

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

Занимательная АСТРОНОМИЯ



Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

ИЗДАНИЕ 7-е

Под редакцией П. Г. КУЛИКОВСКОГО

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1954

АННОТАЦИЯ

Книга Я. И. Перельмана знакомит читателя с отдельными вопросами астрономии, с её замечательными научными достижениями, рассказывает в увлекательной форме о важнейших явлениях звёздного неба. Автор показывает многие кажущиеся привычными и обыденными явления с совершенно новой и неожиданной стороны и раскрывает их действительный смысл.

Задачи книги — развернуть перед читателем широкую картину мирового пространства и происходящих в нём удивительных явлений и возбудить интерес к одной из самых увлекательных наук, к науке о звёздном небе.

Я. И. Перельман умер в 1942 г. во время блокады Ленинграда и не успел выполнить своё намерение написать продолжение этой книги.

Я. И. Перельман. Занимательная астрономия.

Редактор Л. В. Самсоненко.

Технический редактор С. Н. Ахламов.

Корректор С. С. Патрикеева.

Сдано в набор 23/III 1954 г. Подписано к печати 30/X 1954 г. Бумага 84×103^{1/2}.
Физ. печ. л. 6,625. Условн. печ. л. 10,865. Уч.-изд. л. 12,07. Тираж 100 000 экз. Т-07778.
Цена книги 3 руб. 60 коп. Заказ № 1811.

Государственное издательство технико-теоретической литературы
Москва, Б. Калужская, 15.

Министерство культуры СССР.

Главное управление пол. графической промышленности.

4-я тип. им. Евг. Соколовой Ленинград, Измайловский пр., 29.

Отпечатано с матриц 2-й типографии „Печатный Двор“ имени А. М. Горького,

ПРЕДИСЛОВИЕ

Астрономия — счастливая наука: она, по выражению французского учёного Араго, не нуждается в украшениях. Достижения её настолько захватывающи, что не приходится прилагать особых забот для привлечения к ним внимания. Однако наука о небе состоит не только из удивительных откровений и смелых теорий. Её 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.

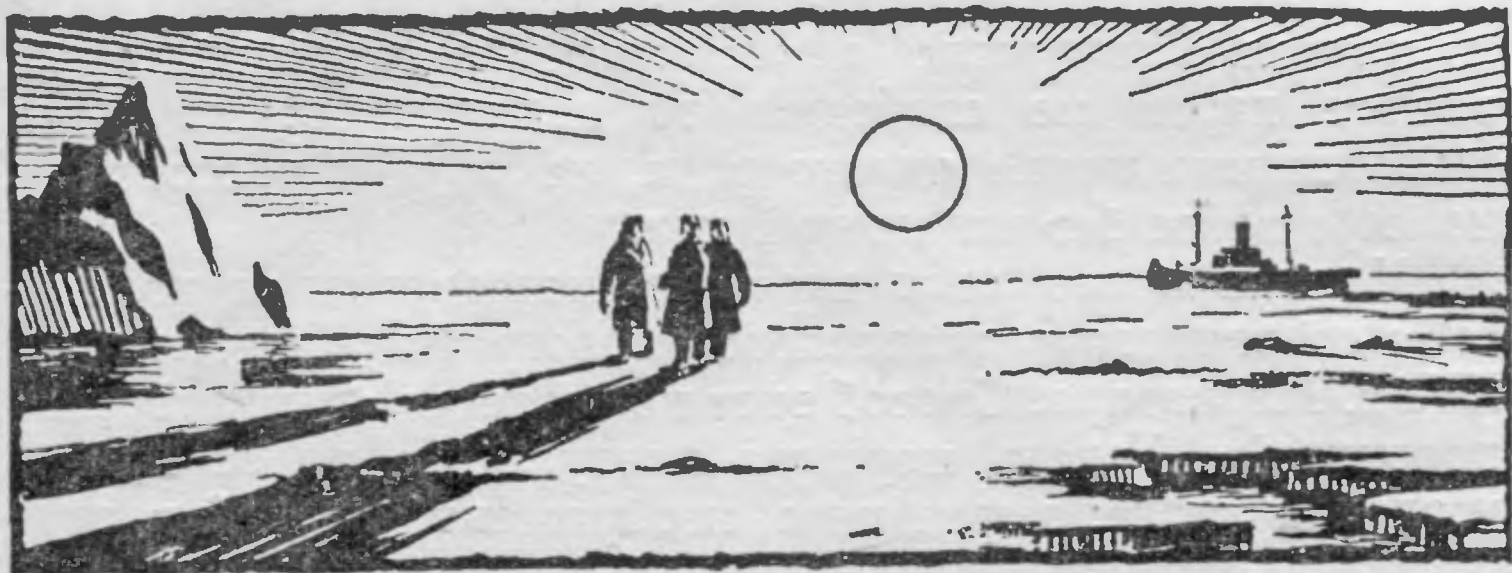
Будничная часть науки о небе, её первые, а не последние страницы и составляют главным образом (но не исключительно) содержание «Занимательной астрономии». Она стремится прежде всего помочь читателю в уяснении основных астрономических фактов. Это не значит, что книга представляет нечто вроде начального учебника. Способ обработки материала существенно отличает её от учебной книги. Полузнакомые обыденные факты облечены здесь в необычную, нередко парадоксальную форму, показаны с новой, неожиданной стороны, 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 делают упрёк в том, что по ним ничему серьёзно научиться нельзя. Упрёк до известной степени справедлив и поддерживается (если иметь в виду сочинения в области точного естествознания) обычаем избегать в популярных книгах всяких числовых

расчётов. Между тем читатель только тогда действительно овладевает материалом книги, когда научается, хотя бы в элементарном объёме, оперировать с ним численно. Поэтому в «Занимательной астрономии», как и в других своих книгах той же серии, составитель не избегает простейших расчётов и заботится лишь о том, чтобы они предлагались в расчленённой форме и были вполне посильны для знакомых со школьной математикой. Подобные упражнения не только прочнее закрепляют усваиваемые сведения, но и готовят к чтению более серьёзных сочинений.

В предлагаемый сборник вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звёздам и тяготению, причём составитель избирал преимущественно такой материал, который обычно в популярных сочинениях не рассматривается. Темы, не представленные в этом сборнике, автор надеется обработать со временем во второй книге «Занимательной астрономии». Впрочем, сочинение подобного типа вовсе и не ставит себе задачей равномерно исчерпать всё богатейшее содержание современной астрономии.

Я. П.



ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЗЕМЛЯ, ЕЁ ФОРМА И ДВИЖЕНИЯ

Кратчайший путь на Земле и на карте

Наметив мелом две точки на классной доске, учительница предлагает юному школьнику задачу: начертить кратчайший путь между обеими точками.

Ученик, подумав, старательно выводит между ними извилистую линию.

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

— Мой папа. Он шофёр такси.

Чертёж наивного школьника, конечно, анекдотичен, но разве не улыбнулись бы вы, если бы вам сказали, что пунктирная дуга на рис. 1 — самый короткий путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии! Ещё поразительнее следующее утверждение: изображённый на рис. 2 кружный путь из Японии к Панамскому каналу короче прямой линии, проведённой между ними на той же карте!

Всё это похоже на шутку, а между тем перед вами — бесспорные истины, хорошо известные картографам.

Для разъяснения вопроса придётся сказать несколько слов о картах вообще и о морских в частности. Изображение на бумаге частей земной поверхности — дело непростое даже в принципе, потому что 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. Придумано много способов черчения карт, но все карты не свободны от недостатков: на одних имеются искажения одного рода, на других иного рода, но карт вовсе без искажений нет.

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

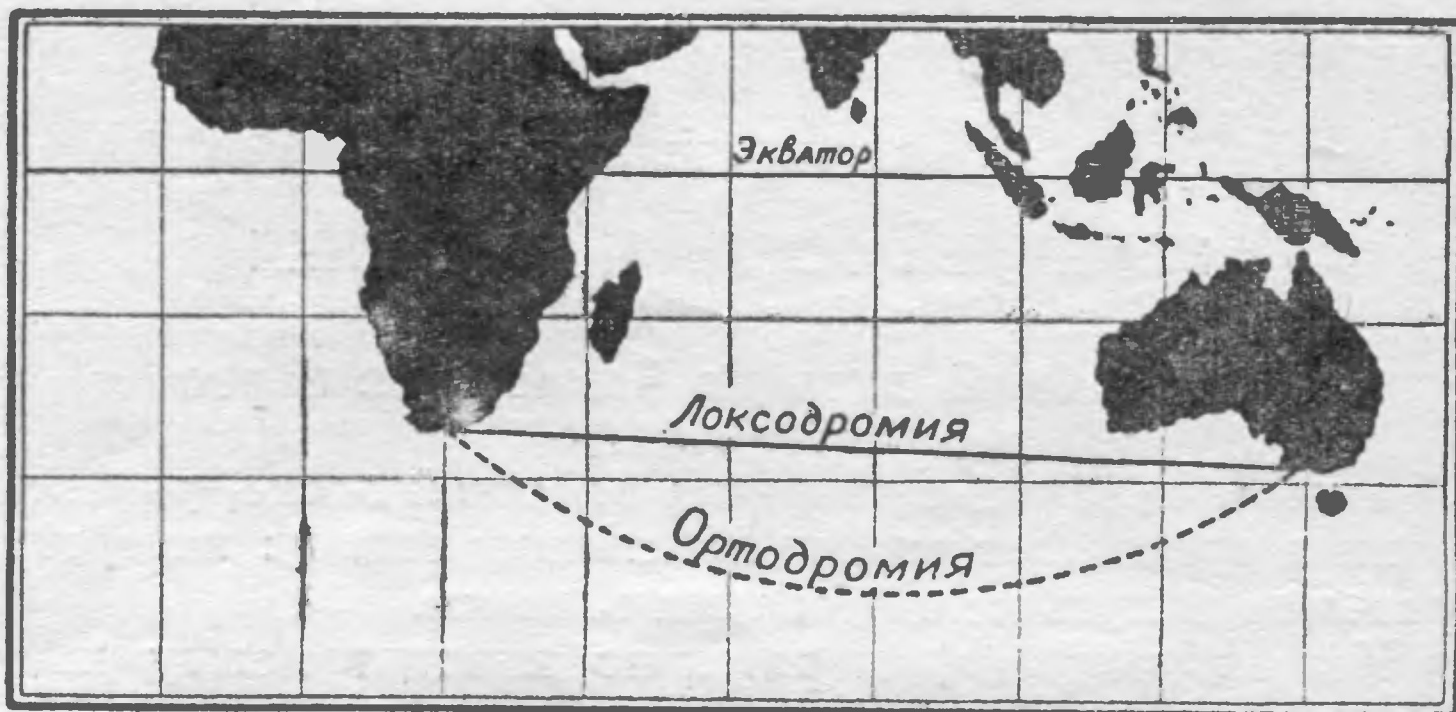


Рис. 1. На морской карте кратчайший путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии обозначается не прямой линией («локсодромией»), а кривой («ортодромией»).

ряда параллельных прямых линий; круги широты — тоже прямыми линиями, перпендикулярными к первым (см. рис. 5).

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 идёт вдоль той параллели, на которой лежат оба порта: ведь на карте — это прямая линия, а что может быть короче прямого пути! Но мы ошибаемся: путь по параллели вовсе не кратчайший.

В самом деле: 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, проведённого через те же две точки: большему радиусу отвечает меньшая кривизна. Натяните на глобусе нить между нашими двумя точками (ср. рис. 3); вы убедитесь, что она вовсе не ляжет вдоль параллели. Натянутая нить — бесспорный указатель кратчайшего пути, а если она на глобусе не совпадает

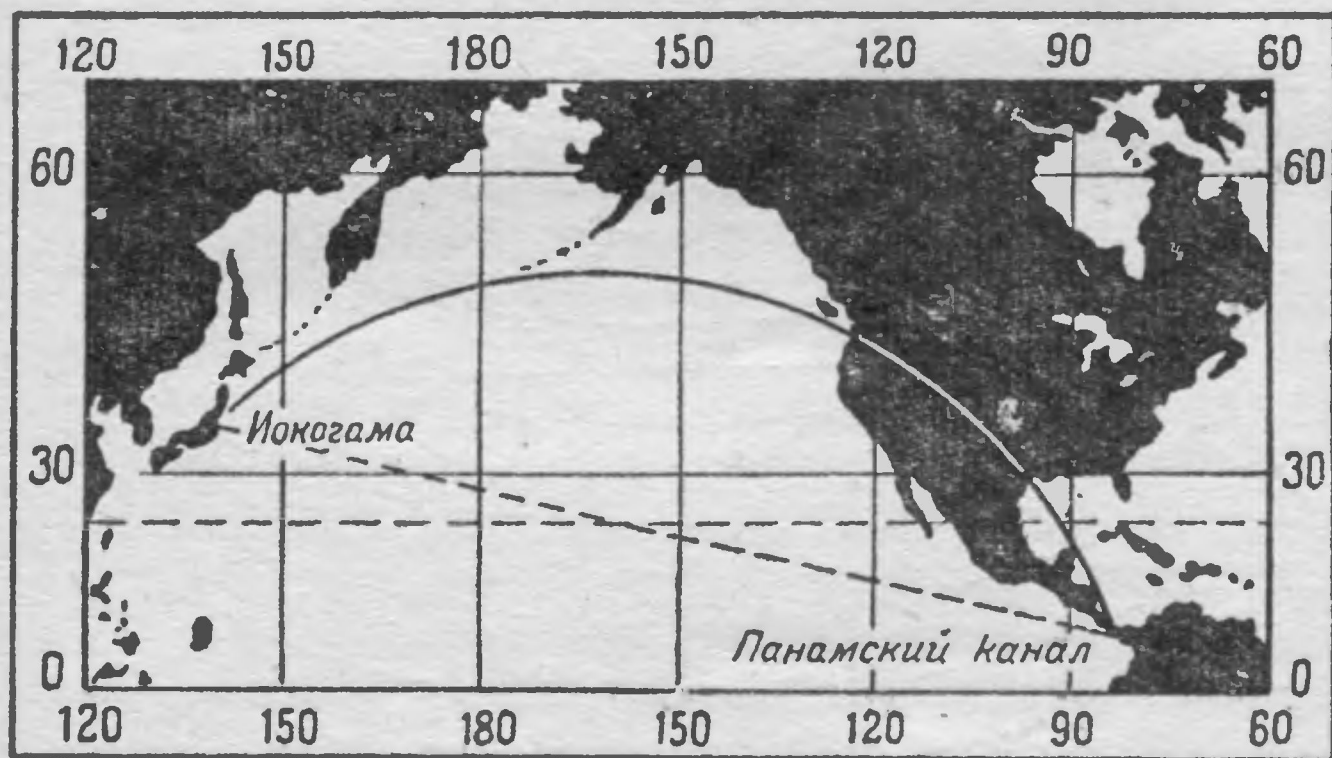


Рис. 2. Кажется невероятным, что криволинейный путь, соединяющий на морской карте Йокогаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведённой между теми же точками.

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.

Рассказывают, что при выборе направления для Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги велись нескончаемые споры о том, по какому пути её проложить. Конец спорам положило вмешательство царя

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

Николая I, который решил задачу буквально «прямолинейно»: соединил Петербург с Москвой по линейке. Если бы это было сделано на меркаторской карте, получилась бы конфузная неожиданность: вместо прямой дорога вышла бы кривой.



Рис. 3. Простой способ отыскания действительно кратчайшего пути между двумя пунктами: надо на глобусе натянуть нитку между этими пунктами.

Кто не избегает расчётов, 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 широте Ленинграда — 60-й параллели — и разделены расстоянием в 60°. (Существуют ли в действительности такие две гавани — для расчёта, конечно, безразлично). На рис. 4 точка O — центр земного шара, AB — дуга круга широты, на котором лежат гавани A и B ; в ней 60°. Центр круга широты — в точке C . Вообразим, что из центра O земного шара проведена через те же гавани дуга большого круга: её радиус $OB = OA = R$; она пройдёт близко к начерченной дуге AB , но не совпадёт с нею.

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, $r = \frac{R}{2}$. Длина дуги AB составляет одну шестую длины круга широты, а так как круг этот имеет вдвое меньшую длину, чем большой круг (соответственно вдвое меньшему радиусу), то длина дуги малого круга $AB = \frac{1}{6} \times \frac{40\,000}{2} = 3333$ км.

Чтобы определить теперь длину дуги большого круга, проведённого между теми же точками (т. е. 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 $AB = r = \frac{R}{2}$. Проведя прямую OD , соединяющую центр O земного шара с серединой D хорды AB , получаем прямоугольный треугольник ODA , где угол D — прямой,

$$DA = \frac{1}{2} AB \text{ и } OA = R.$$

Значит,

$$\sin AOD = AD : AO = \frac{R}{4} : R = 0,25.$$

Отсюда находим (по таблицам):

$$\angle AOD = 14^\circ 28',5$$

и, следовательно,

$$\angle AOB = 28^\circ 57'.$$

Теперь уже нетрудно найти искомую длину кратчайшего пути в километрах. Расчёт можно упростить, если вспомнить, что длина минуты большого круга земного шара есть морская миля, т. е. около 1,85 км. Следовательно, $28^\circ 57' = 1737' \approx 3213$ км.

Мы узнаём, что путь по кругу широты, изображённый на морской карте прямой линией, составляет 3333 км, а путь по большому кругу — по кривой на карте — 3213 км, т. е. на 120 км короче.

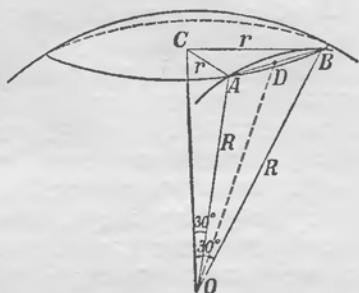


Рис. 4. К вычислению расстояний между точками A и B на шаре по дуге параллели и по дуге большого круга.

Вооружившись ниткой и имея под руками глобус, вы легко можете проверить правильность наших чертежей и убедиться, что дуги больших кругов действительно пролегают так, как показано на чертежах. Изображённый на рис. 1 будто бы «прямой» морской путь из Африки в Австралию составляет 6020 миль, а «кривой» — 5450 миль, т. е. короче на 570 миль, или на 1050 км. «Прямой» на морской карте воздушный путь из Лондона в Шанхай пересекает Каспийское море, между тем как действительно кратчайший путь пролегает к северу от

Ленинграда. Понятно, какую роль играют эти вопросы в экономии времени и горючего.

Если в эпоху парусного судоходства не всегда дорожили временем, — в тот век «время» ещё не считалось «деньгами», — то с появлением паровых судов приходится платить за каждую излишне израсходованную тонну угля. Вот почему в наши дни ведут суда по действительно кратчайшему пути, пользуясь нередко 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 о сейчас указанной особенности морских карт. Дело объясняется, конечно, не этим, а тем, что карты, начерченные по способу Меркатора, обладают наряду с неудобствами весьма ценными для моряков выгодами. Такая карта, во-первых, изображает 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, незнакому с её 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 даёт точное подобие природы (рис. 5).

Зато морская карта весьма облегчает решение задач штурманской практики. Это — единственный род карт, на которых путь корабля, идущего постоянным курсом, изображается прямой линией. Итти «постоянным курсом» — значит держаться неизменно одного направления, одного определённого «румба», иначе говоря, итти так, чтобы пересекать все меридианы под равным углом. Но этот путь («локсодромия») может изобразиться прямой линией только на такой карте, на которой все

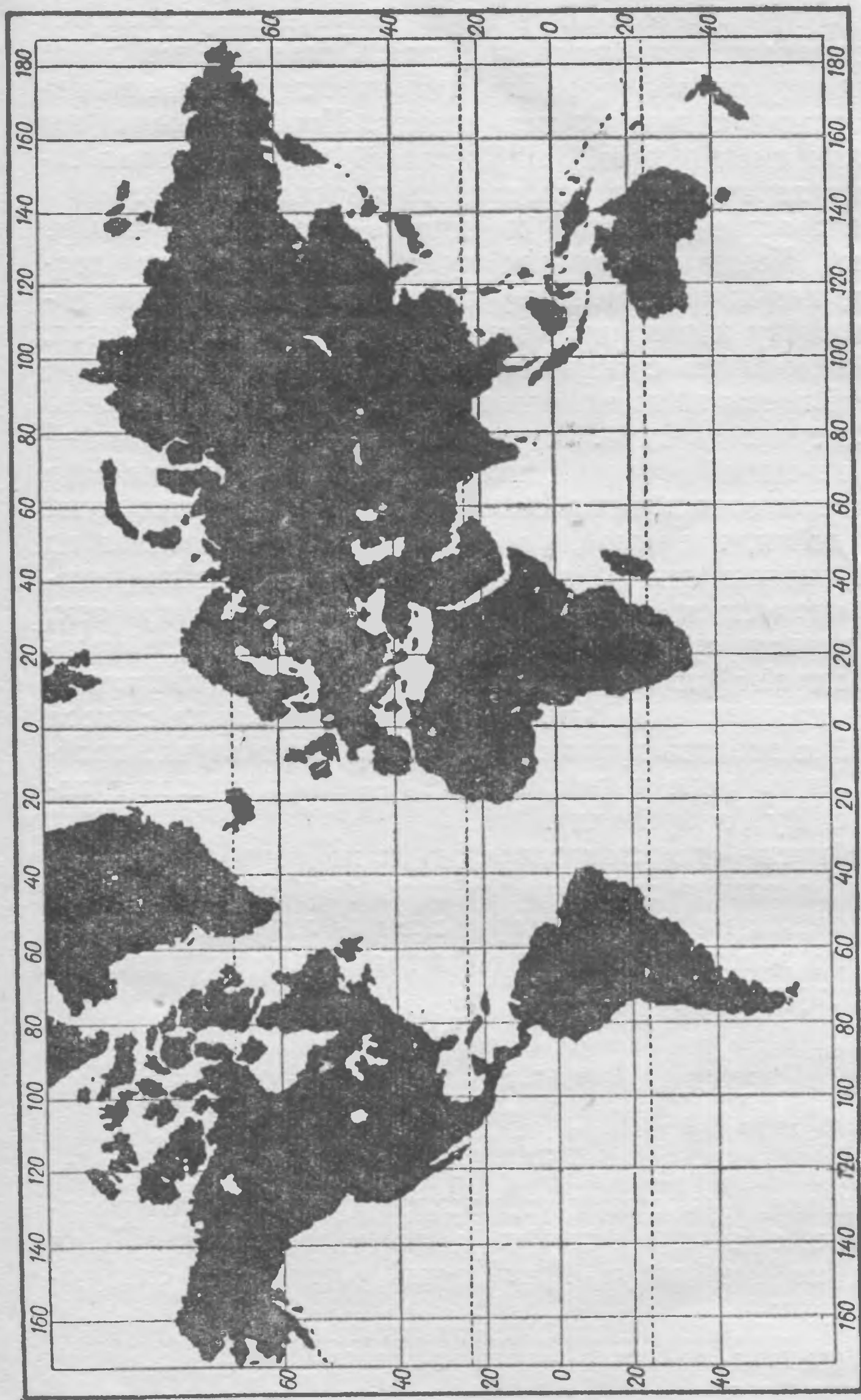


Рис. 5. Морская или меркаторская карта земного шара. На подобных картах сильно преувеличены размеры контуров, удалённых от экватора. Что, например, больше: Гренландия или Африка? (Ответ дан в тексте.)

меридианы — прямые линии, параллельные друг другу¹⁾. 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 всё время этого направления, штурман безошибочно доведёт судно до цели. Вы видите, что «локсодромия» — хотя и не самый короткий и не самый экономный, но зато в известном отношении весьма удобный для моряка путь. Чтобы дойти, например, от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии (см. рис. 1), надо неизменно держаться одного курса $S\ 87^{\circ}50'$. Между тем, чтобы довести судно до того же конечного пункта кратчайшим путём (по «ортодромии»), приходится, как видно из рисунка, непрерывно менять курс судна: начать с курса $S\ 42^{\circ}50'$, а кончить курсом $N\ 53^{\circ}50'$ (в этом случае кратчайший путь даже и неосуществим — он упирается в ледяную стену Антарктики).

Оба пути — по «локсодромии» и по «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 пути эти различны.

Градус долготы и градус широты

Задача

Читатели, без сомнения, имеют достаточное представление о географических долготе и широте. Но я уверен, не все дадут правильный ответ на следующий вопрос:

Всегда ли градусы широты длиннее градусов долготы?

¹⁾ В действительности локсодромия есть спиралевидная линия, винтообразно наматывающаяся на земной шар.

Решение

Большинство уверено, что каждый параллельный круг меньше круга меридиана. И так как градусы долготы отсчитываются по параллельным кругам, градусы же широты — по меридианам, то заключают, что первые нигде не могут превышать по длине вторых. 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. Расчёт показывает, что примерно до 5° широты градусы параллельных кругов (т. е. долготы) длиннее градусов меридиана (т. е. широты).

Куда полетел Амундсен?

Задача

В какую сторону горизонта направился Амундсен, возвращаясь с северного полюса, и в какую — возвращаясь с южного?

Дайте ответ, не затлядывая в дневники великого путешественника.

Решение

Северный полюс — самая северная точка земного шара.

Куда бы мы оттуда ни направлялись, — мы всегда отправились бы на юг. Возвращаясь с северного полюса, Амундсен мог направиться только на юг; иного направления оттуда не было. Вот выписка из дневника его полёта к северному полюсу на «Норвегии»:

«„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». Точно так же с южного полюса Амундсен мог идти только к северу.

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 всё-таки виден, как точка какая-нибудь, едва

движущаяся вдаль?.. Неправда! И сзади восток. Короче: везде и всюду нескончаемый восток».

Такой страны, окружённой со всех сторон востоком, на земном шаре существовать не может. Но место, окружённое всюду югом, на Земле имеется, как и пункт, охваченный со всех сторон «нескончаемым» севером. На северном полюсе можно было бы соорудить дом, все четыре стены которого обращены на юг. И это в самом деле могли бы сделать наши славные советские полярники, побывавшие на северном полюсе.

Пять родов счёта времени

Мы так привыкли пользоваться карманными и стенными часами, что не отдаём себе даже отчёта в значении их показаний. Среди читателей, — я убеждён, — лишь немногие смогут объяснить, что, собственно, хотят они сказать, когда говорят:

— Теперь семь часов вечера.

Неужели только то, что малая стрелка часов показывает цифру семь? Что же означает эта цифра? Она показывает, что после полудня протекло $\frac{7}{24}$ суток. Но после какого полудня и прежде всего $\frac{7}{24}$ 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 успевает один раз обернуться вокруг своей оси по отношению к Солнцу. На практике его измеряют так: наблюдают два последовательных 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 часы так, чтобы они шли строго по Солнцу: для этого оно чересчур неаккуратно. «Солнце показывает время обманчиво», — писали парижские часовщики на своём гербе сто лет назад.

Часы наши регулируются не по реальному Солнцу, а по некоему воображаемому солнцу, которое не светит, не греет, а придумано только для правильного счёта времени. Представьте себе, что в природе существует небесное светило, которое движется в течение всего года равномерно, обходя Землю ровно во столько же времени, во сколько обходит вокруг Земли — конечно, кажущимся образом — наше подлинно существующее Солнце. Это созданное воображением светило в астрономии именуется «средним солнцем». Момент прохождения его через ли-

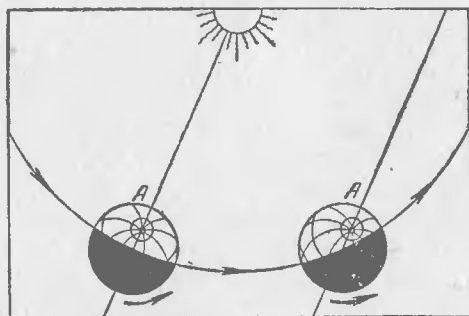


Рис. 6. Почему солнечные сутки длиннее звёздных? (Подробности в тексте.)

нию зенит — юг называется «средним полуднем»; промежуток между двумя средними полуднями есть «средние солнечные сутки», а время, так исчисляемое, называется «средним солнечным временем». Карманные и стенные часы идут именно по этому среднему солнечному времени, между тем как солнечные часы, в которых стрелкой служит тень стерженька, показывают истинное солнечное время для данного места.

У читателя после сказанного составилось, вероятно, такое представление, что земной шар вращается вокруг оси неравномерно, и отсюда-то происходит неравенство истинных солнечных суток. Это неправильно: неравенство суток обусловлено неравномерностью другого движения Земли, а именно — её движения по орбите вокруг Солнца. Мы сейчас поймём, как это может отразиться на длине суток. На рис. 6 вы видите два последовательных положения земного шара. Рассмотрим левое положение.

Стрелка справа внизу показывает, в каком направлении Земля вращается вокруг оси: против часовой стрелки, если смотреть на северный полюс. В точке *A* теперь полдень: эта точка лежит как раз против Солнца. Представьте себе теперь, что Земля сделала один полный оборот вокруг оси; за это время она успела переместиться по орбите направо и заняла другое место. Радиус Земли, проведённый к точке *A*, имеет такое же направление, как и сутки назад, но точка *A* оказывается уже лежащей не прямо против Солнца. Для человека, стоящего в точке *A*, полдень ещё не наступил: Солнце левее прочерченной линии. Земле надо вращаться ещё несколько минут, чтобы в точке *A* 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. Её 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

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

Заметим, кстати, что «действительная» продолжительность суток есть не что иное, как период вращения Земли по отношению к любой звезде; оттого такие сутки и называют «звёздными».

Итак, звёздные сутки в среднем короче солнечных на 3 мин. 56 сек., круглым счётом — на 4 мин. Разница не остаётся постоянной, потому что: 1) Земля обходит около Солнца не равномерным движением по круговой орбите, а по эллипсу, в одних частях которого (ближе к Солнцу) она движется быстрее, в других (более отдалённых) — медленнее, и 2) ось вращения Земли наклонена к плоскости её орбиты. Обе эти причины обуславливают то, что истинное и среднее солнечное время в разные дни расходятся между собой на различ-

ное число минут, достигающее в некоторые дни до 16. Только четыре раза в год оба времени совпадают:

15 апреля,
14 июня,
1 сентября,
24 декабря.

Напротив, в дни

11 февраля,
2 ноября

разница между истинным и средним временем достигает наибольшей величины — около четверти часа. Кривая на рис. 7 показывает, как велико это расхождение в разные дни года.

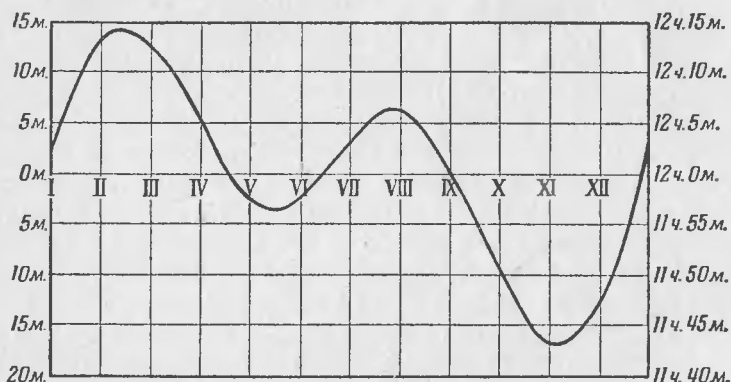


Рис. 7. Этот график, именуемый графиком уравнения времени, показывает, как велико в тот или иной день расхождение между истинным и средним солнечным полуднем. Например, 1 апреля в истинный полдень верные механические часы должны показать 12 ч. 5 мин.; иными словами, кривая даёт среднее время в истинный полдень.

До 1919 г. граждане СССР 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: по петроградскому. Граждане различали «городское» и «вокзальное» время; первое — местное среднее солнечное время —

показывали городские часы, а второе — петроградское среднее солнечное время — показывали часы железнодорожного вокзала. В настоящее время в Советском Союзе всё железнодорожное движение ведётся по московскому времени.

С 1919 г. у нас в основу счёта времени дня положено не местное, а так называемое «поясное» время. Земной шар разделён меридианами на 24 одинаковых «пояса», и все пункты одного пояса исчисляют одинаковое время, именно то среднее солнечное время, которое отвечает времени среднего меридиана данного пояса. На всём земном шаре в каждый момент «существует» поэтому только 24 различных времени, а не множество времён, как было до введения поясного счёта времени.

К этим трём родам счёта времени — 1) истинному солнечному, 2) среднему местному солнечному и 3) поясному — надо прибавить четвёртый, употребляемый только астрономами. Это — 4) «звёздное» время, исчисляемое по упомянутым ранее звёздным суткам, которые, как мы уже знаем, короче средних солнечных примерно на 4 минуты. 22 сентября оба счёта времени совпадают, но с каждым следующим днём звёздное время опережает среднее солнечное на 4 минуты.

Наконец, существует ещё и пятый вид времени, — 5) так называемое декретное время, — то, по которому круглый год живёт всё население СССР, а большинство западных стран — в течение летнего сезона.

Декретное время идёт ровно на один 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 вперёд. Такой перевод в западных государствах делается каждую весну (в час ночи стрелка переставляется к цифре 2), а каждую осень часы вновь переводятся назад.

В СССР часы переведены на круглый год, т. е. не только на летнее время, но и на зимнее: расход энергии на освещение этим хотя и не сокращается, но зато достигается более равномерная нагрузка электростанций.

Декретное время впервые было введено у нас в 1917 г.¹⁾; в течение некоторого периода стрелка часов была переведена на два и даже на три часа вперёд; после нескольких лет перерыва оно вновь введено в СССР с весны 1930 г. и отличается от поясного на один час.

Продолжительность дня

Точная продолжительность дня для каждого места и любой даты года может быть вычислена по таблицам астрономического ежегодника. Нашему читателю едва ли, однако, понадобится для обычных целей подобная точность; если он готов удовольствоваться сравнительно грубым приближением, то хорошую службу сослужит ему прилагаемый чертёж (рис. 8). Вдоль левого его края показана в часах продолжительность дня. 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.

Чтобы пользоваться чертёжом, надо знать, как велико угловое расстояние («склонение») Солнца от экватора в ту или иную сторону для различных дней года. Соответствующие данные указаны в табличке на стр. 20.

Покажем на примерах, как пользоваться этим чертёжом.

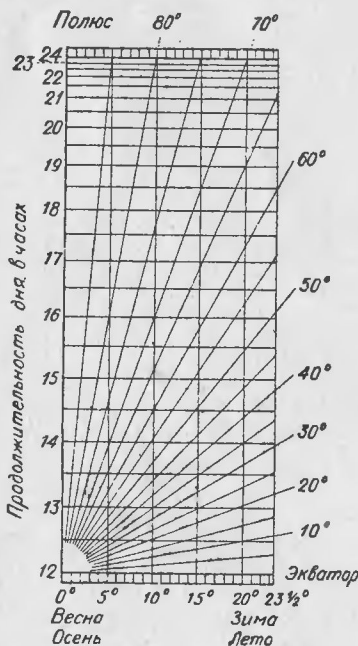


Рис. 8. Чертёж для графического определения продолжительности дня. (Объяснение в тексте.)

¹⁾ По почину Я. И. Перельмана, предложившего этот законопроект. (Прим. ред.)

1. Найти продолжительность дня в середине апреля в Ленинграде (т. е. на широте 60°).

Находим в табличке склонение Солнца в середине апреля, т. е. угловое расстояние его в эти дни от небесного экватора: $+10^\circ$. На нижнем краю чертежа отыскиваем число 10° и ведём от него прямую линию под прямым углом к нижнему краю до пересечения с косой линией, отвечающей 60 -й параллели. На левом краю точка пересечения отвечает числу $14\frac{1}{2}$, т. е. искомая продолжительность дня равна примерно 14 ч. 30 м. Говорим «примерно» потому, что чертёж не учитывает влияния так называемой «атмосферной рефракции» (см. стр. 36, рис. 15).

Дни года	Склонение Солнца	Дни года	Склонение Солнца
21 января . . .	-20°	24 июля	$+20^\circ$
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	$+23\frac{1}{2}$	22 декабря . . .	$-23\frac{1}{2}$

2. Найти продолжительность дня 10 ноября в Астрахани (46° с. ш.).

Склонение Солнца 10 ноября равно -17° . (Солнце в южном полушарии неба.) Поступая попрежнему, находим $14\frac{1}{2}$ часов. Но так как на этот раз склонение отрицательно, то полученное число означает продолжительность не дня, а ночи. Искомая же продолжительность дня равна $24 - 14\frac{1}{2} = 9\frac{1}{2}$ часов.

Мы можем вычислить также и момент восхода Солнца. Разделив $9\frac{1}{2}$ пополам, получим 4 ч. 45 м. Зная из рис. 7, что 10 ноября часы в истинный полдень показывают 11 ч. 43 м., узнаём момент восхода Солнца: 11 ч. 43 м. — 4 ч. 45 м. = 6 ч. 58 м. Заход Солнца в этот день произойдёт в 11 ч. 43 м. + 4 ч. 45 м. = 16 ч. 28 м., т. е. в 4 ч. 28 м. вечера. Таким образом, оба чер-

тежа (рис. 7 и 8) при надлежащем использовании могут заменить соответствующие таблицы астрономического ежегодника.

Вы можете, пользуясь изложенным сейчас приёмом, составить для широты места вашего постоянного жительства на весь год график восхода и захода Солнца, а также продолжительности дня. Образчик такого графика

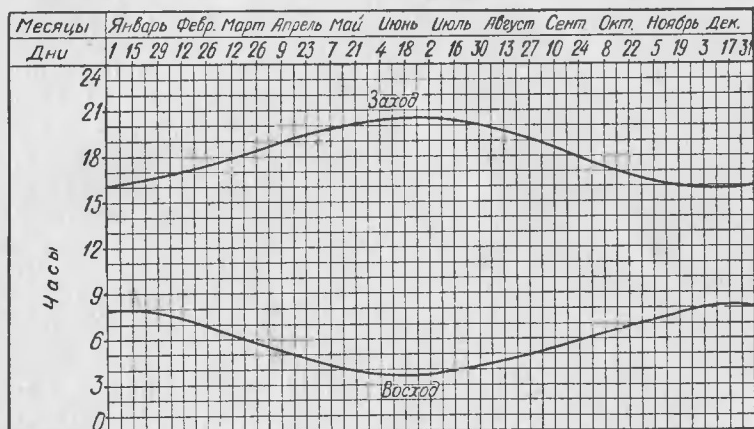


Рис. 9. График восхода и захода Солнца в течение года для 50-й параллели.

для 50-й параллели вы видите на рис. 9 (он составлен по местному, а не по декретному времени). Рассмотрев его внимательно, вы поймёте, как надо чертить подобные графики. А начертив его один раз для той широты, где вы живёте, вы сможете, бросив взгляд на свой чертёж, сразу сказать, в котором примерно часу взойдёт или зайдёт Солнце в тот или иной день года.

Необычайные тени

Воспроизведённый на следующей странице рис. 10 может показаться загадочным: человек при полном свете Солнца почти не отбрасывает тени.

Однако этот рисунок сделан с натуры, но не в наших широтах, а близ экватора, в тот момент, когда Солнце

стояло почти отвесно над головой наблюдателя (как говорят, в «зените»).

В наших широтах Солнце никогда не бывает в зените; видеть такую картину у нас невозможно. Когда полуденное Солнце достигает у нас наибольшей высоты, 22 июня, оно стоит в зените всех мест, расположенных на северной границе жаркого пояса (на тропике Рака — на параллели $23\frac{1}{2}^{\circ}$ северной широты). Спустя полгода, 22 де-

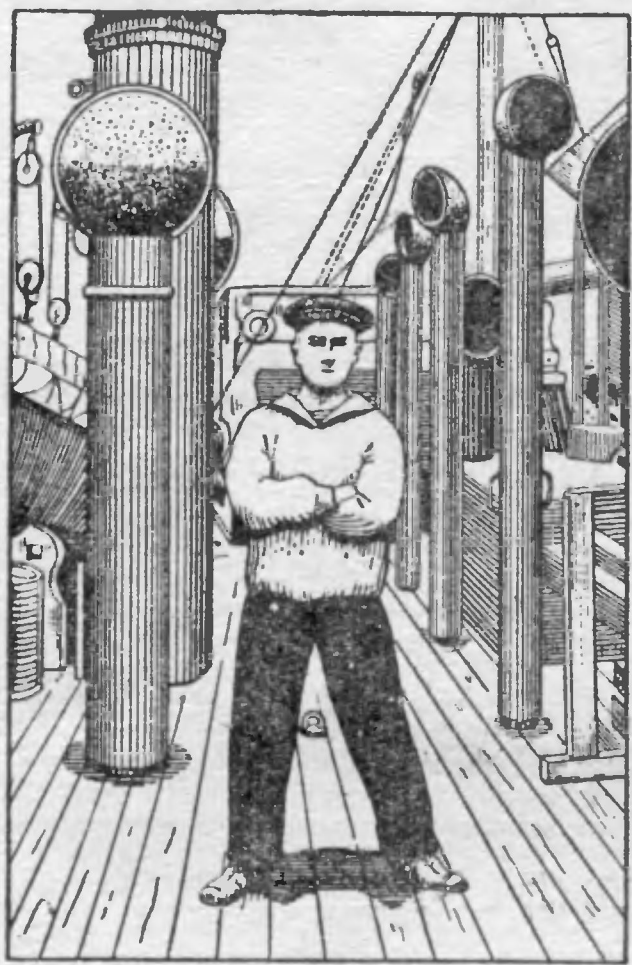


Рис. 10. Человек почти без тени. Рисунок воспроизводит фотографию, снятую вблизи экватора.

кабря, Солнце стоит в зените всех мест, расположенных на $23\frac{1}{2}^{\circ}$ южной широты (на тропике Козерога). Между этими границами, т. е. в жарком поясе, расположены места, где полуденное Солнце дважды в год стоит в зените и освещает местность сверху так, что все предметы лишены теней, лучше сказать — их тени располагаются как раз под ними.

Рис. 11, относящийся к полюсу, напротив, фантастический, но всё же поучительный. Человек не может отбрасывать сразу шесть теней; этим приёмом художник хотел наглядно показать своеобразную особенность полярного Солнца: тени от него в течение целых суток получаются одина-

ковой длины. Причина та, 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° , невозможную на полюсе: Солнце никогда не поднимается там выше $23\frac{1}{2}^{\circ}$. Легко вычислить, — читатель, знакомый с тригонометрией, может меня проверить, — что самая короткая тень на полюсе должна быть не меньше 2,3 высоты отбрасывающего её предмета.



Рис. 11. Тени на полюсе не изменяют своей длины в течение суток.

Задача о двух поездах

Два совершенно одинаковых поезда идут с одинаковой скоростью в противоположные стороны (рис. 12):

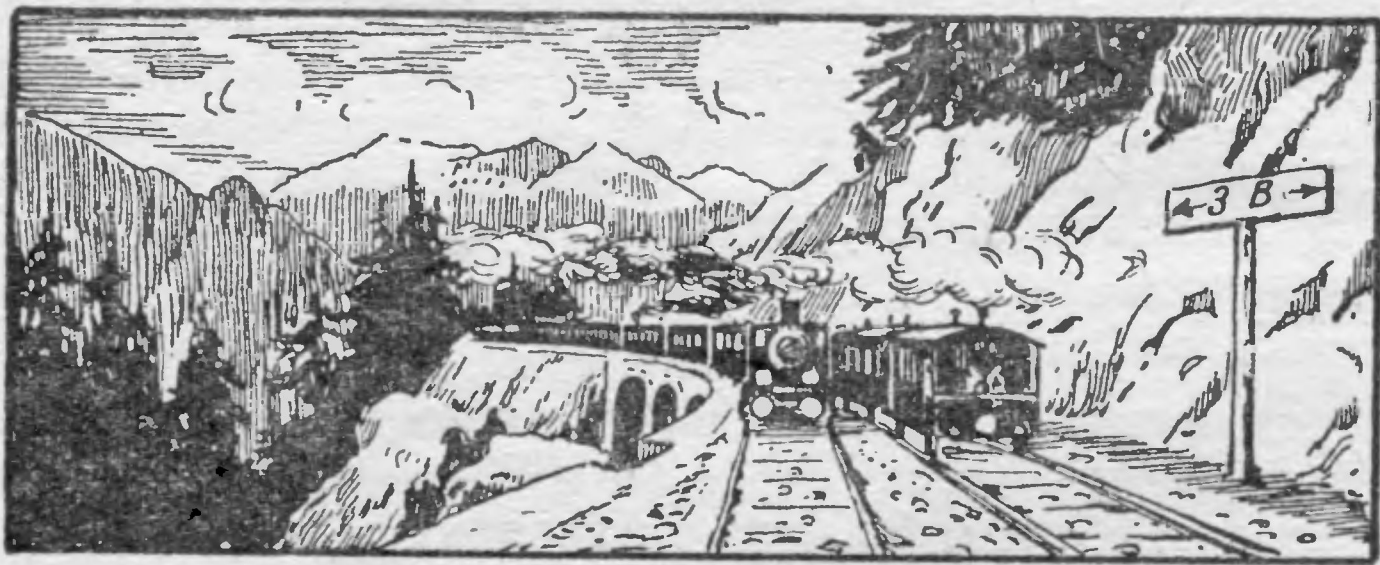


Рис. 12. Задача о двух поездах.

один с востока на запад, другой — с запада на восток. Какой из них тяжелее?

Решение

Тяжелее (т. е. 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.

