



**Я. И. ПЕРЕЛЬМАН**

# **ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ**

*Издание 3-е  
переработанное и дополненное*

*Под редакцией проф. Б. А. Воронцова-Вельяминова*

*Цена 2 р. 35 к. перепл. 1 р. 25 к.*

**ГОНТИ  
РЕДАКЦИЯ  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ И ЮНОШЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1938 ЛЕНИНГРАД**



Scan AAW

Книга Я. И. Перельмана знакомит читателя с современной астрономией и ее замечательными научными достижениями, рассказывает в увлекательной форме о важнейших явлениях звездного неба, о законах движения Земли, Солнца, Луны и звездного мира в целом. Автор показывает многие кажущиеся привычными и обыденными явления с совершенно новой и неожиданной стороны и раскрывает их действительный смысл. Задача книги — развернуть перед читателем широкую картину мирового пространства и происходящих в нем удивительных явлений, и возбудить интерес к одной из самых увлекательных наук, к науке о звездном небе.

---

Редактор проф. Б. А. Воронцов-Вельяминов.  
Технический редактор О. Залышкина. Корректор  
В. Плесков. Иллюстрации и обложка худ.  
Ю. Скалдина. Сдано в произв. 20/II-37 г. подпис.  
к печ. 20/III-38 г. Уполномоч. Главлита № Б-28026.  
Тир. 40.000. Формат бум. 82 × 110/<sub>32</sub>. Уч. авт.  
л. 11,75. Печ. л. 18,25. Колич. зн. в 1 п. л. 26656.  
ГОНТИ № 1. Заказ № 2116.

---

2-я тип. ГОНТИ им. Евг. Соколовой. Ленинград,  
пр. Кр. Команд., 29.

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловіе . . . . .	7

### Глава первая

#### *Земля, ее форма и движения*

Кратчайший путь на Земле и на карте . . . . .	9
Градус долготы и градус широты . . . . .	18
Куда полетел Амундсен? . . . . .	19
Пять родов времени . . . . .	20
Продолжительность дня . . . . .	26
Необычайные тени . . . . .	30
Задача о двух поездах . . . . .	32
Страны горизонта по карманным часам . . . . .	34
Белые ночи и черные дни . . . . .	38
Смена света и тьмы . . . . .	40
Полярная загадка . . . . .	42
Об одном заблуждении . . . . .	43
Когда начинаются времена года . . . . .	46
Три «если бы» . . . . .	49
Еще одно «если бы» . . . . .	55
Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером? . . . .	64
На один метр дальше . . . . .	65
С разных точек зрения . . . . .	67
Не-земное время . . . . .	73
Где начинаются месяцы и годы? . . . . .	77
Сколько понедельников в феврале? . . . . .	81



## Глава вторая

## Луна и ее движения

Молодой или старый месяц? . . . . .	83
Луна на флагах . . . . .	85
Загадки лунных фаз . . . . .	86
Двойная планета . . . . .	88
Почему Луна не падает на Солнце? . . . . .	91
Видимая и невидимая стороны Луны . . . . .	93
Вторая Луна и луна Луны . . . . .	99
Почему на Луне нет атмосферы? . . . . .	101
Размеры лунного мира . . . . .	105
Лунные пейзажи . . . . .	106
Лунное небо . . . . .	113
Для чего астрономы наблюдают затмения? . . . . .	124
Почему затмения повторяются через 18 лет? . . . . .	133
Возможно ли? . . . . .	137
Что не всем известно о затмениях . . . . .	139
Какая на Луне погода? . . . . .	143

## Глава третья

## Планеты

Планеты при дневном свете . . . . .	146
Планетная азбука . . . . .	148
Чего нельзя изобразить . . . . .	150
Почему на Меркурии нет атмосферы? . . . . .	154
Фазы Венеры . . . . .	157
Великие противостояния . . . . .	158
О том, чего нет в этой книге . . . . .	161
Планета или меньшее солнце? . . . . .	163
Исчезновение колец Сатурна . . . . .	166
Астрономические анаграммы . . . . .	168
Планета далее Нептуна . . . . .	171
Планеты-карлики . . . . .	173
Наши ближайшие соседи . . . . .	176
Попутчики Юпитера . . . . .	178
Чужие небеса . . . . .	179

