{100}{42}, \text{ откуда } \frac{x}{y} = \frac{71}{29}.$$

Значит, по ранее выведенной формуле

$$\frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{D_l^3}{D_c^3} = \frac{29}{71}$$

или

$$\frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{1}{64\,000\,000} = \frac{29}{71}.$$

Так как масса Солнца $M_c = 330\,000 M_3$, где M_3 — масса Земли, то из последнего равенства легко найти, что

$$\frac{M_3}{M_l} = 80,$$

то есть масса Луны составляет $\frac{1}{80}$ долю массы Земли.



→ Луна и погода

Многих интересует вопрос о том, какое влияние на атмосферное давление могут оказывать приливы и отливы, порождаемые Луной в воздушном океане нашей планеты. Эти приливы были открыты великим русским ученым М. В. Ломоносовым, который назвал их воздушными волнами. Ими занимались многие, но тем не менее о роли воздушных приливов распространены превратные представления. Неспециалисты думают, будто в легкой и подвижной атмосфере Земли Луна вызывает огромные приливные волны. Отсюда убеждение в том, что приливы эти значительно изменяют давление атмосферы и должны иметь решающее значение в метеорологии.

Это мнение совершенно ошибочно. Теоретически можно доказать, что высота атмосферного прилива не должна превышать высоты водного прилива в открытом океане. Такое утверждение кажется неожиданным, ведь воздух даже в нижних (плотных) слоях чуть ли не в тысячу раз легче воды. Почему же лунное притяжение не поднимает его на тысячекратную высоту? Однако это не более парадоксально, чем одинаковая быстрота падения тяжелых и легких тел в пустоте.

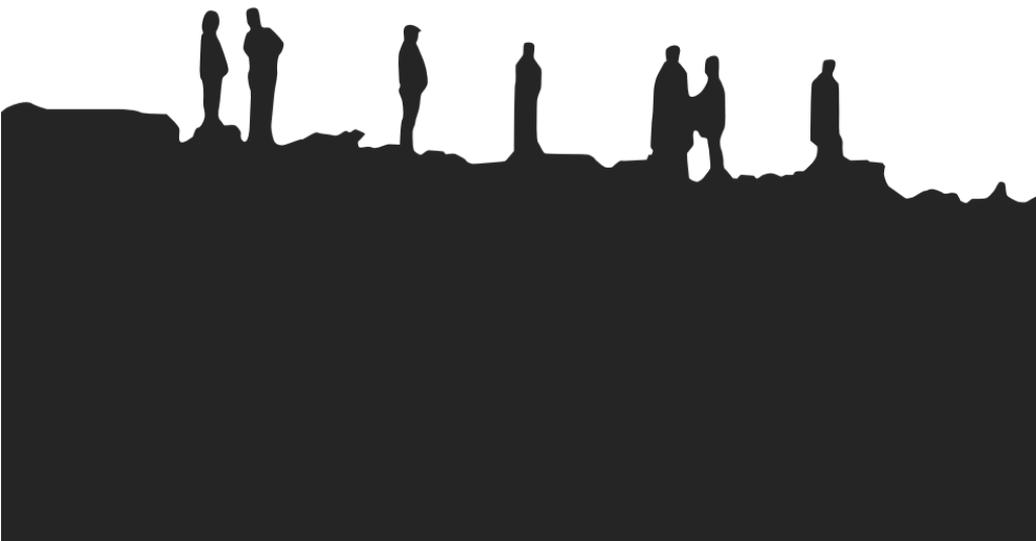




Вспомним школьный опыт с пустой трубкой, внутри которой свинцовый шарик, падая, не перегоняет пушинку. Явление прилива в конечном счете обусловлено не чем иным, как падением в мировом пространстве земного шара и его более легких оболочек под действием тяготения Луны (и Солнца). В пустоте мирового пространства все тела — и тяжелые, и легкие —

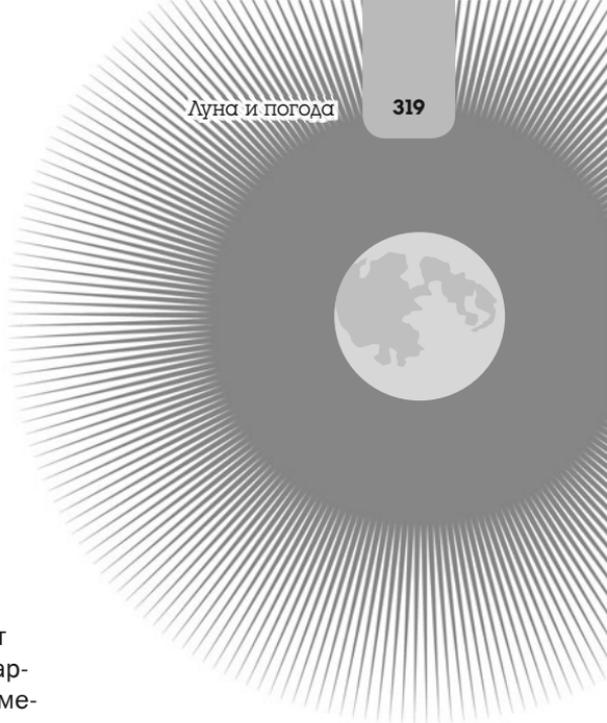
падают с одинаковой быстротой, получают от силы тяготения одинаковое перемещение, если расстояние их от центра притяжения одинаково.