Как велика разница? Сделаем расчёт для поездов, идущих вдоль 60-й параллели со скоростью 72 км/час, или 20 м/сек. Точки земной поверхности на указанной параллели движутся вокруг оси со скоростью 230 м/сек. Значит, поезд, идущий на восток в направлении вращения Земли, обладает круговой скоростью в $230 + 20$, т. е. 250 м/сек, а идущий на запад против движения Земли — скоростью в 210 м/сек. Центробежное ускорение для первого составляет $\frac{V_1^2}{R} = \frac{25\,000^2}{320\,000\,000}$ см/сек², так как радиус кругового пути на 60-й параллели равен 3200 км.

Для второго поезда оно составляет

$$\frac{V_2^2}{R} = \frac{21\,000^2}{320\,000\,000} \text{ см/сек}^2.$$

Разница в величине центробежного ускорения обоих поездов равна

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{R} = \frac{25\,000^2 - 21\,000^2}{320\,000\,000} \approx 0,6 \text{ см/сек}^2.$$

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

Это составляет от ускорения тяжести $\frac{0,3}{980}$, 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 гружёных товарных вагонов, т. е. весит 3500 т, то разница в весе будет равняться

$$3500 \times 0,0003 = 1,05 \text{ т} = 1050 \text{ кг}.$$

Для крупного парохода водоизмещением в 20 000 т, движущегося со скоростью 35 км/час (20 узлов), разница

составляла бы 3 *т*. Уменьшение веса при движении судна на восток должно отразиться, между прочим, на показаниях ртутного барометра; при отмеченной скорости высота барометра должна быть на $0,00015 \times 760$, т. е. на 0,1 мм меньше на пароходе, идущем в восточном направлении, нежели на идущем к западу. Даже пешеход, шагающий по улице Ленинграда с запада на восток, при скорости ходьбы 5 км в час становится примерно на 1 г легче, чем идя с востока на запад.

Страны горизонта по карманным часам

Способ находить в солнечный день страны 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 тогда направление на юг. Нетрудно понять основание этого способа. Солнце в суточном движении обходит небо в 24 часа, часовая же стрелка обходит циферблат в 12 часов, т. е. описывает в 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 раньше положении циферблата пополам дугу, описанную стрелкой, мы должны найти то место неба, где находилось Солнце в полдень, т. е. направление на юг (рис. 13).

Испытание показывает, однако, что приём этот крайне неточен, греша на десятки градусов. Чтобы понять, почему так происходит, надо разобраться в рекомендуемом способе. Основная причина неточности та, что циферблат располагается параллельно плоскости горизонта, суточный же путь Солнца лежит в горизонтальной плоскости только на полюсе, на всех же других широтах он состав-

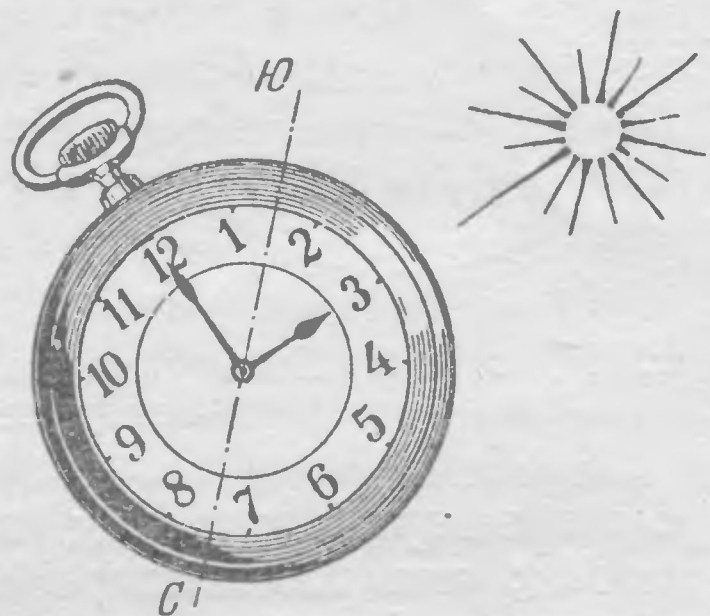


Рис. 13. Простой, но не точный приём определения стран света с помощью карманных часов.

ляет с горизонтом разные углы — вплоть до прямого (на экваторе). Поэтому ориентироваться по карманным часам можно безошибочно только на полюсе, во всех же прочих местах неизбежна большая или меньшая погрешность.

Обратимся к чертежу (рис. 14, а). Пусть наблюдатель расположен в точке M ; точка N — полюс мира; круг $HASNRBQ$ — небесный меридиан — проходит через зенит наблюдателя и через полюс. На какой широте находится наблюдатель, легко определить; для этого достаточно

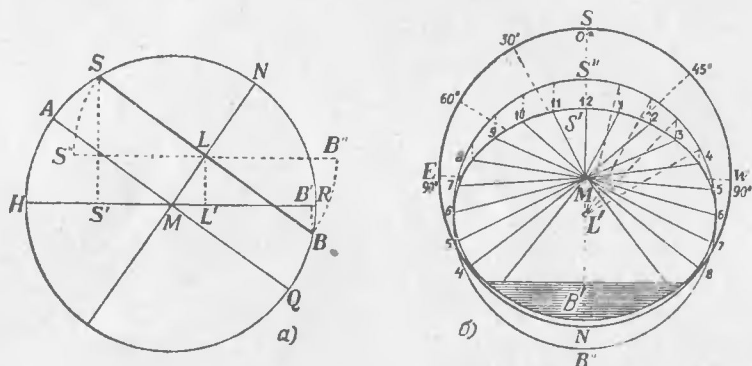


Рис. 14, а и б. Почему карманные часы в роли компаса дают неверные показания.

измерить транспортиром высоту полюса над горизонтом NR ; она равна широте места ¹⁾. Глядя из M в направлении H , наблюдатель имеет перед собою точку юга. Суточный путь Солнца на этом чертеже изобразится прямой линией, которая частью лежит над линией горизонта (дневной путь), частью же под нею (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 часть его лежит выше горизонта, и только незначительная часть (вспомним короткие летние ночи) находится под горизонтом. По этим кругам Солнце ежедневно проходит 24-ю долю их полной длины, т. е. $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$. И всё же

¹⁾ Почему это так, объяснено в моей книге «Занимательная геометрия», в главе «Геометрия Робинзонов».

через три часа после полудня Солнце не оказывается в юго-западной точке горизонта, как можно ожидать ($15^\circ \times 3 = 45^\circ$); причина расхождения та, что проекции равных дуг солнечного пути на плоскость горизонта не равны между собой.

Это станет нагляднее, если мы разберёмся в рис. 14, б. На нём *SWNE* изображает круг горизонта, видимый с зенита; прямая *SN* — небесный меридиан. Наблюдатель помещается в точке *M*; центр круга, описываемого на небе Солнцем за сутки, проектируется на плоскость горизонта в точке *L'* (см. рис. 14, а); сам круг солнечного пути проектируется на плоскость горизонта эллипсом *S'B'*.

Построим теперь проекции точек деления круга солнечного пути *SB* на плоскости горизонта. Для этого повернём круг *SB* параллельно плоскости горизонта (положение *S''B''*, рис. 14, а) разделим его на 24 равные части и спроектируем на плоскость горизонта. Для построения точек деления эллипса *S'B'* — проекции круга солнечного пути на плоскость горизонта — из точек деления круга *S''B''* проведём отрезки, параллельные *SN*. Ясно, что мы получим при этом неравные дуги; они будут казаться наблюдателю ещё более неравными, потому что он рассматривает их не из центра *L'* эллипса, а из точки *M* в стороне от него.

Проследим теперь, как велика может быть погрешность определения по циферблату стран горизонта в летний день для взятой нами широты (53°). Солнце восходит тогда между 3 и 4 часами утра (граница заштрихованного сегмента, означающего ночь). В точку *E* востока (90°) Солнце приходит не в 6 часов, как должно быть по циферблату, а в половине 8-го. В 60° от точки юга оно будет не в 8 час. утра, а в $9\frac{1}{2}$ час.; в 30° от точки юга — не в 10 час., а в 11 час. В точку юго-запада (45° по другую сторону от *S*) Солнце является не в 3 час. дня, а в 1 ч. 40 м.; на западе оно бывает не в 6 час. вечера, а в $4\frac{1}{2}$ часа 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 ещё возрасти,

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

Белые ночи и чёрные дни

С середины апреля Ленинград вступает в 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 Ленинградом, что многие готовы считать их достопримечательностью исключительно нашей бывшей столицы. В действительности, белые ночи как явление астрономическое характерны для всех мест, лежащих выше определённой широты.

Если отвлечься от поэзии и обратиться к астрономической прозе этого явления, то белая ночь — не что иное, как слияние вечерних и утренних сумерек. Александр Сергеевич 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...». В тех широтах, где Солнце в своём суточном движении по небесному своду опускается ниже горизонта не глубже $17\frac{1}{2}^\circ$, — там вечерняя заря не успевает ещё померкнуть, как уже загораются лучи утренней, не давая ночи и получаса.

Разумеется, ни Ленинград, ни какой-либо другой пункт не имеют привилегии быть единственным местом, где наблюдается это явление. Граница зоны белых ночей вычисляется астрономически. И оказывается, что слияние зорь наблюдается гораздо южнее широты Ленинграда.

Москвичи тоже могут любоваться белыми ночами приблизительно со средних чисел мая по конец июля. Здесь они не так светлы, как в Ленинграде в те же дни, но ленинградские майские белые ночи, могут быть наблюдаемы в Москве в течение всего июня и начала июля.

Южная граница зоны белых ночей проходит в СССР на широте Полтавы, на 49° с. ш. ($66\frac{1}{2}^\circ - 17\frac{1}{2}^\circ$). Здесь бывает одна белая ночь в году — именно 22 июня. К северу, начиная с этой широты, белые ночи становятся всё светлее, а период их — длиннее. Есть белые ночи и в Куйбышеве, и в Казани, и в Пскове, и в Кирове, и в Енисейске,

но так как пункты эти южнее Ленинграда, то белые ночи охватывают там меньший период (по обе стороны от 22 июня) и не достигают такой яркости. Зато в Пудожье они ещё светлее, чем в Ленинграде, а особенно светлы в Архангельске, расположенном уже недалеко от зоны незаходящего Солнца. Белые ночи Стокгольма ничем не отличаются от ленинградских.

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 впервые можно наблюдать на $65^{\circ}42'$ широты: здесь начинается царство полуночного Солнца. Ещё севернее — с $67^{\circ}24'$ — можно наблюдать также и непрерывную ночь, слияние утренней зари с вечерней через полдень, а не через полночь. Это — «чёрный день», противоположность белой ночи, хотя степень их освещения одинакова. Страна черных дней — та же страна полуночного Солнца, только в другое время года. Где можно видеть незаходящее Солнце в июне¹⁾, 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 упрощённо охватывает картину этого чередования. 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 5 поясов, каждый из которых имеет свой порядок чередования света и тьмы.

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

Второй пояс — между 49 и $65\frac{1}{2}^{\circ}$, включающий все места нашего Союза севернее Полтавы, — имеет около времени летнего солнцестояния период непрерывных сумерек; это — пояс белых ночей.

¹⁾ В бухте Амбарчик Солнце не погружается под горизонт с 19 мая по 26 июля, а близ бухты Тикси — с 12 мая по 1 августа.

В третьем узком поясе между $65\frac{1}{2}$ и $67\frac{1}{2}^\circ$ Солнце около 22 июня в течение ряда суток вовсе не заходит: это — пояс полуденного Солнца.

Для четвертого пояса, между $67\frac{1}{2}$ и $83\frac{1}{2}^\circ$, характерна, кроме непрерывного дня в июне, ещё многосуточная ночь в декабре: Солнце в течение ряда суток вовсе не восходит, утренние и вечерние сумерки поглощают день. Это — пояс чёрных дней.

Самый сложный случай чередования света и темноты мы имеем в пятом поясе, севернее $83\frac{1}{2}^\circ$. Та брешь, которую пробивают в однообразной смене дней и ночей ленинградские белые ночи, достигает здесь полного разрыва с привычным порядком. Всё полугодие от летнего до зимнего солнцестояния, т. е. от 22 июня до 22 декабря, разделяется на 5 периодов, на 5 времён года, если хотите. 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 ленинградские ночи); в течение третьего периода стоят непрерывные сумерки, — полных дней и ночей вовсе 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, конечно, такие же явления.

Если мы ничего не слышим о белых ночах «далёкого юга», то лишь по той причине, что там — область океана.

Параллель, отвечающая в южном полушарии широте Ленинграда, не пересекает ни одного клочка твёрдой земли, — вся лежит в океане; любоваться «белыми ночами юга» могут только южнополярные мореплаватели.

Загадка полярного Солнца

Задача

Полярные путешественники отмечают любопытную особенность лучей летнего Солнца в высоких широтах. Лучи его слабо греют там землю, зато оказывают неожиданное сильное действие на все предметы, возвышающиеся отвесно.

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?

Р е ш е н и е

Мы имеем здесь неожиданное следствие 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, иначе говоря, встречать вертикальные поверхности довольно круто.

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

Бушует ли 21 марта снежная метель, стоит ли крепкий мороз, или, наоборот, установилась мягкая оттепель, — день этот в северном полушарии считается концом зимы и началом весны — весны астрономической. Многим представляется совершенно непонятным, почему именно указанная сейчас дата, 21 марта (в иные годы — 22), избрана служить границей между зимой и весной, хотя в эту пору может ещё в полной силе господствовать суровый мороз или же, напротив, давно уже стоит тёплая погода.

Дело в том, что начало астрономической весны определяется вовсе не изменчивыми и ненадёжными признаками погоды. Уже одно то, что момент наступления весны устанавливается один для всех мест данного полушария Земли, должно навести на мысль, что особенности погоды не имеют здесь существенного значения. Не может же

на целой половине земного шара стоять всюду одинаковая погода!

И действительно, при установлении сроков наступления сезонов года астрономы руководствуются явлениями не метеорологическими, а астрономическими: высотой полуденного Солнца и вытекающей отсюда продолжительностью дня. Та или иная погода является уже обстоятельством сопутствующим.

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 следует тогда по линии земного меридиана, пересекая экватор и все параллельные круги под прямым углом. Поворачивайте глобус в таком положении вокруг оси, освещая его лампой: каждая точка поверхности глобуса опишет при этом круг, ровно половина которого погружена в тень и ровно половина находится на свету. Это означает, что в указанный момент года продолжительность дня равняется продолжительности ночи. Равенство дня и ночи наблюдается в эту пору на всём земном шаре от северного до южного полюса. А так как день длится тогда 12 часов — половину суток, то Солнце восходит всюду в 6 часов и закатывается в 18 часов (конечно, по местному времени).

Итак, вот чем выделяется дата 21 марта: день и ночь равны тогда между собой на всей поверхности нашей планеты. Астрономическое наименование этого замечательного момента — «весеннее равноденствие», — весеннее потому, что равноденствие это 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, тогда 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 сравнительная долгота дня и ночи. Начиная с осеннего равноденствия, т. е. с 23 сентября, светлая часть суток в северном полушарии становится короче темной. Так про-

должается целое полугодие, в течение которого дни сначала укорачиваются — до 22 декабря, а затем удлиняются, пока 21 марта день не сравняется с ночью. С этого момента в течение всего остального полугодия день в северном полушарии длиннее ночи. Дни удлиняются до 21 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 времён 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) взойдёт в Ташкенте Солнце 21 марта нынешнего года? В котором часу взойдёт оно в тот же день в Токио? В Буэнос-Айресе?

3. В котором часу (по местному времени) закатится Солнце в Новосибирске 23 сентября нынешнего года? 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, потому что граница освещения делит экватор на две равные половины при всяком положении земного шара. 2 и 3) В дни равноденствий Солнце всюду на Земле восходит в 6 часов и заходит в 18 часов по местному времени. 4) На экваторе Солнце в течение всего года восходит ежедневно в 6 часов по местному времени. 5) В средних широтах южного полушария июльский мороз и январский 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 семиричной или двенадцатиричной 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.

Начнём с затверженного в школе положения, что земная ось составляет с плоскостью орбиты Земли угол в $66\frac{1}{2}^\circ$ (около $\frac{3}{4}$ прямого угла). Вы хорошо поймёте значение этого факта лишь тогда, когда вообразите, что угол наклона иной, — составляет не $\frac{3}{4}$ прямого угла, а, например, целый прямой. Иначе говоря, представьте себе, что ось вращения Земли перпендикулярна к плоскости орбиты, как мечтали сделать члены Пушечного клуба в фантастическом романе Жюль Верна «Вверх дном». Какие изменения вызвало бы это в привычном обиходе природы?

Если бы земная ось была перпендикулярна к плоскости орбиты

Итак, вообразим, что предприятие жюльверновских артиллеристов «выпрямить земную ось» осуществилось, и она стала под прямым углом к плоскости орбиты нашей планеты вокруг Солнца. Какие перемены заметили бы мы в природе?

Прежде всего нынешняя Полярная звезда — альфа Малой Медведицы — перестала бы быть полярной. Продолжение земной оси не будет уже проходить близ неё, и звёздный купол станет вращаться вокруг другой точки неба.

Совершенно изменилась бы, далее, смена времён года; изменилась бы в том смысле, что смены этой больше не было бы вовсе.

Чем обусловлена смена времён года? Почему летом теплее, чем зимой? Не станем уклоняться от ответа на этот банальный вопрос. В школе разъясняют его далеко недостаточно, а позднее у большинства людей не бывает досуга им заняться.

Летом в северном полушарии становится тепло потому, во-первых, что из-за наклонного положения земной оси, северный конец которой теперь обращён больше к Солнцу, дни делаются длинными, ночи — короткими. Солнце дольше греет почву, а по ночам земля не успевает заметно остыть; приход тепла возрастает, расход уменьшается. Вторая причина та, что вследствие опять-таки наклона земной оси в сторону Солнца дневное светило ходит по небу высоко, и лучи его встречают почву под бóльшим углом. Значит, летом Солнце греет не только долго, но и сильно, ночное же остывание непродолжительно. Зимой — 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, — создаётся климатическая обстановка, средняя между зимой и летом.

Будут ли эти перемены происходить, если земная ось станет перпендикулярно 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 бывают только в 20-х числах марта и сентября. (В таком примерно положении находится планета Юпитер; ось её вращения почти перпендикулярна к плоскости движения её вокруг Солнца.)

Так происходило бы в нынешнем умеренном поясе. В жарком поясе климатические изменения были бы не столь заметны; на полюсах, напротив, они были бы всего значительнее. Здесь вследствие атмосферной рефракции, слегка поднимающей светило над горизонтом (рис. 15),

Солнце никогда не заходило бы, а круглый год скользило бы у горизонта. Стоял бы вечный день, вернее — вечное раннее утро. Хотя теплота, приносимая лучами столь низкого Солнца, незначительна, но так как нагрет-

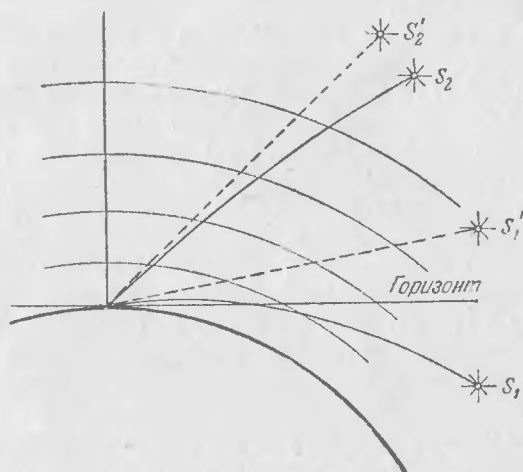


Рис. 15. Атмосферная рефракция. Луч, исходящий от светила S_2 , проходя земную атмосферу, преломляется в каждом её слое и искривляется, вследствие чего наблюдателю луч кажется вышедшим из точки S'_2 , лежащей выше. Светило S_1 уже зашло за горизонт, но благодаря рефракции наблюдатель видит его.

вание длилось бы непрерывно круглый год, то суровый полярный климат был бы заметно смягчён. Вот единственная выгода от перемены угла наклона оси, выгода, не вознаграждаемая ущербом, который понесут самые культурные области земного шара.

Если бы земная ось была наклонена к плоскости орбиты на 45°

Сделаем теперь мысленно другую переменую: придадим земной оси наклон в половину прямого угла. В пору равноденствий (около 21 марта и около 23 сентября) смена дней и ночей на Земле будет такая же, как и теперь. Но в июне Солнце окажется в зените для 45-й параллели (а не для $23\frac{1}{2}^\circ$): эта широта играла бы роль

тропиков. На широте Ленинграда (60°) Солнце не доходило бы до зенита только на 15° ; высота Солнца поистине тропическая! Жаркий пояс непосредственно примыкал бы к холодному, а умеренного не существовало бы вовсе. В Москве, в Харькове весь июнь царил бы непрерывный, беззакатный день. Зимой, напротив, целые декады длилась бы сплошная полярная ночь в Москве, Киеве, Харькове, Полтаве. 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 выгадала бы: здесь после очень суровой (суровее, чем ныне) зимы наступал бы умеренно-тёплый летний период, когда даже на самом полюсе Солнце стояло бы в полдень на высоте 45° и светило бы дольше полугода. Вечные льды Арктики заметно уступили бы дружному действию солнечных лучей.

Если бы земная ось лежала в плоскости орбиты

Третий мысленный опыт наш состоит в том, что мы кладем ось Земли в плоскость её орбиты (рис. 16). Земля будет обходить Солнце «лёжа», вращаясь вокруг оси примерно так, как вращается далёкий член нашей планетной семьи — Уран. Что произойдёт?

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

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

Для Ленинграда, например, многосуточный день наступил бы через 30 дней после 21 марта и длился бы 120 суток. За тридцать суток до 23 сентября снова явятся

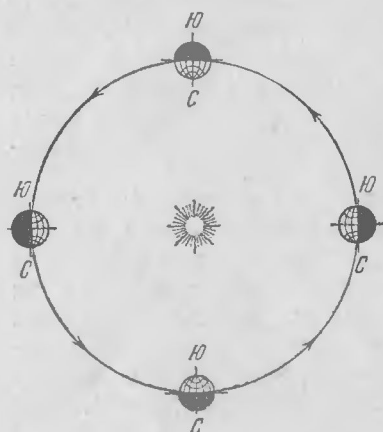


Рис. 16. Как двигался бы земной шар вокруг Солнца, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости её орбиты.

ночи. Зимой будет происходить обратное: взамен непрерывного многосуточного дня столько же времени будет 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 её движения вокруг Солнца равно всего 8° . Уран, можно сказать, обращается вокруг Солнца в «лежащем» положении.

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

Ещё одно «если бы»

Обратимся теперь к другой стороне движения нашей планеты — к форме её 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 отличается он от круга?

В учебниках и книгах по начальной астрономии нередко изображают земную орбиту в перспективе, в форме довольно сильно растянутого эллипса. Такой зрительный образ, неправильно понятый, запечатлевается у многих на всю жизнь: они остаются в убеждении, что орбита Земли — заметно растянутый эллипс. Это вовсе не так:

земная орбита отличается от круга настолько мало, что её нельзя даже изобразить на бумаге иначе, как в форме круга. При поперечнике орбиты на чертеже в целый метр отступление фигуры от круга было бы меньше толщины той линии, которой она изображена. Такого эллипса не отличил бы от круга даже изощрённый глаз художника.

Познакомимся немного с геометрией эллипса. В эллипсе (рис. 17) AB —его «большая ось», CD —«малая ось». В каждом эллипсе, кроме «центра» O , есть ещё две замечательные точки — «фокусы», лежащие на большой

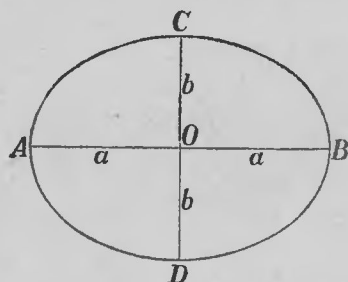


Рис. 17. Эллипс и его оси — большая (AB) и малая (CD). Точка O — центр эллипса.

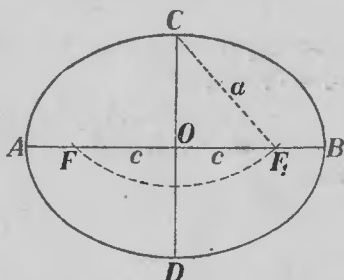


Рис. 18. Как разыскивать фокусы (F и F_1) эллипса; a — большая полуось.

оси симметрично по обеим сторонам центра. Разыскивают фокусы так (рис. 18): раздвигают ножки циркуля на расстояние большой полуоси OB и, установив 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 обыкновенно буквой c , а оси, большая и малая, через $2a$ и $2b$. Расстояние c , отнесённое к длине a большой полуоси, т. е. дробь c/a , служит мерой растянутости эллипса и называется «эксцентриситетом». Чем больше эллипс отличается от круга, тем эксцентриситет его больше.

Мы будем иметь точное представление о форме земной орбиты, если узнаем величину её эксцентриситета. Это можно определить и не измеряя величины 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 (рис. 18). Земля бывает в точке A орбиты около 1 июля, и тогда мы видим наименьший диск Солнца; его величина в угловой мере — $31'28''$. В точке B Земля бывает 1 января, и тогда диск Солнца кажется нам под наибольшим углом — $32'32''$. Составим пропорцию:

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

из которой можно образовать так называемую производную пропорцию

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

или

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

Значит,

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60} = 0,017,$$

т. е. эксцентриситет земной орбиты равен 0,017. Достаточно, как видите, тщательно измерить видимый диск Солнца, чтобы определить форму земной орбиты.

Покажем теперь, что орбита Земли весьма мало отличается от круга. Вообразим, что мы начертили её на огромном чертеже, так что большая полуось орбиты равна 1 м. Какой длины окажется другая — малая ось эллипса? Из прямоугольного треугольника OCF_1 (рис. 18) имеем

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

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

Имеем

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

и, значит,

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

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? Расчёт несложен:

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

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 тот, 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 чём могло бы обнаружиться подобное влияние, произведём 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. (Но астероиды и кометы движутся и по более вытянутым эллипсам.)

Если бы путь Земли был вытянут сильнее

Вообразим же, что орбита Земли заметно вытянута и фокус делит большую её полуось пополам. На рис. 19 изображена эта новая орбита. Земля попрежнему бывает 1 января в точке А, ближайшей к Солнцу, а 1 июля

в точке B , наиболее удалённой. 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 9 раз больше, чем в июле (обратно пропорционально квадрату расстояния). 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

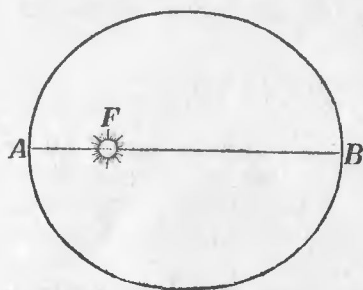


Рис. 19. Какой формы была бы орбита Земли, если бы эксцентриситет земной орбиты был равен 0,5. В фокусе F — Солнце.

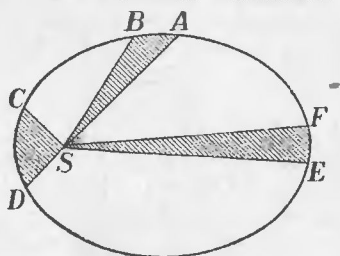


Рис. 20. К иллюстрации второго закона Кеплера: если дуги AB , CD и EF пройдены планетой в одинаковые промежутки времени, то заштрихованные площади равны.

Солнца с избытком покрыла бы невыгодные условия освещения.

Сюда присоединится ещё обстоятельство, вытекающее из второго закона Кеплера, который гласит, что площади, описываемые радиусом-вектором в равные промежутки времени, равны.

«Радиусом-вектором» орбиты называется прямая линия, соединяющая Солнце с планетой, в нашем случае — с Землёй. 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, удалённых от Солнца; иначе площадь, описанная коротким радиусом-вектором, не могла бы равняться площади, образованной более длинным радиусом-вектором (рис. 20).

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 скупое изливаемую Солнцем теплоту.

На рис. 21 даётся более точное представление о продолжительности времён года при наших воображаемых

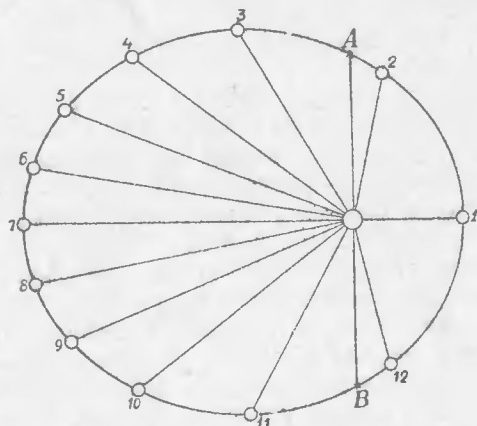


Рис. 21. Как двигалась бы вокруг Солнца Земля по сильно вытянутому эллипсу. Расстояния между соседними точками, отмеченными цифрами, приходились бы в равные промежутки времени — за один месяц.

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 нём радиусами-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 — охватывала бы более $9\frac{1}{2}$ месяцев.

В южном полушарии Земли происходило бы как раз 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 её. Лето, напротив, было бы невыносимо знойное, хотя и короткое.

Отметим ещё одно следствие нашего «если бы». В январе быстрое движение Земли по орбите создало бы значительные расхождения между моментами среднего и истинного полудня, — расхождение, достигающее целых часов. Жить по среднему солнечному времени, как мы живём, было бы тогда неудобно.

Мы знаем теперь, в чём может сказаться для нас эксцентрическое положение Солнца в земной орбите: в том прежде всего, 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 $2 \times \frac{1}{60}$, т. е. на $\frac{1}{30}$; количество получаемого от него тепла возрастает поэтому в $\left(\frac{61}{59}\right)^2$ раз, т. е. на 7%. Это несколько смягчает суровость северных зим. С другой стороны, северные осень и зима вместе примерно на 8 суток короче южных; лето северного полушария вместе с весной на столько же длиннее, чем в южном. Бóльшее обледенение южного полюса объясняется, вероятно, этим обстоятельством. Вот точная продолжительность времён года в северном и в южном полушариях:

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

Вы видите, что северное лето длиннее зимы на 4,6 суток, а северная весна длиннее осени на 3,0 суток.

Такое преимущество северного полушария не будет сохраняться вечно. Большая ось земной орбиты медленно перемещается в пространстве: она переносит наиболее удалённые от Солнца и ближайшие к нему точки земного пути в другие места. Полный цикл этих движений завершается в 21 тысячу лет. Вычислено, что около 10700 г. нашей эры указанное сейчас преимущество северного полушария Земли перейдёт к южному.

Самый эксцентриситет земной орбиты не остаётся 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 её эксцентриситет находится в периоде убывания; он будет уменьшаться ещё 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 (рис. 22). Земля бывает поэтому то ближе к Солнцу, то дальше от него. В течение полугодия (с 1 января по 1 июля) Земля удаляется от Солнца, в течение другого полугодия — приближается к нему. Разница между наибольшим и наименьшим расстоянием достигает $2 \times \frac{1}{60} \times 150\,000\,000$, т. е. 5 000 000 км.

Это изменение расстояния составляет в среднем около 30 000 км в сутки. Поэтому за время от полудня до заката Солнца (четверть суток) расстояние точек земной

поверхности от дневного светила успевает измениться в среднем на 7500 км, т. е. больше, чем от вращения Земли вокруг оси.

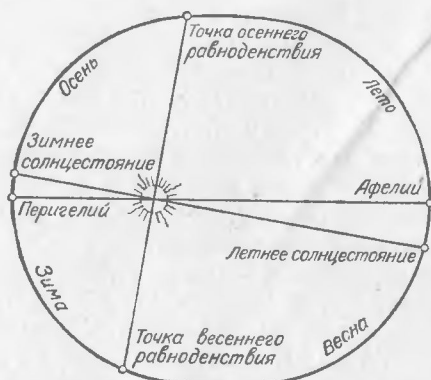


Рис. 22. Схематическое изображение пути Земли вокруг Солнца.

Значит, на вопрос, поставленный в заголовке, приходится ответить так: в период с января до июля мы бываем в полдень ближе к Солнцу, чем вечером, а с июля до января — наоборот.

На один метр дальше

Задача

Земля обращается вокруг Солнца на расстоянии 150 000 000 км. Вообразите, что расстояние это увеличилось на 1 м. Насколько удлинился бы при этом путь Земли вокруг Солнца и насколько возросла бы от этого продолжительность года (принимая, что скорость движения Земли по орбите не изменилась) (см. рис. 23)?

Решение

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 весьма мала. Разность длин 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 расчёт. Если радиус земной орбиты (принимаемой за



Рис. 23. Насколько удлинилась бы земная орбита, если бы наша планета удалилась от Солнца ещё на 1 м? (Решение задачи в тексте.)

круг) равен R м, то длина её 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 , т. е. 6,28 м, и не зависит от величины радиуса.

Итак, путь Земли около Солнца при увеличении расстояния на 1 м удлинился бы всего на $6\frac{1}{4}$ 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 её падающей по отвесной линии, и вам странно думать, что кому-нибудь другому путь её падения может представиться не прямой линией. А между тем именно так и произойдёт для каждого наблюдателя, не участвующего вместе с нами в движении земного шара.



Рис. 24. Для земного наблюдателя путь свободно падающего тела — прямая линия.

Попробуем мысленно взглянуть на падение тела глазами такого наблюдателя. На рис. 24 изображён тяжёлый шар, свободно падающий с высоты 500 м. Падая, он, конечно, 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 мы 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 её движении вокруг Солнца, но не разделяет вращательного её движения вокруг оси. Поэтому, наблюдая с Луны за падением, мы увидели бы тело, совершающее два движения: одно — отвесно вниз и второе движение, 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 рис. 25 изображена эта кривая: по такому пути двигалось бы падающее на Земле тело для достаточно зоркого наблюдателя, помещающегося на Луне.

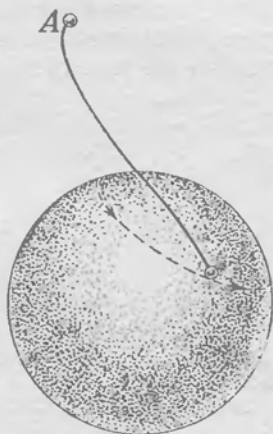


Рис. 25. Тот же путь представляется лунному наблюдателю искривлённым.

Сделаем ещё шаг: перенесёмся мысленно на Солнце, захватив с собой сверхмощный телескоп, чтобы следить за падением на Землю тяжёлого шара. Находясь на Солнце, мы не участвуем уже не только во вращении Земли вокруг оси, но и в её обращении по орбите. Следовательно, с Солнца мы можем заметить три движения, совершаемые падающим телом одновременно (рис. 26):

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

Первое перемещение равно 0,5 км. Второе — за 10 секунд времени падения тела — равно на широте Москвы $0,3 \times 10 = 3$ км. Третье движение — самое быстрое — 30 км в одну секунду. За 10 сек., 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 рис. 27. Земля переместится налево, а падаю-

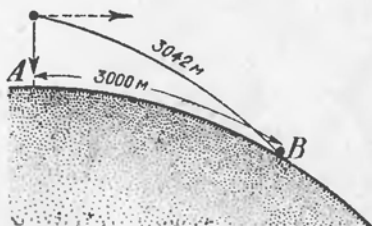


Рис. 26. Тело, свободно падающее на Землю, движется одновременно в направлении касательной к тому круговому пути, который описывают точки земной поверхности вследствие вращения Земли.

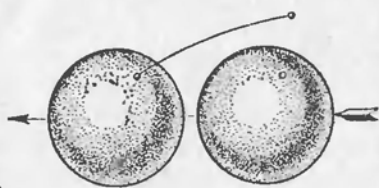


Рис. 27. Что видел бы наблюдатель, следящий с Солнца за отвесным падением тела на Землю, как показано на рис. 24 (масштаб не соблюден).

щее тело — из точки на Земле в правом положении в соответствующую точку (только чуть пониже) на Земле в левом положении. На рисунке, мы сказали, масштаб не соблюден: центр Земли за 10 сек. передвинется не на 10 000 км, как изобразил для наглядности художник, а только на 300 км.

Остаётся сделать ещё шаг: перенестись на какую-нибудь звезду, т. е. на отдалённое солнце, освободив себя от участия в движении нашего собственного Солнца. Оттуда мы заметим, что, помимо трёх рассмотренных ранее движений, падающее тело совершает ещё и четвёртое — по отношению к этой звезде. Величина и направление четвёртого движения зависят от того, на какую именно звезду мы перенесли, т. е. какое движение совершает вся солнечная система по отношению к этой звезде. На рис. 28 изображён один из возможных случаев, когда

солнечная система движется по отношению к выбранной звезде под острым углом к плоскости земной орбиты со скоростью 100 км в секунду (скорости такого порядка у звёзд наблюдаются и в действительности). Движение это за 10 сек. перенесёт падающее тело на 1000 км по своему направлению и, конечно, ещё более усложнит его путь. При наблюдении с другой звезды путь этот имел бы иную величину и иное направление.

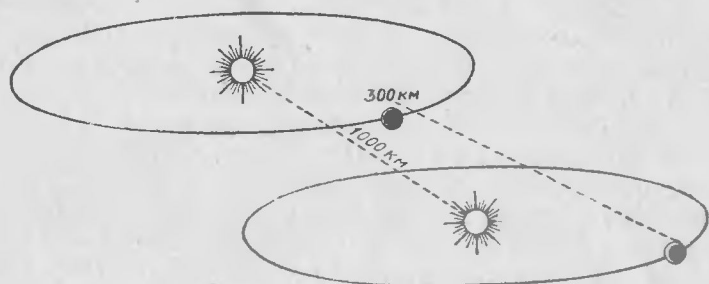


Рис. 28. Как представлялось бы падение тела на Землю наблюдателю, следящему за ним с отдалённой звезды.

Можно было бы идти и ещё 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 звёздную 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, — ответит большинство людей. 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 поверты-

вается 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 своём движении отступают от теоретически предуказанного, 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, т. е. для движения нашей собственной планеты по её орбите. Луна, например, уклоняется от теоретического пути на величину, достигающую в некоторые эпохи до $\frac{1}{4}$ 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-таки все разом стали замедляться. Естественно возникает мысль об общей причине, вызывающей такие отклонения.

Не кроется ли общая причина в «неверности» наших природных часов, в неудачном выборе вращения Земли как образца равномерного движения?

Был поставлен вопрос о замене земных часов. «Земные часы» 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 вновь начать замедляться.

В 1897 г. сутки были на 0,0035 сек. длиннее, чем в предшествовавшие годы, а в 1918 г. — на столько же короче, чем в промежутке 1897—1918 гг. Нынешние сутки примерно на 0,002 сек. длиннее, чем 100 лет назад.

В этом смысле мы можем сказать, что наша планета вращается неравномерно по отношению к некоторым другим её движениям, а также к движениям, совершаю-

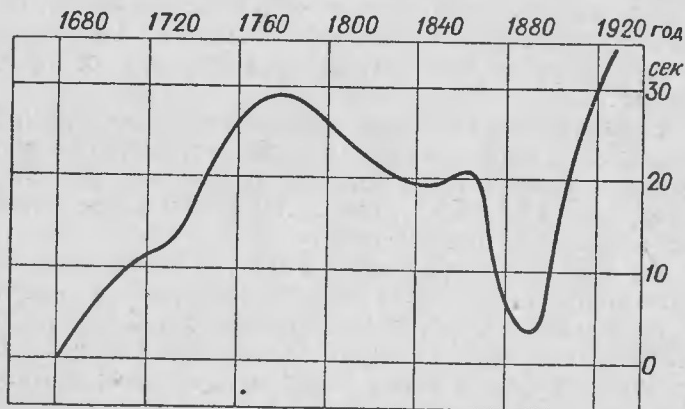


Рис. 29. Эта кривая показывает, как с 1680 по 1920 г. уклонялось вращение Земли от равномерного вращения. Если бы Земля вращалась равномерно, то на графике это изобразилось бы горизонтальной прямой. Подъемы кривой соответствуют удлинению суток, т. е. замедлению вращения Земли; понижения — ускорению вращения.

щимся 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 удлинялись, и планета наша накопила около 30 сек. разницы между «своим» и «чужим» временем; затем до середины XIX в. сутки укорачивались, и около 10 сек. разницы сбавилось; к началу нынешнего века сбавилось ещё 20 сек.; в первую же четверть XX в. движение Земли снова замедлялось, сутки опять стали удлиняться, и накопилась вновь разница почти в полминуты (рис. 29).

Предполагаемые причины этих изменений могут быть различны: лунные приливы, изменение диаметра земного шара ¹⁾ и т. п. Здесь возможны важные открытия в будущем, когда явление это получит всестороннее освещение.

Где начинаются месяцы и годы?

В Москве пробило двенадцать, — наступило 1 января. На запад от Москвы простирается ещё 31 декабря, а на восток — 1 января. Но на шарообразной Земле восток и запад неизбежно должны встретиться; значит, должна где-то существовать и 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°. Её точное положение определяется международным соглашением.

На этой-то воображаемой линии, пересекающей безлюдные просторы Тихого океана, совершается впервые на земном шаре смена чисел, месяцев, лет. Здесь как бы помещаются входные двери нашего календаря; отсюда приходят на Землю новые числа месяца, здесь же находится и колыбель нового года. Раньше, чем где бы то ни было, наступает здесь каждый новый день месяца; родившись, он бежит на запад, обегает земной шар и снова возвращается к месту рождения, чтобы исчезнуть.

СССР раньше всех стран мира принимает на свою территорию новый день месяца: на мысе Дежнева каждое число месяца, только что родившееся в водах Берингова пролива, вступает в населённый мир, чтобы начать своё шествие через все части света. И здесь же, у восточной оконечности советской Азии, дни кончаются, исполнив свою 24-часовую службу.

Итак, смена дней происходит на линии перемены даты. Первые кругосветные путешественники, не установившие этой линии, сбились в счёте дней. Вот подлин-

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.

ный рассказ Антония Пигафеты, спутника Магеллана в его кругосветном путешествии:

«19 июля, в среду мы увидели острова Зелёного мыса и стали на якорь... Чтобы узнать, правильно ли вели мы наши корабельные журналы, мы 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 часа по сравнению с оставшимися на месте. Нужно только подумывать над этим, чтобы согласиться».

Как же поступают теперь мореплаватели, когда пересекают линию даты? Чтобы не сбиваться в счёте 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, т. е. после 1-го числа опять считают 1-е. Вот почему невозможна в действительности история, рассказанная Жюлем Верном в романе «Вокруг света в 80 дней», где путешественник, объехавший вокруг света, «привёз» на родину воскресенье, когда там был ещё только предшествующий день — суббота. Это могло произойти лишь в эпоху Магеллана, потому что тогда не было ещё соглашения о «линии даты». Невозможны в наши дни и приключения вроде того, о котором рассказал Эдгар 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 календарём, следует, двигаясь на восток, как бы приостанавливаться немного в счёте дней, давая Солнцу себя догнать, т. е. считать один и те же сутки дважды; при движении же на запад надо, напротив, пропускать одни сутки, чтобы не отстать от Солнца.

Всё это как будто не особенно хитрые вещи, однако даже в наше время, спустя четыре столетия после Магеллана, далеко не все умеют в них сознательно разобраться.

Сколько пятниц в феврале?

Задача

Какое наибольшее и какое наименьшее число пятниц возможно в феврале?

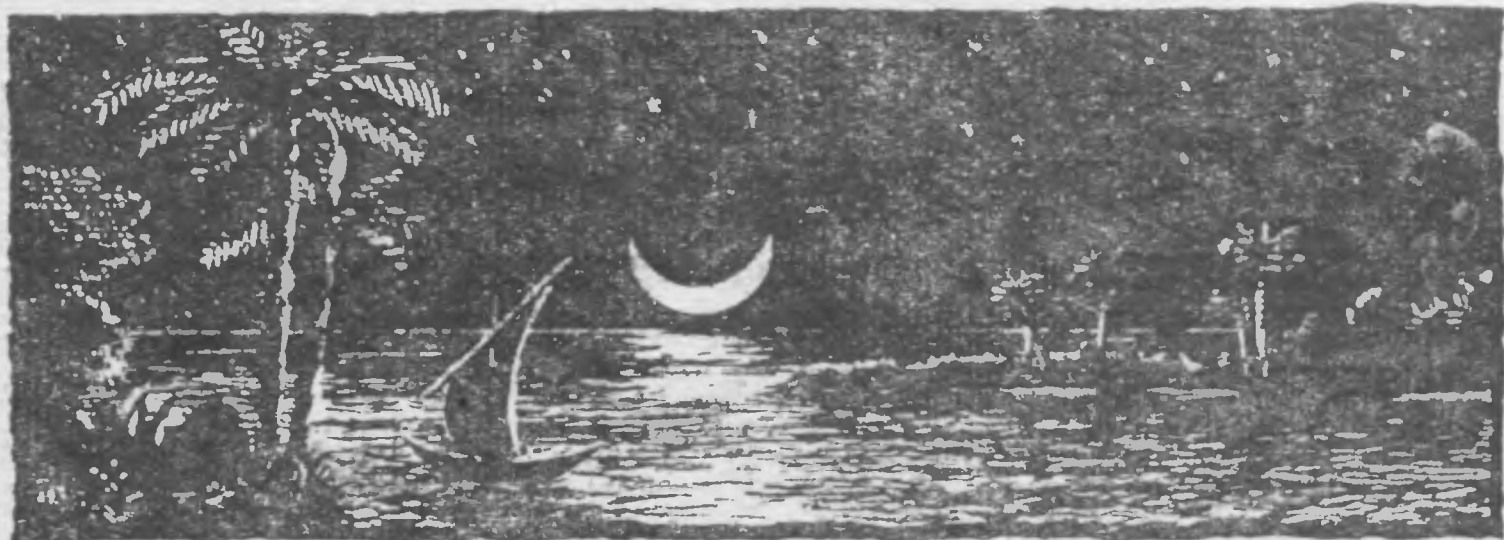
Решение

Обычно отвечают, что наибольшее число пятниц в феврале — 5, наименьшее — 4. Безусловно верно, что если первое февраля високосного года падает на пятницу, то и 29-е число придётся в пятницу, всех пятниц окажется тогда 5.