	<b>Стр.</b>
Мировая катастрофа . . . . .	189
«Звезда» (рассказ Г. Д. Уэллса) . . . . .	—
Планетная система в числах . . . . .	195

## *Глава четвертая*

### *Звезды*

Почему звезды кажутся звездами? . . . . .	198
Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно? . . . . .	200
Видны ли звезды днем? . . . . .	203
Что такое звездная величина? . . . . .	205
Звездная алгебра . . . . .	207
Глаз и телескоп . . . . .	211
Звездная величина Солнца и Луны . . . . .	212
Истинная яркость звезд и Солнца . . . . .	215
Самая яркая звезда Вселенной . . . . .	217
Звездная величина планет на земном и чужом небе . . . . .	218
Почему телескоп не увеличивает звезд? . . . . .	220
Как измерили поперечники звезд? . . . . .	224
Гиганты звездного мира . . . . .	227
Неожиданный расчет . . . . .	229
Самое тяжелое вещество . . . . .	230
Почему звезды называются неподвижными? . . . . .	235
Возможны ли столкновения звезд? . . . . .	238
Меры звездных расстояний . . . . .	239
Система ближайших звезд . . . . .	242
Масштаб Вселенной . . . . .	245

## *Глава пятая*

### *Тяготение*

Из пушки вверх . . . . .	248
Вес на большой высоте . . . . .	252
С циркулем по планетным путям . . . . .	256
Падение планет на Солнце . . . . .	264
Наковальня Вулкана . . . . .	267
Границы солнечной системы . . . . .	268
Ошибка в романе Жюль Верна . . . . .	269
Как взвесили Землю? . . . . .	270
Из чего состоят недра Земли? . . . . .	275

	Стр.
Вес Солнца и Луны . . . . .	275
Вес и плотность планет и звезд . . . . .	278
Гтяжесть на Луне и на планетах . . . . .	279
Рекордная тяжесть . . . . .	281
Тяжесть в глубине планет . . . . .	282
Задача о пароходе . . . . .	284
Лунные и солнечные приливы . . . . .	287
Луна и погода . . . . .	290

---

## *Предисловие*

**А**строномия — счастливая наука: она, по выражению Араго<sup>1</sup>, не нуждается в украшениях. Достижения ее настолько захватывающи, что не приходится прилагать особых забот для привлечения к ним внимания. Однако наука о небе не всецело состоит из удивительных откровений и смелых теорий. Ее основу составляют факты обыденные, повторяющиеся изо дня в день. Люди, не принадлежащие к числу любителей неба, в большинстве случаев довольно смутно знакомы с этой прозаической стороной астрономии и проявляют к ней мало интереса, так как трудно сосредоточить внимание на том, что всегда перед глазами.

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

---

<sup>1</sup> Франсуа Араго — французский астроном (1786—1853).

ное внимание и освежить интерес. Изложение по возможности освобождено от специальных терминов и от того технического аппарата, который часто становится преградой между астрономической книгой и читателем.

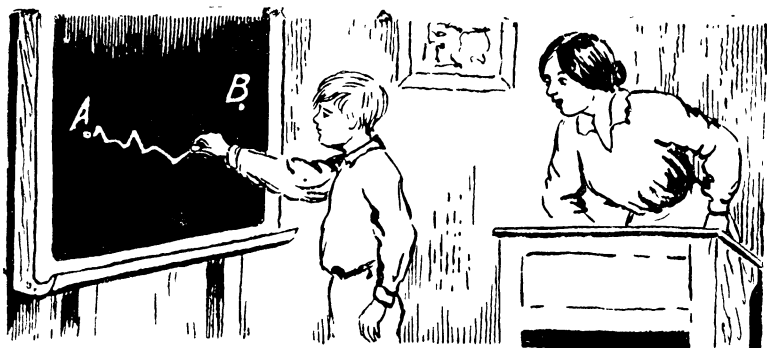
Популярным книгам нередко делают упрек в том, что по ним ничему серьезно научиться нельзя. Упрек до известной степени справедлив и поддерживается (если иметь в виду сочинения в области точного естествознания) обычаем избегать в популярных книгах всяких численных расчетов. Между тем читатель тогда только действительно овладевает материалом книги, когда научается, хотя бы в элементарном объеме, оперировать с ним численно. Поэтому в «Занимательной астрономии», как и в других своих книгах той же серии, составитель не избегает простейших расчетов и заботится лишь о том, чтобы они предлагались в расчлененной форме и были вполне посильны для знакомых со школьной математикой. Подобные упражнения не только прочнее закрепляют усваиваемые сведения, но и готовят к чтению более серьезных сочинений.