Сказанное подготавливает нас к той мысли, что высота атмосферных приливов должна быть такая же, как и в океане, вдали от берегов. Действительно, если бы мы обратились к формуле, по которой вычисляется высота прилива, то убедились бы, что она заключает в себе только массы Луны и Земли, радиус земного шара и расстояние от Земли и Луны. Ни плотность поднимаемой жидкости, ни глубина океана в эту формулу не входят. Заменяв водный океан воздушным, мы не изменим результата вычислений и получим для атмосферного прилива ту же высоту, как и для прилива в океане, а последняя величина весьма незначительна. Теоретическая высота прилива в от-



крытом океане — около 0,5 м, и только очертания берегов и дна, стесняя приливную волну, повышают ее в отдельных пунктах до 10 м и более. Существуют весьма любопытные машины для предсказания высоты прилива в данном месте в любой момент времени по данным о положении Солнца и Луны.

В безбрежном же воздушном океане ничто не может нарушать теоретической картины лунного прилива и изменять ее теоретическую высоту — полметра. Столь незначительное поднятие может оказывать на величину атмосферного давления лишь самое ничтожное влияние. Лаплас, занимавшийся теорией воздушных приливов, пришел к выводу, что колебания атмосферного давления, обусловленные ими, не должны превышать 0,6 мм ртутного столба, а порождаемый атмосферными приливами ветер обладает скоростью не выше 7,5 см/с. Ясно, что атмосферные приливы не могут играть сколько-нибудь существенной роли среди факторов погоды. Эти соображения делают совершенно беспочвенными попытки разных «лунных пророков» предсказывать погоду по положению Луны на небе.



Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научно-популярное издание

Для среднего школьного возраста

ЗАХВАТЫВАЮЩАЯ НАУКА ЯКОВА ПЕРЕЛЬМАНА

Яков Перельман

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

(орыс тілінде)

Автор Яков Исидорович Перельман

Автор-иллюстратор Наталия Николаевна Баранова

Главный редактор Р. Фасхутдинов

Ответственный редактор Ю. Лаврова

Младший редактор Е. Минина

Художественный редактор Е. Мишина

ООО «Издательство «Эксмо»

123308, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.

Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Тауар белгісі: «Эксмо»

Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-дүкен : www.book24.kz

Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию,

в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»

Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талаптарды

қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,

Алматы қ., Домбровский көш., 3-а», литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ

о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»

www.eksmo.ru/certification

Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылмаған

Подписано в печать 18.10.2018. Формат 84x108^{1/32}.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,8.

Тираж экз. Заказ



ISBN 978-5-04-094411-8



9 785040 944118 >



В электронном виде книга издательства вы можете
купить на www.litres.ru

ЛитРес:

одна книга до книг



EKSMO.RU
новинки издательства



КОГДА ВЫ ДАРИТЕ КНИГУ, ВЫ ДАРИТЕ ЦЕЛЫЙ МИР

ХОТИТЕ ЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

Заходите на сайт:

<https://eksmo.ru/b2b/>

Звоните по телефону:

+7 495 411-68-59, доб. 2261



ВАШ ЛОГОТИП
НА ОБЛОЖКЕ

ВАШ ЛОГОТИП НА КОРЕШКЕ

ОБРАЩЕНИЕ
К КЛИЕНТАМ
НА ОБЛОЖКЕ



Все книги выдающегося популяризатора наук Якова Перельмана зачитываются «до дыр» – настолько они занимательны, веселы и интересны. Книга про астрономию – не исключение!



Астрономия – наука счастливая и, по выражению французского ученого Араго, в украшениях не нуждается.

Более интересную и красивую науку придумать трудно.

Знаменитый Перельман в своей книге «Занимательная астрономия» познакомит вас с Луной, планетами, звездами, тяготением, происхождением и движением небесных тел.



В КНИГЕ:

природа
Вселенной

звездные
и планетные
системы

ледяные
карлики

огненные
гиганты

звездная
пыль

и другие удивительные объекты.



Вы любите

рассматривать звездное небо?

Тогда эта книга для вас!



ISBN 978-5-04-094411-8



9 785040 944118 >