Однако можно насчитать и вдвое больше пятниц в течение одного февраля. Вообразите 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 пересекает в пятницу, то будет иметь еженедельно по две пятницы кряду, а всех пятниц насчитает 10. Напротив, капитан, покидающий берега Аляски каждый четверг и идущий к берегам Сибири, будет в счёте дней пропускать как раз пятницу; за весь месяц он не насчитает ни одной пятницы.

Итак, вот правильный ответ на вопрос задачи: наибольшее число пятниц, возможных в феврале, — 10, наименьшее — нуль.





ГЛАВА ВТОРАЯ ЛУНА И ЕЁ ДВИЖЕНИЯ

Молодой или старый месяц?

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

Позволю себе предложить такую примету.

По сходству серпа или полумесяца с буквами *P* или *C* легко определить, растущий ли перед нами месяц (т. е. молодой) или старый (рис. 30).

Мнемоническая примета имеется и у французов. Они советуют мысленно приставлять к рогам полумесяца прямую линию; получаются латинские буквы *d* или *p*. Буква *d* — начальная в слове «dernier» (последний) — указывает на последнюю четверть, т. е. старый месяц. Буква *p* — начальная в слове «premier»



Рис. 30. Простой способ отличить молодой (растущий) месяц от старого.

(первый) — указывает, что Луна в фазе первой четверти, вообще — молодая. У немцев тоже существует правило, связывающее форму Луны с определенными буквами.

Этими правилами можно пользоваться только в северном полушарии Земли. Для Австралии или Трансвааля смысл примет как раз обратный. Но и в северном полушарии они могут оказаться неприменимыми — именно в южных широтах. Уже в Крыму и в Закавказье серп и полумесяц сильно клонятся набок, а ещё 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 лежащей дужки можно сделать по желанию обе пары букв: *P* и *C*, *p* и *d*. Недаром в древнем Риме наклонную Луну называли «обманчивой» (*Luna fallax*). Чтобы и в этом случае не ошибиться в возрасте Луны, надо обратиться к астрономическим признакам: молодой месяц виден вечером в западной части неба; старый — поутру в восточной части неба.

Луна на флагах

З а д а ч а

На рис. 31 перед нами — флаг Турции (прежний). На нём имеется изображение лунного серпа и звезды. Это наводит нас на следующие вопросы:



Рис. 31. Флаг Турции (прежний).

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

Решение

1. Вспомнив указанную только что приметку 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, дополненного до круга (рис. 32, а). Все небесные светила

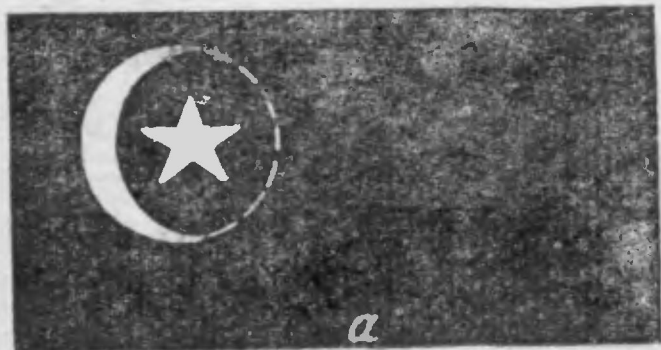


Рис. 32, а и б. Почему звезда не может быть видна между рогами месяца.

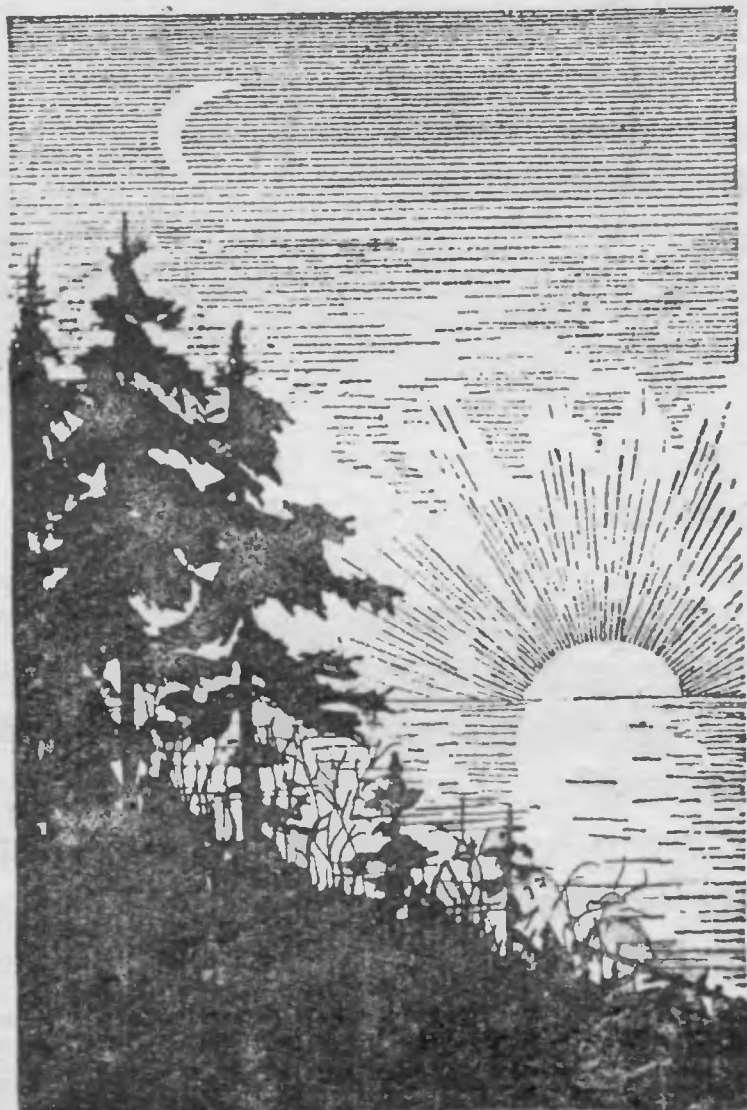


Рис. 33. На ландшафте допущена астрономическая ошибка. Какая? (Ответ в тексте.)

гораздо дальше Луны и, следовательно, должны ею заслоняться. Их можно видеть только за краем не освещённой части Луны, как показано на рис. 32, б.

Любопытно, что на современном флаге Турции, тоже содержащем изображение лунного серпа и звезды, звезда отодвинута от серпа именно так, как на рис. 32, б.

Загадки лунных фаз

Луна получает свой свет от Солнца, и потому выпуклая сторона лунных серпов должна быть, разумеется, обращена к Солнцу. Художники частенько об этом забы-

вают. На выставках картин не редкость увидеть ландшафт с полумесяцем, обращённым к Солнцу своей прямой стороной; попадаетея и лунный серп, повёрнутый к Солнцу своими рогами (рис. 33).

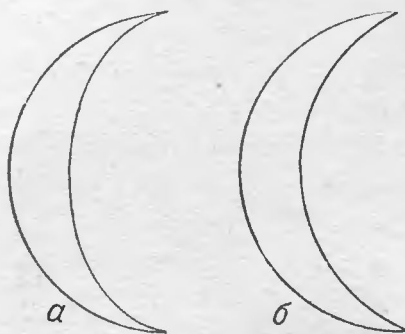


Рис. 34. Как надо (а) и как не надо (б) изображать лунный серп.

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. 34, б). Между тем полукруглую форму имеет только наружная дуга, внутренняя же представляет собой полуэллипс,

потому что это полукруг (граница освещённой части), видимый в перспективе (рис. 34, а).

Нелегко дать лунному серпу и правильное положение на небе. Полумесяц и лунный серп нередко располагаются по отношению к Солнцу довольно озадачивающим образом. Казалось бы, раз Луна освещается Солнцем, то прямая линия, соединяющая концы месяца, должна составлять прямой угол с лучом, идущим от Солнца к её середине (рис. 35). Иначе говоря, центр Солнца должен находиться на перпендикуляре, проведённом через середину прямой, соединяющей концы месяца. Однако правило это соблюдается только для узкого серпа. На рис. 36 показано положение месяца в разных фазах относительно лучей Солнца. Впечатление получается такое, словно лучи Солнца искривляются, прежде чем достичь Луны.



Рис. 35. Положение лунного серпа относительно Солнца.

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 её проекцию на вогнутый небесный свод, т. е. кривую линию. Вот почему нам и представ-

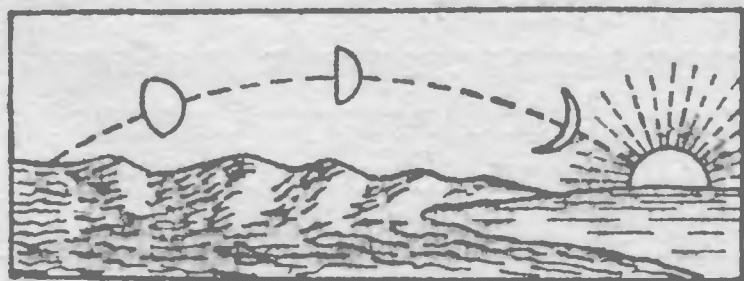


Рис. 36. В каком положении относительно Солнца мы видим Луну в разных фазах.

ляется, что Луна на небе «повешена неправильно». Художник должен изучить эти особенности и уметь переносить их на полотно.

Двойная планета

Двойная планета — это Земля с Луной. Они имеют право на это название потому, что спутник наш резко выделяется среди спутников других планет значительной величиной и массой по отношению к своей центральной планете. Есть в солнечной системе спутники абсолютно более крупные и более тяжёлые, но по сравнению со своей центральной планетой они гораздо мельче, чем наша Луна по отношению к Земле. В самом деле, поперечник нашей Луны больше четверти земного, а поперечник относительно самого крупного спутника других планет составляет только 10-ю долю поперечника своей планеты (Тритон — спутник Нептуна). Далее, масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли; между тем самый тяжёлый из спутников, какой существует в солнечной системе, — III спутник Юпитера — составляет менее 10 000-й доли массы своей центральной планеты.

Какую долю от массы центральной планеты составляет масса крупных спутников, показывает табличка на стр. 62.

Вы видите из этого сопоставления, что наша Луна по своей массе составляет самую крупную долю своей центральной планеты.

Третье, что даёт системе Земля — Луна право притязать на наименование «двойной планеты», — это тесная близость обоих небесных тел. Многие спутники других

планет кружатся на гораздо больших расстояниях: некоторые спутники Юпитера (например, девятый, рис. 37) кружатся 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,

Планета	Её 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

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 13-ю

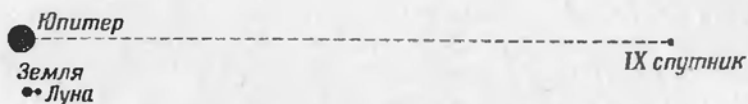


Рис. 37 Система Земля — Луна по сравнению с системой Юпитера. (Размеры самих небесных тел показаны без соблюдения масштаба.)

долю своего годового пути, т. е. на 70 000 000 км. Представьте же себе круговой путь Луны — 2 500 000 км — растянутым вдоль расстояния, в 30 раз большего. Что останется от его круговой формы? Ничего. Вот почему путь Луны около Солнца почти сливается с орбитой Земли, уклоняясь от неё лишь 13 едва заметными выступами. Можно доказать несложным расчётом (которым мы не станем здесь обременять изложения), что путь Луны при этом всюду обращён к Солнцу своей вогнутой стороной. Грубо говоря, он по виду похож на тринадцатигульник с мягко округлёнными углами.

На рис. 38 вы видите точное изображение путей Земли и Луны в течение одного месяца. Пунктирная ли-

ния — 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 $\frac{1}{2}$ 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 чертёж, 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 справедливо¹⁾.

Итак, для наблюдателя, помещённого 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 Землёй по земной орбите, так как сами в нём участвуем.

¹⁾ Внимательно рассматривая чертёж, можно заметить, что движение Луны изображено на нём не строго равномерным. Так в действительности и есть. Луна движется вокруг Земли по эллипсу, в фокусе которого находится Земля, а потому согласно второму закону Кеплера на участках, близких к Земле, она бежит быстрее, чем на удалённых. Эксцентриситет лунной орбиты довольно велик: 0,055.

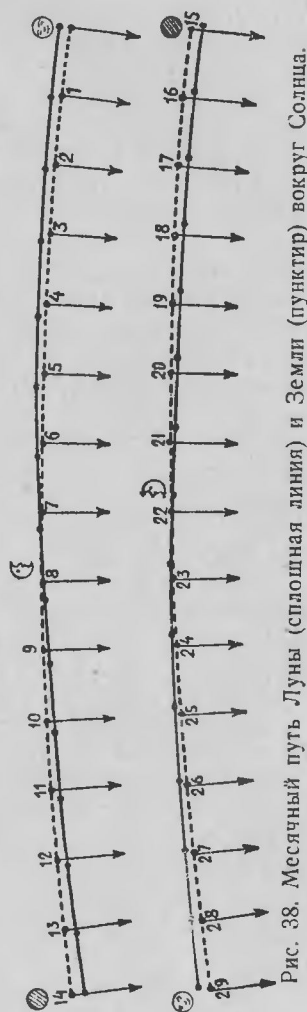


Рис. 38. Месячный путь Луны (сплошная линия) и Земли (пунктир) вокруг Солнца.

Почему Луна не падает на Солнце?

Вопрос может показаться наивным. С какой стати Луне падать на Солнце? Ведь Земля притягивает её сильнее далёкого Солнца и, естественно, заставляет обращаться вокруг себя.

Читатели, так думающие, будут удивлены, узнав, что дело обстоит как раз наоборот: Луна сильнее притягивается именно Солнцем, а не Землёй!

Что это так, показывает расчёт. 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 , т. е. в 160 000 раз. Значит, солнечное притяжение сильнее земного в $\frac{330\,000}{160\,000}$, т. е. в два с лишним раза.

Итак, Луна притягивается Солнцем вдвое сильнее, чем Землёй. Почему же тогда, в самом деле, Луна не обрушивается на Солнце? Почему Земля всё же заставляет Луну обращаться вокруг неё, а не берёт верх действие Солнца?

Луна не падает на Солнце по той же причине, по какой не падает на него и Земля; Луна обращается около Солнца вместе с Землёй, и притягательное действие Солнца расходуется без остатка на то, чтобы постоянно переводить оба эти тела с прямого пути на искривлённую орбиту, т. е. превращать прямолинейное движение в криволинейное. Достаточно бросить взгляд на рис. 38, чтобы убедиться в сказанном.

У иных читателей, может быть, осталось некоторое сомнение. Как же это всё-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 Землёй, 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 как трудно получить подобную стереоскопическую фотографию нашего спутника, — многие даже не подозревают. Для изготовления её надо быть хорошо знакомым с особенностями капризных движений ночного светила.

Дело в том, что Луна обходит Землю так, что обращена к ней всё время одной и той же своей стороной.

Обегая вокруг Земли, Луна вращается вместе с тем и вокруг своей оси, причём оба движения завершаются в один и тот же промежуток времени.

На рис. 39 вы видите эллипс, который должен наглядно изображать орбиту Луны. Чертёж намеренно усиливает вытянутость лунного эллипса, на самом деле эксцентриситет лунной орбиты 0,055 или $\frac{1}{18}$. Представить точно на маленьком чертеже лунную орбиту так, чтобы глаз отличил её от круга, невозможно: при величине большой полуоси даже в целый метр малая полуось была бы короче её 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.

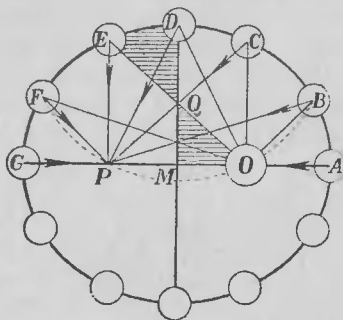


Рис. 39. Как Луна движется вокруг Земли по своей орбите. (Подробности в тексте.)

Итак, вообразите, что эллипс на рис. 39 есть путь Луны вокруг Земли. Земля помещена в точке O — в одном из фокусов эллипса. Законы Кеплера относятся не только к движениям планеты 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, т. е. площади $MABCD$ (равенство площадей OAE и MAD на нашем чертеже подтверждается приближительным равенством площадей MOQ и EQD). Итак, 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 E , радиус Луны, обращённый к Земле в точке A , опишет дугу в 90° , и будет направлен не к точке M , а к некоторой другой точке, левее M , неподалёку от другого фокуса P лунной орбиты. Оттого, что Луна чуть отвернёт своё лицо от земного наблюдателя, он сможет увидеть с правой стороны узкую полосу прежде невидимой её половины. В точке F Луна показывает земному наблюдателю уже более узкую полосу своей обычно невидимой стороны, потому что угол OFP меньше угла OEP . В точке G — в «апогее» орбиты — Луна занимает такое же положение по отношению к Земле, как и в «перигее» A . При дальнейшем своём движении Луна отворачивается от Земли уже в противоположную сторону, показывая нашей планете другую полосу своей невидимой стороны: полоска эта сначала расширяется, потом суживается, и в точке A Луна занимает прежнее положение.

Мы убедились, что вследствие эллиптической формы лунного пути спутник наш обращён 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», означающего «весы». Величина либрации в каждой точке измеряется соответствующим углом; например, в точке E либрация равна

углу OEP . Наибольшая величина либрации $7^{\circ}53'$, т. е. почти 8° .

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 пересечёт орбиту в точках B и F . Углы OBP и OFP как вписанные равны половине центрального угла ODP . Отсюда выводим, что при движении Луны от A до D либрация растёт 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 ещё и другой либрации — по широте. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости экватора Луны на $6\frac{1}{2}^{\circ}$. Поэтому мы видим Луну с Земли в одних случаях чуть с юга, в других — с севера, заглядывая немного в «невидимую» половину Луны через её полюсы. Эта либрация по широте достигает $6\frac{1}{2}^{\circ}$.

Объясним теперь, как пользуется астроном-фотограф описанными лёгкими покачиваниями Луны около среднего положения, чтобы получить стереоскопические снимки её. 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 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, $1\frac{1}{2}$ —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 блестеть, как серебряная). Возникает трудная задача: подстеречь одинаковые фазы Луны, которые отличаются величиной либрации (по долготе) так, чтобы круг

¹⁾ Для получения стереоскопических снимков достаточен поворот Луны на 1° . (Подробнее об этом см. мою «Занимательную физику».)

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

Вы видите теперь, как трудно получить хорошие стереофотографии Луны, и не удивитесь, узнав, что нередко один снимок стереоскопической пары делается на несколько лет позже другого.

Наш читатель едва ли станет изготавливать лунные стереофотографии. Способ их получения объяснён 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 обеим лунным либрациям мы видим, в общем, не половину всей лунной поверхности, а 59% её. Совершенно недоступной нашему зрению остаётся 41%. Как устроена эта часть поверхности Луны, никто не знает; можно лишь догадываться, что она ничем существенно не отличается от видимой. Делались остроумные попытки, продолжив обратно части лунных хребтов и светлые полосы, выходящие из невидимой части Луны на видимую, набросать гадательно некоторые подробности недоступной нам половины. Проверить подобные догадки пока невозможно. Говорим «пока» не без основания: давно уже разрабатываются способы облететь вокруг Луны на особом летательном аппарате, могущем преодолеть земную тяжесть и двигаться в межпланетном пространстве (см. мою книгу «Межпланетные путешествия»). До осуществления этого смелого предприятия сейчас уже не так далеко. Пока известно одно: высказываемая нередко мысль о существовании атмосферы и воды на этой невидимой стороне Луны совершенно не обоснована и противоречит законам физики: если нет атмосферы и воды на одной стороне Луны, то не может быть их и на другой (к этому вопросу мы ещё вернёмся).

Вторая Луна и луна Луны

В печати время от времени появляются сообщения, что тому или иному наблюдателю удалось видеть второго спутника Земли, вторую её Луну. Хотя подобные заявления ни разу не получали подтверждения, интересно всё же остановиться на этой теме.

Вопрос о существовании второго спутника Земли не нов. Он имеет за собой длинную историю. Кто читал роман Жюль Верна «Из пушки на Луну», тот помнит, вероятно, что уже там упоминается о второй Луне. Она так мала и скорость её так велика, что жители Земли наблюдать её не могут. Французский астроном Пти, — говорит Жюль Верн, — заподозрил её существование и определил период её обращения вокруг Земли в 3 ч. 20 м. Расстояние её от поверхности Земли равно 8140 км. Любопытно, что английский журнал «Знание», в статье об астрономии у Жюль Верна, считает ссылку на Пти, как и самого Пти, попросту вымышленными. Ни в одной энциклопедии об этом астрономе действительно не упоминается. И всё-таки сообщение романиста не вымышлено. Директор Тулузской обсерватории Пти в 50-х годах прошлого столетия действительно отстаивал существование второй Луны, — метеорита с периодом обращения в 3 ч. 20 м., кружащегося, правда, не в 8000, а в 5000 км от земной поверхности. Мнение это разделялось и тогда лишь немногими астрономами, впоследствии же было совершенно забыто.

Теоретически в допущении существования второго, очень мелкого 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 возвращениями 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 бесспорных 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».

Но непосредственно удостовериться в существовании подобного лунного спутника очень трудно. Астроном Мультион высказывает об этом следующие соображения:

«Когда Луна светит полным светом, её 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 атмосферы, 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 0° — около $\frac{1}{2}$ км в секунду (скорость ружейной пули). Почему же не разлетаются они 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 $\frac{1}{2}$ км в секунду. Как высоко вверх может она взлететь? Нетрудно вычислить: скорость v , высота подъёма h и ускорение силы тяжести g связаны следующей формулой:

$$v^2 = 2gh.$$

Подставим вместо v его значение — 500 м/сек, вместо g — 10 м/сек²; имеем

$$250\,000 = 20h,$$

откуда

$$h = 12\,500 \text{ м} = 12\frac{1}{2} \text{ км.}$$

Но если молекулы воздуха не могут взлетать выше $12\frac{1}{2}$ км, то откуда берутся воздушные молекулы выше

этой границы? Ведь кислород, входящий в состав нашей атмосферы, образовался близ земной поверхности (из углекислого газа деятельностью растений). Какая же сила подняла и удерживает их на высоте 500 и более километров, где безусловно установлено присутствие следов воздуха? Физика даёт здесь тот же ответ, какой услышали бы мы от статистика, если бы спросили его: «Средняя продолжительность человеческой жизни 40 лет; откуда же берутся 80-летние старики?» Всё дело в том, что выполненный нами расчёт относится к средней, а не реальной молекуле. Средняя молекула обладает секундной скоростью в $1/2$ 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 объёме кислорода при 0° , только 20% обладают скоростью от 400 до 500 м в секунду; приблизительно столько же молекул движется со скоростью 300—400 м/сек, 17% — со скоростью 200—300 м/сек, 9% — со скоростью 600—700 м/сек, 8% — со скоростью 700—800 м/сек, 1% — со скоростью 1300—1400 м/сек. Небольшая часть (меньше миллионной доли) молекул имеет скорость 3500 м/сек, а эта скорость достаточна, чтобы молекулы могли взлететь даже на высоту 600 км.

Действительно, $3500^2 = 20h$, откуда $h = \frac{12\,250\,000}{20}$, т. е. 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 в секунду, 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 лёгкого 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, остаётся 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/сек. 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 неё 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 всё 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 втрое меньше предельной (т. е. составляет для Луны $2360 : 3 = 790$ м/сек), то такая атмосфера должна наполовину рассеяться в течение нескольких недель. (Устойчиво сохраняться атмосфера небесного тела может лишь при условии, что средняя скорость её молекул меньше одной пятой доли от предельной скорости.)

Высказывалась мысль — вернее, мечта, — что со временем, когда земное человечество посетит и покорит Луну, оно окружит её искусственной атмосферой и сделает таким образом пригодной для обитания. После сказанного читателю должна быть ясна несбыточность подобного предприятия. 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 её отсутствие вообще на всех мировых телах со слабым напряжением силы тяжести: на астероидах и на большинстве спутников планет ¹⁾.

¹⁾ В 1948 г. московский астроном Ю. Н. Липский обнаружил наличие на Луне следов атмосферы. Общая масса лунной атмосферы составляет не более одной сотысячной доли земной атмосферы. (Прим. ред.)

Размеры лунного мира

Об этом, конечно, с полной определённойостью говорят числовые данные: величина диаметра Луны (3500 км), поверхности, объёма. Но числа, незаменимые при расчётах, 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 (рис. 40). Это скажет

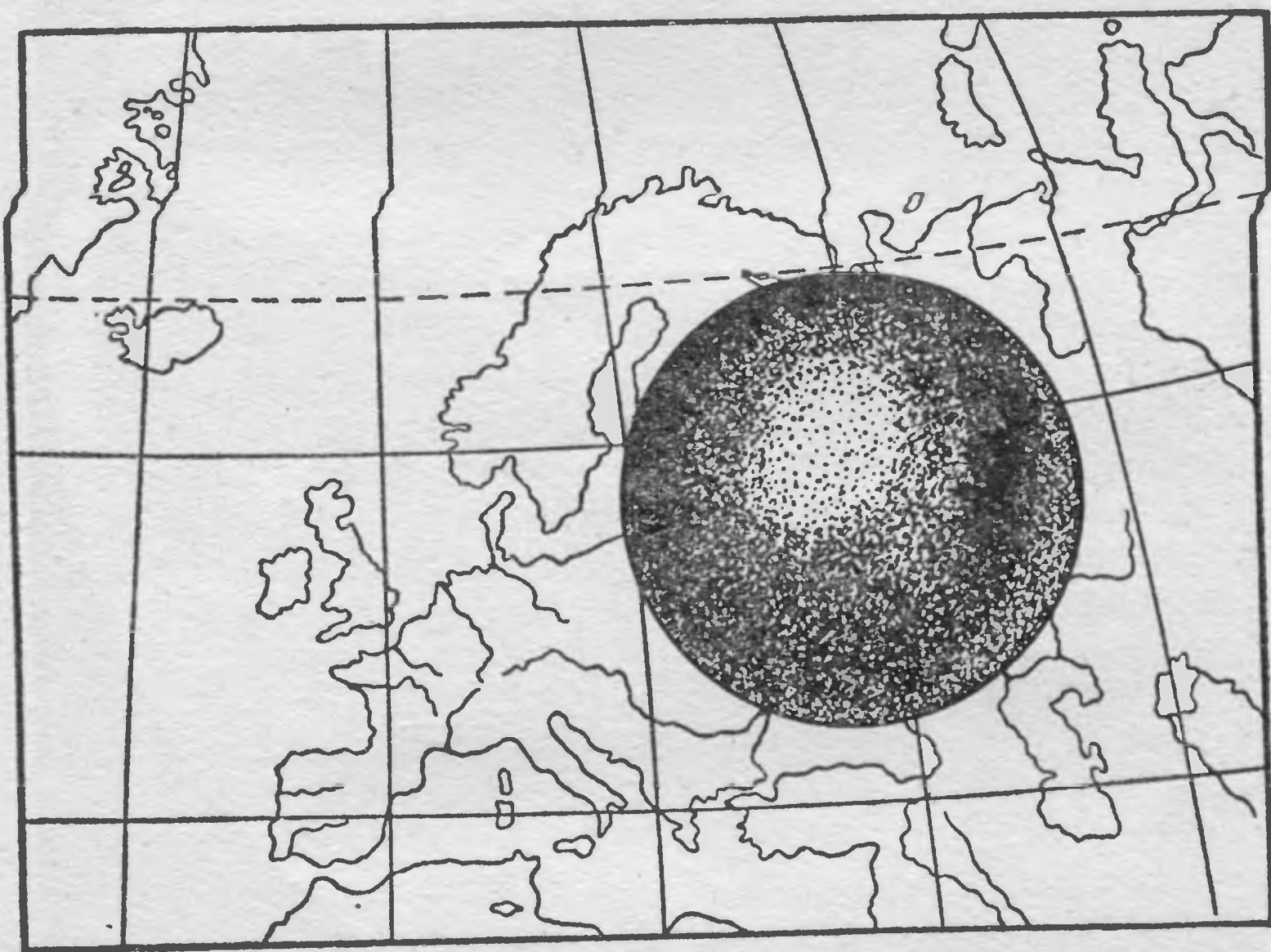


Рис. 40. Размеры Луны по сравнению с материком Европы. (Не следует, однако, заключать, что поверхность лунного шара меньше поверхности Европы.)

нам больше, нежели отвлечённое 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.

Чтобы сделать наглядными размеры лунных «морей» по сравнению с земными, здесь (рис. 41) на карту Луны

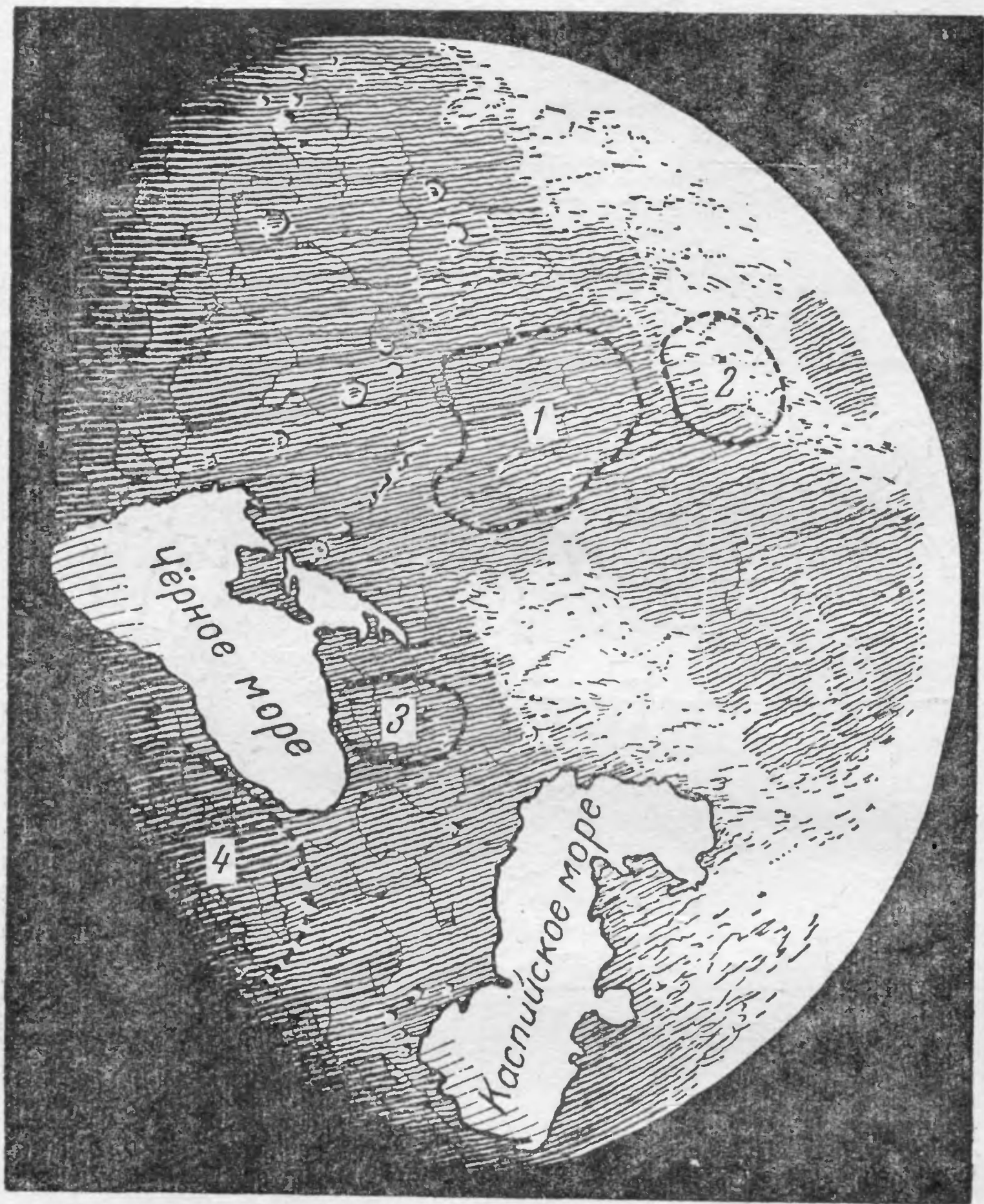


Рис. 41. Земные моря по сравнению с лунными. Чёрное и Каспийское моря, перенесённые на Луну, были бы там больше всех лунных морей. (Цифрами обозначены: 1 — Море Облаков, 2 — Море Влажности, 3 — Море Паров, 4 — Море Ясности.)

наложены в том же масштабе контуры Чёрного и Каспийского морей. Сразу видно, что лунные «морья» не особенно велики, хотя и занимают заметную часть диска. Море

Ясности, например ($170\,000\text{ км}^2$), приблизительно в $2\frac{1}{2}$ раза меньше Каспийского.

Зато среди кольцевых гор Луны имеются подлинныя гиганты, каких нет на Земле. Например, круговой вал горы Гримальди охватывает поверхность, бóльшую, нежели площадь Байкальского озера. 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 (рис. 42), «цирков» —

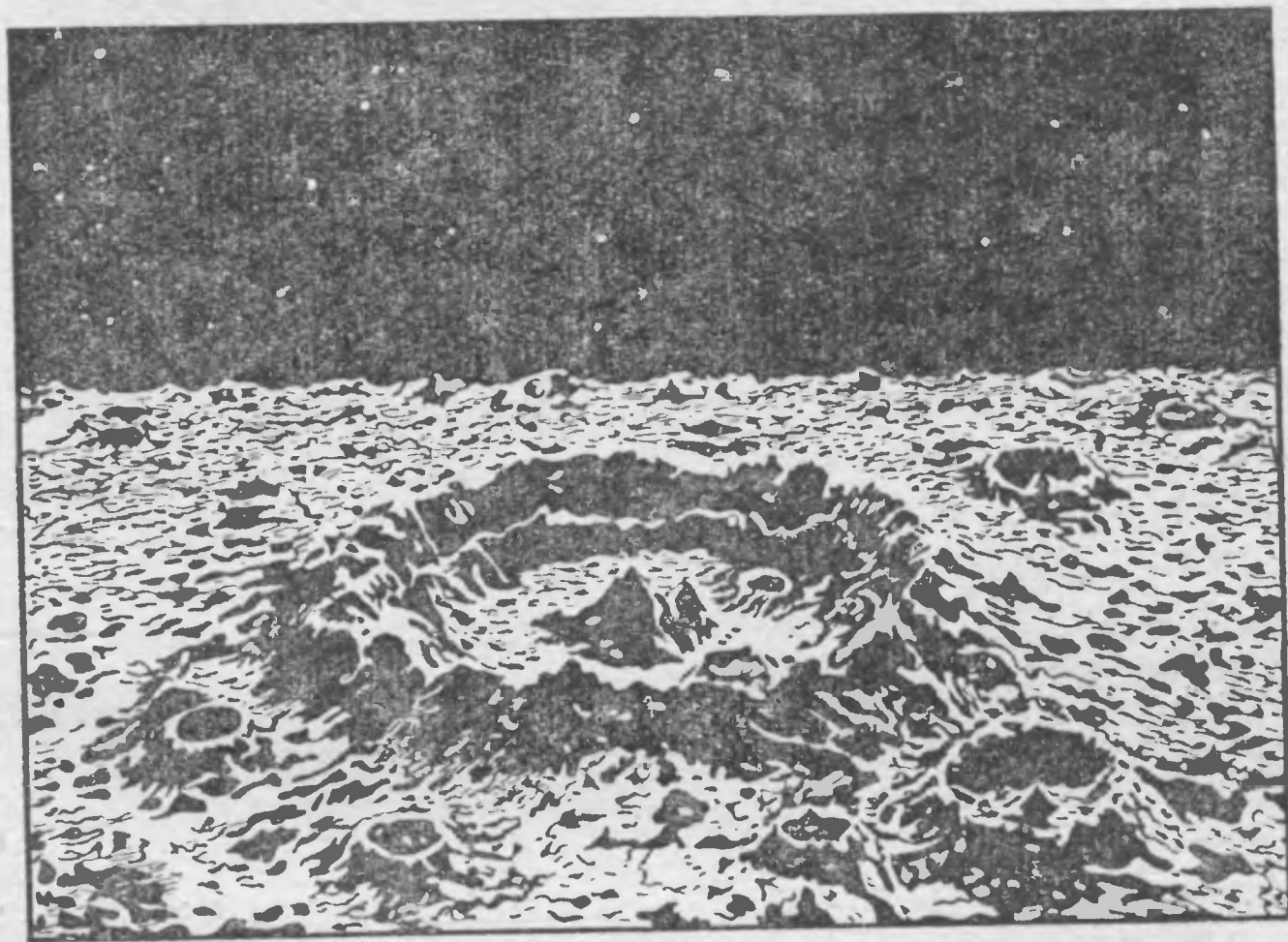


Рис. 42. Типичные кольцевые горы Луны.

знаком, вероятно, каждому из наших 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 рассматри-

вать предмет с большой высоты и совсем иное — сбоку вблизи. Покажем на нескольких примерах, в чём проявляется это различие. Гора Эратосфен представляется с Земли в виде кольцевого вала с пиком внутри. В телескоп она вырисовывается рельефно и резко благодаря чётким, неразмытым теням. Взгляните, однако, на её профиль (рис. 43): вы видите, что по сравнению с огромным поперечником цирка — 60 км — высота вала и внутреннего конуса очень мала; отлогость склонов ещё более скрадывает их высоту.



Рис. 43. Профиль большой кольцевой горы.

Вообразите себя теперь бродящим внутри этого цирка 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 (соответственно вчетверо меньшему диаметру лунного шара). На Земле человек среднего роста, стоя на ровной местности, может видеть вокруг себя не далее 5 км. Это вытекает из формулы дальности горизонта ¹⁾

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

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

Подставив в неё данные для Земли и для Луны, узнаём, что для человека среднего роста дальность горизонта

на Земле 4,8 км,
на Луне 2,5 ».

Какая картина представилась бы наблюдателю внутри большого лунного цирка, показывает рис. 44. (Ландшафт

¹⁾ О вычислении дальности горизонта см. мою «Занимательную геометрию», главу «Где небо с землею сходятся».

изображён для другого большого цирка — Архимеда.) Неправда ли: обширная равнина с цепью холмов на горизонте мало похожа на то, что обычно представляют себе при словах «лунный цирк»?

Очутившись по другую сторону вала, вне цирка, наблюдатель также увидел бы не то, что ожидает. Наружный скат кольцевой горы (ср. рис. 43) 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

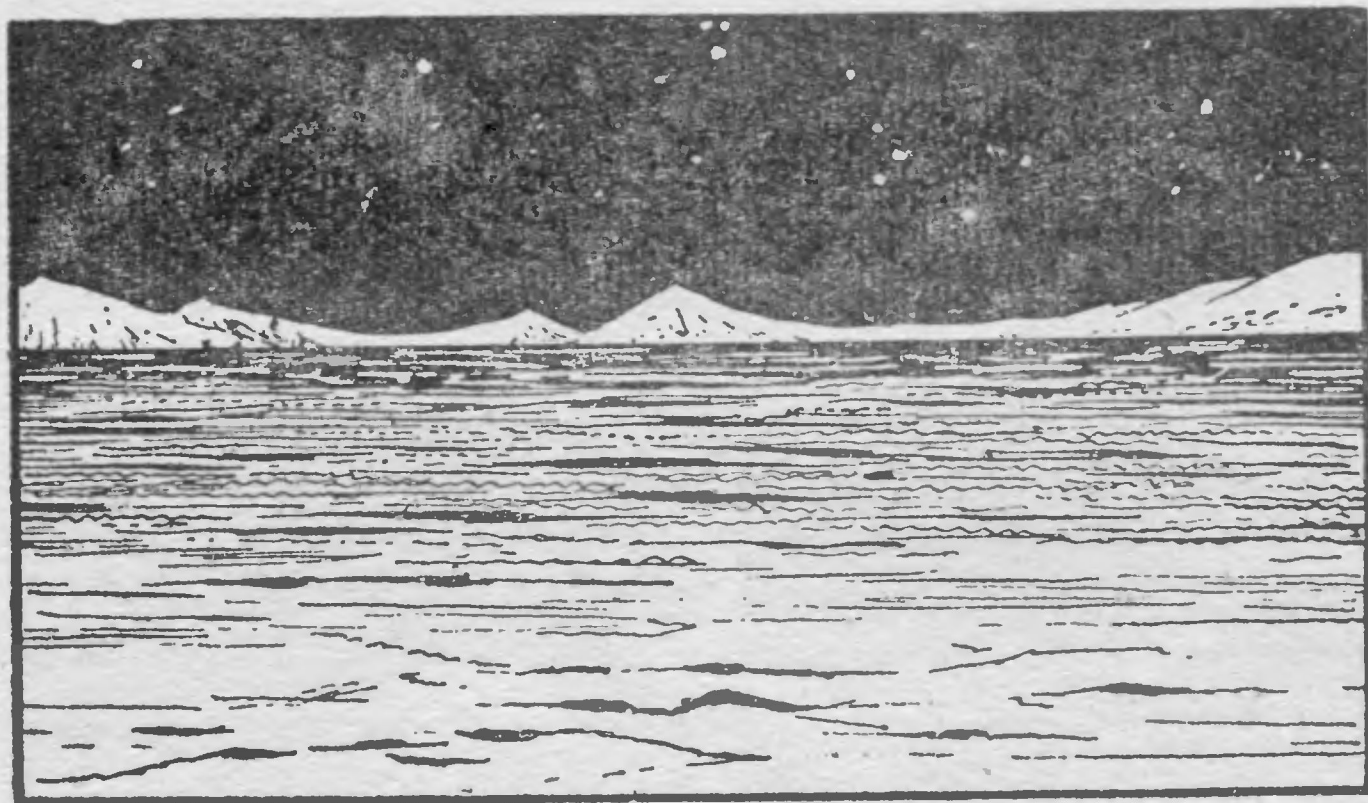


Рис. 44. Какую картину увидел бы наблюдатель, помещённый в центре большой кольцевой горы на Луне.

котловину. Для этого придётся перебраться через её гребень, да и тут, как мы уже объяснили, лунного альпиниста не ожидает ничего примечательного.

Кроме огромных кольцевых лунных гор, на Луне имеется, правда, и множество мелких цирков, которые легко охватить взором, даже стоя в непосредственной близости. Но высота их ничтожна; наблюдатель едва ли будет здесь поражён 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 любо-

пытную иллюзию: малейшие неровности почвы усиливаются и представляются весьма рельефными. Положите половину горошины выпуклостью вверх. Велика ли она? А посмотрите, какую длинную тень она отбрасывает



Рис. 45. Половина горошины отбрасывает при косом освещении длинную тень.

(рис. 45). При боковом освещении на Луне тень бывает в 20 раз больше высоты того тела, которое её отбрасывает, и это сослужило астрономам хорошую службу: благодаря длинным теням можно наблю-

дать в телескоп на Луне предметы высотой в 30 м. Но то же обстоятельство заставляет нас преувеличивать неровности лунной почвы. Гора Пико, например, так резко обрисовывается в телескоп, что невольно представляешь её себе в виде острой и крутой скалы (рис. 46). Так её и

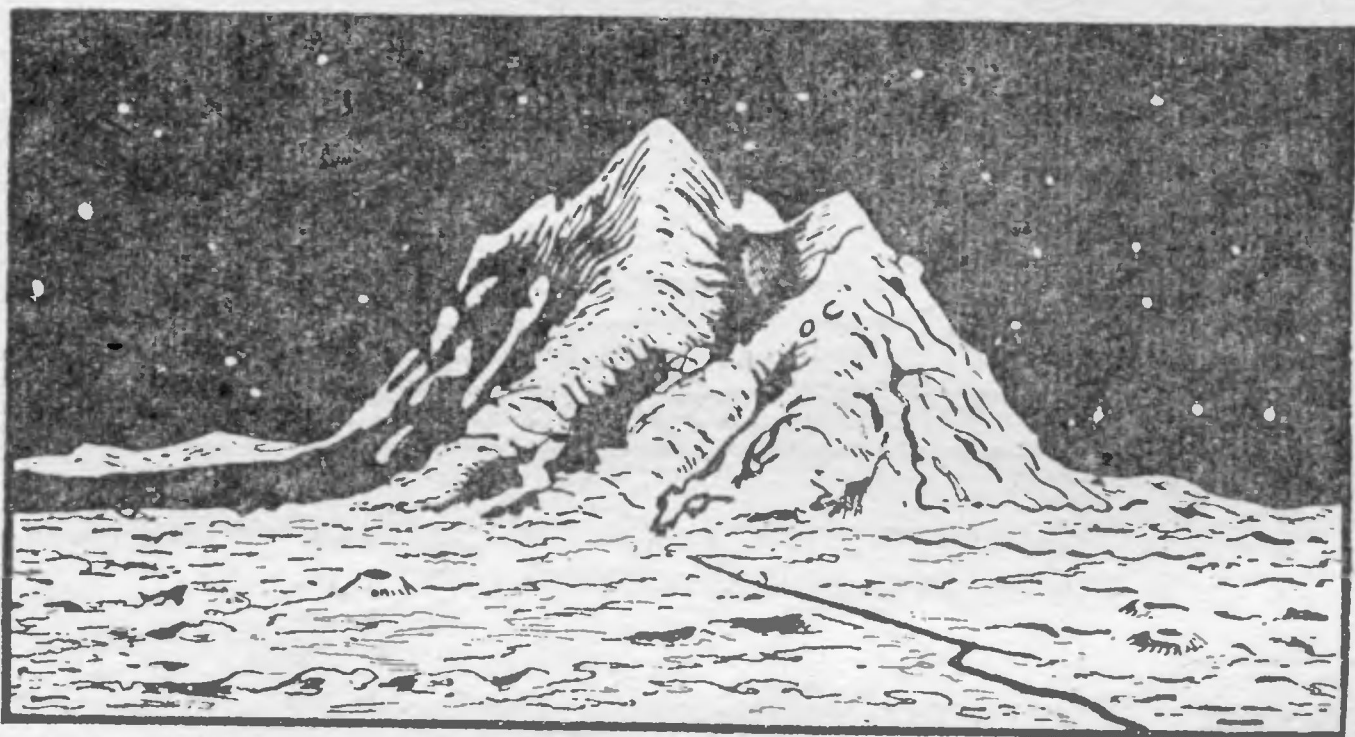


Рис. 46. Гора Пико кажется в телескоп крутой и острой.