В предлагаемый сборник вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звездам и тяготению, при чем 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 все богатейшее содержание современной астрономии<sup>1</sup>.

**Я. П.**

---

<sup>1</sup> Читатели могут свои отзывы о книге направлять по адресу издательства или непосредственно автору (Ленинград, 136, Плуталова ул., 2, кв. 12. Якову Исидоровичу Перельману).



## *Глава первая*

### *Земля, ее форма и движения*

#### *Кратчайший путь на Земле и на карте*

**Н**аметив мелом две точки на классной доске, учительница зарубежной школы предлагает юному школьнику задачу:

— Начертить кратчайший путь между обеими точками.

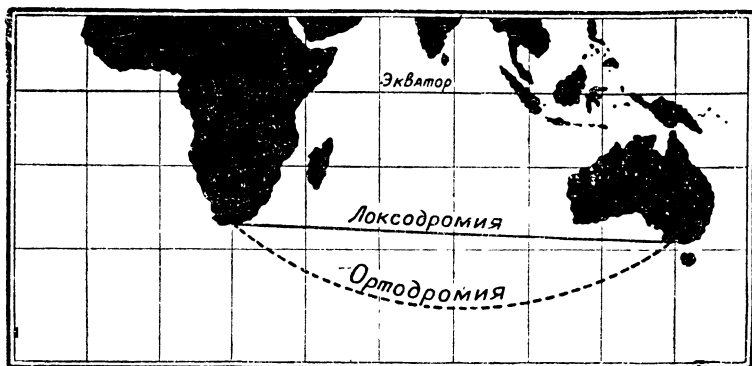
Ученик, подумав, старательно выводит между ними запутанно-извилистую линию.

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

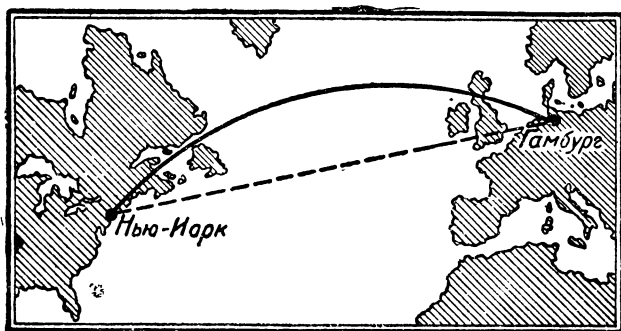
— Мой папа. Он шофер такси.

Чертеж 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? Или что начерченная на рис. 2 дуга есть кратчайший путь между Гамбургом и Нью-Йорком? Еще поразительнее следующее утверждение: изображенный

на рис. 3 кружный путь из Японии к Панамскому каналу короче прямой линии, проведенной между ними на той же карте!