изображали в прежнее время. Но, наблюдая её с лунной поверхности, вы увидели бы совсем иную картину, — то, что изображено на рис. 47.

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 перенесённые на поверхность нашего спутника, мы увидели бы в этих местах у своих ног глубокую чёрную пропасть, простирающуюся далеко за

горизонт. Ещё пример. На Луне есть так называемая «Прямая стена» — отвесный уступ, прорезывающий одну

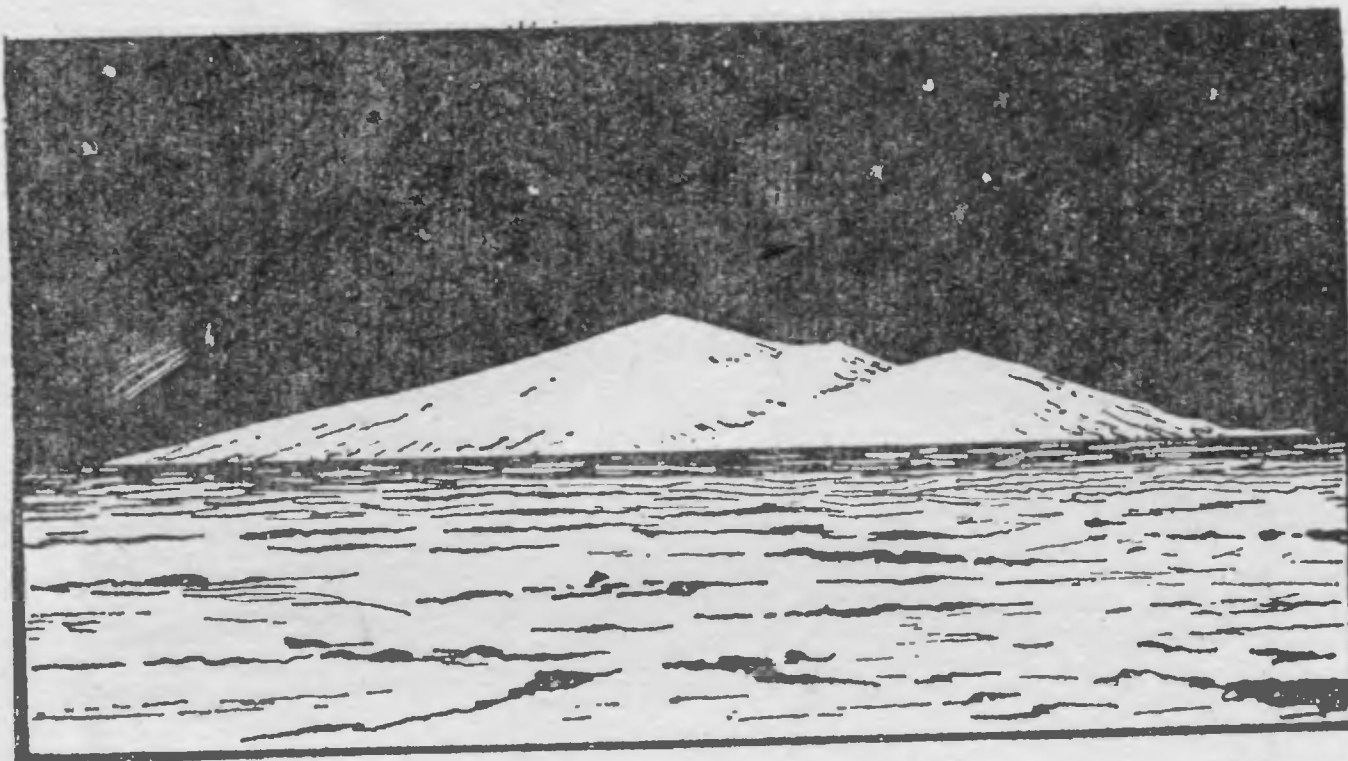


Рис. 47. Наблюдателю на лунной поверхности гора Пико показалась бы отлогой.

из её равнин. Видя эту стену на карте (рис. 48), мы забываем, что она имеет 300 м высоты; находясь у основа-

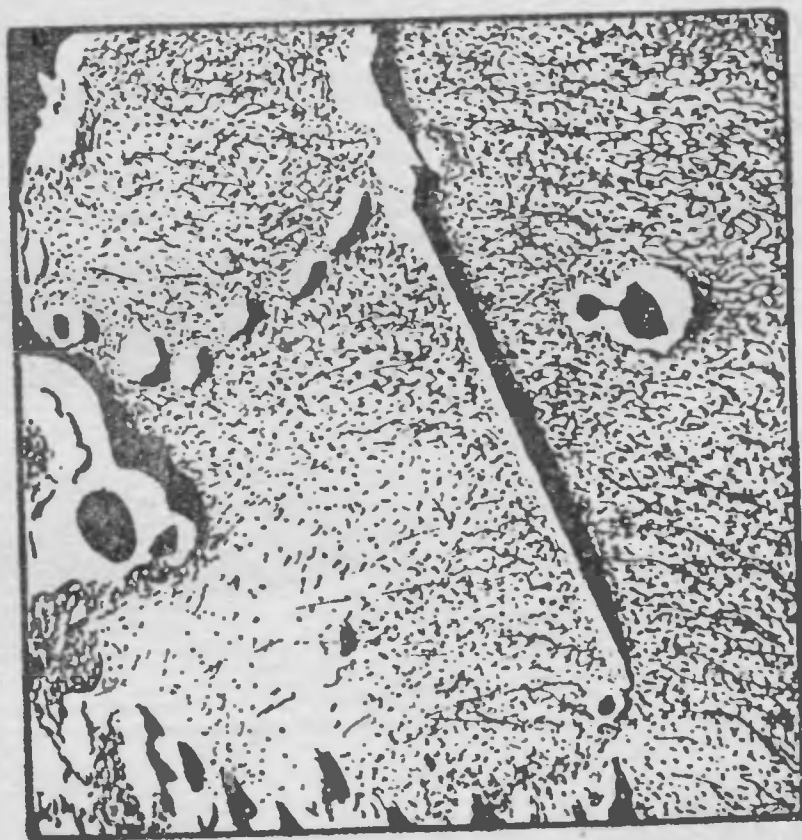


Рис. 48. Так называемая «Прямая стена» на Луне (вид в телескоп).

ния стены, мы были бы подавлены её грандиозностью. На рис. 49 художник попытался изобразить эту отвесную

стену, видимую снизу: её конец теряется где-то за горизонтом: ведь она тянется на 100 км! Точно так же и тон-

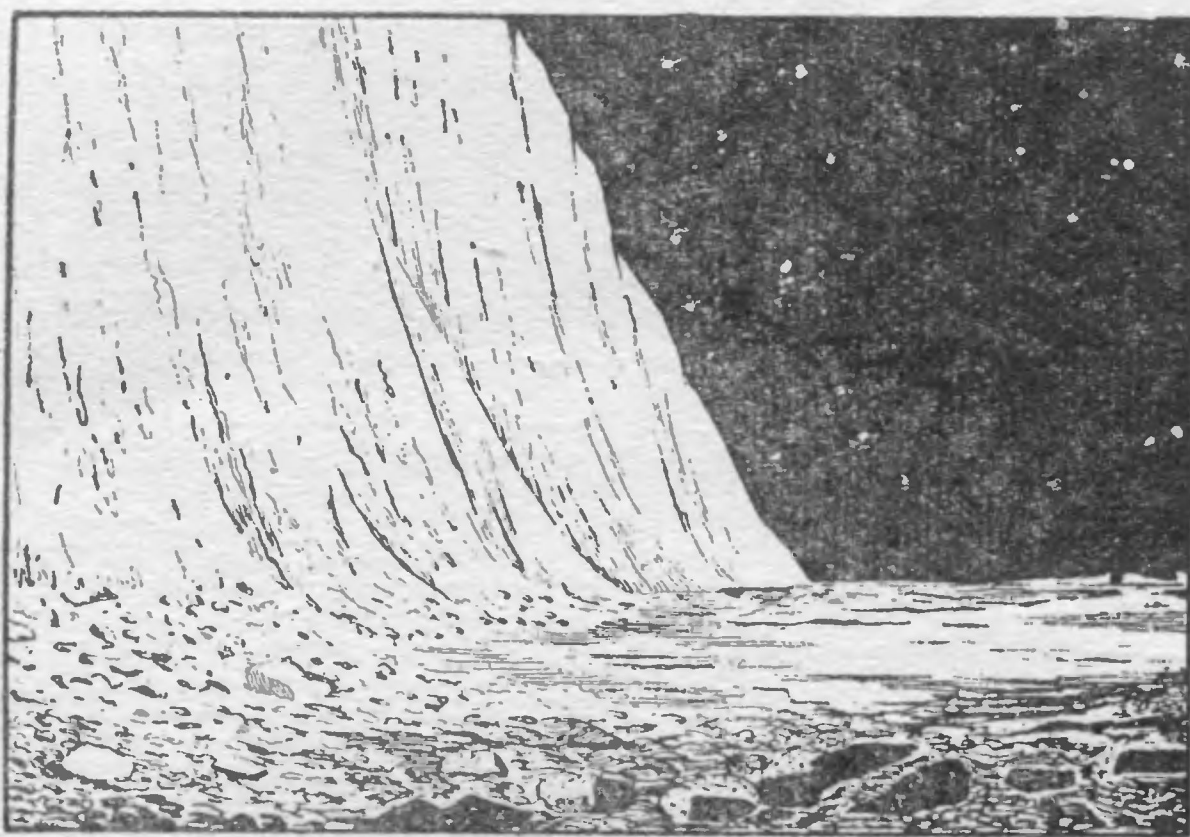


Рис. 49. Какой должна казаться «Прямая стена» наблюдателю, находящемуся близ её основания.

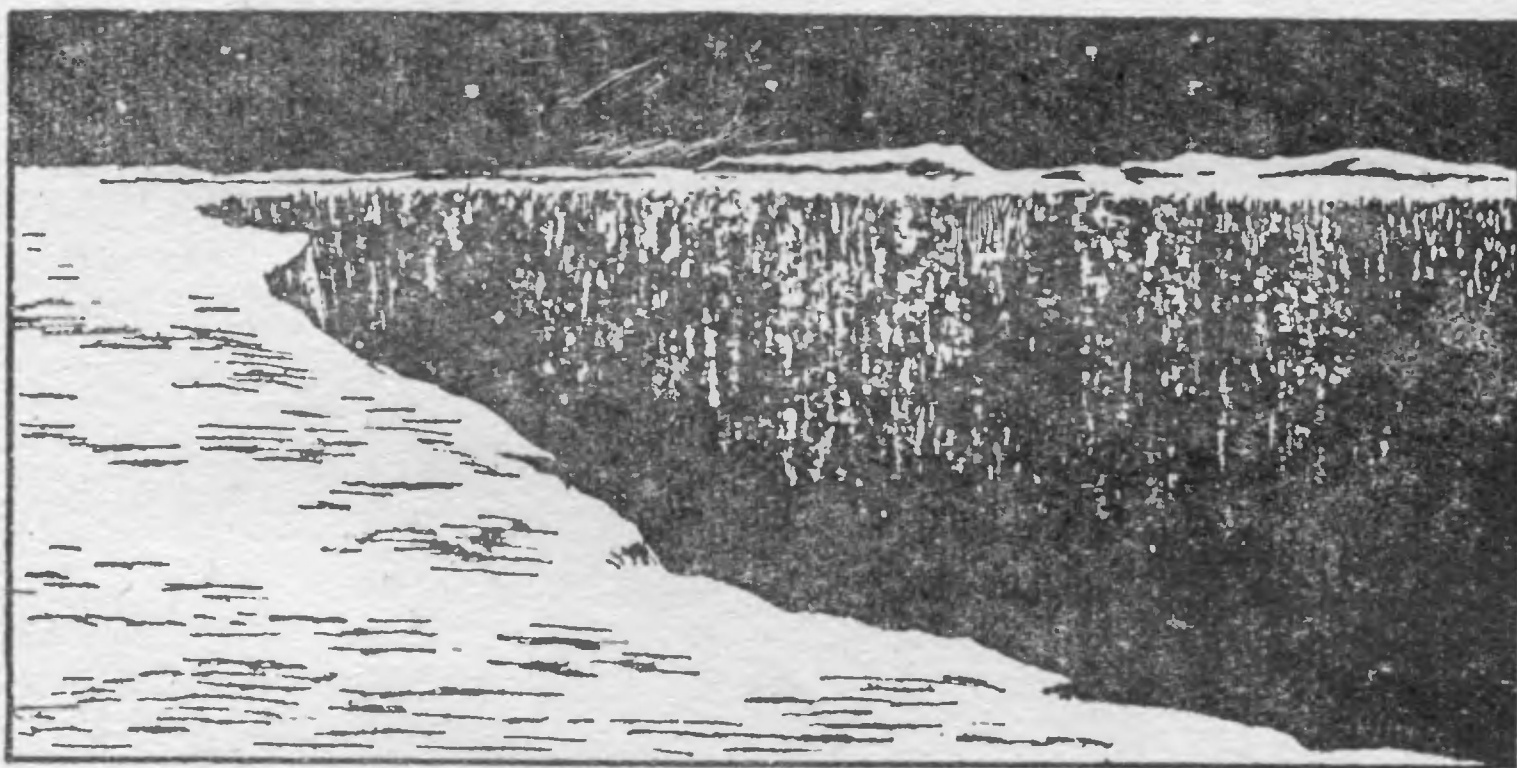


Рис. 50. Одна из лунных «трещин», наблюдаемая в непосредственной близости.

кие трещины, различаемые в сильный телескоп на лунной поверхности, должны в натуре представлять огромные провалы (рис. 50).

Лунное небо

Чёрный небосвод

Если бы житель Земли мог очутиться на Луне, внимание его привлекли бы прежде других три необычайных обстоятельства.

Сразу же бросился бы в глаза странный цвет дневного неба на Луне: вместо привычного голубого купола растянулся бы совершенно чёрный небосвод, усеянный — при ярком сиянии Солнца! — множеством звёзд, чётко выделяющихся, но совершенно не мерцающих. Причина этого явления заключается в отсутствии на Луне атмосферы.

«Голубой свод ясного и чистого неба, — говорит Фламарион свойственным ему живописным языком, — нежный румянец зорь, величественное зарево вечерних сумерек, чарующая красота пустынь, туманная даль полей и лугов, и вы, зеркальные воды озёр, издревле отражающие в себе далёкие лазурные небеса, вмещающие целую бесконечность в своих глубинах, — ваше существование и вся красота ваша зависят исключительно лишь от той лёгкой оболочки, которая простирается над земным шаром. Без неё ни одной из этих картин, ни одной из этих пышных красок не существовало бы. Вместо лазурно-голубого неба вас окружало бы беспредельное чёрное 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 озарённых дневным светилом, а во всех остальных царил бы густая тень».

Достаточно некоторого разрежения атмосферы, чтобы голубой цвет неба заметно потемнел. Команда трагически погибшего советского стратостата «Осоавиахим» на высоте 21 км видела над собой почти чёрное небо. Фантастическая картина освещения природы, нарисованная в приведённом отрывке, полностью осуществляется на Луне: чёрное небо, отсутствие зорь и сумерек, ослепительная яркость освещённых мест и столь же резкая, без полутонов, густота теней.

Земля на небе Луны

Вторая достопримечательность на Луне — висящий в небе огромный диск Земли. Путешественнику покажется странным, что тот земной шар, который при отлёте 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 её 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 лунную¹⁾; поэтому свет полной Земли должен освещать Луну раз в 90 сильнее, чем полный месяц освещает Землю. В «земные ночи» на Луне можно было бы читать мелкую печать. Освещение лунной почвы Землёй настолько ярко, 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 ещё во внимание отсутствие на нашем спутнике атмосферы, поглощающей часть света, и вы получите некоторое представление о феерической картине лунных пейзажей, залитых среди ночи сиянием полной Земли.

Мог ли бы лунный наблюдатель различать на земном диске очертания материков и океанов? Распространено ошибочное мнение, будто Земля в небе Луны предста-

¹⁾ Лунная почва, следовательно, вовсе не белая, как обычно думают, а скорее тёмная. Это не противоречит тому факту, что она сияет белым светом. «Солнечный свет, отражённый даже от чёрного предмета, остаётся белым. Если бы Луна была одета в самый чёрный бархат, она всё-таки красовалась бы на небе как серебристый диск», — пишет Тиндаль в своей книге о свете. Способность лунной почвы рассеивать озаряющие её солнечные лучи в среднем одинакова с рассеивающей способностью тёмных вулканических пород,

вляет нечто похожее на школьный глобус. Так её и изображают художники, когда им приходится рисовать земной шар в мировом пространстве: с контурами материков, со снежной шапкой в полярных областях и т. п. подробностями. Всё это надо отнести к области фантазии. На земном шаре при наблюдении извне нельзя различать таких деталей. 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. Исследовавший этот вопрос пулковский астроном Г. А. Тихов пишет:

«Смотря на Землю из пространства, мы увидели бы диск цвета сильно белесоватого неба и едва ли различили бы какие-либо подробности самой поверхности. Громадная часть падающего на Землю солнечного света успевает рассеяться в пространстве атмосферой и всеми её примесями раньше, чем дойдёт до поверхности самой Земли. А то, что отражается самою поверхностью, успеет опять-таки сильно ослабеть вследствие нового рассеяния в атмосфере».

Итак, в то время как Луна отчётливо показывает нам все подробности своей поверхности, Земля скрывает своё 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 звёздным куполом. На лунном небе Земля такого движения не совершает. Она не восходит там и не заходит, не принимает участия в стройном, чрезвычайно медленном шествии звёзд. Почти неподвижно висит она на небе, занимая для каждого пункта Луны определённое положение, в то время как звёзды медленно скользят позади неё. 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 остаётся на горизонте этого места. Только лунные либрации, о которых мы уже

беседовали, несколько нарушают эту неподвижность. Звёздное небо совершает позади земного диска своё медленное, в $27\frac{1}{3}$ наших суток, вращение, Солнце обходит небо в $29\frac{1}{2}$ суток, планеты совершают подобные же движения, и лишь одна Земля почти неподвижно покоится на чёрном небе.

Но оставаясь на одном месте, Земля быстро, в 24 часа, 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

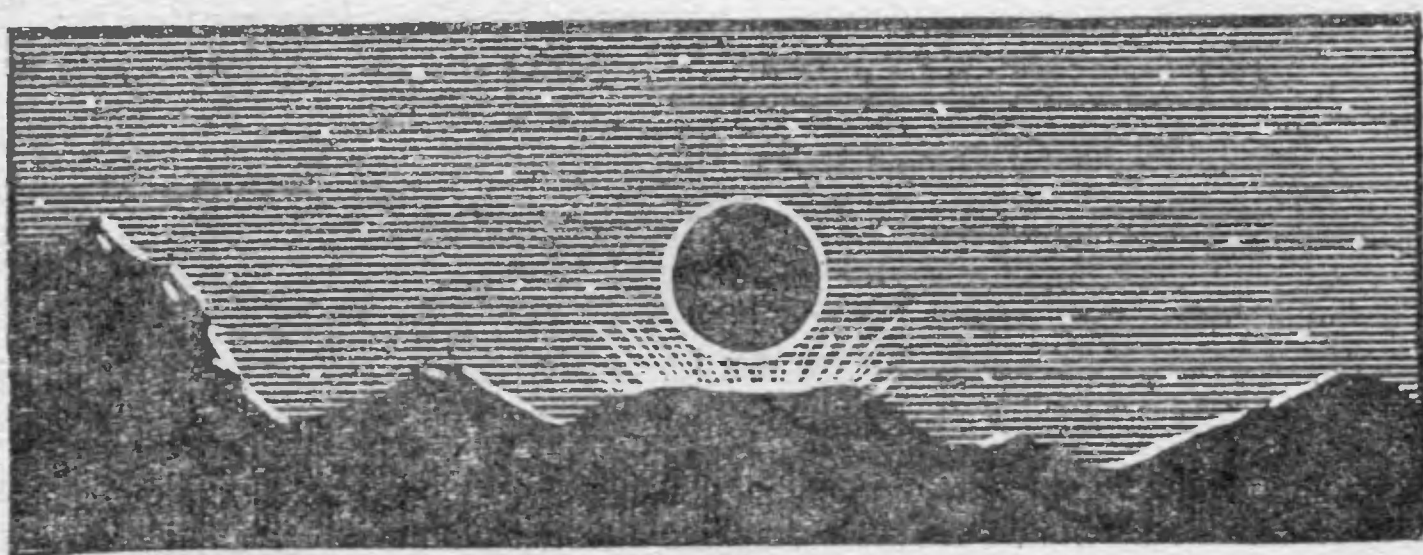


Рис. 51. «Новоземлие» на небе Луны. Чёрный диск Земли виден в окружении яркой каймы из сияющей земной атмосферы.

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 озарённой 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» (рис. 51). Когда мы видим узкий серп молодого месяца, с Луны можно было бы любоваться Землёй на ущербе, причём 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, создаёт тот посте-

пенный 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° , т. е. на 10 своих поперечников), так что узкий, озарённый Солнцем край лунного шара мог бы быть виден, — он всё же недоступен нашему зрению: блеск Солнца поглощает 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 «новоземля» с Луны: там нет атмосферы, рассеивающей солнечные лучи и создающей вокруг дневного светила сияющий ореол. Звёзды и планеты не теряются там в лучах Солнца, а чётко выделяются на небе в непосредственном соседстве с ним. Поэтому, когда Земля оказывается не прямо перед Солнцем (т. е. не в моменты затмений), а несколько выше или ниже его, она всегда видна на чёрном, усеянном звёздами небе нашего спутника в форме тонкого серпа с рогами, обращёнными от Солнца (рис. 52). По мере отхода Земли влево от Солнца серп словно перекачивается влево.

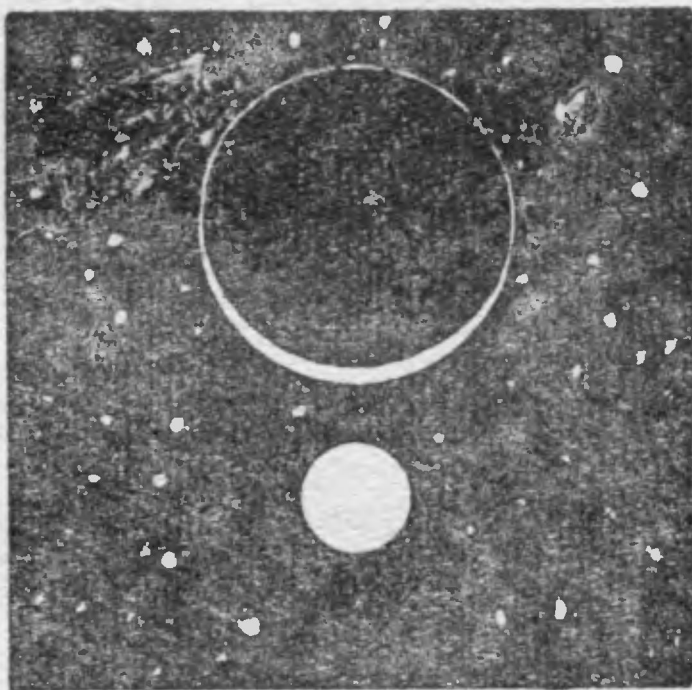


Рис. 52. «Молодая» Земля на небе Луны. Белый кружок под земным серпом — Солнце.

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 тёмной полоской скользит близ края освещённого 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 «новоземлия».

Мы заметили уже вскользь, 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 за-

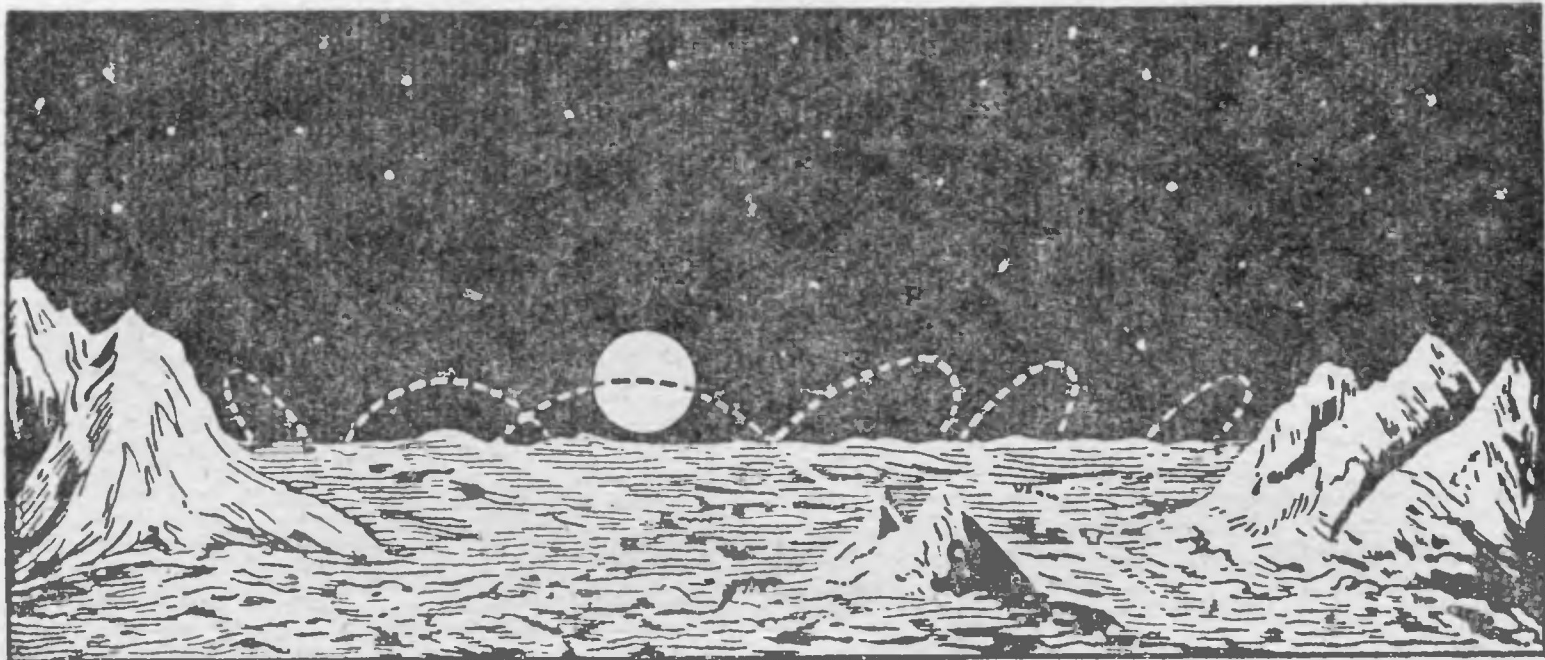


Рис. 53. Медленные движения Земли близ лунного горизонта вследствие либрации. Пунктирные линии — пути центра земного диска.

падно-восточном — на 16° . Для тех пунктов Луны, где Земля видна на самом горизонте, планета наша должна поэтому казаться иногда заходящей и вскоре затем вновь восходящей, описывая странные кривые (рис. 53). 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 тех небесных зрелищ, которые называются затмениями. 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 вишнёво-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 чёрным диском, окружённым багровой каймой своей атмосферы. Эта-то кайма и освещает красноватым светом погружённую в тень Луну (рис. 54).

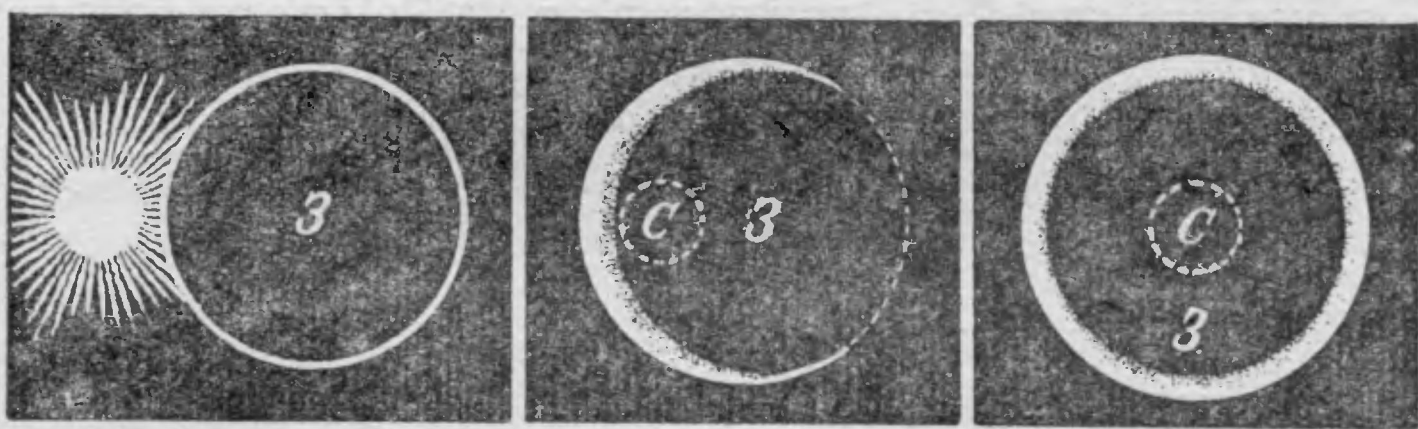


Рис. 54. Ход солнечного затмения на Луне: Солнце (С) постепенно заходит за земной диск (З), неподвижно висящий на лунном небе.

Затмения Солнца длятся на Луне не несколько минут, как на Земле, а более 4 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 чёрный 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 влачит за собой наш спутник, доходит как раз до земной поверхности (рис. 55). Собственно говоря, средняя длина конуса лунной тени меньше среднего расстояния Луны от 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 в действительности потому, что Луна движется около Земли по эллипсу

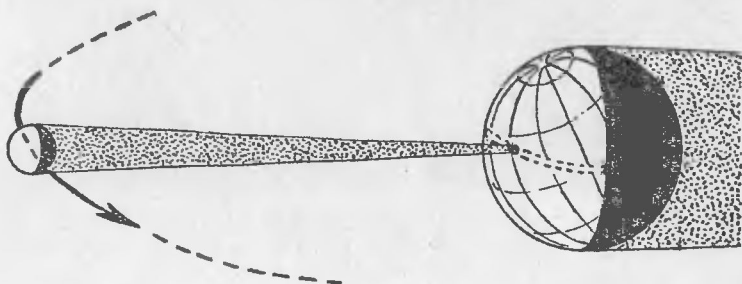


Рис. 55. Конец конуса лунной тени скользит по земной поверхности; в покрытых им местах наблюдается солнечное затмение.

и в одних частях орбиты бывает на 42 200 км ближе к поверхности Земли, чем в других: расстояние Луны меняется от 356 900 до 399 100 км.

Скользя по земной поверхности, конец лунной тени чертит на ней «полосу видимости солнечного затмения». Полоса эта не шире 300 км, так что число населённых мест, награждаемых зрелищем солнечного затмения, каждый раз довольно 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.

Учёные буквально охотятся поэтому за солнечными затмениями, снаряжая специальные экспедиции в те, иной раз весьма отдалённые для них, места земного шара, откуда это явление можно наблюдать. Затмение Солнца 1936 г. (19 июня) видно было как полное только в пре-

делах Советского Союза, и ради двухминутного наблюдения его к нам приехало 70 иностранных учёных из десяти различных государств. При этом труды четырёх экспедиций пропали даром из-за пасмурной погоды. Размах работ советских астрономов по наблюдению этого затмения был чрезвычайно большим. Советских экспедиций в полосу полного затмения было послано около 30.

В 1941 г., несмотря на войну, Советское правительство организовало ряд экспедиций, расположившихся вдоль полосы полного затмения от Ладожского озера до Алма-Аты. А в 1947 г. советская экспедиция отправилась в Бразилию для наблюдения полного затмения 20 мая. Особенно большой размах приняли в СССР наблюдения полных солнечных затмений 25 февраля 1952 г. и 30 июня 1954 г.

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, для других — частное (т. е. Солнце заслоняется лишь частично). Момент наступления солнечного затмения также неодинаков для различных пунктов полосы не потому, что существует различие в счёте времени, а потому что лунная тень скользит по земной поверхности и разные точки покрываются ею в разное время.

Совсем иначе протекает затмение лунное. Оно наблюдается сразу на всей половине земного шара, где в это время Луна видна, т. е. стоит над горизонтом. Последовательные фазы лунного затмения наступают для всех точек земной поверхности в один и тот же момент; разница обусловлена лишь различием в счёте времени.

Вот почему за лунными затмениями астроному не надо «охотиться»: они являются к нему сами. Но, чтобы «поймать» затмение солнечное, приходится совершать иной раз весьма далёкие путешествия. Астрономы снаряжают экспедиции на тропические острова, далеко на запад или на восток для того только, чтобы в течение нескольких минут наблюдать покрытие солнечного диска чёрным кругом Луны.

Есть ли смысл ради столь быстротечных наблюдений снаряжать дорого стоящие 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 достигнуть нашего глаза, проходят через земную атмосферу и рассеиваются здесь частицами воздуха. Оттого-то небо днём и кажется нам светлым голубым сводом, а не чёрным, усеянным звёздами, каким представлялось бы оно нам даже днём при отсутствии атмосферы. Закрыв Солнце кружком, но оставаясь на дне воздушного океана, мы хотя и защищаем глаз от прямых лучей дневного светила, однако атмосфера над нами попрежнему залита солнечным светом и продолжает рассеивать лучи, затмевая звёзды. Этого не бывает, если заслоняющий экран находится за пределами атмосферы. Луна есть именно такой экран, помещённый от нас в тысячу раз дальше крайней границы атмосферы. Лучи Солнца задерживаются этим экраном до того, как проникают в земную атмосферу, и рассеивания света в затенённой полосе тем самым не происходит. Правда, не полностью: в область тени проникают всё же немногие лучи, рассеиваемые окружающими светлыми областями, и потому небо в момент полного солнечного затмения никогда не бывает так чёрно, как в полночь; звёзды видны только самые яркие.

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

Первая — наблюдение так называемого «обращения» спектральных линий в наружной оболочке Солнца. Линии солнечного спектра, при обычных условиях тёмные на светлой ленте спектра, на несколько секунд становятся светлыми на тёмном 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 чётко, что астрономы стремятся не упускать подобного случая.

Вторая задача — исследование солнечной короны. Корона — самое замечательное из явлений, наблюдаемых в моменты полного солнечного затмения: вокруг совершенно чёрного круга Луны, окаймлённого огненными выступами («протуберанцами») наружной оболочки Солнца, сияет жемчужный ореол различных размеров и формы в разные затмения (рис. 56). Длинные лучи этого сияния нередко в несколько раз больше солнечного поперечника, а яркость составляет обычно лишь половину яркости полной Луны.

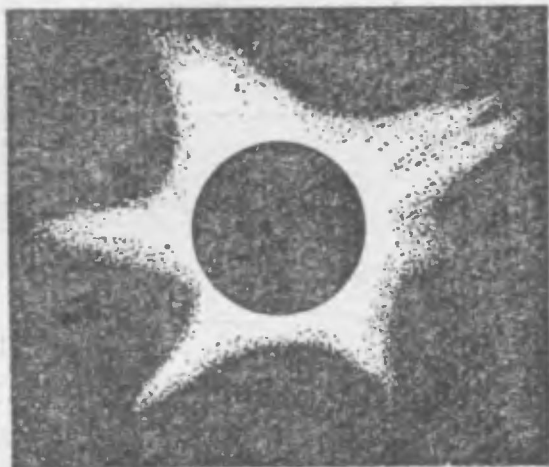


Рис. 56. В момент полного солнечного затмения вокруг чёрного диска Луны вспыхивает «солнечная корона».

Во время затмения 1936 г. солнечная корона оказалась исключительной яркости, ярче полной Луны, что бывает редко. Длинные, несколько размытые, лучи короны простирались на три и более солнечных диаметра; вся корона представлялась в виде пятиконечной звезды, центр которой был занят тёмным диском Луны.

Природа солнечной короны до сих пор ещё не выяснена окончательно. Астрономы во время затмений фотографируют корону, измеряют её яркость, исследуют её спектр. Всё это помогает изучению её физического строения.

Третья задача, выдвинутая только в последние десятилетия, состоит в проверке одного из следствий общей теории относительности. Согласно теории относительности лучи звёзд, проходя мимо Солнца, испытывают влияние его могучего притяжения и претерпевают отклонение, которое должно обнаружиться в кажущемся смещении звёзд близ солнечного диска (рис. 57). Проверка этого следствия возможна только в моменты полного солнечного затмения.

Измерения во время затмений 1919, 1922, 1926 и 1936 гг. не дали, строго говоря, решающих результатов, и вопрос об опытном подтверждении указанного след-

ствия из теории относительности остаётся до сих пор открытым ¹⁾).

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

Что касается самой картины полного солнечного затмения, то в нашей художественной литературе имеется прекрасное описание этого редкого явления природы (В. Г. Короленко «На затмении»; описание относится к

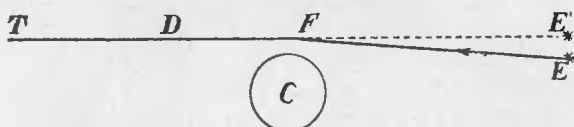


Рис. 57. Одно из следствий общей теории относительности — отклонение световых лучей под влиянием силы тяготения Солнца. Согласно теории относительности земной наблюдатель в T видит звезду в точке E' по направлению прямой $TDFE'$, между тем как в действительности звезда находится в точке E и посылает свои лучи по искривлённому пути EFD . При отсутствии Солнца световой луч от звезды E к Земле T направлялся бы по прямой ET .

затмению в августе 1887 г.; наблюдение производилось на берегу Волги, в городе Юрьевце). Приводим выдержку из рассказа Короленко с несущественными пропусками:

«Солнце тонет на минуту в широком мгlistом пятне и показывается из облака уже значительно ущерблённым...

Теперь уже это видно простым глазом, чему помогает тонкий пар, который всё ещё курится в воздухе, смягчая ослепительный блеск.

Тишина. Кое-где слышно нервное, тяжёлое дыхание...

Проходит полчаса. День сияет почти всё так же, облачка закрывают и открывают солнце, теперь плывущее в вышине в виде серпа.

Среди молодёжи царит беспечное оживление и любопытство.

¹⁾ Самый факт отклонения подтвердился, но полного количественного согласия с теорией не установлено. Наблюдения проф. А. А. Михайлова привели к необходимости пересмотра в некоторых отношениях самой теории этого явления.

Старики вздыхают, старухи как-то истерически охают, а кто даже вскрикивает и стонет, точно от зубной боли.

День начинает заметно бледнеть. Лица людей принимают испуганный оттенок, тени человеческих фигур лежат на земле, бледные, неясные. Пароход, идущий вниз, проплывает каким-то призраком. Его очертания стали легче, потеряли определённую краску. Количество света, видимо, убывает, но так как нет сгущённых теней вечера, нет игры отражённого на низших слоях атмосферы света, то эти сумерки кажутся необычными и странными. Пейзаж будто расплывается в чём-то; трава теряет зелень, горы как бы лишаются своей тяжёлой плотности.

Однако пока остаётся тонкий серповидный ободок солнца, всё ещё царит впечатление сильно побледневшего дня, и мне казалось, что рассказы о темноте во время затмения преувеличены. «Неужели, — думалось мне, — эта остающаяся ещё ничтожная искорка солнца, горящая, как последняя забытая свечка в огромном мире, так много значит?.. Неужели, когда она потухнет, вдруг должна наступить ночь?»

Но вот эта искра исчезла. Она как-то порывисто, будто вырвавшись с усилием из-за тёмной заслонки, сверкнула ещё золотой брызгой и погасла. И вместе с этим пролилась на землю густая тьма. Я уловил мгновение, когда среди сумрака набежала полная тень. Она появилась на юге и, точно громадное покрывало, быстро пролетела по горам, по рекам, по полям, обмахнув всё небесное пространство, укутала нас и в одно мгновение сомкнулась на севере. Я стоял теперь внизу, на береговой отмели, и оглянулся на толпу. В ней царило гробовое молчание... Фигуры людей сливались в одну тёмную массу...

Но это не была обыкновенная ночь. Было настолько светло, что глаз невольно искал серебристого лунного сияния, пронизывающего насквозь синюю тьму обычной ночи. Но нигде не было сияния, не было синовы. Казалось, тонкий, неразличимый для глаза пепел рассыпался сверху над землёй или будто тончайшая и густая сетка повисла в воздухе. А там, где-то по бокам, в верхних слоях чувствуется озарённая воздушная даль, которая сквозит в нашу тьму, сливая тени, лишая темноту её формы и густоты. И над всею смущённой природой чудной панорамой бегут тучи, а среди них происходит захва-

тывающая борьба... Круглое, тёмное, враждебное тело, точно паук, впилося в яркое солнце, и они несутся вместе в заоблачной вышине. Какое-то сияние, льющееся изменчивыми переливами из-за тёмного щита, придаёт зрелищу движение и жизнь, а облака ещё усиливают иллюзию своим тревожным бесшумным бегом».

Затмения л у н н ы е 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

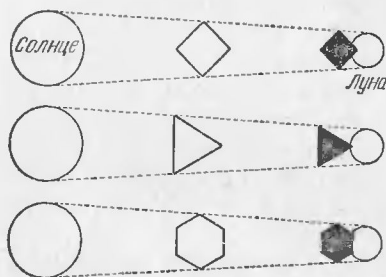


Рис. 58. Старинный рисунок, поясняющий мысль, что по виду земной тени на диске Луны можно судить о форме Земли.

сыграло это доказательство в истории кругосветного плавания Магеллана. Когда после утомительного долгого путешествия по пустынным водам Тихого океана матросы пришли в отчаяние, решив, что они безвозвратно удалились от твёрдой 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, окружённая водами, — рассказывает спутник великого мореплавателя, — Магеллан черпал твёрдость в следующем соображении: при затмениях Луны тень, бросаема Землёю, — круглая, а какова тень, таков должен быть и предмет, её бросающий...». В старинных книгах по астрономии мы находим даже рисунки, поясняющие зависимость формы лунной тени от формы Земли (рис. 58).

Теперь мы в подобных доказательствах уже не нуждаемся. Зато лунные затмения дают возможность судить о строении верхних слоёв 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 тепевого конуса. Сила лунного освещения в эти моменты и его цветотовые 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 ещё вернёмся к этому дальше).

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. Период этот называли «саросом». Пользуясь им, древние 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 её орбите? Ответ на этот вопрос может быть различен в зависимости от того, в какой момент считать законченным оборот Луны вокруг Земли. Астрономы различают пять родов месяцев, из которых нас интересуют сейчас только два:

1. Так называемый «синодический» месяц, т. е. промежуток времени, в течение которого Луна совершает по своей орбите полный оборот, если следить за этим движением с Солнца. Это — период времени, протекающий между двумя одинаковыми фазами Луны, например от новолуния до новолуния. Он равен 29,5306 суток.

2. Так называемый «драконический» месяц, т. е. промежуток, по истечении которого Луна возвращается к тому же «узлу» своей орбиты (узел — пересечение лунной орбиты с плоскостью земной орбиты). Продолжительность такого месяца — 27,2123 суток.

Затмения, как легко сообразить, происходят только в моменты, когда Луна в фазе полнолуния или новолуния бывает в одном из своих узлов: тогда её 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 включает целое число синодических и

драконических месяцев: тогда повторяются 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:

$$x = 272\,123, \quad y = 295\,306.$$

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

$$\frac{295\,306}{272\,123}$$

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

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

Из этой дроби, беря первые её 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 даёт уже достаточную точность. Если остановиться на ней, т. е. принять $x = 223$, а $y = 242$, то период повторяемости затмений получится равным 223 синодическим месяцам, или 242 драконическим. Это составляет 6585 суток, т. е. 18 лет 11,3 суток (или 10,3¹⁾ суток).

Таково происхождение сароса. Зная, откуда он произошёл, мы можем отдать себе отчёт 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 часов 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 ли солнечное затмение полным или нет. Поэтому сарос даёт возможность предсказать лишь то, что в определённый 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, т. е. не наблюдается вовсе; и, наоборот, иной раз становятся видимыми небольшие частные затмения Солнца, прежде не наблюдавшиеся.

В наши дни астрономы не пользуются саросом. Капризные движения земного спутника изучены так хорошо, что затмения предвычисляются сейчас с точностью до секунды. Если бы предсказанное затмение не произошло, современные учёные готовы были бы допустить всё,

¹⁾ Смотря по тому, входит ли в этот период 4 или 5 високосных лет.

что угодно, только не ошибочность расчётов. Это удачно подмечено у Жюль Верна, который в романе «Страна мхов» рассказывает об астрономе, отправившемся в полярное путешествие для наблюдения солнечного затмения. Вопреки предсказанию, оно не произошло. Какой же вывод сделал из этого астроном? Он объявил окружающим, что ледяное поле, на котором они находятся, есть не материк, а пловучая льдина, вынесенная морским течением за полосу затмения. Утверждение это вскоре оправдалось. Вот пример глубокой веры в силу науки!

Возможно ли?

Очевидцы рассказывают, что во время лунного затмения им случалось наблюдать на одной стороне неба у горизонта диск Солнца и одновременно на другой стороне — затемнённый диск Луны.

Наблюдались подобные явления и в 1936 г. — в день частного лунного затмения 4 июля. «4 июля вечером в 20 час. 31 мин. взошла Луна, а в 20 час. 46 мин. садилось Солнце, и в момент восхода Луны произошло лунное затмение, хотя Луна и Солнце видны были одновременно над горизонтом. Я очень удивился этому, потому что лучи света распространяются ведь прямолинейно», — писал мне один из читателей этой книги.

Картина в самом деле загадочная: хотя, вопреки убеждению чеховской девицы, нельзя сквозь закопчённое стекло «увидеть линию, соединяющую центр Солнца и Луны», но мысленно провести её мимо Земли при таком расположении вполне возможно. Может ли наступить затмение, если Земля не заслоняет Луны от Солнца? Можно ли верить такому свидетельству очевидца?

В действительности, однако, в подобном наблюдении нет ничего невероятного. То, что Солнце и затемнённая 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 (стр. 36, рис. 15). Когда мы видим Солнце или Луну близ самого горизонта, они геометрически находятся ниже горизонта. Ничего нет поэтому невозможного в том, что диск Солнца и затемнённая Луна видны оба над горизонтом в одно время.

«Обыкновенно, — говорит по этому поводу Фламма-рион, — указывают на затмения 1666, 1668 и 1750 гг., когда эта странная особенность проявилась всего резче. Однако нет надобности забираться так далеко. 15 февраля 1877 г. Луна восходила в Париже в 5 час. 29 мин. Солнце же закатывалось в 5 час. 39 мин., а, между тем, полное затмение уже началось. 4 декабря 1880 г. произошло полное лунное затмение в Париже: в этот день Луна взошла в 4 часа, а Солнце закатилось в 4 часа 2 мин., и это было почти в середине затмения, продолжавшегося от 3 час. 3 мин. до 4 час. 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 сколько лунные затмения?



Рис. 59. Пятна света в тени древесной листвы во время частной фазы солнечного затмения имеют серповидную форму.

2. Сколько всех затмений может случиться в течение одного года?

3. Бывают ли годы без солнечных затмений? А без лунных?

4. Когда будет ближайшее полное солнечное затмение, видимое в СССР?

5. С какой стороны при затмении надвигается на Солнце чёрный диск Луны — справа или слева?

6. На каком краю начинается затмение Луны — на правом или на левом?

7. Почему пятна света в тени листвы имеют во время солнечного затмения форму серпов (рис. 59)?

8. Какая разница между формой солнечного серпа во время затмения и формой обычного лунного серпа?

9. Почему на солнечное затмение смотрят через закопчённое стекло?

О т в е т ы

1. Наибольшая продолжительность полной фазы солнечного затмения $7\frac{1}{2}$ мин. (на экваторе; в высоких широтах — меньше). Все же фазы затмения могут захватить до $4\frac{1}{2}$ час. (на экваторе).

Продолжительность всех фаз лунного затмения — до 4 час.; время полного потемнения Луны длится не более 1 ч. 50 м.

2. Число всех затмений в течение года — и солнечных и лунных — не может быть больше 7 и меньше 2. (В 1935 г. насчитывалось 7 затмений: 5 солнечных и 2 лунных.)

3. Без солнечных затмений не проходит ни одного года: ежегодно случается не менее 2 солнечных затмений. Годы без лунных затмений бывают довольно часто, примерно каждые 5 лет.

4. Ближайшее полное солнечное затмение, видимое в СССР, произойдёт 15 февраля 1961 г. Полоса полного затмения пройдёт через Крым, Сталинград, Западную Сибирь.

5. В северном полушарии Земли диск Луны надвигается на Солнце справа налево. Первого соприкосновения Луны с Солнцем следует всегда ждать с правой стороны. В южном полушарии — с левой (рис. 60).

6. В северном полушарии Луна вступает в земную тень своим левым краем, в южном — правым.

7. Пятна света в тени листвы есть не что иное, как изображения Солнца. Во время затмения Солнце имеет вид серпа и такой же вид должны иметь его изображения в тени листвы (рис. 59).

8. Лунный серп ограничен снаружи полукругом, изнутри — полуэллипсом. Солнечный серп ограничен двумя дугами круга одного радиуса (см. стр. 59, «Загадки лунных фаз»).

9. На Солнце, хотя бы и частично заслонённое Луной, нельзя смотреть незащищёнными глазами. Солнечные

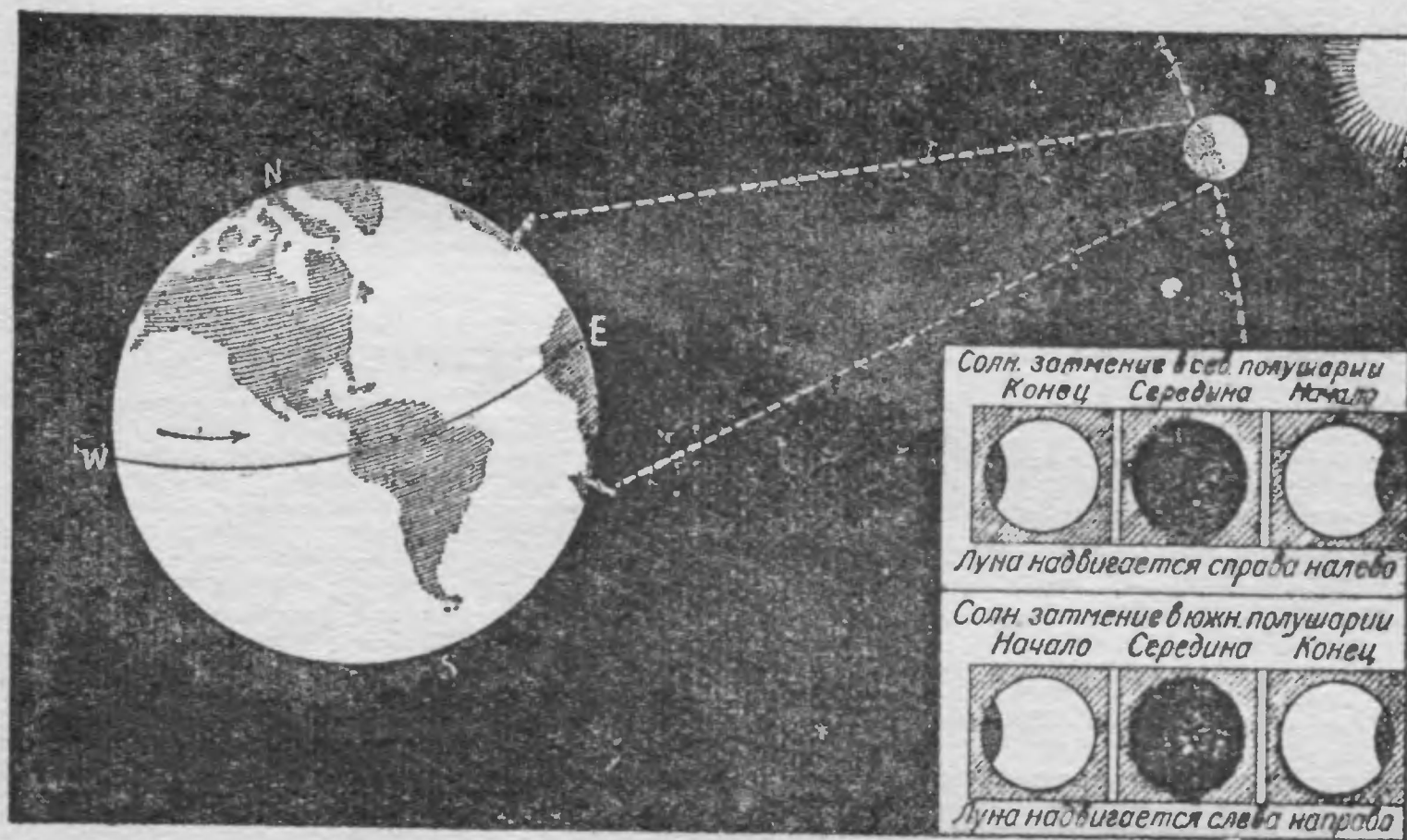


Рис. 60. Почему для наблюдателя в северном полушарии Земли диск Луны во время затмения надвигается на Солнце справа, а для наблюдателя в южном полушарии — слева?

лучи обжигают наиболее чувствительную часть сетчатой оболочки глаза, заметно понижая остроту зрения на продолжительное время, а иногда и на всю жизнь.

Ещё 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 заpastись густо закопчённым стеклом. Закоптить его надо на свечке настолько густо, чтобы диск Солнца казался через такое стекло резко очерченным кружком, без лучей и ореола; для удобства закопчённую сторону покрывают другим, чистым стеклом и обклеивают по краям бумагой. Так как нельзя заранее

предвидеть, каковы будут условия видимости Солнца в часы затмения, то полезно заготовить несколько стёкол с различной густотой затемнения.

Можно пользоваться также и цветными стёклами, если сложить вместе два стекла различных цветов (желательно «дополнительных»). Обыкновенные тёмные очки-консервы недостаточны для этой цели. Наконец, весьма пригодны для наблюдения Солнца и фотографические негативы, на которых имеются тёмные участки надлежащей густоты ¹⁾.

Какая на Луне погода?

Собственно говоря, на Луне нет никакой погоды, если это слово понимать в обычном смысле. Какая может быть погода там, где совершенно отсутствуют атмосфера, облака, водяной пар, осадки, ветер? Единственное, о чём может быть речь, — это температура почвы.

Итак, насколько нагрета почва Луны? Астрономы располагают теперь прибором, дающим возможность измерять температуру не только далёких 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 поглощённой теплоты.

Чувствительность прибора поразительна. При микроскопических размерах (ответственная часть прибора не больше 0,2 мм и весит 0,1 мг) он отзывается даже на греющее действие звёзд 13-й величины, повышающее температуру на десяти миллионные доли градуса. Эти звёзды не видны без телескопа; они светят в 600 раз слабее, нежели звёзды, находящиеся на границе видимости простым глазом. Уловить столь ничтожное ко-

¹⁾ Желающим подробнее ознакомиться с тем, как протекает полное солнечное затмение и какие наблюдения производят астрономы во время затмений, можно рекомендовать книгу «Солнечные затмения и их наблюдение», составленную группой специалистов под общей редакцией проф. А. А. Михайлова. Книга предназначена для любителей астрономии, преподавателей и учащихся старших классов. Более популярно написана книга В. Т. Тер-Оганезова «Солнечные затмения», Гостехиздат, 1954 («Научно-популярная библиотека»).

личество тепла — всё равно, что обнаружить теплоту свечи с расстояния нескольких километров.

Располагая таким почти чудесным измерительным прибором, астрономы вводили его в отдельные участки телескопического изображения Луны, измеряли получае-

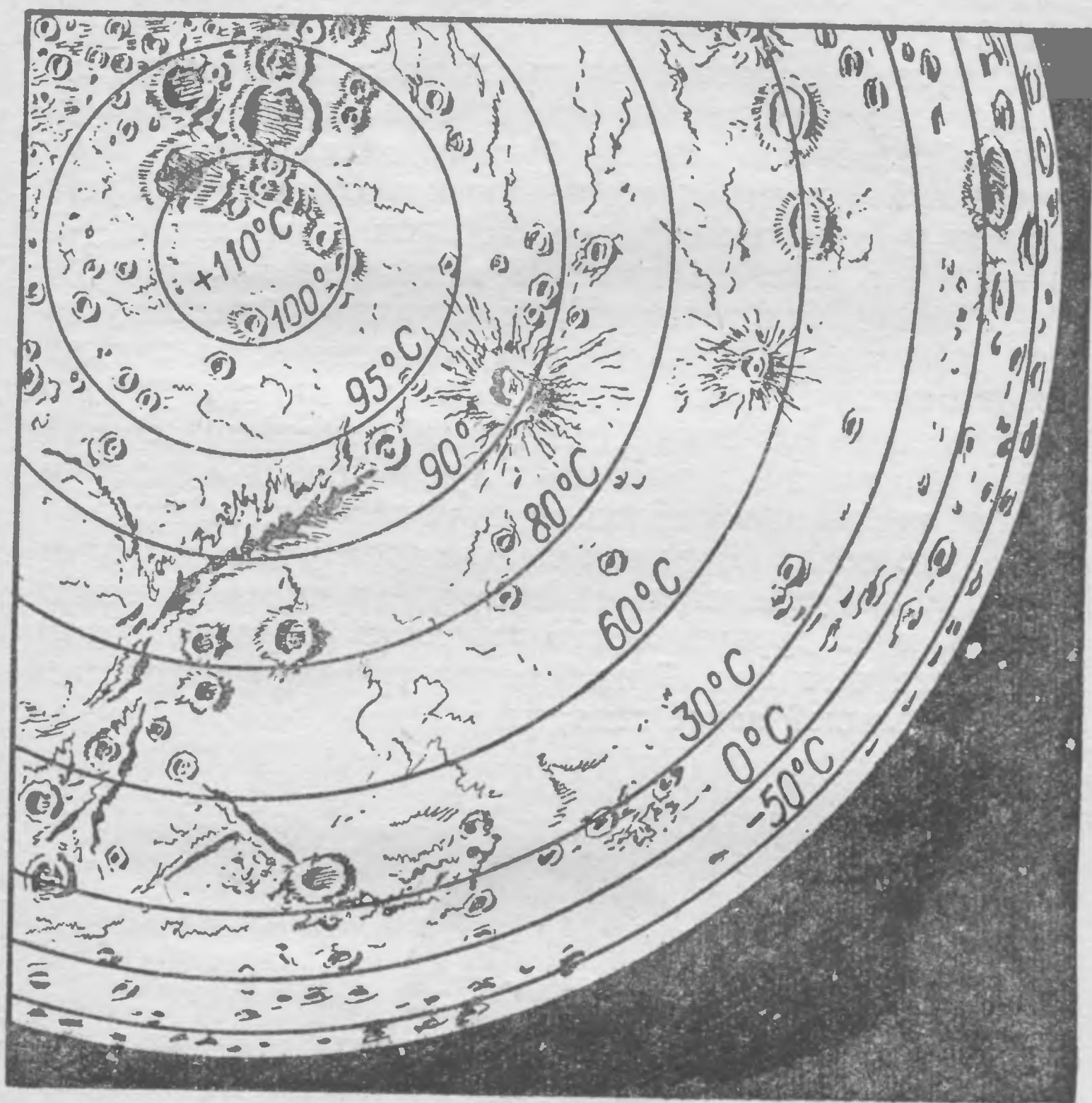


Рис. 61. Температура на Луне достигает в центре видимого диска $+110^{\circ}$ и быстро падает к краям до -50° и ниже.

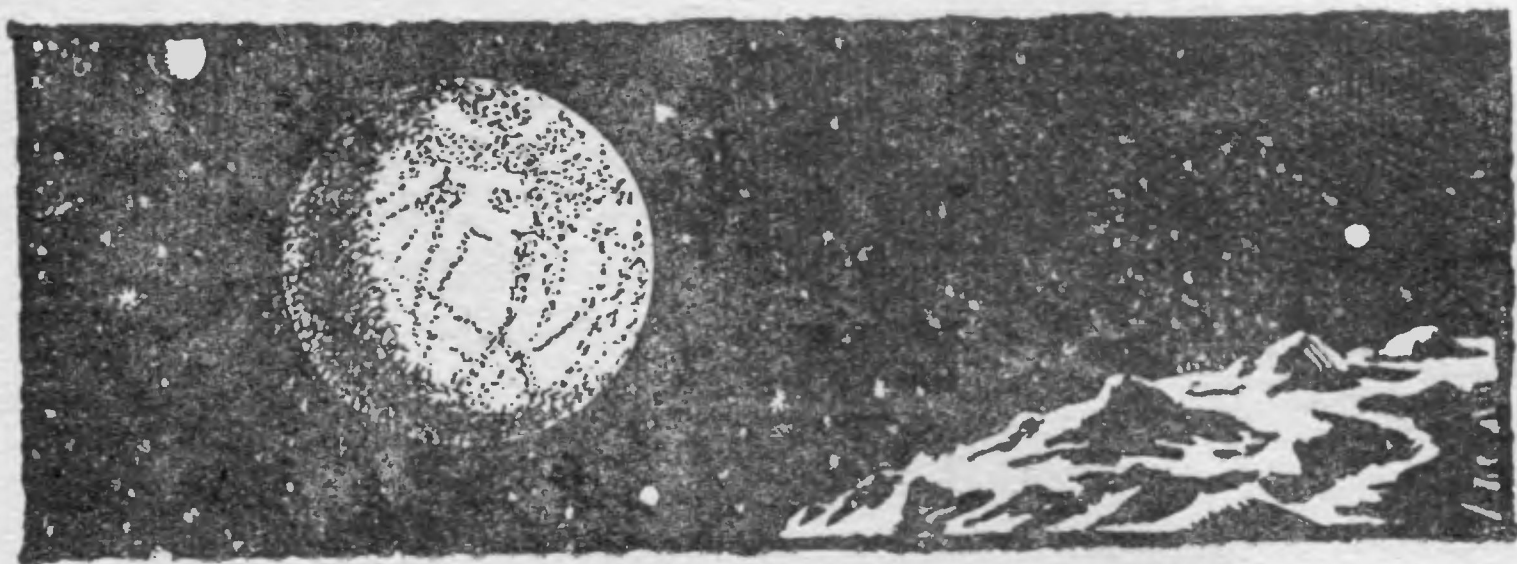
мое им тепло и на этом основании оценивали температуру различных частей Луны (с точностью до 10°). Вот результаты (рис. 61): в центре диска полной Луны температура выше 100° ; вылитая здесь на лунную почву вода вскипала бы даже под нормальным давлением. «На Луне нам не пришлось бы готовить себе обед на плите, — пишет один астроном, — её роль могла бы выполнить любая ближай-

шая скала». Начиная от центра диска, температура равномерно убывает во все стороны, но ещё в 2700 км от центральной точки она не ниже 80°. Затем падение температуры идёт быстрее, и близ края освещённого диска господствует мороз в —50°. Ещё холоднее на тёмной, отвёрнутой от Солнца стороне Луны, где мороз достигает —160°.

Раньше было упомянуто, что во время затмений, когда лунный шар окунается в земную тень, почва Луны, лишённая солнечного света, быстро охлаждается. Было измерено, как велико это остывание: в одном случае установлено падение температуры во время затмения с +70 до —117°, т. е. почти на 200° в течение каких-нибудь 1½—2 часов. Между тем, на Земле, при подобных же условиях, т. е. при солнечном затмении, отмечается понижение температуры всего на два, много на три градуса. Это различие надо отнести за счёт 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 теплоёмкость и на дурную теплопроводность лунной почвы, вследствие чего при её нагревании успевает накопиться лишь небольшой запас теплоты.





ГЛАВА ТРЕТЬЯ ПЛАНЕТЫ

Планеты при дневном свете

Можно ли днём, при ярком сиянии Солнца, видеть планеты? В телескоп — безусловно: астрономы нередко производят наблюдения над планетами днём, различая их в трубы даже средней силы, правда, не так отчётливо, как ночью. В трубу, диаметр объектива которой 10 см, можно днём не только видеть Юпитер, но и различать на нём характерные полосы. Наблюдения Меркурия, пожалуй, удобнее производить днём, — тогда планета стоит высоко над горизонтом, после же захода Солнца Меркурий бывает виден так низко на небе, что земная атмосфера заметно искажает телескопическое изображение.

При благоприятных условиях некоторые планеты доступны днём и невооружённому глазу.

Особенно часто удаётся наблюдать на дневном небе самую яркую из планет, Венеру, конечно, в пору наибольшей её яркости. Известен рассказ Араго о Наполеоне I, который однажды во время парадного следования по улицам Парижа был обижен тем, что толпа, поражённая появлением Венеры в полдень, уделяла больше внимания этой планете, чем его высокой особе.

С улиц больших городов Венера в дневные часы видна даже чаще, чем с открытых мест: высокие дома заслоняют Солнце и тем защищают глаза от ослепляющего действия прямых его лучей. Случаи видимости Венеры днём отмечены и русскими летописцами. Так, новгородская летопись говорит, что в 1331 г. днём «явился на небеси знамение,

звезда светла над церковью». Звезда эта (по исследованиям Д. О. Святского и М. А. Вильева) была Венера.

Наиболее благоприятные эпохи для видимости Венеры в дневное время повторяются каждые 8 лет. Внимательные наблюдатели неба, вероятно, имели случай видеть днём 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 } Сатурн	} Слабее Сириуса, но ярче звёзд первой величины
Марс			
Юпитер			

Мы ещё вернёмся к этой теме в следующей главе, когда познакомимся с числовой оценкой блеска небесных светил.

Планетная азбука

Для обозначения Солнца, Луны и планет современные астрономы употребляют значки весьма древнего происхождения (рис. 62). Их начертание требует пояснений, кроме, конечно, знака Луны, понятного самого по себе. Знак Меркурия есть упрощённое 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, заслонённое щитом, — атрибуты воина. Знак Юпитера — не что иное, как начальная буква греческого наименования Юпитера — Zeus (Z — в рукописном шрифте). Знак Сатурна, по толкованию Фламариона, есть искажённое изображение «косы времени» — традиционной принадлежности бога судьбы.

Перечисленные сейчас знаки употребляются с IX в. Знак Урана, разумеется, более позднего происхождения: планета эта открыта лишь в конце XVIII в. Её знак — кружок с буквой H — должен напоминать нам о В. Гер-

шеле (Herschel), открывшем Уран. Знак Нептуна (открытого в 1846 г.) отдаёт дань мифологии изображением трезубца бога морей. Знак для последней планеты, Плутона, понятен сам собой.

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

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

воскресенье	—	знаком Солнца
понедельник	—	» Луны
вторник	—	» Марса
среду	—	» Меркурия
четверг	—	» Юпитера
пятницу	—	» Венеры
субботу	—	» 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 — *martedi* — день Марса и т. д.). Но мы не станем углубляться здесь в эту любопытную область, больше относящуюся к филологии и к истории культуры, чем к астрономии.

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

Знак Солнца	—	для золота
» Луны	—	» серебра
» Меркурия	—	» ртути
» Венеры	—	» меди
» Марса	—	» железа
» Юпитера	—	» олова
» Сатурна	—	» свинца

Связь эта объясняется воззрением алхимиков, посвящавших каждый металл одному из древних мифологических божеств.

<i>Луна</i>	☾
<i>МЕРКУРИЙ</i>	☿
<i>ВЕНЕРА</i>	♀
<i>МАРС</i>	♂
<i>ЮПИТЕР</i>	♃
<i>САТУРН</i>	♄
<i>УРАН</i>	♅
<i>НЕПТУН</i>	♆
<i>ПЛУТОН</i>	♇
<i>СОЛНЦЕ</i>	☉
<i>ЗЕМЛЯ</i>	♁

Рис. 62. Условные знаки для Солнца, Луны и планет.

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 берётся тот же знак, но видоизменённый (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 чертёж планетных путей, а никак не солнечной системы: самих планет на таких чертежах изобразить нельзя 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 уменьшённому подобию планетной системы. Тогда станет ясно и то, почему нет возможности представить солнечную систему ни на каком чертеже. Всё, что мы в состоянии сделать на чертеже — показать сравнительные размеры планет и Солнца (рис. 63).

Изберём для земного шара самую скромную величину — булавочную головку: пусть Земля изображается шариком около 1 мм поперечником. 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, помещённый 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 в самом деле гораздо больше пустоты, чем вещества. Правда, между Солнцем и Землёй есть две планеты — Меркурий и Венера, но они мало способствуют заполнению пространства; в нашей комнате прибавляются

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 ещё крупинки вещества по другую сторону от Земли. В 16 м от мяча-Солнца кружится Марс — крупинка в $\frac{1}{2}$ мм поперечником. Каждые 15 лет обе крупинки, Земля и Марс, сближаются до 4 м; так выглядит здесь кратчайшее расстояние между двумя мирами.

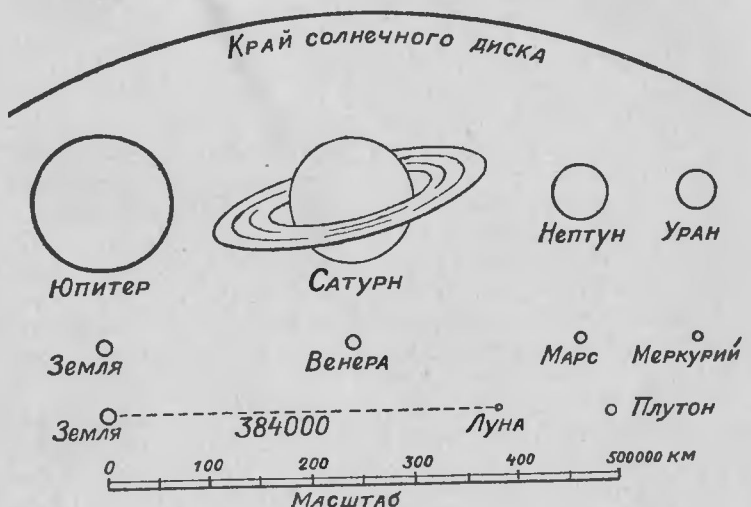


Рис. 63. Сравнительные размеры планет и Солнца. Диаметр диска Солнца в этом масштабе равен 19 см.

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 ($\frac{1}{20}$ мм), 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 12 его спутников. Размеры этих больших лун — около $\frac{1}{2}$ мм, остальные представляются в модели опять-

таки бактериями. Наиболее удалённый 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 и теперь очевидно, насколько безнадёжны попытки уместить план солнечной системы на одном чертеже. Невозможность эта станет в дальнейшем ещё 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. 9 спутников разбросаны вокруг планеты на протяжении $\frac{1}{2}$ м в виде крупинок диаметром в $\frac{1}{10}$ 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 5 пылинками-спутниками, разбросанными на расстоянии до 4 см от центральной крупинки.

В 300 м от центрального крокетного шара медленно совершает свой путь планета, ещё недавно считавшаяся последней в нашей системе, — Нептун: горошина с двумя спутниками (Тритоном и Нерейдой) в 3 и 70 см от неё.

Ещё далее обращается небольшая планета — Плутон, расстояние которой в нашей модели выразится в 400 м, а поперечник — около половины земного.

Но и орбиту этой последней планеты нельзя считать границей нашей солнечной системы. Кроме планет, к ней принадлежат ведь и кометы, многие из которых движутся по замкнутым путям около Солнца. Среди этих «волосатых звёзд» (подлинное значение слова «комета») есть ряд таких, период обращения которых доходит до 800 лет. Это — кометы 372 г. до нашей эры, 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, 1882 (две кометы) и 1887 гг. 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 $3\frac{1}{2}$ км в поперечнике и займёт площадь 9 км² при величине Земли, не забудьте, с булавочную головку! На этих 9 км² помещается такой инвентарь:

- 1 крокетный шар,
- 2 орешка,
- 2 горошины,
- 2 булавочные головки,
- 3 крупинки помельче.

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

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

Почему на Меркурии нет атмосферы?

Какая может быть связь между присутствием на планете атмосферы и продолжительностью её оборота вокруг оси? Казалось бы, никакой. И всё 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 4900 м/сек, а этой скорости при невысоких температурах не достигают быстрее из молекул нашей атмосферы¹⁾. И тем не менее Меркурий лишён атмосферы. Причина та, что он движется вокруг Солнца наподобие движения Луны около Земли, т. е. обращён к центральному светилу всегда одной и той же своей 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; на другой же стороне, отвёрнутой от Солнца, царят непрерывная ночь и вечная зима. Легко вообразить себе, какой зной должен господствовать на дневной стороне планеты: Солнце здесь в $2\frac{1}{2}$ раза ближе, чем на Земле, и палящая сила его лучей должна возрасти в $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$,

¹⁾ См. гл. II, стр. 70 («Почему на Луне нет атмосферы?»).

т. е. в $6\frac{1}{4}$ раз. На ночную сторону, напротив, в течение миллионов лет не проникал ни один луч Солнца, и там должен господствовать мороз, близкий к холоду мирового пространства ¹⁾ (около -264°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 ²⁾ Солнце заглядывает лишь на время.

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 замёрзнет. Вследствие резкого понижения атмосферного давления туда устремится газовая оболочка дневной стороны планеты и затвердеет в свою очередь. В итоге вся атмосфера должна в твёрдом виде собраться на ночной стороне планеты, вернее — в той её части, куда Солнце вовсе не заглядывает. Таким образом, отсутствие на Меркурии атмосферы является неизбежным следствием физических законов.

По тем же соображениям, по каким недопустимо существование атмосферы на Меркурии, должны мы отвергнуть и догадку, нередко высказываемую, будто имеется атмосфера на невидимой стороне Луны. Можно с уверенностью утверждать, что если нет атмосферы на одной стороне Луны, то не может её быть и на противоположной ³⁾. В этом пункте расходится с истиной фантастический роман Уэллса «Первые люди на Луне». Романист допускает, что на Луне есть воздух, который в течение сплошной 14-суточной ночи успевает сгуститься и замёрзнуть, а с наступлением дня вновь переходит в газообразное состояние, образуя атмосферу. Ничего подобного, однако, происходить не может. «Если, — писал по этому поводу

¹⁾ Под условным выражением «температура мирового пространства» физики разумеют ту температуру, которую показал бы в пространстве зачёрнённый термометр, заслонённый от лучей Солнца. Эта температура несколько выше точки абсолютного нуля (-273°C) вследствие греющего действия звёздного излучения. См. книгу Я. И. Перельмана «Знаете ли вы физику?».

²⁾ О либрации см. очерк «Видимая и невидимая стороны Луны» (гл. II, стр. 65). Для либрации Меркурия по долготе имеет силу то же приближённое правило, которому подчинена Луна: Меркурий постоянно обращён одной и той же стороной не к Солнцу, а к другому фокусу своей довольно вытянутой орбиты.

³⁾ См. примечание на стр. 72.

проф. О. Д. Хвольсон, — на тёмной стороне Луны воздух затвердевает, то почти весь воздух должен перейти от светлой стороны в тёмную и там также замёрзнуть. Под влиянием солнечных лучей твёрдый воздух должен превращаться в газ, который немедленно будет переходить на тёмную сторону и там затвердевать... Должна происходить непрерывная дистилляция воздуха, и нигде и никогда не может он 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 совершенно несомненно.

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

Фазы Венеры

Известный математик Гаусс рассказывает, что однажды он предложил своей матери взглянуть 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 обращён в трубу в обратную сторону... Гаусс не подозревал до того времени, что мать его различает фазы Венеры даже и невооружённым глазом. Такое острое зрение встречается очень редко; до изобретения зрительной трубы никто поэтому не подозревал о существовании фаз Венеры, подобных лунным.

Особенность фаз Венеры та, что поперечник планеты в разных фазах неодинаков: узкий серп по диаметру значительно больше полного диска (рис. 64). Причина — различное удаление от нас этой планеты в различных фазах. Среднее расстояние Венеры от Солнца 108 миллионов км, Земли — 150 миллионов км. Легко понять, что ближайшее расстояние обеих планет равно разности $150 - 108$, т. е. 42 миллионам км, а самое дальнее — сумме $150 + 108$, т. е. 258 миллионам км. Следовательно, удаление Венеры от нас изменяется в этих пределах.

В ближайшем соседстве с Землёй Венера обращена к нам неосвещённой стороной, и потому наиболее крупная её 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 дис-

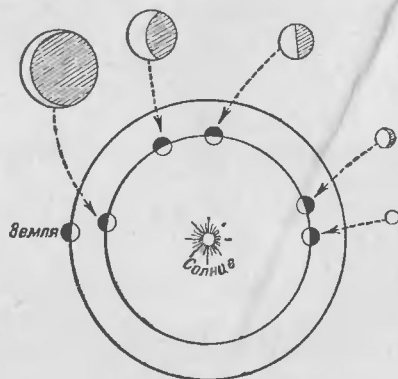


Рис. 64. Фазы Венеры, видимые в телескоп. Венера в разных фазах имеет различный видимый диаметр вследствие изменения расстояния от Земли.

ком, и не тогда, когда диаметр её 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 её $40''$ и угловая ширина серпа — $10''$. Тогда она светит в 13 раз ярче Сириуса, самой яркой звезды всего неба.

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. Памятные годы последних «великих противостояний» красной планеты — 1924 и 1939 (рис. 65). Но мало кто знает, почему событие это повто-

ряется именно через 15 лет. Между тем относящаяся сюда «математика» весьма несложна.

Земля совершает полный обход своей орбиты в $365\frac{1}{4}$ суток, Марс — в 687 суток. Если обе планеты сошлись однажды на ближайшее расстояние, то они должны сой-

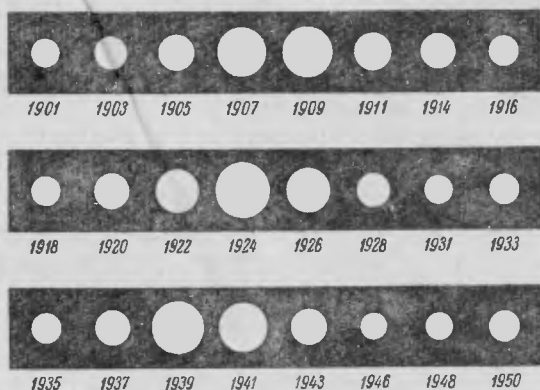


Рис. 65. Изменение видимого диаметра Марса в различные противостояния XX в. В 1909, 1924 и 1939 гг. были великие противостояния.

тись 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 (ср. стр. 96), 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 8 марсовым; значит, эпохи наибольшего приближения Марса должны повторяться каждые 15 лет. (Мы несколько упростили задачу, взяв для отношения обоих времён обращения 1,88 вместо более точного 1,8809.)

По тому же способу можно найти и период повторения наибольшей близости Юпитера. Год Юпитера равен 11,86 земного (точнее 11,8622). Развернём 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). В эти годы Юпитер достигает и наибольшей видимой яркости. Последнее великое противостояние Юпитера произошло в конце 1927 г. Следующее наступит в 2010 г. Расстояние Юпитера от Земли в эти моменты равно 587 миллионам км. Это — наименьшее расстояние, на какое подходит к нам крупнейшая планета солнечной системы.

Планета или меньшее солнце?

Такой вопрос можно поставить относительно Юпитера — самой крупной из планет нашей системы. Этот исполин, из которого можно было бы сделать 1300 шаров такого объёма, как земной, своим могучим притяжением заставляет обращаться вокруг себя целый рой спутников. Астрономами обнаружено у Юпитера 12 лун; самые крупные из них — те 4, которые ещё три века назад были открыты Галилеем, — обозначаются 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 указаны по-

перечники первых двух спутников Юпитера, а также и нашей Луны:

	Поперечник
Мартс	6600 км
IV спутник Юпитера	5150 »
III » »	5150 »
Меркурий	4700 »
I спутник Юпитера	3700 »
Луна	3480 »
II спутник Юпитера	3220 »

Рис. 66 представляет иллюстрацию той же таблички. Большой круг — Юпитер; каждый из выстроенных по его диаметру кружков — Земля; справа — Луна. Кружки по левую сторону Юпитера — его крупнейшие 4 спутника.

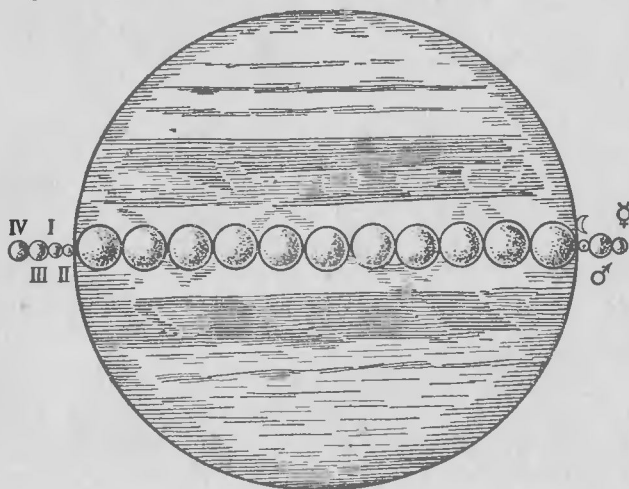


Рис. 66. Размеры Юпитера и его спутников (слева) по сравнению с размерами Земли (вдоль диаметра), Луны, Марса и Меркурия (справа).

Направо от Луны — Мартс и Меркурий. Рассматривая этот чертёж, вы должны иметь в виду, что перед вами не диаграмма, а рисунок: соотношение площадей кружков не даёт правильного представления о соотношении объёмов шаров. Объёмы шаров относятся, как кубы их поперечников.

Если диаметр Юпитера в 11 раз больше диаметра Земли, то объём его больше в 11^3 , т. е. в 1300 раз.

Сообразно этому вы и должны исправить зрительное впечатление от рис. 66, и тогда огромные размеры Юпитера предстанут перед вами в надлежащем виде.

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

Расстояния	В километрах	Сравнительные
Луны от Земли	380 000	1
III спутника от Юпитера	1 070 000	3
IV » » » » »	1 900 000	5
IX » » » » »	24 000 000	63

Вы видите, что система Юпитера имеет размеры в 63 раза бóльшие, чем система Земля — Луна; столь широко раскинувшейся семьёй 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, — место его 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 — 1,35 по отношению к воде — близка к плотности Солнца (1,4). Однако сильная сплюснутость Юпитера приводит к представлению о том, что Юпитер обладает плотным ядром, окружённым толстым слоем льда и гигантской атмосферой.

Ещё совсем недавно уподобление Юпитера Солнцу простирали и дальше; предполагали, что эта планета не покрыта твёрдой 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 идёт о температуре облачных слоёв, плавающих в юпитеровой атмосфере.

Низкая температура Юпитера делает трудно разрешимой задачей объяснение его физических особенностей: бурных явлений в атмосфере, полос, пятен и т. п. Астрономия стоит здесь перед целым клубком загадок.

Недавно в атмосфере Юпитера (а также его соседа Сатурна) обнаружено несомненное присутствие большого количества аммиака и метана ¹⁾).

Исчезновение колец Сатурна

В 1921 г. разнёсся у нас 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 видимы, «исчезли», по выражению астрономического календаря. Молва поняла это выражение буквально как физическое исчезновение, т. е. разрушение колец, и украсила событие дальнейшими подробностями, приличествующими мировой катастрофе; отсюда падение обломков колец к Солнцу и неизбежное столкновение с Землёй.

Сколько шуму наделало невинное сообщение астрономического календаря об оптическом исчезновении сатурновых колец! Чем же обуславливается это исчезновение? Кольца Сатурна очень тонки; толщина их 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 в 27°, но за время 29-летнего обхода

¹⁾ Ещё значительнее содержание метана в атмосфере более далёких планет — Урана и особенно Нептуна. В 1944 г. обнаружена атмосфера из метана на самом большом спутнике Сатурна — Титане. (Прим. ред.)

по планетной орбите кольца в двух диаметрально противоположных её точках становятся ребром к Солнцу и к земному наблюдателю (рис. 67). А в двух других точ-

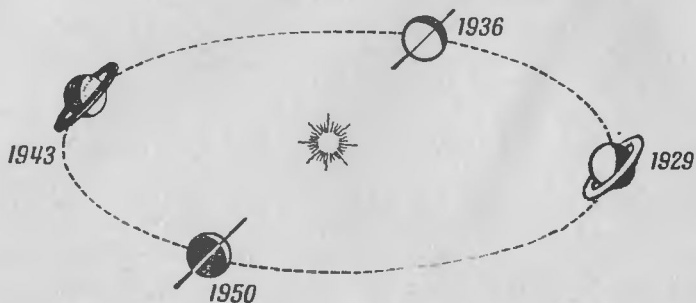


Рис. 67. Какие положения занимают кольца Сатурна по отношению к Солнцу в течение 29-летнего обращения планеты по орбите.

ках, расположенных на 90° от первых, кольца, напротив, показывают Солнцу и Земле свою наибольшую ширину,— «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, учёный 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 учёному возможность не спеша проверить своё открытие, а в случае появления другого претендента — доказать своё первенство. Когда же он окончательно убеждался в правильности первоначальной догадки, он раскрывал секрет анаграммы. Заметив в свою несовершенную трубу, что Сатурн имеет по бокам какие-то придатки, Галилей поспешил сде-

лать заявку на это открытие и опубликовал следующий набор букв:

Smatsmrmietmepoetaleumibuvnenugtlavtras.

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!

3151414121215131312121

Число это состоит примерно из 35 цифр (вспомним, что число секунд в году состоит «только» из 8 цифр!). Теперь понятно, как хорошо забронировал Галилей секрет своей заявки.

Современник итальянского учёного 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, umbisttineum geminatum Martia proles
(Привет вам, близнецы, Марса порождение).

Кеплер был убеждён, что Галилей открыл тех двух спутников Марса, существование которых подозревал он сам¹⁾ (они в действительности и были открыты, но

¹⁾ Очевидно, Кеплер руководствовался при этом предполагаемой прогрессней в числе спутников планет; зная, что у Земли один спутник, а у Юпитера четыре, он считал естественным существование у промежуточной планеты, Марса, двух спутников. Подобный ход мысли заставил и других мыслителей подозревать наличие двух марсовых спутников. У Вольтера в астрономической фантазии «Микромегас» (1750 г.) находим упоминание о том, что его воображаемые путешественники, приблизившись к Марсу, увидели «две луны, служащие этой планете и до сих пор скрывающиеся от взора наших астрономов». В ещё ранее написанных «Путешествиях Гулливера» Свифта (1720 г.) имеется сходное место: астрономы Лапуты «открыли двух спутников, обращающихся около Марса». Эти любопытные догадки получили полное подтверждение лишь в 1877 г., когда Холл обидаружил существование двух спутников Марса с помощью сильного телескопа.

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 двумя буквами пренебречь — такова:

Altissimum planetam tergeminum observavi
(Высочайшую планету тройною 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 он ошибся и никаких придатков у Сатурна нет.

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

Aaaaaaaccccccdeeeeghiiiiiiillmmnnnnnnnnnn
oooooppqrrsttttuuuuu

Спустя три года, убедившись в правильности своей догадки, Гюйгенс обнародовал смысл заявки:

Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato
(Кольцом окружён тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклонённым).

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. Теперь я не могу повторить этого, потому что в 1930 г. прибавил к нашей солнечной системе новый член — девятую крупную планету, обращающуюся около Солнца далее Нептуна.

Открытие это не было полной неожиданностью. Астрономы давно уже склонялись к мысли о существовании неизвестной планеты далее Нептуна. Немногим больше 100 лет назад крайней планетой солнечной системы считался Уран. Некоторые неправильности в его движении навели на подозрение о существовании ещё более далёкой планеты, притяжение которой нарушает расчисленный

бег Урана. Математическое исследование вопроса английским математиком Адамсом и французским астрономом Леверрье завершилось блестящим открытием: заподозренная планета была усмотрена в телескоп. Мир, открытый «на кончике пера» вычислителей, был обнаружен и человеческим глазом.

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

В 1930 г. (вернее, ещё в конце 1929 г.) телескоп, наконец, извлёк из мрака окраин солнечной системы новый член нашей планетной семьи, получивший название Плутона. Это открытие сделал молодой астроном Томбо.

Плутон кружится по пути, весьма близкому к одной из орбит, которые были предвычислены заранее. Тем не менее, по утверждению специалистов, нельзя в этом видеть удачи вычислителя; совпадение орбит в данном случае не более как любопытная случайность.

Что мы знаем об этом новооткрытом мире? Пока немного; он так далёк от нас и так скупо освещается Солнцем, что в сильнейшие инструменты с трудом удалось измерить его диаметр. Он оказался равным 5900 км или 0,47 диаметра Земли.

Плутон движется вокруг Солнца по довольно вытянутой (эксцентриситет 0,25) орбите, заметно наклонённой (17°) к плоскости земной орбиты, на расстоянии от Солнца в 40 раз большем, чем Земля. Около 250 лет затрачивает планета, 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, т. е. примерно такой величины, какой мы видим Юпитер. Интересно, однако, установить, что светит ярче: Солнце на Плуtone или полная Луна на Земле?

Оказывается, далёкий Плутон вовсе не так обделён 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 Плутоне в $\frac{440\,000}{1600}$, т. е. в 275 раз, сильнее, чем свет полной Луны на Земле. Если небо на Плутоне так же ясно, как на Земле (это правдоподобно, так как Плутон, повидимому, лишён атмосферы), то дневное освещение там равно освещению 275 полных лун и раз в 30 ярче самой светлой белой ночи в Ленинграде. Называть Плутон царством вечной ночи было бы поэтому неправильно.

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 — «звёздopodobные»), или просто «малыми планетами». Наиболее значительная из них, Церера, имеет в поперечнике 770 км; она значительно меньше Луны по объёму, примерно во столько же раз, во сколько сама Луна меньше Земли.

Первая из малых планет, Церера, открыта была в первую ночь прошлого столетия (1 января 1801 г.). В течение XIX в. их было обнаружено свыше 400. Все малые планеты движутся вокруг Солнца, между орбитами Марса и Юпитера. До недавнего времени считалось поэтому установленным, что астероиды сгущены кольцом в широком промежутке между орбитами двух названных планет.