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

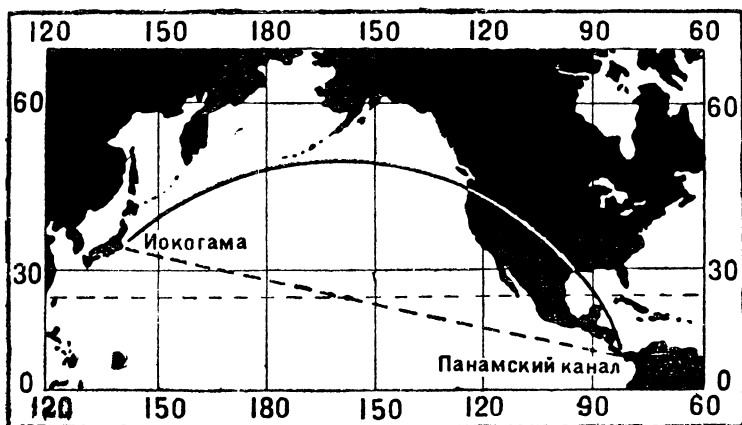


**Рис. 2.** Кратчайший путь на карте не всегда является кратчайшим на Земле. На этой карте (морской) кратчайший путь из Гамбурга в Нью-Йорк есть тот, который обозначен кривой линией

Все это похоже на шутку, а между тем перед вами бесспорные истины, хорошо известные картографам,



Для разъяснения вопроса придется сказать несколько слов о картах вообще и о морских в частности. Изображение на бумаге частей земной поверхности — дело не простое даже в принципе, потому что Земля — шар, а известно, что никакую часть шаровой поверхности нельзя развернуть на плоскости без складок и



*Рис. 3. Парадокс морской карты. Кажется невероятным что криволинейный путь, соединяющий на морской карте Иокагаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведенной между теми же пунктами*

разрывов. Поневоле приходится мириться с неизбежными искажениями на картах. Придуманно много способов черчения карт, но все они не свободны от этого недостатка: на одних имеются искажения одного рода, на других иного рода, но карт вовсе без искажений — нет.

Моряки пользуются картами, начерченными по способу старинного голландского географа XVI в., основателя научной картографии, Меркатора. Способ этот называется «меркаторской проекцией». Узнать морскую карту легко по ее прямоугольной сетке: меридианы

изображены на ней в виде ряда параллельных прямых линий; круги широты — тоже прямыми линиями, перпендикулярными к первым (рис. 6).

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 направлению всегда возможно, если знать, как оно пролегает. В нашем случае естественно думать, что кратчайший путь идет вдоль той параллели, на которой лежат оба порта: ведь на карте это — прямая линия, а что может быть короче прямого пути? Но мы ошибаемся: путь по параллели вовсе не кратчайший.

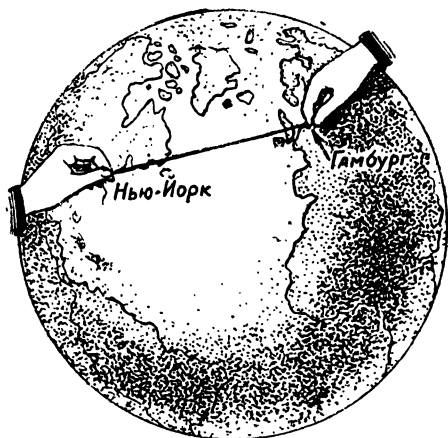
В самом деле: на поверхности шара кратчайшее расстояние между двумя точками есть соединяющая их дуга большого круга<sup>1</sup>. Но параллельный круг — малый круг. Дуга большого круга менее искривлена, чем дуга любого малого круга, проведенного через те же две точки: большему радиусу отвечает меньшая кривизна. Натяните на глобусе нить между нашими двумя точками (ср. рис. 4); вы убедитесь, что она вовсе не ляжет вдоль параллели. Натянутая нить — бесспорный указатель кратчайшего пути: а если она на глобусе не совпадает с параллелью, то и на морской карте кратчайший путь не обозначается прямой линией: вспомним, что круги параллелей изображаются на такой карте прямыми линиями, всякая же линия, не совпадающая с прямой, есть кривая.

После сказанного становится понятным, почему кратчайший путь на морской карте изображается не прямой, а кривой линией.

---

<sup>1</sup> «Большим кругом» на поверхности шара называется в геометрии каждый круг, центр которого совпадает с центром этого шара. Все остальные круги на шаре называются «малыми».

Рассказывают, что при выборе направления для Октябрьской (тогда Николаевской) железной дороги велись нескончаемые споры о том, по какому пути ее проложить. Конец спорам положило вмешательство царя Николая I, который решил задачу буквально «прямолинейно»: соединил Ленинград с Москвой по линейке. Если бы это было сделано на меркаторской

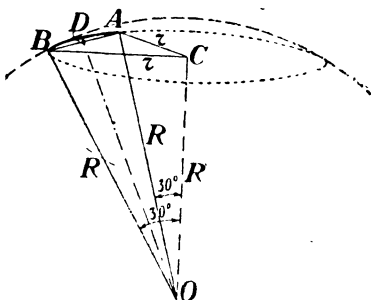


**Рис. 4. Простой способ отыскания действительно кратчайшего пути из Гамбурга в Нью-Йорк: надо на глобусе натянуть нитку между этими пунктами**

карте, получилась бы конфузная неожиданность: вместо прямой, дорога вышла бы кривой.

Кто не избегает расчетов, тот несложным вычислением может убедиться, что путь, кажущийся нам на карте кривым, в действительности короче того, который мы готовы считать прямым. Пусть обе наши гавани лежат на широте Ленинграда — 60-й — и разделены расстоянием в 60°. (Существуют ли в действительности такие две гавани — для расчета, конечно, безразлично.) На рис. 5 точка *O* — центр земного шара, *AE* — дуга круга

широты, на котором лежат гавани  $A$  и  $B$ ; в ней  $60^\circ$ . Центр круга широты в точке  $C$ . Вообразим, что из центра  $O$  земного шара проведена через те же гавани дуга большого круга; ее радиус  $OB = OA = R$ ; она пройдет близко к начерченной дуге  $AB$ , но не совпадает с нею. Вычислим же длину каждой дуги. Так как точки  $A$  и  $B$  лежат на широте  $60^\circ$ , то радиусы  $OA$  и  $OB$  составляют с  $OC$  (осью земного шара) угол в  $30^\circ$ . В прямоугольном треугольнике  $ACO$  катет  $AC$  ( $=r$ ), лежащий против  $30^\circ$ , равен половине гипотенузы  $AO$ ; значит,



**Рис. 5. Вычисление расстояний между точками  $A$  и  $B$  на шаре по дуге параллели и по дуге большого круга**

Чтобы определить теперь длину дуги большого круга, проведенного между теми же точками (т. е. кратчайшего пути между ними), надо узнать величину угла  $AOB$ . Хорда  $AB$ , стягивающая дугу в  $60^\circ$  (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,  $DA = \frac{1}{2} AB$  и  $OA = R$ .

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

Отсюда находим (по таблицам):

$$\text{уг. } AOD = 14^\circ 28',5$$

и, следовательно,

$$\text{уг. } AOB = 28^\circ 57'.$$

Теперь уже не трудно найти искомую длину кратчайшего пути в километрах. Расчет можно упростить, если вспомнить,

что длина минуты большого круга земного шара есть морская миля, т. е. около 1,85 км. Следовательно,  $28^{\circ}57' = 1\,737' \approx 3\,210$  км.

Мы узнали, что путь по кругу широты, изображенный на морской карте прямой линией, составляет 3 330 км, а путь по большому кругу — кривой на карте — 3 210 км, т. е. на 120 км короче.

Хотя Гамбург не лежит с Нью-Йорком на одной широте, сказанное сейчас о воображаемых гаванях относится и к ним. Для парохода, идущего из Нью-Йорка в Гамбург, кратчайший путь на морской карте есть не прямая, а та кривая, которую вы видите на рис. 2.

Вооружившись ниткой и имея под руками глобус, вы легко можете проверить правильность наших чертежей, убедиться, что дуги больших кругов действительно пролегают так, как показано на чертежах. Изображенный на рис. 1 будто бы «прямой» путь из Африки в Австралию составляет 6 020 миль, а «кривой» — 5 450 миль, т. е. короче на 570 миль, или на 1 050 км. «Прямой» на карте путь из Лондона в Шанхай перерезает Каспийское море, между тем как действительно кратчайший путь пролегает к северу от Ленинграда. Понятно, какую роль играют эти вопросы в экономии времени и угля.