XX в. и в особенности самые недавние годы раздвинули границы пояса астероидов. Уже найденный в конце прошлого века (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 её равен 0,66), к тому же всего

сильнее наклонённой к плоскости земной орбиты: под углом в 43° .

Отметим, кстати, что наименование своё планетка получила в честь Гидальго-и-Кастилья, прославленного героя революционной борьбы Мексики за свою независимость, умершего в 1811 г.

Ещё более расширилась зона карликовых планет в 1936 г., когда открыт был астероид с эксцентриситетом 0,78. Новый член нашей солнечной системы получил название Адонис. Особенность новооткрытой планетки та, что в наиболее удалённой 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. Её 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 даты открытия (год разделён на 24 полумесяца, обозначенных последовательно буквами алфавита).

Так как в течение полумесяца нередко открывают несколько планеток, они обозначаются вторыми буквами в порядке алфавита. Если 24 букв нехватает, повторяют их сначала, но с числами возле них. Например, 1932 EA₁ есть астероид, открытый в 1932 г. в первой половине марта, 25-й по счёту. После вычисления орбиты вновь открытой планеты она получает порядковый номер, а затем и имя.

Из множества малых планет, вероятно, лишь небольшая часть пока доступна астрономическим инструментам, остальные ускользают от сетей охотников. По расчётам число астероидов в солнечной системе должно быть порядка 40—50 тысяч.

В настоящее время число уловленных астрономами планет-карликов превышает полторы тысячи: из них свыше сотни открыто астрономами Симеизской observa-

тории (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 Владимира Ильича Ленина), а также «Морозовия» и «Фигнерия» (в честь шлиссельбургских героев), «Симеиза» и др. По числу открытых астероидов Симсиз занимает одно из первых мест среди обсерваторий мира; по разработке теоретических вопросов, связанных с астероидами, советская астрономия также занимает видное место в мировой науке. Институт теоретической астрономии Академии наук СССР (в Ленинграде) в течение многих лет проводит предвычисление положений большого числа малых планет и улучшение теории их движений. Институтom ежегодно публикуются предвычисленные положения на небе малых планет (так называемые эфемериды) для всех обсерваторий мира.

Размеры малых планет крайне разнообразны. Таких крупных, как Церера или Паллада (диаметр 490 км), насчитывается среди них всего несколько. Около семи десятков 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 ещё не все члены кольца астероидов, есть всё же основания утверждать, что совокупная масса всех астероидов, открытых и неоткрытых, составляет около 1000-й доли массы земного шара. Полагают, что открыто пока не более 5% того числа астероидов, которое может быть доступно современным телескопам.

«Можно было бы думать, — писал наш лучший знаток этих планеток Г. Н. Неуймин, — что физические свойства всех астероидов приблизительно одинаковы; в действительности же мы сталкиваемся с поразительным разнообразием. Так, уже определения отражательной способности первых четырёх астероидов показали, что Церера и Паллада отражают свет, как тёмные горные породы Земли, Юнона — как светлые породы, Веста — подобно белым облакам. Это тем более загадочно, что астероиды по своей малости не могут удерживать около

себя атмосферы; они, несомненно, лишены последней, и всю разницу в отражающей способности приходится приписать самим материалам, из которых состоит поверхность планет».

Некоторые малые планеты обнаруживают колебания блеска, свидетельствующие об их вращении вокруг своих осей и неправильной форме.

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 $1\frac{1}{2}$ миллионов 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 прошёл в год своего открытия на расстоянии всего 3 миллионов км от Земли. Такая дистанция должна быть признана (на планетную мерку) очень короткой, потому что Марс не приближается к Земле менее чем на 55 миллионов км, а Венера подходит к нам не ближе 40 миллионов км. Любопытно, что к Венере тот же астероид приближается ещё 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 ещё 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 иногда сблизиться с Землёй на расстояние того же порядка, какое отделяет от нас Луну (500 тысяч км). Диаметр его не превышает 1 км.

Поучительно рассмотреть на этом примере, что означает на языке астрономии слово «маленький». Крошечный астероид, имеющий в объёме всего $0,52 \text{ км}^3$, т. е.

$520\,000\,000 \text{ м}^3$,

если он гранитный, весит примерно

$1\,500\,000\,000 \text{ т}$.

Из такого материала можно было бы возвести 300 таких сооружений, как Хеопсова пирамида.

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 — настолько же позади него и 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 трёх притягивающихся тел был предусмотрен в чисто теоретических исследованиях французского математика 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 совершили уже воображаемый перелёт на поверхность Луны, чтобы бросить оттуда беглый взгляд на нашу Землю и другие светила.

Посетим теперь мысленно планеты солнечной системы и полюбуемся открывающимися оттуда небесными картинами.

Начнём с Венеры. Если бы атмосфера была там достаточно прозрачна, мы увидели бы диск Солнца, вдвое больший по площади, чем тот, который сияет на нашем небе (рис. 68), соответственно этому 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

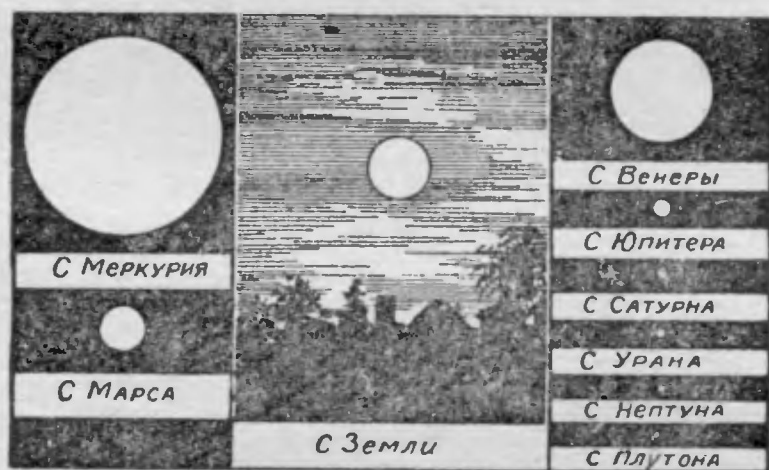


Рис. 68. Видимые размеры Солнца с Земли и других планет.

около Солнца ближе, чем Земля. Поэтому в пору наибольшей её близости к Земле мы совсем не можем её видеть: она обращена к нам неосвещённой 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 её яркости, если только, повторяем, небо нашей соседки вполне ясно. Было бы, однако, заблуждением думать, что земное сияние, обильно заливая ночную половину Венеры, может обусловить её «пепельный свет»: освещение Венеры Землёй 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 ещё свет нашей Луны, которая сама по себе сияет

здесь в четыре раза ярче Сириуса. Едва ли во всей солнечной системе найдётся объект блистательнее двойного светила Земля — Луна, украшающего небо Венеры. Наблюдатель на Венере значительную часть времени видел бы Землю и Луну раздельно, а в телескоп различались бы оттуда даже детали лунной поверхности.

Другая планета, ярко сияющая на небе Венеры — Меркурий, её 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 $2\frac{1}{2}$ раза слабее: чуть тусклее, чем у нас светит Юпитер.

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

*

Умчимся с Венеры на маленький Меркурий, перенесёмся в странный мир, лишённый атмосферы, не знающий смены дня и ночи. Солнце неподвижно висит здесь на небе огромным диском, в шесть раз большим (по площади), чем на Земле (рис. 68). 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 чёрном, безоблачном небе Меркурия.

*

Перенесёмся на Марс. Солнце кажется отсюда диском, вдвое меньшим по площади, чем с Земли (рис. 68). Наш собственный мир сияет на небе Марса утренней и вечерней звездой, как у нас Венера, но тусклее её, примерно так, как мы видим Юпитер. Земля никогда не видна здесь в своей полной фазе: марсиане могли бы видеть сразу не больше $\frac{3}{4}$ её диска. Наша Луна видна была бы с Марса простому глазу звездой, почти

столь же яркой, как Сириус. В телескоп и Земля и сопровождающая 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. Второй спутник, Деймос, заметно менее ярок, 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').

Прежде чем направиться дальше, остановимся на поверхности ближайшего спутника Марса. Мы увидим отсюда 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°, т. е. в 80 раз больше, чем у нас Луна. Только на ближайшем спутнике Юпитера можно наблюдать подобную же необычайную достопримечательность неба.

*

Перенесёмся на поверхность упомянутой сейчас планеты-исполина. Если бы небо Юпитера было ясно, Солнце сияло бы на нём диском, в 25 раз меньшим по площади, чем на нашем небе (рис. 68); во столько же раз Солнце там и тусклее светит. Короткий пятичасовой день быстро сменяется ночью; на звёздном фоне станем искать знакомые планеты. Мы их найдём, 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 Солнцем¹⁾. Марс едва заметен. Зато Сатурн успешно 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 четырёх спут-

¹⁾ Земля светит на небе Юпитера звездой восьмой величины.

ников 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 обнимает лишь узкую полосу поверхности Юпитера.

Едва ли, впрочем, атмосфера на Юпитере так же прозрачна, как у нас на Земле: для этого, она там слишком высока и плотна. Значительная плотность атмосферы

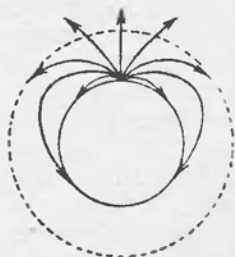


Рис. 69. Возможное искривление лучей света в атмосфере Юпитера. (О следствиях этого явления см. в тексте.)

может обусловить на Юпитере совершенно своеобразные оптические явления, связанные с преломлением лучей света. На Земле преломление лучей атмосферой незначительно и порождает лишь поднятие (оптическое) светил на небе (см. стр. 36). Но при большой высоте и плотности атмосферы на Юпитере возможны гораздо более заметные оптические явления. Лучи, исходящие из точки поверхности (рис. 69) очень наклонно, вовсе не покидают атмосферы, а загигаются к поверхности планеты, как радиоволны в земной атмосфере.

Наблюдатель, находящийся в этой точке, может видеть нечто совершенно необычайное. Ему будет казаться, что он стоит на дне огромной чаши. Внутри чаши расположена почти вся поверхность огромной планеты, очертания которой близ краёв чаши сильно сжаты. А над чашей простирается небо — не полнеба, как у нас, а почти всё небо, лишь у краёв чаши туманное и размытое в очертаниях. Дневное светило никогда не покидает этого странного неба, так что полуночное Солнце можно видеть с любого пункта планеты. Действительно ли на Юпитере имеются такие необычайные условия, — пока сказать, конечно, нельзя.

Необыкновенно эффектное зрелище представляет сам Юпитер, видимый со своих ближайших спутников (рис. 70). Например, с пятого (самого близкого) спутника исполинский диск планеты имеет поперечник почти в 90 раз больше нашей Луны¹⁾ и сияет всего в шесть-

¹⁾ Угловой диаметр Юпитера, рассматриваемого с этого спутника, — более 44°.

семь раз слабее Солнца. Когда он касается горизонта нижним своим краем, его верхний край приходится у середины небосклона. А погружаясь под горизонт, диск



Рис. 70. Юпитер, наблюдаемый с его третьего спутника.

этот занимает восьмую часть всего кругозора. По этому быстро вращающемуся диску проходят время от времени тёмные кружки — тени юпитеровых лун, бессильных, конечно, сколько-нибудь заметно «затмить» гигантскую планету.

*

Переходя к следующей планете, к Сатурну, проследим лишь за тем, в каком виде представляются наблюдателю на Сатурне знаменитые кольца этой планеты. Оказывается,

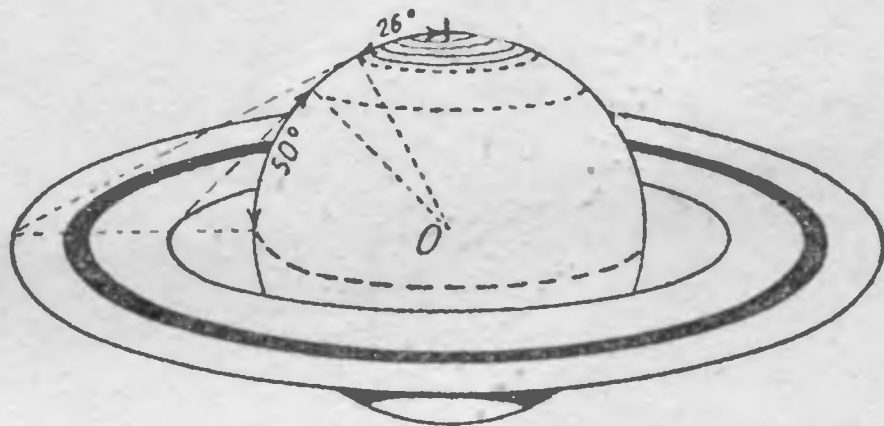


Рис. 71. Как определить видимость сатурновых колец для различных точек поверхности планеты. В полярной области планеты до 64-й параллели кольца не видны совсем.

ся, прежде всего, что кольца видны не со всех точек поверхности Сатурна. Начиная 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 (рис. 71). Начиная с 64-й параллели до 50-й условия видимости

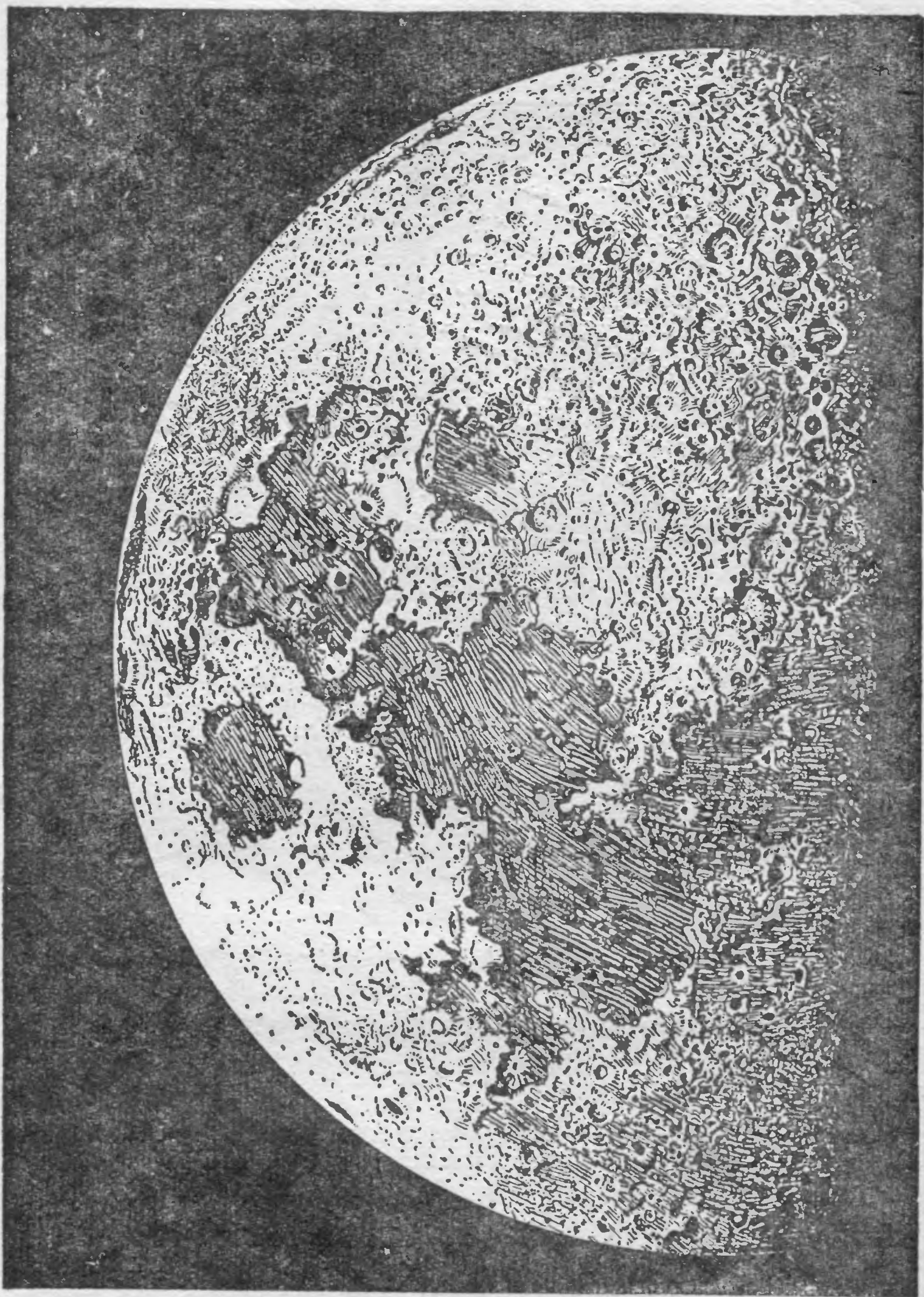
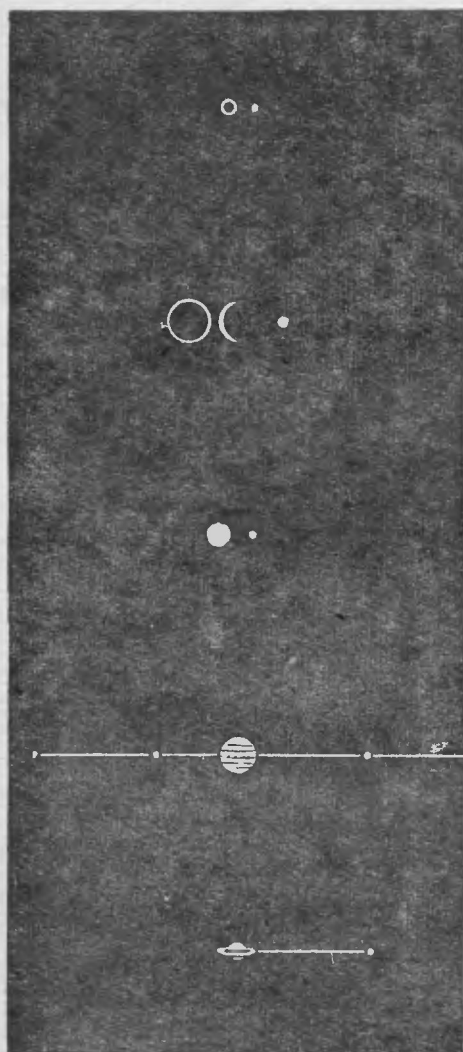


Рис. 72. Как видны Луна и планеты в телескоп, увеличивающий
Луны и планет представляются такими, какими видит



Меркурий в наибольшей близости (невидим) и в наибольшем удалении

Венера в наибольшей близости (невидима), наибольший видимый серп и в наибольшем удалении

Марс в наибольшей близости и в наибольшем удалении

Юпитер с 4 наиболее крупными спутниками

Сатурн с крупнейшим спутником

в 100 раз. Рисунок надо держать в 25 см от глаза, тогда диски их глаз в телескоп с указанным выше увеличением.

Планетная система в числах
Размеры. Масса. Плотность. Спутники

Названия планет	Средний поперечник			Объём (Земля = 1)	Масса (Земля = 1)	Плотность		Число спутни- ков
	видимый в секундах	истинный				Земля = 1	Вода = 1	
		в км	Земля = 1					
Меркурий	13—4,7	4 700	0,37	0,050	0,054	1,00	5,5	—
Венера	64—10	12 400	0,97	0,90	0,814	0,92	5,1	—
Земля	—	12 757	1	1,00	1,000	1	5,52	1
Марс	25—3,5	6 600	0,52	0,14	0,107	0,74	4,1	2
Юпитер	50—30,5	142 000	11,2	1 295	318,4	0,24	1,35	12
Сатурн	20,5—15	120 000	9,5	745	95,2	0,13	0,71	9
Уран	4,2—3,4	51 000	4,0	63	14,6	0,23	1,30	5
Нептун	2,4—2,2	55 000	4,3	78	17,3	0,22	1,20	2
Плутон	0,2?	5 900	0,47	0,1	?	?	?	?

Расстояния. Обращение. Вращение. Тяжесть

Названия планет	Среднее расстояние		Эксцентриситет	Время обращения вокруг Солнца в земных годах	Средняя скорость по орбите в км/сек	Период враще- ния вокруг оси	Наклон экватора к плоск. орбиты	Напряжения си- лы тяжести (Зем- ля = 1)
	в астроно- мических единицах	в млн. км						
Меркурий	0,387	57,9	0,21	0,24	47,8	88д	?	0,26
Венера	0,723	108,1	0,007	0,62	35	30д?	?	0,90
Земля	1,000	149,5	0,017	1	29,76	23ч 56м	23° 27'	1
Марс	1,524	227,8	0,093	1,88	24	24ч 37м	25° 10'	0,37
Юпитер	5,203	777,8	0,048	11,86	13	9ч 55м	3° 01'	2,64
Сатурн	9,539	1 426,1	0,056	29,46	9,6	10ч 14м	26° 45'	1,13
Уран	19,191	2 869,1	0,047	84,02	6,8	10ч 48м	98° 00'	0,84
Нептун	30,071	4 495,7	0,009	164,8	5,4	15ч 48м	29° 36'	1,14
Плутон	39,458	5 899,1	0,25	247,7	4,7	?	?	?

колец улучшаются, видна всё большая их часть, а на 50-й параллели наблюдатель может любоваться всей шириной колец, которые здесь представляются под наибольшим углом — в 12° . Ближе к экватору планеты они суживаются 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 даёт ещё полного представления об условиях видимости колец. Надо помнить, что освещена всегда только одна сторона колец, другая остаётся в тени. Эта освещённая 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 днём. В те краткие часы, когда кольца видны ночью, они частью затмеваются тенью планеты. Наконец, ещё 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, пересечённый узкой полоской колец, которые наблюдаются с ребра, а вокруг них — группа сатурновых колец также в виде серпов, только гораздо меньших размеров.

*

Следующая таблица показывает — в нисходящем порядке — сравнительный блеск разных светил на небе других планет:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Венера с Меркурия | 8. Меркурий с Венеры |
| 2. Земля с Венеры | 9. Земля с Марса |
| 3. Земля с Меркурия | 10. <i>Юпитер с Земли</i> |
| 4. <i>Венера с Земли</i> | 11. Юпитер с Венеры |
| 5. Венера с Марса | 12. Юпитер с Меркурия |
| 6. Юпитер с Марса | 13. Сатурн с Юпитера |
| 7. <i>Марс с Земли</i> | |

Мы выделили №№ 4, 7 и 10 — вид планет с Земли, так как их знакомый нам блеск может служить опорой для оценки видимости светил на других планетах. Здесь особенно наглядно видно, что наша собственная планета — Земля — по яркости занимает одно из первых мест на небе ближайших к Солнцу планет: даже на небе Меркурия она сияет сильнее, чем у нас Венера и Юпитер.

В статье «Звёздная величина планет» (гл. IV) мы возвратимся к более точной, количественной оценке блеска Земли и других планет.

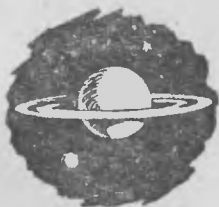
Приводим, наконец, ряд числовых данных, относящихся к солнечной системе. Они могут понадобиться читателю для справок.

Солнце: диаметр 1 390 600 км, объём (Земли = 1) 1 301 200, масса (Земли = 1) 333 434, плотность (воды = 1) 1,41.

Луна: диаметр 3473 км, объём (Земли = 1) 0,0203, масса (Земли = 1) 0,0123, плотность (воды = 1) 3,34. Среднее расстояние от Земли 384 400 км.

На рис. 72 дано наглядное представление о том, какими кажутся планеты в небольшой телескоп, увеличивающий в сто раз. Налево для сравнения дана Луна, как она видна при подобном увеличении (рисунок надо держать на расстоянии ясного зрения, т. е. в 25 см от глаз). Направо вверху изображён при указанном увеличении Меркурий в наименьшем и наибольшем удалении от нас. Под ним — Венера, затем Марс, система Юпитера и Сатурн с крупнейшим своим спутником. (Подробнее о видимых размерах планет — см. в моей книге «Занимательная физика», кн. 2, гл. IX.) ¹⁾

¹⁾ Желающим самостоятельно пополнить свои сведения о солнечной системе можно рекомендовать подробный «Курс общей астрономии» проф. С. Н. Блажко, Гостехиздат, 1947.





ГЛАВА ЧЕТВЁРТАЯ

ЗВЁЗДЫ

Почему звёзды кажутся звёздами?

Глядя на звёзды невооружённым глазом, мы видим их лучистыми.

Причина лучистого вида звёзд кроется в нашем глазу, 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 звёзд, отдалённых 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 звёзды без лучей, не обращаясь притом к услугам телескопа. Способ этот ещё 400 лет назад указан был Леонардо да Винчи.

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

Это не противоречит тому, что сказано о происхождении звёздных «лучей» у Гельмгольца. Напротив, описанный опыт подтверждает его теорию: смотря сквозь весьма небольшое отверстие, мы пропускаем в свой глаз лишь тонкий световой пучок, проходящий сквозь центральную часть хрусталика и потому не претерпевающий воздействия его лучистой структуры¹⁾.

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

Почему звёзды мерцают, а планеты сияют спокойно?

Отличить простым глазом неподвижную звезду от «блуждающей», т. е. планеты²⁾, очень легко, даже не зная карты неба. Планеты сияют спокойным светом, звёзды же непрестанно мерцают, как бы вспыхивают, дрожат, меняют яркость, а яркие звёзды невысоко над горизонтом ещё непрестанно переливаются разными цветами. «Этот свет, — говорит Фламарион, — то яркий, то слабый, перемежающийся, то белый, то зелёный, то красный, сверкающий, как прозрачный алмаз, оживляет звёздные пустыни, побуждая видеть в звёздах словно глаза, глядящие на землю». Особенно сильно и красочно мерцают звёзды в морозные ночи и в ветреную погоду, а также после дождя, когда небо быстро очистилось от туч³⁾. Звёзды, стоящие над горизонтом, мерцают заметнее, чем горящие высоко в небе; звёзды белые — сильнее, чем желтоватые и красноватые.

Как и лучистость, мерцание не есть свойство, присущее самим звёздам; оно придаётся им земной атмосферой, через которую лучи звёзд должны пройти, прежде чем достигнуть глаза. Поднявшись выше беспокойной газовой оболочки, сквозь которую мы рассматриваем вселенную, мы не заметили бы мерцания звёзд: они сияют там спокойным, постоянным светом.

1) Говоря о «лучах звёзд», мы не имеем здесь в виду того луча, который словно протягивается к нам от звезды, когда мы смотрим на неё прищуренным глазом: это явление обусловлено дифракцией света на ресницах глаза.

2) Первоначальный смысл греческого слова «планета» — «блуждающая звезда».

3) Летом сильное мерцание является признаком приближения дождя, так как указывает на близость циклона. Перед дождём звёзды отливают преимущественно синим цветом, перед засухой — зелёным (Ханевский, «Световые явления в атмосфере»).

Причина мерцания — та же, что заставляет дрожать отдалённые предметы, когда в знойные дни почва сильно нагрета Солнцем.

Звёздному 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 своё 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, — пишет пулковский астроном Г. А. Тихов, исследовавший явление мерцания, — способы, позволяющие сосчитать число перемен цвета мерцающей звезды в определённое 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 звёзд. При более медленном мерцании или при очень быстром движении бинокля кольцо это распадается вместо звёзд на разноцветные дуги большой и малой длины».

Остаётся объяснить, почему планеты в отличие от звёзд не мерцают, а светят ровно, спокойно. Планеты гораздо ближе к нам, чем звёзды; они поэтому 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

остаётся неизменной. Отсюда — спокойный, немерцающий блеск планет.

Значит, планеты представляются нам немерцающими потому, что мерцают сразу во многих точках, но в разные моменты времени.

Видны ли звёзды днём?

Днём над нашими головами находятся те созвездия, которые полгода назад видны были ночью и спустя шесть месяцев вновь украсят ночное небо. Освещённая атмосфера Земли мешает нам их видеть, так как частицы воздуха рассеивают солнечные лучи в большем количестве, чем посылают нам звёзды ¹⁾.

Несложный опыт может наглядно пояснить это исчезание звёзд при дневном свете. В боковой стенке картонного ящика пробивают несколько дырочек, расположенных наподобие какого-нибудь созвездия, а снаружи наклеивают лист белой бумаги. Ящик помещают в тёмную комнату и освещают изнутри: на пробитой стенке явно выступают тогда освещённые изнутри дырочки — это звёзды на ночном небе. Но стоит только, не прекращая освещения изнутри, зажечь в комнате достаточно яркую лампу, и искусственные звёзды на листе бумаги бесследно исчезают: это «дневной свет» гасит звёзды.

Часто приходится читать о том, что со дна глубоких шахт, колодцев, высоких дымовых труб и т. п. можно различать звёзды и днём. Это распространённое убеждение, поддерживаемое ссылками на авторитетные имена, только в недавнее время подвергнуто было критической проверке и не подтвердилось.

В сущности, ни один из писавших об этом авторов — от Аристотеля в древности до Джона Гершеля в XIX в. — не наблюдал звёзд сам при подобных условиях. Все ссылаются на свидетельство третьих лиц. Насколько, однако, мало надёжны бывают свидетельства «очевидцев»,

¹⁾ Наблюдая небо с высокой горы, т. е. имея самую плотную и запылённую часть атмосферы ниже себя, можно видеть наиболее ярки звёзды и в дневные часы. Так, с вершины Арарата (5 км высоты) звёзды первой величины хорошо различаются в 2 часа дня; небо там тёмносинее. (Странным образом, однако, команда стратостата «Осоавиахим 1», находясь на высоте 21 км, отметила, что звёзд не видно никаких, хотя небо там «чёрно-фиолетовое» согласно записям Федосеенко и Васенко.)

показывает следующий любопытный пример. В американском журнале появилась статья, относившая дневную видимость звёзд со дна колодцев к числу басен. Мнение это было энергично опровергнуто письмом одного фермера, утверждавшего, что он сам видел днём Канеллу и Альголя 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 к тому, чтобы шахта или колодец могли помочь увидеть звёзды днём. Как мы уже говорили, звёзды не видны днём потому, что тонут в свете неба. Это условие не изменяется для глаза, помещённого на дне шахты. Отпадает лишь боковой свет на протяжении шахты, но лучи, испускаемые всеми частицами воздушного слоя выше отверстия шахты, должны попрежнему мешать видимости звёзд.

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 звёзд.

В телескоп звёзды видны днём вовсе не потому, как многие думают, что на них смотрят «со дна трубы», а потому, что преломление лучей в стёклах 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 в 7 см, можно уже видеть днём звёзды первой и даже второй величины. Но к колодцам, шахтам, печным трубам сказанное неприменимо.

Другое дело — яркие планеты: Венера, Юпитер, Марс в противостоянии. Они светят гораздо ярче звёзд, а потому при благоприятных условиях могут быть видны и на дневном небе (см. об этом раздел «Планеты при дневном свете» на стр. 105).

Что такое звёздная величина?

О существовании звёзд первой и не первой величины знают даже люди, весьма далёкие от астрономии: выражения эти общеупотребительны. Но о звёздах ярче первой величины: нулевой и даже отрицательной величины, они едва ли слышали; им покажется несообразным, что

к звёздам 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 звёзд по величинам. Едва ли надо напоминать о том, что под словом «величина» разумеют в этом случае не геометрические размеры звезды, а её видимый блеск. Уже в древности выделены были наиболее яркие звёзды, раньше всех загорающиеся на вечернем небе, и отнесены к звёздам первой величины. За ними следовали звёзды второй величины, третьей и т. д. до звёзд шестой величины, едва различимых невооружённым глазом. Такое субъективное распределение звёзд по их блеску не могло удовлетворять астрономов нового времени. Были выработаны более твёрдые основания для классификации звёзд по блеску. Они состоят в следующем. Найдено, что наиболее яркие звёзды в среднем (звёзды эти неодинаковы по блеску) ярче наиболее слабых звёзд, ещё видимых простым глазом, ровно в 100 раз.

Шкала звёздного блеска установлена так, что отношение блеска звёзд двух смежных величин остаётся постоянным. Обозначив это «световое отношение» через n , имеем:

Звёзды 2-й величины слабее звёзд 1-й величины в n раз
» 3-й » » 2-й » » n »
» 4-й » » 3-й » » n » и т. д.

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

Звёзды 3-й величины слабее звёзд 1-й величины в n^2 раз
» 4-й » » 1-й » » n^3 »
» 5-й » » 1-й » » n^4 »
» 6-й » » 1-й » » n^5 »

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

$$n = \sqrt[5]{100} = 2,5^1).$$

¹⁾ Более точное значение светового отношения 2,512.

Итак, звёзды каждой следующей звёздной величины светят в $2\frac{1}{2}$ раза слабее звёзд предыдущей звёздной величины.

Звёздная алгебра

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

Найдём сами обозначение блеска звёзд, которые в $2\frac{1}{2}$ раза ярче средней звезды первой величины. Какое число предшествует единице? Число 0. Значит, такие звёзды надо отнести к звёздам «нулевой» величины. А куда отнести звёзды, которые ярче звёзд первой величины не в $2\frac{1}{2}$, а всего в полтора или два раза? Их место между 1 и 0, т. е. звёздная величина такого светила выражается положительным дробным числом; говорят: «звезда 0,9 величины», «0,6 величины» и т. п. Такие звёзды ярче первой величины.

Теперь станет понятной и необходимость введения отрицательных чисел для обозначения блеска звёзд. Так как существуют звёзды, по силе света превышающие нулевую величину, то, очевидно, их блеск должен быть выражен числами, стоящими по другую сторону нуля, — отрицательными. Отсюда такие определения блеска, как «минус 1», «минус 2», «минус 1,6», «минус 0,9» и т. п.

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

Самая яркая звезда всего неба — Сириус — имеет звёздную величину «минус 1,6». Звезда Канопус (видна только в южных широтах) имеет звёздную величину «минус 0,9». Наиболее яркая из звёзд северного полушария неба, Вега, 0,1 величины; Капелла и Арктур 0,2, Ригель 0,3, Процион 0,5, Альтаир 0,9. (Надо помнить, что звёзды 0,5 величины ярче звёзд 0,9 величины и т. п.) Приводим перечень самых ярких звёзд неба с обозна-

чением их звёздной величины (в скобках указано наименование созвездия):

Сириус (α Большого Пса) — 1,6	Бетельгейзе (α Ориона) . . 0,9
Канопус (α Киля) — 0,9	Альтаир (α Орла) 0,9
α Центавра 0,1	α Южного Креста 1,1
Вега (α Лиры) 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 Лебедя) 1,3
β Центавра 0,9	Регул (α Льва) 1,3

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

Не следует думать, что распределение звёзд по звёздным величинам обусловлено физическими свойствами самих звёзд. Оно вытекает из особенностей нашего зрения и является следствием общего для всех органов чувств «психофизиологического закона Вебера — Фехнера». В применении к зрению закон этот гласит: когда сила источника света изменяется в геометрической прогрессии, ощущение яркости изменяется в прогрессии арифметической. (Любопытно, что оценка интенсивности звуков и шумов производится физиками по тому же принципу, что и измерение блеска звёзд; подробности об этом читатель найдёт в моих «Занимательной физике» и «Занимательной алгебре».)

Познакомившись с астрономической шкалой блеска, займёмся некоторыми поучительными подсчётами. Вычислим, например, сколько звёзд третьей величины, вместе взятых, светят так же, как одна звезда первой величины. Мы знаем, что звезда третьей величины слабее звезды первой величины в $2,5^2$, т. е. в 6,3 раза; значит, для замены понадобится 6,3 такой звезды. Звёзд четвёртой величины для замены одной звезды первой величины пришлось бы взять 15,8 и т. д. Подобными расчётами¹⁾ найдены числа приводимой ниже таблицы.

¹⁾ Вычисления облегчаются тем, что логарифм светового отношения выражается очень просто: он равен 0,4.

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	4 000
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.

В приведенной выше таблице не могли, конечно, найти себе места звезды «перед-первой» величины. Сделаем расчеты также для некоторых из них. Звезда 0,5-й величины (Процион) ярче звезды первой величины в $2,5^{0,5}$, т. е. в полтора раза. Звезда минус 0,9-й величины (Канопус) ярче звезды первой величины в $2,5^{1,9}$, т. е. в 5,8 раза, а звезда минус 1,6-й величины (Сириус) — в $2,5^{2,6}$, т. е. в 10 раз.

Наконец, еще 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:

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

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 ста звездам первой величины (или одной звезде минус четвертой величины).

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

Глаз и телескоп

Сравним телескопическое наблюдение звёзд с наблюдением их простым глазом.

Поперечник зрачка человеческого глаза при ночных наблюдениях примем в среднем равным 7 мм. Телескоп с объективом поперечником в 5 см пропускает лучей больше, чем зрачок, в $\left(\frac{50}{7}\right)^2$, т. е. примерно в 50 раз, а с поперечником 50 см — в 5000 раз. Вот во сколько раз телескоп усиливает яркость наблюдаемых в нём звёзд! (Сказанное относится только к звёздам, а никак не к планетам, имеющим заметный диск. Для планет при расчёте яркости изображения следует принимать во внимание также оптическое увеличение телескопа.)

Зная это, вы можете рассчитать, каков должен быть поперечник объектива телескопа, чтобы в него видны были звёзды той или иной величины; но при этом надо знать, до которой величины видны звёзды в телескоп с объективом одного известного размера. Пусть, например, вы знаете, что в телескоп с диаметром отверстия 64 см можно различать звёзды до 15-й величины включительно. Каким объективом надо располагать, чтобы видеть звёзды следующей, 16-й величины? Составляем пропорцию:

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

где x — искомый диаметр объектива. 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 звёздную величину необходимо увеличение диаметра его объектива в $\sqrt{2,5}$, т. е. в 1,6 раза.

Звёздная величина Солнца и Луны

Продолжим нашу алгебраическую экскурсию к небесным светилам. В той шкале, которая применяется для оценки блеска звёзд, могут, помимо неподвижных звёзд, найти себе место и другие светила — планеты, Солнце, Луна. О яркости планет мы побеседуем особо; здесь же укажем звёздную величину Солнца и Луны. Звёздная величина Солнца выражается числом м и н у с 26,8, а полной ¹⁾ Луны — м и н у с 12,6. Почему оба числа отрицательные, читателю, надо думать, понятно после всего сказанного ранее. Но, быть может, его приведёт в недоумение недостаточно большая разница между звёздной величиной Солнца и Луны: первая «всего вдвое больше второй».

Не забудем, однако, что обозначение звёздной 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 звёздные величины, делить одно число на другое. Каков результат правильного сравнения, показывает следующий расчёт.

Если звёздная величина Солнца «м и н у с 26,8», то 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 437 000. Вот, следовательно, правильное отношение яркостей Солнца и Луны: дневное светило в ясную погоду освещает Землю в 437 000 раз сильнее, чем полная Луна в безоблачную ночь.

Считая, что количество теплоты, отбрасываемое Луной, пропорционально количеству рассеиваемого ею

¹⁾ В первой и в последней четверти звёздная величина Луны м и н у с 9.

света, — а это, вероятно, близко к истине, — надо признать, что Луна посылает нам и теплоты в 437 000 раз меньше, чем Солнце. Известно, что каждый квадратный сантиметр на границе земной атмосферы получает от Солнца около 2 малых калорий теплоты в 1 минуту. Значит, Луна посылает на 1 см² Земли ежеминутно не более 220 000-й доли малой калории (т. е. может нагреть 1 г воды в 1 минуту на 220 000-ю часть градуса). Отсюда видно, насколько не обоснованы все попытки приписать лунному свету какое-либо влияние на земную погоду¹⁾.

Распространённое 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:

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

т. е. Солнце ярче Сириуса в 10 миллиардов раз.

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

Это отношение равно

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

Итак, в ясную безлунную ночь мы получаем от звёздного неба лишь 3000-ю долю того света, какой посылает полная Луна, и в 3000 × 437 000, т. е. в 1300 миллионов раз меньше, чем даёт в безоблачный день Солнце.

¹⁾ Вопрос о том, может ли Луна влиять на погоду своим притяжением, будет рассмотрен в конце книги (см. «Луна и погода»).

Прибавим ещё, что звёздная величина нормальной международной «свечи» на расстоянии 1 м равна минус 14,2, значит, свеча на указанном расстоянии освещает ярче полной Луны в $2,5^{14,2-12,6}$, т. е. в чetyре раза.

Небезынтересно, может быть, отметить ещё что прожектор авиационного маяка силой в 2 миллиарда свечей виден был бы с расстояния Луны звездой $4\frac{1}{2}$ -й величины, т. е. мог бы различаться невооружённым глазом.

Истинный блеск звёзд и Солнца

Все оценки блеска, которые мы делали до сих пор, относились только к их видимому блеску. Приведённые числа выражают блеск светил на тех расстояниях, на каких каждое из них в действительности находится. Но мы хорошо знаем, что звёзды удалены от нас неодинаково; видимый блеск звёзд 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 звёзд, если бы они находились от нас на одинаковом расстоянии.

Ставя так вопрос, астрономы вводят понятие об «абсолютной» звёздной величине звёзд. Абсолютной звёздной величиной звезды называется та, которую звезда имела бы, если бы находилась от нас на расстоянии 10 «парсеков». Парсек — особая мера длины, употребляемая для звёздных расстояний; о её происхождении мы побеседуем позднее особо, здесь скажем лишь, что один парсек составляет около 30 800 000 000 000 км. Самый расчёт абсолютной звёздной величины произвести нетрудно, если знать расстояние звезды и принять во внимание, что блеск должен убывать пропорционально квадрату расстояния ¹⁾.

¹⁾ Вычисление можно выполнить по следующей формуле, происхождение которой станет ясно читателю, когда немного позднее он познакомится ближе с «парсеком» и «параллаксом»:

$$2,5^M = 2,5^m \left(\frac{\pi}{0,1} \right)^2.$$

Здесь M — абсолютная величина звезды, m — её видимая вели-

Мы познакомим читателя с результатом лишь двух таких расчётов: для Сириуса и для нашего Солнца. Абсолютная величина Сириуса + 1,3, Солнца + 4,7. Это значит, что с расстояния 308 000 000 000 000 км Сириус сиял бы нам звездой 1,3-й величины, а наше Солнце 4,7-й величины, т. е. 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 неба. Не следует, однако, считать наше Солнце совсем пигмеем среди окружающих его звёзд: светимость его всё же выше средней. По данным звёздной статистики, средними по светимости из звёзд, окружающих Солнце до расстояния 10 парсеков, являются звёзды девятой абсолютной величины. Так как абсолютная величина Солнца равна 4,7, то оно ярче, нежели средняя из «соседних» звёзд, в

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

Будучи в 25 раз абсолютно тусклее Сириуса, Солнце оказывается всё же в 50 раз ярче, чем средние из окружающих его звёзд.

Самая яркая звезда из известных

Самой большой светимостью обладает недоступная простому глазу звёздочка восьмой величины в созвездии Золотой Рыбы, обозначаемая латинской буквой S. Созвездие Золотой Рыбы находится в южном полушарии

чина, π — параллакс звезды в секундах. Последовательные преобразования таковы:

$$2,5^M = 2,5^m \cdot 100 \pi^2,$$

$$M \lg 2,5 = m \lg 2,5 + 2 + 2 \lg \pi,$$

$$0,4M = 0,4m + 2 + 2 \lg \pi,$$

откуда

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi.$$

Для Сириуса, например, $m = -1,6$, $\pi = 0'',38$. Поэтому его абсолютная величина

$$M = -1,6 + 5 + 5 \lg 0,38 = 1,3.$$

неба и не видно в умеренном поясе нашего полушария. Упомянутая звёздочка входит в состав соседней с нами звёздной системы — Малого Магелланова Облака, расстояние 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 восьмой величины. Сириус, заброшенный так же глубоко в пространство, сиял бы звездой 17-й величины, т. е. был бы едва виден в самый могущественный телескоп.

Какова же светимость этой замечательной звезды? Расчёт даёт такой результат: м и н у с восьмая величина. Это значит, что наша звезда абсолютно в 100 000 раз (примерно) ярче Солнца! При такой исключительной яркости звезда эта, будучи помещена на расстоянии Сириуса, казалась бы на девять величин ярче его, т. е. имела бы примерно яркость Луны в фазе четверти! Звезда, которая с расстояния Сириуса могла бы заливать Землю таким ярким светом, имеет бесспорное право считаться самой яркой из известных нам звёзд.

Звёздная 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 звёздные величины планет в максимуме их блеска на земном небе. Вот табличка.

На небе Земли:

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

Просматривая её, видим, что Венера ярче Юпитера почти на две звёздные величины, т. е. в $2,5^2 = 6,25$ раза, а Сириуса в $2,5^{2,8} = 13$ раз (блеск Сириуса — 1,6-й величины). Из той же таблички видно, что тусклая планета Сатурн всё же ярче всех неподвижных звёзд, кроме Сириуса и Канопуса. Здесь мы находим объяснение тому факту, что планеты (Венера, Юпитер) бывают иногда днём видны простым глазом, звёзды же при дневном свете совершенно недоступны невооружённому зрению.

Далее приводим таблички блеска светил на небе Венеры, Марса и Юпитера без новых пояснений, так как они представляют собой лишь количественное выражение того, о чём говорилось уже в разделе «Чужие небеса»:

На небе Марса:		На небе Венеры:	
Солнце	— 26	Солнце	— 27,5
Фобос	— 8	Земля	— 6,6
Деймос	— 3,7	Меркурий	— 2,7
Венера	— 3,2	Юпитер	— 2,4
Юпитер	— 2,8	Земная Луна	— 2,4
Земля	— 2,6	Сатурн	— 0,5
Меркурий	— 0,8		
Сатурн	— 0,6		

На небе Юпитера:	
Солнце	— 23
I спутник	— 7,7
II »	— 6,4
III »	— 5,6
IV спутник	— 3,3
V »	— 2,8
Сатурн	— 2
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 таблица блеска планет, наблюдаемых одна с другой. Располагаем их в порядке убывания блеска.

Звёздная величина		Звёздная величина	
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		

Табличка показывает, 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 звёзд?

Людей, впервые направляющих зрительную трубу на неподвижные звёзды, поражает то, что труба, так заметно увеличивающая Луну и планеты, нисколько не увеличивает размеров звёзд, даже уменьшает их, превращая в яркую точку, не имеющую диска. Это заметил ещё Галилей, первый человек, взглянувший на небо вооружённым глазом. Описывая свои ранние наблюдения с помощью изобретённой им трубы, он говорит:

«Достоинно замечания различие в виде планет и неподвижных звёзд при наблюдении через трубу. Планеты представляются маленькими кружками, резко очерченными, как бы малыми лунами; неподвижные же звёзды не имеют различных очертаний... Труба увеличивает только их блеск, так что звёзды 5-й и 6-й величины делаются по яркости равными Сириусу, который является самой блестящей из неподвижных звёзд».

Чтобы объяснить такое бессилие телескопа по отношению к звёздам, придётся напомнить кое-что из физиологии и физики зрения. Когда мы следим за удаляющимся от нас человеком, его изображение на сетчатке глаза становится всё меньше. При достаточном удалении голова и ноги человека настолько сближаются на сетчатке, что попадают уже не на разные её элементы (нервные окончания), но на один и тот же, и тогда человеческая фигура кажется нам точкой, лишённой 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 расчёт сделать для ближайшей звезды, то получим огромную величину — 12 000 000 км.

Поперечник нашего Солнца меньше этой величины в $8\frac{1}{2}$ раз. Значит, перенесённое на расстояние ближайшей звезды, Солнце наше должно казаться точкой даже в телескоп с 1000-кратным увеличением. Ближайшая звезда должна обладать объёмом, в 600 раз большим Солнца, чтобы сильные телескопы могли показать её диск. На расстоянии Сириуса звезда должна для этого быть больше Солнца по объёму в 5000 раз. Так как большинство звёзд расположено гораздо дальше сейчас упомянутых, а размеры их в среднем не превышают в такой степени размеров Солнца, то звёзды и в сильные телескопы представляются нам точками.

«Ни одна звезда на небе, — говорит Джинс, — не имеет большего углового размера, чем булавочная головка с расстояния в 10 км, и нет ещё 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 звёзд, то зачем же употребляют его при их наблюдении?

После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно долго останавливаться на ответе. Телескоп бессильен увеличить видимые размеры звёзд, но он усиливает их яркость, а следовательно, умножает число звёзд, доступных зрению.

Второе, что достигается благодаря телескопу, это разделение тех звёзд, которые представляются невооружённому глазу сливающимися в одну. Телескоп не может увеличить видимого поперечника звёзд, но увеличивает видимое расстояние между ними. По-

этому телескоп открывает нам двойные, тройные и ещё более сложные звёзды там, где невооружённый глаз видит одиночную звезду (рис. 73). Звёздные 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 звёзд.

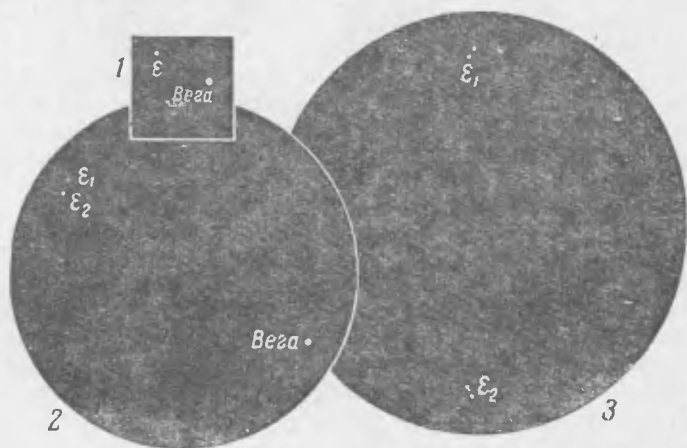


Рис. 73. Одна и та же звезда ϵ Лиры (близ Веги), как она видна простым глазом (1), в бинокль (2) и в телескоп (3).

И, наконец, третья услуга телескопа при изучении мира звёзд состоит в том, что он даёт возможность измерять углы с поразительной точностью: на фотографиях, полученных с современными большими телескопами, астрономы измеряют углы величиной в $0'',01$. Под таким углом усматривается бронзовая копейка с расстояния 30 км или человеческий волос с расстояния 100 м!

Как измерили поперечники звёзд?

В самый сильный телескоп, как мы сейчас объяснили, нельзя увидеть поперечники неподвижных звёзд. До недавнего времени все соображения о том, каковы размеры звёзд, были только догадками. Допускали, что каждая звезда в среднем примерно такой же величины, как наше Солнце, но ничем не могли подкрепить этой догадки. И так как для различения звёздных диаметров не-

обходимы более мощные телескопы, чем самые сильные телескопы нашего времени, то задача определения истинных диаметров звёзд казалась неразрешимой.

Так обстояло дело до 1920 г., когда новые приёмы и орудия исследования открыли астрономам путь к измерению истинных размеров звёзд.

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, произведём 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. Объектив закроем непрозрачной крышкой с двумя круглыми отверстиями около 3 мм в диаметре и расположенных по горизонтали симметрично относительно центра объектива на расстоянии 15 мм друг от друга (рис. 74). 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 тёмными 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 тёмные полоски будут становиться всё менее яркими и, наконец, исчезнут. Зная расстояние между отверстиями в этот момент, можно определить угловую ширину щели, т. е. угол, под которым видна ширина щели наблюдателю. Если же знать расстояние до самой щели, то можно вычислить её дей-

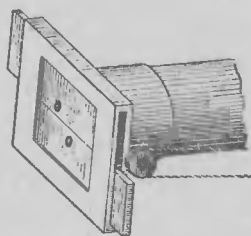


Рис. 74. Схема установки, поясняющей устройство прибора «интерферометра» для измерения углового диаметра звёзд (пояснение в тексте).

ствительную ширину. Если вместо щели у нас будет маленькое круглое отверстие, то способ определения ширины такой «круглой щели» (т. е. диаметра «кружка») остаётся тем же самым, надо лишь полученный угол умножить на 1,22.

При измерении диаметров звёзд мы следуем тем же путём, но ввиду чрезвычайной малости углового диаметра звёзд должны применять весьма большие телескопы.

Помимо работы описанным инструментом, «интерферометром», есть и другой, более околный способ оценки истинного диаметра звёзд, основанный на исследовании их спектров.

По спектру звезды астроном узнаёт её температуру, а отсюда вычисляет величину излучения 1 см^2 её поверхности. Если, кроме того, известны расстояние до звезды и её видимый блеск, то определяется и величина излучения в с е й её поверхности. Отношение второй величины к первой даёт размер поверхности звезды, а значит, и её диаметр. Таким образом, найдено, например, что поперечник Капеллы в 12 раз больше солнечного, Бетельгейзе — в 360 раз, Сириуса — в два раза, Веги — в $2\frac{1}{2}$ раза, а поперечник спутника Сириуса составляет 0,02 солнечного.

Гиганты звёздного мира

Результаты определения звёздных поперечников оказались поистине поразительными. Астрономы не подозревали раньше, что во вселенной могут быть такие гигантские звёзды. Первой звездой, истинные размеры которой удалось определить (в 1920 г.), была яркая звезда α Ориона, носящая арабское название Бетельгейзе. Её поперечник оказался превышающим диаметр орбиты Марса! Другим гигантом является Антарес, самая яркая звезда в созвездии Скорпиона: её поперечник примерно в полтора раза больше диаметра земной орбиты (рис. 75). В ряду открытых пока звёздных гигантов надо поставить и так называемую Дивную («Мира») звезду в созвездии Кита, диаметр которой в 330 раз больше диаметра нашего Солнца (см. рис. на стр. 140).

Остановимся теперь на физическом устройстве этих исполинов. Расчёт показывает, что подобные звёзды, несмотря на чудовищные размеры, содержат несоразмерно

мало вещества. Они тяжелее нашего Солнца всего в несколько раз; а так как по объёму Бетельгейзе, например, больше Солнца в 40 000 000 раз, то плотность этой звезды должна быть ничтожна. И если вещество Солнца

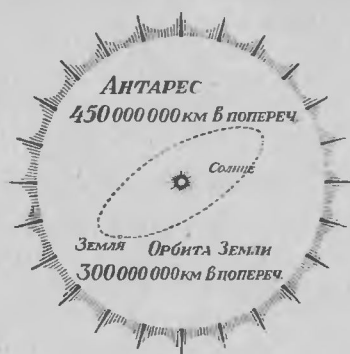


Рис. 75. Звезда-гигант Антарес (α Скорпиона) могла бы включить в себя наше Солнце с земной орбитой.

в среднем по плотности приближается к воде, то вещество звёзд-гигантов в этом отношении походит на разреженный воздух. Звёзды эти, по выражению одного астронома, «напоминают громадный аэростат малой плотности, значительно меньшей, нежели плотность воздуха».

Неожиданный расчёт

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

Мы уже знаем, что совместный блеск всех звёзд, доступных телескопу, равен блеску звезды минус 6,6-й величины (см. выше). Такая звезда светит на 20 звёздных величин слабее нашего Солнца, т. е. даёт 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 види-

мый диаметр нашей звезды должен быть меньше видимого диаметра Солнца в 10 000 раз, т. е. равняться

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

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

Самое тяжёлое вещество

Среди диковинок, скрытых в глубинах вселенной, вероятно, навсегда сохранит одно из значительных мест небольшая звёздочка близ Сириуса. Эта звезда состоит

из вещества, в 60 000 раз более тяжёлого, нежели вода! Когда мы берём 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 новейшей астрономии.

Открытие это имеет длинную и в высшей степени поучительную историю. Уже давно было замечено, что блистательный Сириус совершает своё собственное движение среди звёзд не по прямой линии, как большинство других звёзд, а по странному извилистому пути (рис. 76). Чтобы объяснить эти особенности его движения, известный астроном Бессель предположил, что Сириуса сопровождает спутник,

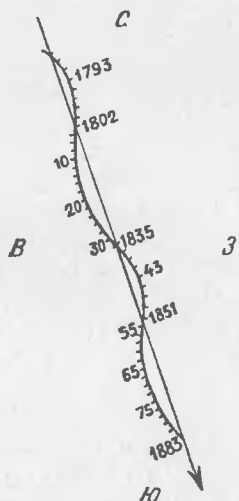


Рис. 76. Извилистый путь Сириуса среди звёзд с 1793 по 1883 гг.

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, догадка его получила полное подтверждение, так как заподозренный спутник Сириуса был усмотрен в телескоп.

Спутник Сириуса — так называемый «Сириус В» — обращается около главной звезды в 49 лет на расстоянии, в 20 раз большем, чем Земля вокруг Солнца (т. е. примерно на расстоянии Урана) (рис. 77). Это — слабая звёздочка восьмой-девятой величины, но масса её 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 восьмой-девятой. Столь слабую яркость астрономы первоначально объясняли низкой температурой на поверхности этой звезды; её рассматривали как остывающее солнце, покрывающееся уже твёрдой корой.

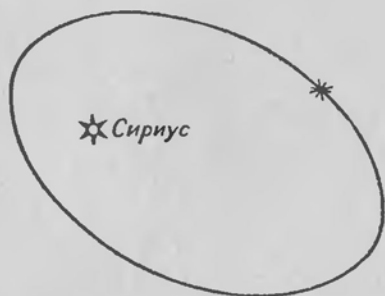


Рис. 77. Орбита спутника Сириуса по отношению к Сириусу (Сириус не находится в фокусе видимого эллипса, потому что истинный эллипс искажён проекцией — мы видим его под углом).

Но такое допущение оказалось ошибочным. Лет 30 назад удалось установить, что скромный спутник Сириуса — вовсе не угасающая звезда, а напротив, принадлежит к звёздам с высокой поверхностной температурой, гораздо более высокой, чем у нашего 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 её должна быть по крайней мере в 360 раз меньше солнечной, а радиус в $\sqrt{360}$, т. е. в 19 раз, меньше солнечного. Отсюда заключаем, что объём спутника Сириуса должен составлять менее чем 6800-ю долю объёма Солнца, между тем как масса его составляет почти 0,8 массы дневного светила. Уже это одно говорит о большой уплотнённости вещества этой звезды. Более точный расчёт даёт 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 (рис. 78).

«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

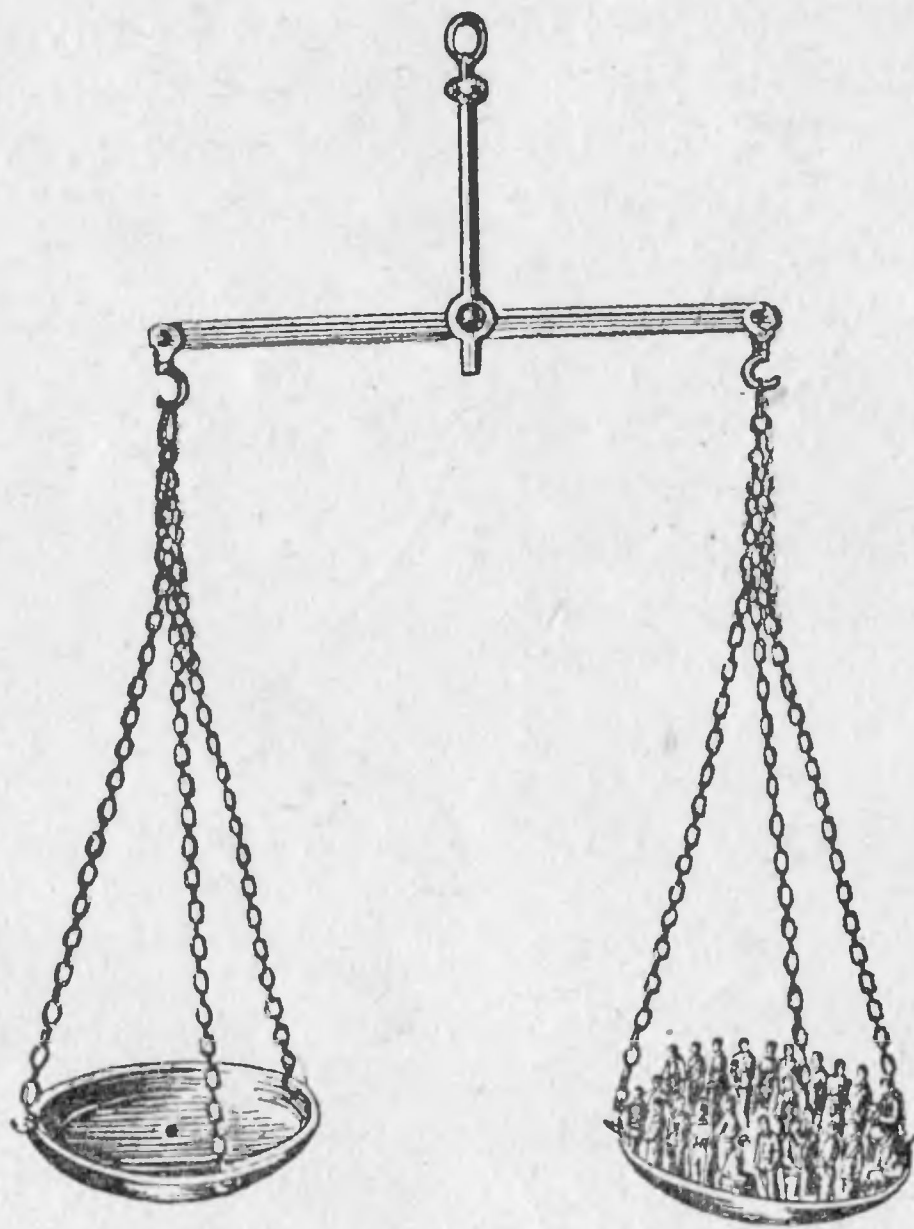


Рис. 78. Спутник Сириуса состоит из вещества, в 60 000 раз более плотного, чем вода. Несколько кубических сантиметров этого вещества могли бы уравновесить груз из трёх десятков человек.

уплотнение совершенно немыслимо, так как промежутки между нормальными атомами в твёрдых 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 веса; обнажённое ядро меньше нормального атома примерно во столько раз, во сколько муха меньше

крупного здания. Сдвигаемые чудовищным давлением, господствующим в недрах звёздного 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 звёздочка

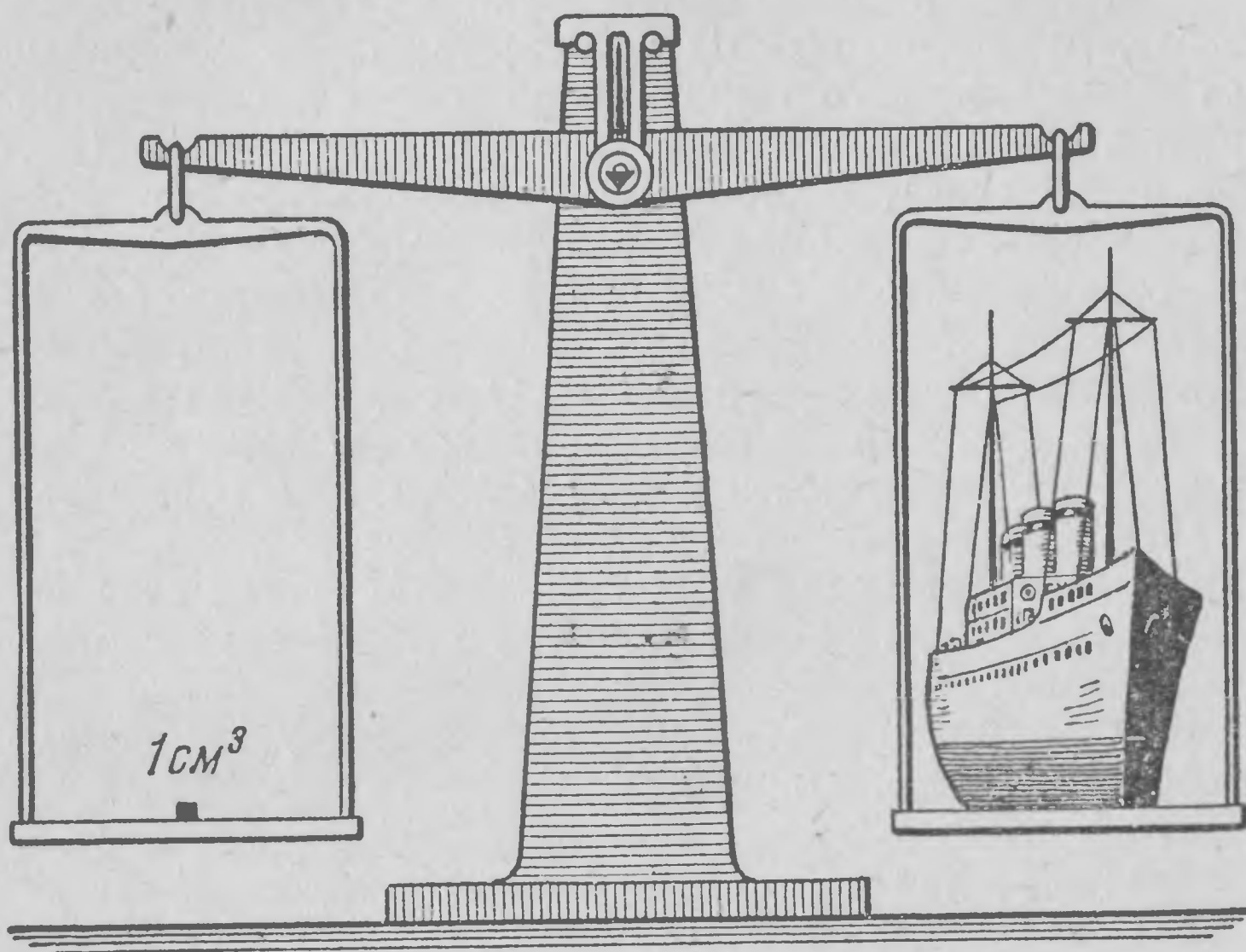


Рис. 79. Один кубический сантиметр атомных ядер мог бы уравновесить океанский пароход даже и при весьма неплотной упаковке их. Плотно же уложенные в объёме 1 см^3 ядра весили бы 10 миллионов тонн!

12-й величины, по размерам не превышающая земного шара, состоит из вещества, в 400 000 раз более плотного, нежели вода!

И это не самая ещё крайняя степень плотности. Теоретически можно допускать существование гораздо более плотных веществ. Диаметр атомного ядра составляет не более одной 10 000-й диаметра атома, а объём, следовательно, не более $\frac{1}{10^{12}}$ объёма атома. 1 м^3 металла содержит всего около $\frac{1}{1000} \text{ мм}^3$ атомных ядер, и в этом кро-

шечном объёме сосредоточена вся масса металла. 1 см³ атомных ядер должен, таким образом, весить примерно 10 миллионов тонн (рис. 79).

После сказанного не будет казаться невероятным открытие звезды, средняя плотность вещества которой ещё в 500 раз больше, чем у вещества упомянутой ранее звезды Сириус В. Мы говорим о небольшой звёздочке 13-й величины в созвездии Кассиопеи, открытой в конце 1935 г. Будучи по объёму не больше Марса и в восемь раз меньше земного шара, звезда эта обладает массой, почти вдвое превышающей массу нашего Солнца (точнее, в 2,8 раза). В обычных единицах средняя плотность её 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 2 миллиона раз¹⁾. О том, сколько должен весить кубический сантиметр такого вещества, взвешенный на поверхности самой звезды, мы побеседуем в главе V.

Немного лет назад учёные, конечно, считали бы немислимым существование вещества в миллионы раз плотнее платины.

Бездны мироздания скрывают, вероятно, ещё немало подобных дикувинок природы.

Почему звёзды называются неподвижными?

Когда в старину дан был звёздам такой эпитет, желали подчеркнуть этим, что в отличие от планет они 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 непрерывно меняют свои места относительно звёзд, бродят между ними и оттого получили в древности наименование «блуждающих звёзд» (буквальный смысл слова «планета»).

Мы знаем теперь, что представление о звёздном мире как о собрании солнц, застывших в своей неподвижности,

¹⁾ В центральной части этой звезды плотность вещества должна достигать неизмеримо большей величины, примерно миллиарда граммов в 1 см³.

совершенно превратно. Все звёзды ¹⁾, в том числе и наше Солнце, движутся одна относительно другой со скоростью в среднем 30 км/сек, т. е. с такой же, с какой планета наша обегает свою орбиту. Значит, звёзды ничуть не менее подвижны, чем планеты. Напротив, в мире звёзд мы встречаемся в отдельных случаях с такими огромными

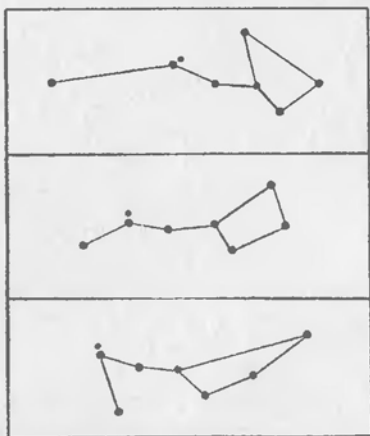


Рис. 80. Фигуры созвездий медленно меняются с течением времени. Средний рисунок изображает «ковш» Большой Медведицы в настоящее время, верхний — вид его 100 тыс. лет назад, нижний — вид его через 100 тыс. лет после нашего времени.

скоростями, каких нет в семье планет; известны звёзды, — их называют «летящими», — которые несутся по отношению к нашему Солнцу с огромной скоростью 250—300 км/сек.

Но если все видимые нами звёзды хаотически движутся с громадными скоростями, пробегая миллиарды километров ежегодно, то почему не замечаем мы этого бешеного движения? Почему звёздное небо представляет издавна картину величавой неподвижности?

Причину нетрудно отгадать: она кроется в невообразимой удалённости звёзд. Случалось ли вам наблюдать с возвышенного пункта за поездом, движущимся вдаль,

¹⁾ Имеются в виду звёзды, входящие в состав «нашего» звёздного скопления — Млечного Пути.

близ горизонта? Разве не казалось вам тогда, что курьерский поезд ползёт как черепаха? Скорость, головокружительная для наблюдателя вблизи, превращается в чере-

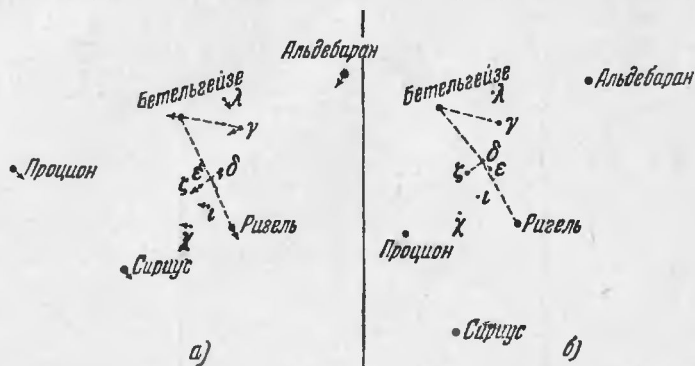


Рис. 81. В каких направлениях движутся яркие звёзды близ созвездия Ориона (левый рисунок) и как это движение изменит вид созвездия через 50 тыс. лет (правый рисунок).

паший шаг при наблюдении с большого расстояния. То же происходит и с движением звёзд; только в этом слу-

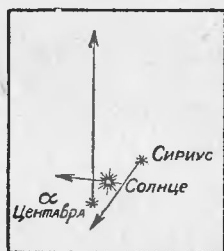


Рис. 82. Движение трёх соседних звёзд — нашего Солнца, звезды α Центавра и Сириуса.

чае относительное удаление наблюдателя от движущегося тела гораздо значительнее. Самые яркие звёзды 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, т. е. в 800 000 раз меньше. Такое перемещение должно усматриваться с Земли под углом менее $0'',25$ — величина, едва уловимая точнейшими астрономическими инструментами. Для невооружённого же глаза оно совер-

шенно незаметно, даже если длится столетия. Только кропотливыми инструментальными измерениями удалось обнаружить движение многих звёзд (рис. 80, 81, 82).

Итак, «неподвижные звёзды», несмотря на то, что увлекаются невообразимо стремительным движением, имеют полное право именоваться неподвижными, по-

сколько речь идёт о наблюдениях невооружённым глазом. Из сказанного читатель сам может вывести заключе-

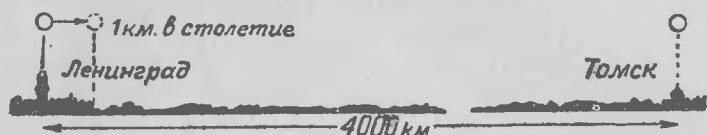


Рис. 83. Масштаб звёздных движений. Два крокетных шара, один в Ленинграде, другой в Томске, движутся со скоростью 1 км в столетие — вот уменьшённое подобие сближения двух звёзд. Из этого ясно, как ничтожна вероятность столкновений между звёздами.

ние, как ничтожна вероятность встречи между звёздами, несмотря на их стремительное движение (рис. 83).

Меры звёздных расстояний

Наши крупные меры длины — километр, морская миля (1852 м) и географическая миля (равная 4 морским), достаточные для измерений на земном шаре, оказываются слишком ничтожными для измерений небесных. Мерить ими небесные расстояния столь же неудобно, как измерять миллиметрами длину железной дороги; расстояние, например, Юпитера от Солнца в километрах выражается числом 780 миллионов, длина же Октябрьской дороги в миллиметрах — числом 640 миллионов.

Чтобы не иметь дела с длинными рядами нулей в конце чисел, астрономы пользуются более крупными единицами длины. Для измерений, например, в пределах солнечной системы считают единицей длины среднее расстояние от Земли до Солнца (149 500 000 км). Это — так называемая «астрономическая единица». В таких мерах расстояние Юпитера от Солнца равно 5,2, Сатурна — 9,54, Меркурия — 0,387 и т. п.

Но для расстояний нашего Солнца до других солнц сейчас приведённая мера слишком мала. Например, расстояние до самой близкой к нам звезды (до так называемой Проксимы в созвездии Центавра¹⁾, красноватой звёздочки 11-й величины) выражается в этих единицах таким числом:

260 000.

¹⁾ Почти рядом с ней находится яркая звезда α Центавра.

И это лишь ближайшая звезда, прочие расположены гораздо дальше. Введённые 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 поймём, вспомнив, что от Солнца до Земли свет достигает всего в 8 минут. «Световой год», следовательно, во столько раз больше радиуса земной орбиты, во сколько раз год времени больше 8 минут. В километрах эта мера длины выражается числом

9 460 000 000 000,

т. е. световой год равен около $9\frac{1}{2}$ биллионов км.

Сложнее происхождение другой единицы звёздных расстояний, к которой астрономы прибегают охотнее, — парсека. Парсек — это расстояние, на которое надо удалиться, чтобы полудиаметр земной орбиты виден был под углом в одну угловую секунду. Угол, под каким виден со звезды полудиаметр земной орбиты, называется в астрономии «годовичным параллаксом» этой звезды. От соединения слов «параллакс» и «секунда» образовано слово «парсек». Параллакс названной выше звезды альфа Центавра — 0,76 секунды; легко сообразить, что расстояние 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 звёзд, 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 звёзды. Какого порядка их «близость», вы поймёте, когда вспомните, что

для выражения приведённых расстояний в километрах надо каждое из чисел первого столбца увеличить в 30 миллиардов раз (разумея под миллиардом миллион миллионов). Однако световой год и парсек — не самые ещё крупные меры, употребляемые в науке о звёздах. Когда астрономы приступили к измерению расстояний и размеров звёздных систем, т. е. целых вселенных, состоящих из многих миллионов звёзд, понадобилась мера, ещё более крупная. Её образовали из парсека, как километр образован из метра: составилась «килопарсек», равный 1000 парсекам, или 30 800 миллиардам км. В этих мерах, например, поперечник Млечного Пути выражается числом 30, а расстояние от нас до туманности Андромеды — около 305.

Но и килопарсек вскоре оказался недостаточно большой мерой; пришлось ввести в употребление «мегапарсек», содержащий миллион парсеков.

Итак, вот таблица звёздных мер длины:

1 мегапарсек	=	1 000 000 парсеков,
1 килопарсек	=	1 000 »
1 парсек	=	206 265 астроном. единиц,
1 астр. 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 $1\frac{1}{2}$ миллиардам км — 10-кратному 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 Ленинграда, весила бы 10 г, от Земли до Луны — не более 8 кг. Такая же нить длиной до Солнца весила бы 3 т. Но, протянутая на длину одного мегапарсека, она должна была бы весить

600 000 000 000 т!

Система ближайших звёзд

Сравнительно давно — около ста лет назад — стало известно, что самой близкой звёздной 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 звёздочка 11-й величины, состоящая с двумя звёздами α Центавра одну систему тройной звезды. То, что третья звезда физически входит в систему α Центавра, хотя их и разделяет на небе рас-

α Центавра



Проксима

Рис. 84. Система ближайшей к Солнцу звезды: A , B и Проксима Центавра.

стояние 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, чем другие две звезды, и должен быть поэтому признан ближайшей из всех звёзд, расстояния которых до сих пор определены. Звёздочку эту так и называют «Ближайшая», по-латыни Проксима. Она ближе к нам, нежели звёзды α Центавра (их называют α Центавра A и α Центавра B), на 2400 астрономических единиц. Вот их параллаксы:

α Центавра (A и B) 0,755

Проксима Центавра 0,762

Так как звёзды A и B отделены друг от друга расстоянием только в 34 астрономические единицы, то вся система имеет довольно странный вид, представленный на рис. 84. A и B раздвинуты немного больше, чем Уран от Солнца. Проксима же отстоит от них на 13 «световых суток». Звёзды эти медленно меняют своё расположение: период обращения звёзд A и B вокруг их общего центра тяжести равен 79 годам, Проксима же завершает один оборот более чем в 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 звёзд этой системы? α Центавра A по яркости, массе и диаметру лишь немногим больше Солнца (рис. 85). α Центавра B обладает несколько меньшей массой, больше Солнца по диаметру на $\frac{1}{5}$, но светит в три раза менее ярко; соответ-

ственно этому и поверхностная температура её ниже, нежели солнечная (4400° , Солнце — 6000°).

Ещё холоднее Проксима: температура на её поверхности 3000° ; звезда эта красного цвета. Диаметр её 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 *A*, то увидели бы оттуда звезду *B* 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 60 раз больше, чем Плутон от Солнца, и в 240 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 она обладает. Звезда эта в полтора раза дальше от нас, чем система α Центавра, но на северном полушарии неба она — наша ближайшая соседка. Полёт её, 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.

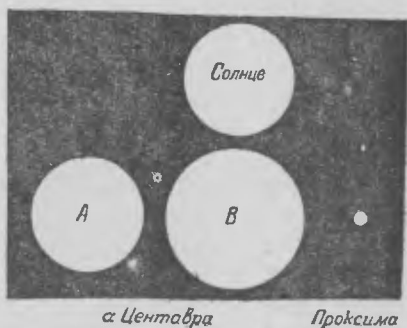


Рис. 85. Сравнительные размеры звезд системы α Центавра и Солнца.

Масштаб вселенной

Возвратимся к той уменьшенной модели солнечной системы, которую мы мысленно изготовили по указаниям главы о планетах, и попробуем достроить её, включив мир звёзд. 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 звёзды, если строго придерживаться того же масштаба? Нетрудно рассчитать, что, например, Проксима Центавра — самая близкая звезда — оказалась бы на расстоянии 2600 км, Сириус — 5400 км, Альтаир — 8000 км. Этим «ближайшим» звёздам даже на модели было бы тесно в Европе. Для звёзд более отдалённых возьмём меру крупнее километра — именно, 1000 км, называемую «мегаметром» (Мм). Таких единиц всего 40 в окружности земного шара и 380 между Землёй и Луной. Вега была бы в нашей модели удалена на 22 Мм, Арктур — на 28 Мм, Капелла — на 32 Мм, Регул — на 62 Мм, Денеб (α Лебедя) — более чем на 320 Мм.

Расшифруем это последнее число. 320 Мм = 320 000 км, т. е. немного меньше расстояния до Луны. Как видим, у м е н ь ш е н н а я модель, в которой Земля — булавочная головка, а Солнце — крокетный шар, сама приобретает космические размеры!

Наша модель ещё не достроена. Крайние, наиболее отдалённые звёзды Млечного Пути разместятся в модели на расстоянии 30 000 Мм — почти в 100 раз дальше Луны. Но Млечный Путь — не вся вселенная. Далеко за его пределами расположены другие звёздные системы, например та, которая видна даже простым глазом в созвездии Андромеды, или также доступные невооружённому зрению Магеллановы Облака. На нашей модели пришлось бы представить Малое Магелланово Облако в виде объекта с поперечником в 4000 Мм, Большое — в 5500 Мм, удалив их на 70 000 Мм от модели Млечного Пути. Модели туманности Андромеды мы должны были бы дать поперечник в 60 000 Мм и отодвинуть её от модели Млечного Пути на 500 000 Мм, т. е. почти на действительное расстояние Юпитера!

Самые отдалённые небесные объекты, с которыми имеет дело современная астрономия, — это звёздные туманности, т. е. скопления многочисленных звёзд, расположенных далеко за пределами нашего Млечного Пути. Расстояние их от Солнца превышает 600 000 000 световых лет. Предоставляем 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.

Ряд относящихся сюда сопоставлений читатель найдёт также в моей книге «Знаете ли вы физику?».

Интересующимся особенностями звёзд и устройством звёздной вселенной советуем внимательно прочитать следующие книги:

Блажко С. Н., Курс общей астрономии, Гостехиздат, 1947.

Воронцов-Вельяминов Б. А., Очерки о вселенной, Гостехиздат, 1952.





ГЛАВА ПЯТАЯ

ТЯГОТЕНИЕ

Из пушки вверх

Куда упал бы снаряд, пущенный отвесно вверх из пушки, установленной на экваторе (рис. 86)? Такая задача обсуждалась лет двадцать назад в одном журнале применительно к воображаемому снаряду, пущенному со скоростью 8000 м в первую секунду; снаряд этот должен через 70 минут достичь высоты 6400 км (земного радиуса). Вот что писал журнал:

«Если снаряд выпущен отвесно вверх на экваторе, то он при вылете из орудия обладает ещё и круговой скоростью точек экватора по направлению на восток (465 м/сек). 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 произойдёт и при обратном падении снаряда. В результате снаряд за 70 минут полёта 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. Флам-марионом в его «Астрономии»:

«Если выстрелить из пушки, обратив её прямо вверх, к зениту, то ядро снова упадёт в жерло пушки, хотя за время его подъёма и нисхождения пушка передвинется с Землёй к востоку. Причина очевидна. Ядро, поднимаясь вверх, ничего не теряет из скорости, сообщённой ему

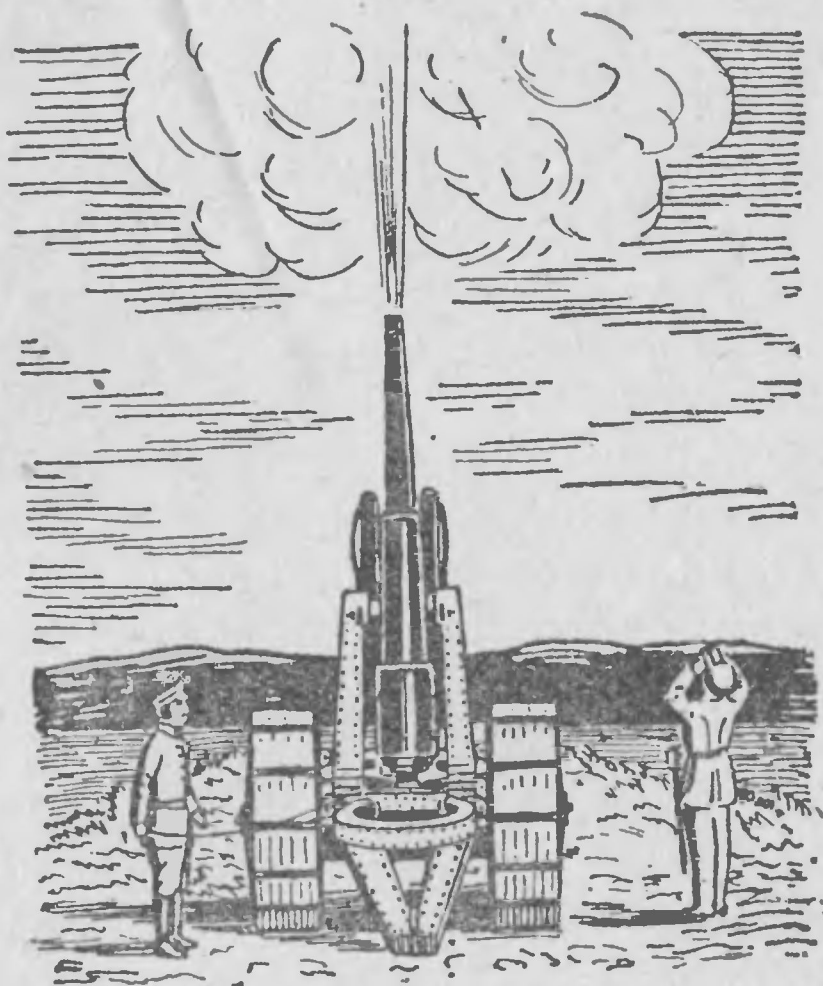


Рис. 86. Задача о пушечном ядре, брошенном отвесно.

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 упадёт снова в жерло пушки, которая попрежнему остаётся в вертикальном положении».

«Произвести такой опыт было бы, однако, довольно трудно, — прибавляет Фламмарион, — потому что редко можно найти пушку, хорошо калиброванную, и очень не легко установить её совершенно отвесно. Мерсен и Пти пытались это сделать в XVII в., но они даже и вовсе не

нашли своего ядра после выстрела. Вариньон на заглавном листе своего сочинения „Новые соображения о тяготении“ (1690 г.) поместил относящийся сюда рисунок (мы его воспроизводим на заставке). На нём два наблюдателя — монах и военный — стоят возле наведённой на зенит пушки и смотрят вверх, как бы следя за выпущенным ядром. На гравюре надпись (по-французски): „Упадёт ли обратно?“ Монах — Мерсен, а военный — Пти. Этот опасный опыт они производили несколько раз и так как не оказались настолько меткими, чтобы ядро осталось навсегда в воздухе. Вариньон удивляется этому: „Ядро, висящее над нашими головами! Поистине удивительно!“ При повторении опыта в Страсбурге ядро отыскалось в нескольких сотнях метров от пушки. Очевидно, орудие не было направлено строго вертикально».

Два решения задачи, как видим, находятся в резком разногласии. Один автор утверждает, что ядро упадёт далеко к западу от места выстрела, другой — что оно должно упасть непременно в жерло орудия. Кто же прав?

Строго говоря, неверны оба решения, но фламмариненово 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 убеждён второй.

Задача, к сожалению, не может быть решена средствами элементарной математики ¹⁾. 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 получаются выражения:

на экваторе

$$x = \frac{4}{3} \omega \frac{v^3}{g^2},$$

а на широте φ

$$x = \frac{4}{3} \omega \frac{v^3}{g^2} \cos \varphi.$$

¹⁾ Для этой цели необходим специальный обстоятельный расчёт, который по моей просьбе был выполнен специалистами. В подробности этого расчёта я здесь входить не могу.

Применяя формулу к задаче, поставленной первым автором, имеем

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164},$$

$$v = 8000 \text{ м/сек},$$

$$g = 9,8 \text{ м/сек}^2.$$

Подставив эти величины в первую формулу, получаем $x = 50 \text{ км}$: ядро упадёт в 50 км к западу от пушки (а не в 4000 км, как думал первый автор).

Что же даёт формула для случая, рассмотренного Фламарионом? Выстрел произведён был не на экваторе, а близ Парижа на широте 48° . Начальную скорость ядра старинной пушки примем равной 300 м/сек. Подставив во вторую формулу

$$\omega = \frac{2\pi}{86\,164},$$

$$v = 300 \text{ м/сек},$$

$$g = 9,8 \text{ м/сек}^2,$$

$$\varphi = 48^\circ,$$

получаем $x = 1,7 \text{ м}$: ядро упадёт на 1,7 м к западу от пушки (а не в самое жерло, как полагал французский астроном). При этом, конечно, нами не было принято во внимание возможное отклоняющее действие воздушных течений, способное заметно исказить этот результат.

Вес на большой высоте

В расчётах предыдущей статьи принималось, между прочим, в соображение одно обстоятельство, на которое мы не обратили до сих пор внимания читателя. Речь идёт о том, что по мере удаления от Земли сила тяжести ослабевает. Тяжесть есть не что иное, как проявление всемирного тяготения, а сила взаимного притяжения двух тел при возрастании расстояния между ними быстро ослабевает. Согласно закону Ньютона сила притяжения убывает пропорционально *к в а д р а т у* расстояния; при этом расстояние следует считать от центра земного шара, потому что Земля притягивает все тела так, словно вся её масса сосредоточена в центре. Поэтому сила при-

тяжения на высоте 6400 км, т. е. в месте, удалённом от центра Земли на 2 земных радиуса, ослабевает в четыре раза по сравнению с силой притяжения на земной поверхности.

Для брошенного вверх артиллерийского снаряда это должно проявиться в том, что снаряд поднимется выше, чем в случае, если бы тяжесть с высотой не убывала. Для снаряда, выпущенного отвесно вверх со скоростью 8000 м в секунду, мы приняли, что он поднимется до высоты 6400 км. Между тем, если вычислить высоту поднятия этого снаряда по общеизвестной формуле, не учитывающей ослабления тяжести с высотой, получится высота вдвое меньшая. Сделаем это вычисление. В учебниках физики и механики приводится формула для вычисления высоты h поднятия тела, брошенного отвесно вверх со скоростью v при неизменном ускорении силы тяжести g :

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

Для случая $v = 8000$ м/сек, $g = 9,8$ м/сек² получаем

$$h = \frac{8000^2}{2 \cdot 9,8} = 3\,265\,000 \text{ м} = 3265 \text{ км}.$$

Это почти вдвое ниже той высоты поднятия, которая указана в предыдущей статье. Разногласие обусловлено, как уже говорилось, тем, что, пользуясь формулами учебника, мы не приняли во внимание ослабления силы тяжести с высотой. Ясно, что если снаряд притягивается Землёй слабее, он должен при данной скорости подняться выше.

Не следует спешить с заключением, что приводимые в учебниках формулы для вычисления высоты подъёма тела, брошенного вверх, неверны. Они верны в тех границах, для которых предназначаются, и становятся неверными лишь тогда, когда вычислитель выходит с ними за указанные границы. Предназначаются же эти формулы для весьма небольших высот, где ослабление силы тяжести ещё настолько незначительно, что им можно пренебречь. Так, для снаряда, брошенного вверх с начальной скоростью 300 м/сек, ослабление силы тяжести сказывается весьма мало.

Но вот интересный вопрос: ощутительно ли уменьшение силы тяжести для высот, с которыми имеют дело со-

временная авиация и воздухоплавание? Заметно ли уже на этих высотах уменьшение веса тел? В 1936 г. лётчик Владимир Коккинаки поднимал в своей машине различные грузы на большую высоту: $1\frac{1}{2} \text{ т}$ на высоту 11 458 м, 1 т — на 12 100 м и 2 т на 11 295 м. Спрашивается: сохраняли ли эти грузы на указанных рекордных высотах свой первоначальный вес или теряли там заметную его часть? С первого взгляда может казаться, что подъём над земной поверхностью на десяток с лишним километров не может заметно уменьшить вес груза на такой большой планете, как Земля. Находясь у земной поверхности, груз отстоял от центра нашей планеты на 6400 км; поднятие на 12 км увеличивает это расстояние до 6412 км: прибавка как будто чересчур ничтожная, чтобы могла сказаться убыль в весе. Расчёт, однако, говорит другое: потеря веса получается довольно ощутительная.

Выполним вычисление для одного случая: например, для подъёма Коккинаки с грузом 2000 кг на 11 295 м. На этой высоте самолёт находится дальше от центра земного шара, нежели при старте, в $\frac{6411,3}{6400}$ раз.

Сила притяжения ослабевает здесь в

$$\left(\frac{6411,3}{6400}\right)^2, \text{ т. е. в } \left(1 + \frac{11,3}{6400}\right)^2 \text{ раз.}$$

Следовательно, груз на указанной высоте должен весить

$$2000 : \left(1 + \frac{11,3}{6400}\right)^2 \text{ кг.}$$

Если выполнить это вычисление (для чего удобно воспользоваться приёмами приближённого расчёта¹⁾), то выяснится, что груз в 2000 кг на рекордной высоте весил только 1993 кг; он стал на 7 кг легче — убыль веса довольно ощутительная. Килограммовая гиря на такой высоте вытягивала бы на пружинном безмене только 996,5 г; 3,5 г веса теряется.

¹⁾ Можно пользоваться приближёнными равенствами

$$(1 + \alpha)^2 = 1 + 2\alpha \quad \text{и} \quad 1 : (1 + \alpha) = 1 - \alpha,$$

где α — весьма малая величина. Поэтому

$$2000 : \left(1 + \frac{11,3}{6400}\right)^2 = 2000 : \left(1 + \frac{11,3}{3200}\right) = 2000 - \frac{11,3}{1,6} = 2000 - 7.$$

Ещё большую потерю веса должны были обнаружить наши стратонавты, достигшие высоты 22 км: 7 г на каждый килограмм.

Для рекордного подъёма лётчика Юмашева, поднявшего в 1936 г. груз в 5000 кг на высоту 8919 м, можно вычислением установить общую потерю веса грузом в 14 кг.

В том же 1936 г. лётчик М. Ю. Алексеев поднял на высоту 12 695 м груз в 1 т, лётчик М. Нюхтиков поднял на высоту 7032 м груз в 10 т и т. д. Пользуясь изложенным выше, читатель без труда сможет выполнить вычисление того, как велика была в этих случаях потеря веса.

С циркулем по планетным путям

Из трёх 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. Займёмся ею. Кружок в правой части рис. 87 изображает некое воображаемое солнце; влево от него — воображаемая планета. Расстояние между ними пусть будет 1 000 000 км, на чертеже оно представлено 5 см — в масштабе 200 000 км в 1 см.

Стрелка в 0,5 см длины изображает силу, с какой притягивается к Солнцу наша планета (рис. 87). Пусть теперь планета под действием этой силы приблизилась к Солнцу и находится от него на расстоянии всего 900 000 км, т. е. 4,5 см на нашем чертеже. Притяжение планеты к Солнцу теперь усилится по закону тяготения в $\left(\frac{10}{9}\right)^2$ т. е. 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, т. е. до 4 см на нашем чер-

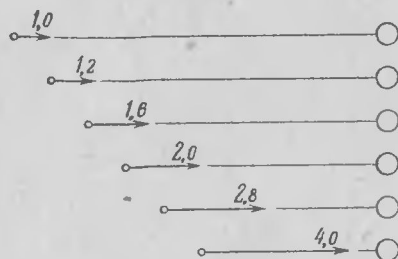


Рис. 87. Сила притяжения планеты Солнцем увеличивается с уменьшением расстояния.

теже, сила притяжения возрастёт в $\left(\frac{5}{4}\right)^2$, т. е. в 1,6 раза, и изобразится стрелкой в 1,6 единицы. При дальнейшем приближении планеты к Солнцу до расстояния 700, 600, 500 тысяч 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 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 расстоя-

нии 800 000 км от Солнца (рис. 88). На этом расстоянии от Солнца его притяжение будет действовать на планету с такой силой, что заставит её 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

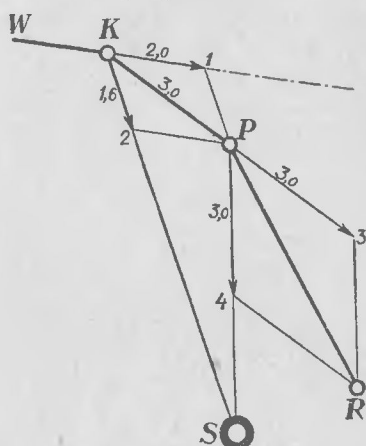


Рис. 88. Как Солнце S искривляет путь планеты $WKPR$.

параллелограмма, построенного на перемещениях KI и $K2$; эта диагональ равна 3 единицам длины (рис. 88).

Очутившись в точке P , планета стремится двигаться дальше по направлению KP со скоростью 3 единиц. 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 пройдёт диагональ PR параллелограмма.

Дальше вести построение на том же чертеже мы не станем: масштаб слишком крупен. Понятно, что чем масштаб мельче, тем большую часть пути планеты удастся нам поместить на чертеже и тем меньше будет резкость углов нарушать сходство нашей схемы с истинным путём планеты. На рис. 89 дана та же картина в более мелком масштабе для воображаемого случая встречи Солнца с каким-нибудь небесным телом, по массе подобным вышеупомянутой планете. Здесь ясно видно, как Солнце отклоняет планету-пришельца от её первоначального пути и заставляет следовать по кривой $P-I-II-III-IV-V-VI$. Углы построенного пути здесь не так резки, и отдельные положения планеты нетрудно уже соединить плавной кривой линией.

Что же это за кривая? Ответить на этот вопрос поможет нам геометрия. Наложите на чертёж (рис. 89) листок прозрачной бумаги и перенесите на неё шесть произвольно взятых точек планетного пути. Выбранные

шесть точек (рис. 90) перенумеруйте 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*. Таким же образом получите точку *II* на пересечении прямых 2—3 и 5—6,

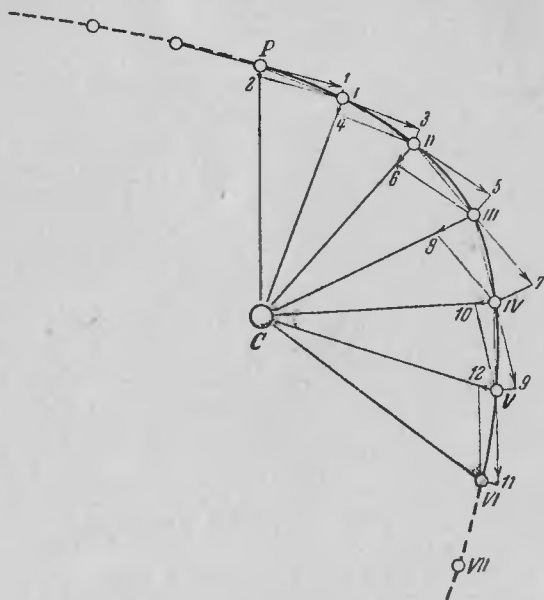


Рис. 89. Солнце отклоняет планету *P* от её первоначального прямого пути, заставляя её описывать кривую линию.

затем точку *III* — на пересечении 3—4 и 1—6. Если исследуемая нами кривая есть одно из так называемых «конических сечений», т. е. 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 проходятся в средней школе), носящая название «шестиугольника Паскаля».

Тщательно выполненный чертёж всегда даст указанные точки пересечения на одной прямой. Это доказывает, что исследуемая кривая есть либо эллипс, либо парабола,

либо гипербола. К рис. 89 первое, очевидно, не подходит (кривая незамкнутая), 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 её обращаться вокруг себя, «захватить» её, как говорят астрономы.

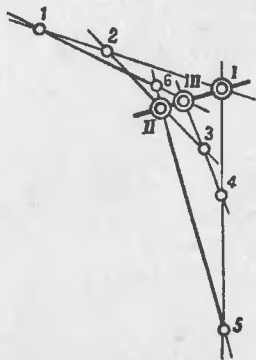


Рис. 90. Геометрическое доказательство того, что планеты движутся вокруг Солнца по коническим сечениям. (Подробности в тексте.)

Постараемся теперь подобным же образом уяснить второй закон движения планет — так называемый закон площадей. Рассмотрите внимательно рис. 21 (стр. 43). Двенадцать намеченных на ней точек делят её 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, получите 12 фигур, которые приближённо 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:

Радиусы-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 проделаем несколько численных упражнении.

Падение планет на Солнце

Задумывались ли вы над тем, что произошло бы с нашей Землёй, если бы, встретив препятствие, она внезапно была остановлена в своём 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 её движения в теплоту породит чудовищный жар, который мгновенно превратит наш мир в исполинское облако раскалённых газов...

Но если бы даже Земля при внезапной остановке избежала этой участи, она всё-таки обречена была бы на огненную гибель: увлекаемая Солнцем, она устремилась бы к нему с возрастающей скоростью и погибла бы в его пламенных объятиях.

Это роковое падение началось бы медленно, с черепашьей скоростью: в первую секунду Земля приблизилась бы к Солнцу только на 3 мм. Но с каждой секундой скорость её движения прогрессивно возрастала бы, достигнув в последнюю секунду 600 км. С этой невообразимой скоростью земной шар обрушился бы на раскалённую поверхность Солнца.

Интересно вычислить, сколько времени длился бы этот гибельный перелёт, долго ли продолжалась бы агония нашего обречённого мира. Сделать этот расчёт поможет нам третий закон Кеплера, который распространяется на движение не только планет, но и комет и всех вообще небесных тел, движущихся в мировом пространстве под действием центральной силы тяготения. Закон этот связывает время обращения планеты (её «год») с её расстоянием от Солнца и гласит:

квадраты времён 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: одна — на земной орбите, другая — в центре Солнца. Большая полуось орбиты такой кометы, очевидно, вдвое меньше большой полуоси орбиты Земли. Вычислим же, каков должен был бы быть период обращения этой воображаемой кометы.

Составим пропорцию на основании третьего закона Кеплера:

$$\frac{(\text{период обр. Земли})^2}{(\text{период обр. кометы})^2} = \frac{(\text{б. полуось орб. Земли})^3}{(\text{б. полуось орб. кометы})^3}.$$

Период обращения Земли равен 365 суткам; примем за единицу большую полуось её орбиты, и тогда большая полуось орбиты кометы выразится дробью 0,5. Пропорция наша принимает теперь такой вид:

$$\frac{365^2}{(\text{период обращения кометы})^2} = \frac{1}{(0,5)^2},$$

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, т. е. продолжительность полёта в один конец — от земной орбиты до Солнца: это и будет искомое время падения Земли на Солнце. Вычислим же его:

$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{2\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{32}} = \frac{365}{5,6}.$$

Значит, чтобы узнать, во сколько времени Земля упала бы на Солнце, нужно продолжительность года разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6. Это составит круглым счётом 65 дней.

Итак, мы вычислили, что Земля, внезапно остановленная в своём 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 своё центральное светило, нужно период их обращения разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6.

Поэтому, например, Меркурий — самая близкая к Солнцу планета, — обращающийся в 88 дней, упал бы на Солнце в $15\frac{1}{2}$ дней. Нептун, один «год» которого равняется 165 нашим годам, падал бы на Солнце $29\frac{1}{2}$ лет, а Плутон — 44 года.

Во сколько времени упала бы на Землю Луна, если бы внезапно остановился её бег? Делим время обращения

Луны — 27,3 дня — на 5,6: получим почти ровно 5 дней. И не только Луна, но и всякое вообще тело, находящееся от нас на расстоянии Луны, падало бы на Землю в течение 5 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 перелёта на Луну, указанную Ж. Верном в романе «Из пушки на Луну»¹⁾.

Наковальня Вулкана

Сейчас выведенным правилом воспользуемся для решения любопытной задачи из области мифологии. Древнегреческий миф о Вулкане повествует, между прочим, что этот бог уронил однажды свою наковальню, и она падала с неба целых 9 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 в 5 секунд!

Нетрудно, однако, вычислить, что вселенная древних греков, если измерять её по этому признаку, была бы, по нашим понятиям, довольно тесновата.

Мы уже знаем, что Луна падала бы на Землю в течение 5 дней, мифическая же наковальня падала 9 дней. Значит, «небо», с которого упала наковальня, находится дальше лунной орбиты. На много ли дальше? Если умножим 9 дней на $\sqrt{32}$, мы узнаем величину того периода, в течение которого наковальня обращалась бы вокруг земного шара, будь она спутником нашей планеты: $9 \times 5,6 = 51$ суткам. 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

$$\frac{27,3^2}{51^2} = \frac{380\,000^3}{(\text{расстояние наковальни})^3}.$$

¹⁾ Расчёты приведены в моей книге «Межпланетные путешествия».

Отсюда неизвестное расстояние наковальни от Земли нетрудно вычислить:

$$\begin{aligned}\text{расстояние наковальни} &= \sqrt[3]{\frac{51^3 \cdot 380\,000^3}{27,3^3}} = \\ &= 380\,000 \sqrt[3]{\frac{51^3}{27,3^3}}.\end{aligned}$$

Вычисление даёт 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 даёт также возможность вычислить, насколько далеко должна быть отодвинута граница нашей солнечной системы, если считать крайними её точками самые отдалённые концы (афелии) кометных орбит. Нам приходилось уже беседовать об этом раньше; здесь произведём соответствующий расчёт. Мы упоминали в главе III о кометах, имеющих очень долгий период обращения: в 776 лет. Вычислим расстояние x афелия такой кометы, зная, что ближайшее её расстояние от Солнца (перигелий) равно 1 800 000 км.

Привлекаем в качестве второго тела Землю и составляем пропорцию:

$$\frac{776^3}{1^3} = \frac{\left[\frac{1}{2}(x + 1\,800\,000)\right]^3}{150\,000\,000^3}.$$

Отсюда

$$x + 1\,800\,000 = 2 \cdot 150\,000\,000 \cdot \sqrt[3]{776^3}.$$

И, следовательно,

$$x = 54\,298\,000\,000 \text{ км.}$$

Мы видим, что рассматриваемые кометы должны уходить в 181 раз дальше от Солнца, чем Земля, и значит, в четыре с половиной раза дальше, чем последняя из известных нам планет — Плутон.

Ошибка в романе Жюль Верна

Вымышленная комета «Галлия», на которую Жюль Верн перенёс действие романа «Гектор Сервадак», совершает полный оборот вокруг Солнца ровно в два года. Другое указание, имеющееся в романе, относится к расстоянию афелия этой кометы: 820 миллионов км от Солнца. Хотя расстояние перигелия в романе не указано, мы по тем двум данным, какие сейчас приведены, уже вправе утверждать, что такой кометы в нашей солнечной системе быть не может. В этом убеждает нас расчёт по формуле третьего закона Кеплера.

Обозначим неизвестное расстояние перигелия через x миллионов км. Большая ось орбиты кометы выразится тогда через $x + 820$ миллионов км, а большая полуось через $\frac{x + 820}{2}$ миллионов км. Сопоставляя период обращения и расстояние кометы с периодом и расстоянием Земли, имеем по закону Кеплера

$$\frac{2^3}{1^3} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \cdot 150^3},$$

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 — 2 года — не могла бы уходить от Солнца так далеко, как указано в романе Жюль Верна.

Как взвесили Землю?

Существует анекдотический рассказ про наивного человека, которого всего более удивляло в астрономии то, что учёные узнали, как звёзды называются. Если говорить серьёзно, то наиболее удивительным достижением астрономов должно, вероятно, казаться то, что им удалось взвесить и Землю, на которой мы живём, и далёкие небесные светила. В самом деле: каким способом, на каких весах могли взвесить Землю и небо?

Начнём со взвешивания Земли. Прежде всего отдадим себе отчёт, 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, ни к чему не привешена. Значит, в таком смысле земной шар не имеет веса. Что же определили учёные, «взвесив» Землю? Они определили её массу. В сущности, когда мы просим отвесить нам в лавке 1 кг сахара, нас ни сколько ведь не интересует сила, с какой этот сахар давит на опору или натягивает нить привеса. В сахаре

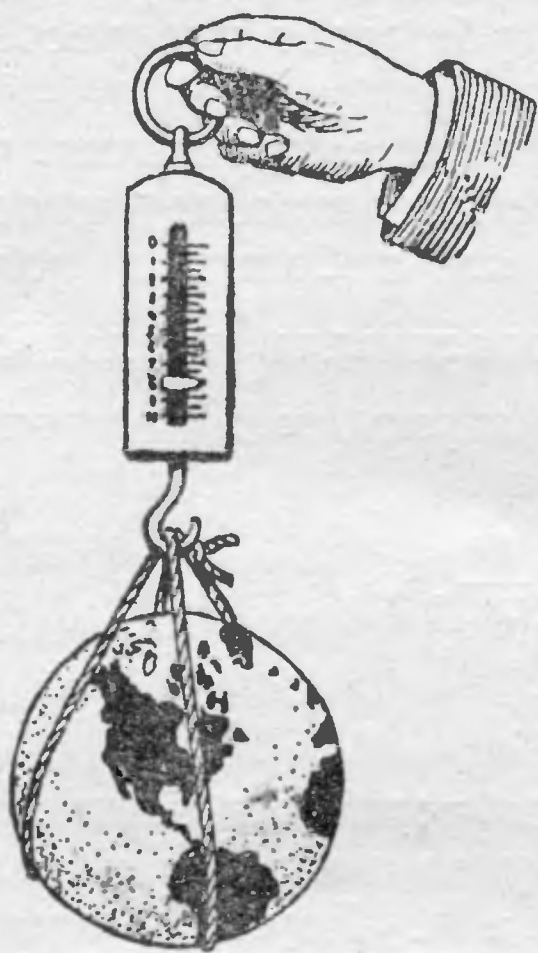


Рис. 91. На каких весах могли взвесить Землю?

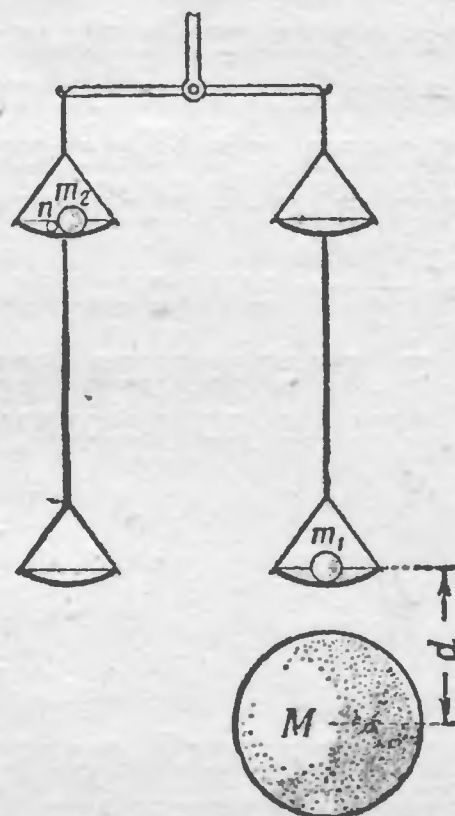


Рис. 92. Один из способов определения массы Земли: весы Йолли.

нас интересует другое: мы думаем лишь о том, сколько стаканов чая можно с ним выпить, другими словами, нас интересует количество заключающегося в нём вещества.

Но для измерения количества вещества существует только один способ: найти, с какой силой тело притягивается Землёй. 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 «вес» её определится, если станет известна её масса; итак, задачу определения веса Земли надо понимать как задачу исчисления её массы.

Опишем один из способов её решения (способ Йолли, 1871). На рис. 92 вы видите очень чувствительные чашечные весы, в которых к каждому концу коромысла подвешены две лёгкие чашки: верхняя и нижняя. Расстояние от верхней до нижней 20—25 см. На правую нижнюю чашку кладём 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 Землёй. Если под правую нижнюю чашку подвести большой свинцовый шар с массой M , то равновесие весов нарушится, так как масса m_1 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, т. е. равна силе притяжения этого груза массой всей Земли. Эта сила F' равна

$$F' = k \frac{n \mathcal{M}_\oplus}{R^2},$$

где $\mathcal{M}_\oplus$ — масса Земли, а R — её 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:

$$F = F' \text{ или } \frac{m_1 M}{d^2} = \frac{n \mathcal{M}_\oplus}{R^2}.$$

В этом соотношении все величины, кроме массы Земли $\mathcal{M}_\oplus$, могут быть измерены. Отсюда определим $\mathcal{M}_\oplus$. В тех опытах, о которых говорилось,

$$M = 5775,2 \text{ кг}, \quad R = 6366 \text{ км}, \quad d = 56,86 \text{ см}, \\ m_1 = 5,00 \text{ кг и } n = 589 \text{ мг}.$$

В итоге масса Земли оказывается равной $6,15 \times 10^{27} \text{ г}$. Современное определение массы Земли, основанное на большом ряде измерений, даёт $\mathcal{M}_\oplus = 5,974 \times 10^{27} \text{ г}$, т. е.

около 6 тысяч триллионов тонн. Возможная ошибка определения этой величины не более 0,1%.

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 вес его, не силу, с какой оно притягивается Землёй, а массу: мы устанавливаем лишь, что масса тела равна массе гири.

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: учёные измерили средний вес 1 см^3 нашей планеты (т. е. её удельный вес) и, вычислив геометрически её объём, определили вес Земли умножением её удельного веса на объём. Указываемый путь, однако, неосуществим: нельзя непосредственно измерить удельный вес Земли, так как нам доступна только сравнительно тонкая наружная её оболочка¹⁾ и ничего не известно о том, из каких веществ состоит остальная, значительно бóльшая часть её объёма.

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 тяжёлые вещества. По их предполагаемому удельному весу (а также и по другим основаниям) можно думать, что ядро нашей планеты состоит из железа, сильно уплотнённого давлением вышележащих масс.

Вес Солнца и Луны

Как ни странно, вес далёкого Солнца оказывается несравненно проще определить, чем вес гораздо более близкой к нам Луны. (Само собой разумеется, что слово «вес» по отношению к этим светилам мы употребляем в

¹⁾ Минералы земной коры исследованы только до глубины 25 км; расчёт показывает, что в минералогическом отношении изучена всего $\frac{1}{85}$ объёма земного шара.

том же условном смысле, как и для Земли: речь идёт об определении массы.)

Масса Солнца найдена путём следующего рассуждения. Опыт показал, что 1 г притягивает 1 г на расстоянии 1 см с силой, равной $\frac{1}{15\,000\,000}$ 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

$$\frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{15\,000\,000\,000\,000^2} \text{ мг}^1).$$

С другой стороны, эта сила притяжения есть та центростремительная сила, которая удерживает нашу планету на её орбите и которая по правилам механики равна (тоже в миллиграммах) $\frac{mV^2}{D}$, где m — масса Земли (в граммах), V — её круговая скорость, равная 30 км/сек = 3 000 000 см/сек, 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):

$$M = 2 \cdot 10^{38} \text{ г} = 2 \cdot 10^{27} \text{ т.}$$

Разделив эту массу на массу земного шара, т. е. вычислив

$$\frac{2 \cdot 10^{27}}{6 \cdot 10^{21}},$$

получаем $\frac{1}{3}$ миллиона.

Другой способ определения массы Солнца основан на использовании третьего закона Кеплера. Из закона

¹⁾ Точнее, дин; 1 дина = 0,98 мг.

всемирного тяготения третий закон выводится в следующей форме:

$$\frac{(\mathcal{M}_{\odot} + m_1) T_1^2}{(\mathcal{M}_{\odot} + m_2) T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где $\mathcal{M}_{\odot}$ — масса Солнца, T — звёздный период обращения планеты, a — среднее расстояние планеты от Солнца и m — масса планеты. Применяя этот закон к Земле и Луне, получим

$$\frac{(\mathcal{M}_{\odot} + m_{\delta}) T_{\delta}^2}{(m_{\delta} + m_{\zeta}) T_{\zeta}^2} = \frac{a_{\delta}^3}{a_{\zeta}^3}.$$

Подставляя известные из наблюдений a_{δ} , a_{ζ} и T_{δ} , T_{ζ} 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

$$\frac{\mathcal{M}_{\odot}}{m_{\delta}} = 330\,000.$$

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 объём. 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 её труднее, чем Нептун, самую далёкую (тогда) планету». У Луны нет спутника, который помог бы вычислить её массу, как вычислили мы сейчас массу Солнца. Учёным 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 ещё вернёмся к этому расчёту, когда будем говорить о приливах. Здесь сообщим лишь окончательный ре-

зультат: масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли (рис. 93). Зная диаметр Луны, вычислим её объём; он оказывается в 49 раз меньше объёма Земли. Поэтому средняя

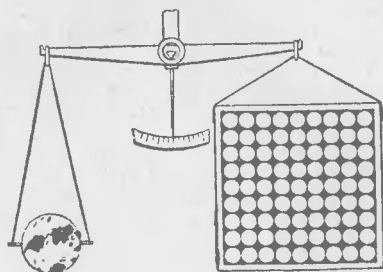


Рис. 93. Земля «весит» в 81 раз больше Луны.

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. Дальше мы увидим (см. табличку на стр. 198), что средняя плотность Луны выше средней плотности большинства планет.

Вес и плотность планет и звёзд

Способ, каким «взвесили» Солнце, применим и к взвешиванию любой планеты, имеющей хотя бы одного спутника.

Зная среднюю скорость v движения спутника по орбите и его среднее расстояние D от планеты, мы приравняем центростремительную силу, удерживающую спутника на его орбите, $\frac{mv^2}{D}$, силе взаимного притяжения спутника и планеты, т. е. $\frac{kmM}{D^2}$, где k — сила притяжения 1 г к 1 г на расстоянии 1 см, m — масса спутника, M — масса планеты:

$$\frac{mv^2}{D} = \frac{kmM}{D^2},$$

откуда

$$M = \frac{Dv^2}{k}$$

— 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 $\frac{M_{\odot}}{m_{\text{планеты}}}$. Зная массу Солнца, можно легко определить массу планеты.

Подобное же вычисление применимо и к двойным звёздам с той лишь разницей, что здесь в результате вычисления получаются не массы отдельных звёзд 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 учёта 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 один на другой никакого заметного возмущающего действия, задача определения массы, вообще говоря, неразрешима. Известен лишь — и то гадательно — высший предел совокупной массы всех этих крошечных планеток.

По массе и объёму планет легко вычисляется их средняя плотность. Результаты сведены в следующую табличку:

	Плотность Земли = 1
Меркурий	1,00
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 — самая плотная из всех планет нашей системы. Малые средние плотности больших планет объясняются тем, что твёрдое ядро каждой большой планеты покрыто громадной атмосферой, которая обладает малой массой, но весьма увеличивает видимый объём планеты.

Тяжесть на Луне и на планетах

Люди, мало начитанные в астрономии, нередко высказывают изумление по поводу того, что учёные, не посетив Луны и планет, уверенно говорят о силе тяжести на их поверхности. Между тем совсем нетрудно рассчитать, сколько килограммов должна весить гиря, перенесённая на другие миры. Для этого нужно лишь знать радиус и массу небесного тела.

Определим, например, напряжение силы тяжести на Луне. Масса Луны, мы знаем, в 81 раз меньше массы Земли. Если бы Земля обладала такой маленькой массой, то напряжение силы тяжести на её поверхности было бы в 81 раз слабее, чем теперь. Но по закону Ньютона шар притягивает так, словно вся его масса сосредоточена в центре. Центр Земли отстоит от её 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 $\left(\frac{100}{27}\right)^2$ раз. Значит, в конечном итоге напряжение силы тяжести на поверхности Луны составляет

$$\frac{100^2}{27^2 \cdot 81} \approx \frac{1}{6} \text{ земного.}$$

Итак, гиря в 1 кг, перенесённая на поверхность Луны, весила бы там только $\frac{1}{6}$ кг, но, конечно, уменьшение веса можно было бы обнаружить только с помощью пружинных весов (рис. 94), а не рычажных.

Любопытно, что если бы на Луне существовала вода, пловец чувствовал бы себя в лунном водоёме 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 он у нас.

Впрочем, усилия подняться над водой дали бы на Луне более заметный результат: раз вес тела пловца

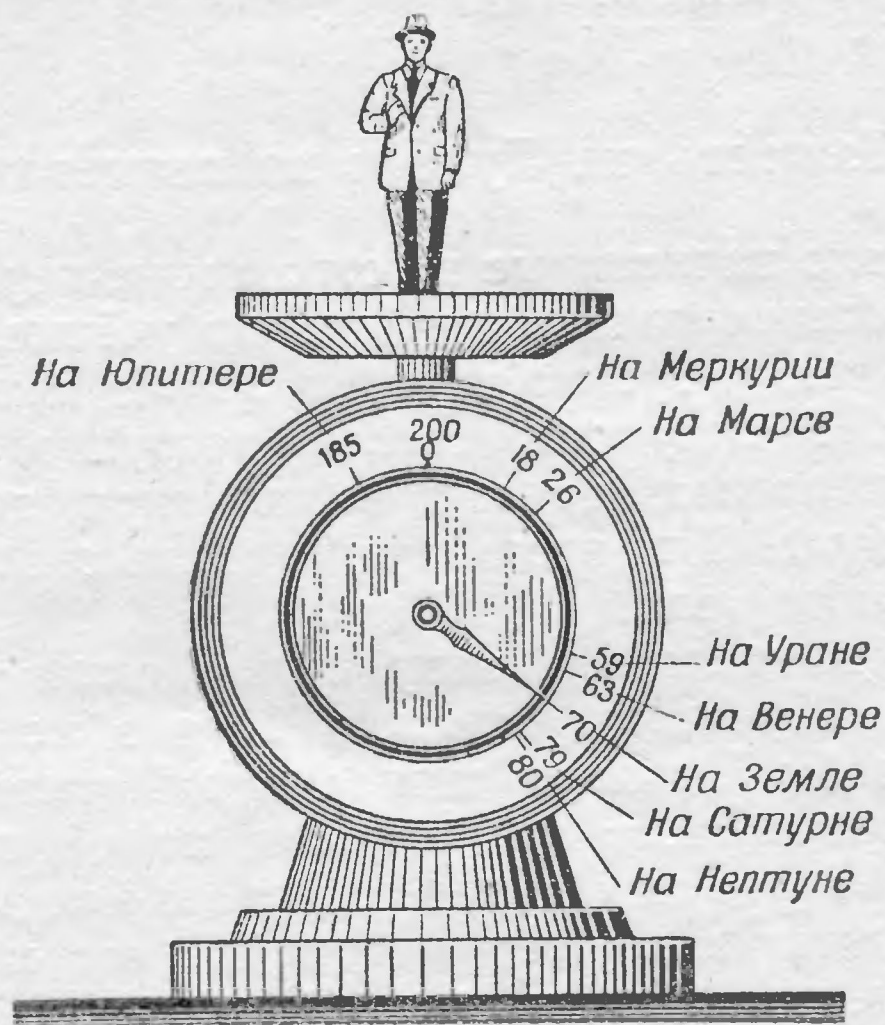


Рис. 94. Сколько весил бы человек на разных планетах?

уменьшился, оно может быть поднято меньшим напряжением мускулов.

Ниже приведена табличка величины силы тяжести на разных планетах по сравнению с земной.

На Меркурии	0,26	На Сатурне	1,13
» Венере	0,90	» Уране	0,84
» Земле	1,00	» Нептуне	1,14
» Марсе	0,37	» Плутоне	?
» Юпитере	2,64		

Как видно из таблички, наша Земля по силе тяжести стоит на четвертом месте в солнечной системе после Юпитера, Нептуна и Сатурна ¹⁾.

¹⁾ Желающие подробнее познакомиться с проявлениями тяготения во вселенной найдут много полезных сведений в общепонятно написанной книге проф. К. Л. Баева «Всемирное тяготение» (1936 г.).

Рекордная тяжесть

Самой большой величины достигает сила тяжести на поверхности тех «белых карликов» типа Сириуса В, о котором мы говорили в главе IV. Легко сообразить, что огромная масса этих светил при сравнительно небольшом радиусе должна обусловить весьма значительное напряжение силы тяжести на их поверхности. Сделаем расчёт 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

$$2,8 \cdot 330\,000 \cdot 2^2 = 3\,700\,000 \text{ раз.}$$

1 см³ воды, весящий на Земле 1 г, весил бы на поверхности этой звезды почти $3\frac{3}{4} m$! 1 см³ вещества самой звезды (которое в 36 000 000 раз плотнее воды) должен в этом удивительном мире иметь чудовищный вес

$$3\,700\,000 \cdot 36\,000\,000 = 133\,200\,000\,000\,000 \text{ г.}$$

Напёрсток вещества, весящий сто миллионов тонн, — вот диковинка, о существовании которой во вселенной не помышляли ещё недавно самые смелые фантасты.

Тяжесть в глубине планет

Как изменился бы вес тела, если бы оно было перенесено в глубь 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, т. е. 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, помещённые в полость однородной шаровой оболочки, совсем лишены

веса (рис. 95). 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 (рис. 96).

Опираясь на эти положения, нетрудно вывести закон, по которому изменяется вес тела с приближением к центру планеты. Обозначим радиус планеты (рис. 97) через R и расстояние тела от её центра через r . Сила притяжения тела в этой точке должна возрасти в $\left(\frac{R}{r}\right)^2$ раз и одновременно ослабеть в $\left(\frac{R}{r}\right)^3$ раз (так как притяги-

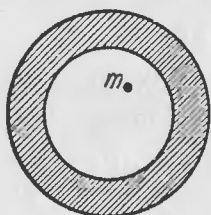


Рис. 95. Тело внутри шаровой оболочки не имеет веса.

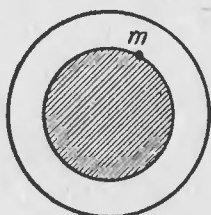


Рис. 96. От чего зависит вес тела в недрах планеты.

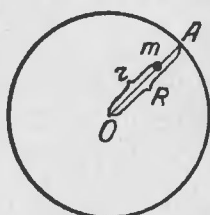


Рис. 97. К вычислению изменения веса тела с приближением к центру планеты.

вающая часть планеты уменьшилась в указанное число раз). В конечном итоге сила притяжения должна ослабеть в

$$\left(\frac{R}{r}\right)^3 : \left(\frac{R}{r}\right)^2, \text{ т. е. в } \frac{R}{r} \text{ раз.}$$

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 в 6400 км, углубление на 3200 км должно сопровождаться уменьшением веса вдвое, углубление на 5600 км — уменьшением веса в

$$\frac{6400}{6400 - 5600}, \text{ т. е. в восемь раз.}$$

В самом центре планеты тело должно потерять свой вес полностью, так как

$$\frac{6400 - 6400}{6400} = 0.$$

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.

Задача о пароходе

Когда пароход легче — в лунную или безлунную ночь?

Решение

Задача сложнее, чем кажется. Нельзя ответить прямо, что в лунную ночь пароход, да и все вообще предметы на озарённой лунным светом половине земного шара, должен быть легче, чем в безлунную, потому, что «его

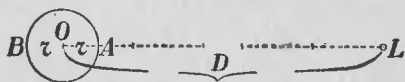


Рис. 98. Действие лунного притяжения на частицы земного шара.

притягивает Луна». Ведь, притягивая пароход, Луна притягивает и весь земной шар. В пустоте все тела под действием тяготения движутся с одинаковой скоростью; Земля и пароход получают от притяжения Луны одинаковые ускорения, и уменьшение веса парохода не должно обнаружиться. И всё же пароход, озарённый Лунной, легче, чем в безлунную ночь.

Объясним, почему. Пусть на рис. 98 O — центр земного шара, A и B — пароход в диаметрально противоположных точках земного шара, r — радиус земного шара, D — расстояние от центра L Луны до центра O земного шара. Массу Луны обозначим через M , парохода — через m . Для упрощения расчёта берём точки A и B так, что Луна находится для них в зените и в надире. Сила, с какой притягивается Луной пароход в точке A (т. е. в лунную ночь), равна

$$\frac{kMm}{(D-r)^2},$$

где $k = \frac{1}{15\,000\,000} \text{ мз}$. В точке B (в безлунную ночь) тот же пароход притягивается Луной с силой

$$\frac{kMm}{(D+r)^2}.$$

Разность обоих притяжений равна

$$kMm \cdot \frac{4r}{D^3 \left[1 - \left(\frac{r}{D} \right)^2 \right]^2}.$$

Так как $\left(\frac{r}{D} \right)^2 = \left(\frac{1}{60} \right)^2$ есть величина весьма незначительная, то ею пренебрегают. Вследствие этого выражение значительно упрощается; оно получает вид

$$kMm \cdot \frac{4r}{D^3}.$$

Преобразуем его так:

$$\frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{4r}{D} = \frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{1}{15}.$$

Что такое $\frac{kMm}{D^2}$? Нетрудно догадаться, что это — сила, с которой притягивается Луной пароход на расстоянии D от её центра. На поверхности Луны пароход, масса которого равна m , весит $\frac{m}{6}$. На расстоянии D от Луны он притягивается Луной силой в $\frac{m}{6D^2}$. Так как $D = 220$ лунным радиусам, то

$$\frac{kMm}{D^2} = \frac{m}{6 \cdot 220^2} \approx \frac{m}{300\,000}.$$

Возвращаясь теперь к вычислению разности притяжений, имеем

$$\frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{1}{15} \approx \frac{m}{300\,000} \cdot \frac{1}{15} = \frac{m}{4\,500\,000}.$$

Если вес парохода 45 000 *m*, то искомая разность весов в лунную и безлунную ночь составляет

$$\frac{45\,000\,000}{4\,500\,000} = 10 \text{ кг.}$$

Итак, в лунную ночь пароход легче, чем в безлунную, хотя и на незначительную величину.

Лунные и солнечные приливы

Сейчас рассмотренная задача помогает уяснить основную причину приливов и отливов. Не следует думать, что приливная волна поднимается просто оттого, что Луна или Солнце непосредственно притягивают к себе воду. Мы уже объяснили, что Луна притягивает не только то, что находится на земной поверхности, но и весь земной шар. Дело в том, однако, что от центра земного шара источник притяжения дальше, чем от частиц воды на её поверхности, обращённой к Луне. Соответствующая разность в величине силы притяжения вычисляется таким же образом, каким вычислили мы сейчас разность в силе притяжения парохода. В той точке, в зените которой стоит Луна, каждый килограмм воды притягивается ею сильнее, чем килограмм вещества центра Земли на $\frac{2kMr}{D^3}$, а вода в диаметрально противоположной точке Земли — на столько же слабее.

Вследствие этой разницы вода в обоих случаях поднимается над твёрдой земной поверхностью: в первом случае потому, что вода перемещается к Луне больше, чем твёрдая часть земного шара, во втором — потому, что твёрдая часть Земли перемещается к Луне больше, чем вода ¹⁾.

¹⁾ Здесь отмечена лишь основная причина приливов и отливов; в целом явление это сложнее и обуславливается ещё и другими причинами (центробежный эффект обращения земного шара вокруг общего центра масс Земли и Луны и др.). Полная теория приливов общепонятно изложена в книге Ю. М. Шокальского «О приливах в мировом океане».

Подобное же действие оказывает на воды океана и притяжение Солнца. Но чьё 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 ещё в 81 раз меньше, т. е. 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 её 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 как раз обратное: лунные приливы больше солнечных. Это вполне согласуется с расчётом по формуле $\frac{2kmM}{D^3}$. Если массу Солнца обозначим через M_c , массу Луны через M_l , расстояние до Солнца через D_c , до Луны — через D_l , то отношение приливообразующих сил Солнца и Луны равно

$$\frac{2kM_c r}{D_c^3} : \frac{2kM_l r}{D_l^3} = \frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{D_l^3}{D_c^3}.$$

Будем считать массу Луны известной: $\frac{1}{81}$ массы Земли.

Тогда, зная, что Солнце в 400 раз дальше Луны, имеем

$$\frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{D_l^3}{D_c^3} = 330\,000 \cdot 81 \cdot \frac{1}{400^3} = 0,42.$$

Значит, приливы, порождаемые Солнцем, должны быть примерно в $2\frac{1}{2}$ раза ниже лунных.

Здесь уместно будет показать, как из сравнения высот лунных и солнечных приливов определена была 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 (т. е. когда Луна

и Солнце расположены на одной прямой линии с Землёй), и тогда, когда действия их противоположны (прямая, соединяющая Солнце с Землёй, перпендикулярна к прямой, соединяющей Луну с Землёй). Наблюдения показали, что вторые приливы по высоте составляют 0,42 пер-вых. Если приливообразующая сила Луны равна x , а Солнца y , то

$$\frac{x+y}{x-y} = \frac{100}{42},$$

откуда

$$\frac{x}{y} = \frac{71}{29}.$$

Значит, пользуясь прежде выведенной формулой

$$\frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{D_l^3}{D_c^3} = \frac{29}{71},$$

или

$$\frac{M_c}{M_l} \cdot \frac{1}{64\,000\,000} = \frac{29}{71}.$$

Так как масса Солнца $M_c = 330\,000 M_z$, где M_z — масса Земли, то из последнего равенства легко найти

$$\frac{M_s}{M_l} = 80,$$

т. е. масса Луны составляет $\frac{1}{80}$ долю массы земной. Более точный расчёт даёт для массы Луны величину 0,0123 (земной массы)

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. Вопрос имеет давнюю историю. Приливы в атмосфере Земли были открыты великим русским учёным М. В. Ломоносовым, который назвал их воздушными волнами. Ими занимались многие, но тем не менее о роли воздушных приливов распространены превратные представления. Специалисты думают, будто в лёгкой 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 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 тяжёлых и лёгких тел в пустоте.

Вспомним школьный опыт с пустой трубкой, внутри которой свинцовый шарик, падая, не перегоняет пушинку. Явление прилива в конечном счёте обусловлено не чем иным, как падением в мировом пространстве земного шара и его более лёгких оболочек под действием тяготения Луны (и Солнца). В пустоте мирового пространства все тела — и тяжёлые и лёгкие — 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 включает 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. Заменив водяной 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 наибольшего прилива в открытом океане — около $\frac{1}{2}$ м, и только очертания берегов и дна, стесняя приливную волну, повышают её 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 наибольшую её теоретическую высоту — пол-

метра. Столь незначительное поднятие может оказывать на величину атмосферного давления лишь самое ничтожное влияние.

Лаплас, занимавшийся теорией воздушных приливов, пришёл 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/сек.

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.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Земля, её форма и движения	5
Кратчайший путь на Земле и на карте	5
Градус долготы и градус широты	12
Куда полетел Амундсен?	13
Пять родов счёта времени	14
Продолжительность дня	19
Необычайные тени	21
Задача о двух поездах	23
Страны горизонта по карманным часам	25
Белые ночи и чёрные дни	28
Смена света и тьмы	29
Загадка полярного Солнца	30
Когда начинаются времена года	31
Три «если бы»	34
Ещё одно «если бы»	38
Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером?	45
На один метр дальше	46
С разных точек зрения	47
Неземное время	51
Где начинаются месяцы и годы?	54
Сколько пятниц в феврале?	56
Глава вторая. Луна и её движения	57
Молодой или старый месяц?	57
Луна на флагах	58
Загадки лунных фаз	59
Двойная планета	61
Почему Луна не падает на Солнце?	64
Видимая и невидимая стороны Луны	65
Вторая Луна и луна Луны	68

Почему на Луне нет атмосферы?	70
Размеры лунного мира	73
Лунные пейзажи	75
Лунное небо	81
Для чего астрономы наблюдают затмения?	88
Почему затмения повторяются через 18 лет?	95
Возможно ли?	98
Что не всем известно о затмениях	99
Какая на Луне погода?	102
Глава третья. Планеты	105
Планеты при дневном свете	105
Планетная азбука	106
Чего нельзя изобразить	108
Почему на Меркурии нет атмосферы?	111
Фазы Венеры	113
Великие противостояния	114
Планета или меньшее солнце?	116
Исчезновение колец Сатурна	119
Астрономические анаграммы	120
Планета дальше Нептуна	122
Планеты-карлики	124
Наши ближайшие соседи	127
Попутчики Юпитера	128
Чужие небеса	128
Глава четвёртая. Звёзды	140
Почему звёзды кажутся звёздами?	140
Почему звёзды мерцают, а планеты сияют спокойно?	141
Видны ли звёзды днём?	143
Что такое звёздная величина?	144
Звёздная алгебра	146
Глаз и телескоп	149
Звёздная величина Солнца и Луны	150
Истинный блеск звёзд и Солнца	152
Самая яркая звезда из известных	153
Звёздная величина планет на земном и чужом небе	154
Почему телескоп не увеличивает звёзд?	156
Как измерили поперечники звёзд?	158
Гиганты звёздного мира	160
Неожиданный расчёт	161
Самое тяжёлое вещество	162
Почему звёзды называются неподвижными?	166

Меры звёздных расстояний	169
Система ближайших звёзд	171
Масштаб вселенной	173
Глава пятая. Тяготение	176
Из пушки вверх	176
Вес на большой высоте	179
С циркулем по планетным путям	182
Падение планет на Солнце	186
Наковальня Вулкана	189
Границы солнечной системы	190
Ошибка в романе Жюль Верна	191
Как взвесили Землю?	191
Из чего состоят недра Земли?	194
Вес Солнца и Луны	194
Вес и плотность планет и звёзд	197
Тяжесть на Луне и на планетах	199
Рекордная тяжесть	201
Тяжесть в глубине планет	201
Задача о пароходе	203
Лунные и солнечные приливы	205
Луна и погода	207