Если в эпоху парусного судоходства не всегда дорожили временем, — в тот век «время» еще 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 высших широтах растяжение так значительно, что морская карта внушает человеку, незнакомому с ее особенностями, совершенно ложное представление об истинной величине материков: Гренландия кажется такой же величины, как Африка, Аляска больше Австралии, — хотя Гренландия в 15 раз меньше Африки, а Аляска вместе с Гренландией вдвое меньше Австралии. Но моряка, хорошо знакомого с этими особенностями карты, они не могут ввести в заблуждение. Он мирится с ними, тем более, что в небольших участках морская карта дает точное подобие натуры.

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 определенного «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 меридианы — прямые линии, параллельные друг другу<sup>1</sup>. А так как на земном шаре широты пересекаются с мериди-

---

<sup>1</sup> В действительности же локсодромия есть спиралевидная линия, винтообразно наматывающаяся на земной шар.

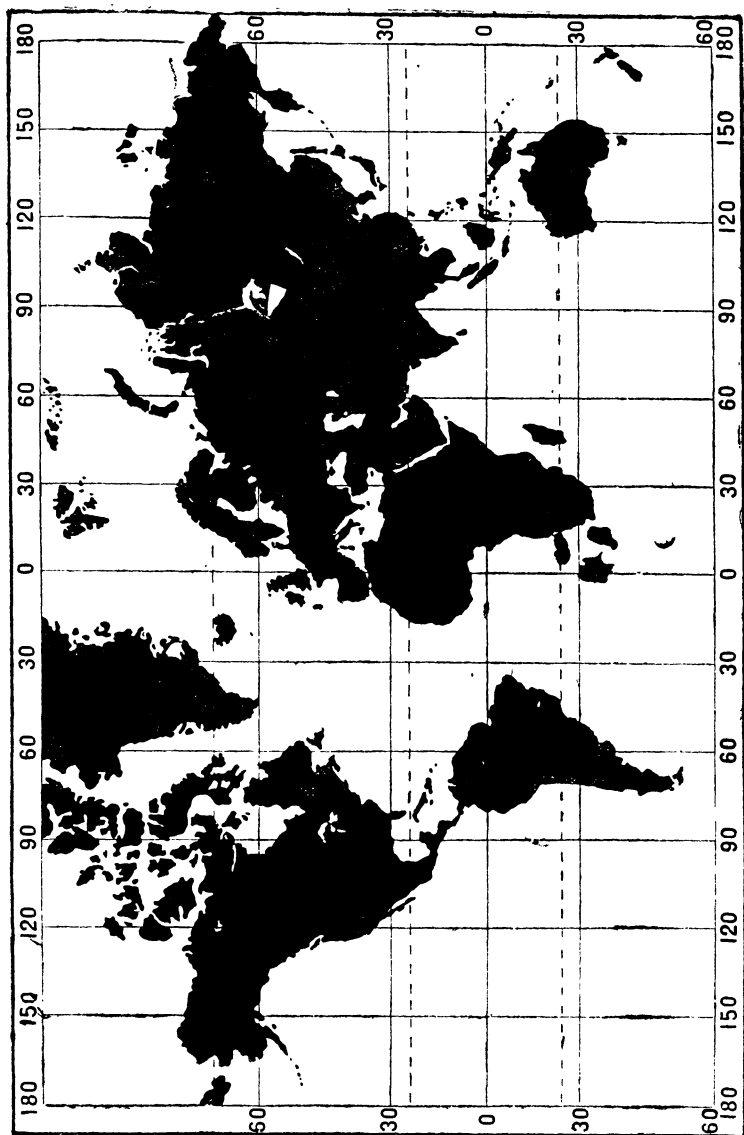


Рис. 6. Морская, или меркаторская, карта земного шара. Этот способ изображения сильно преувеличивает размеры контуров, удаленных от экватора. Что, например, больше: Гренландия или Африка? (Ответы — в тексте.)



анами под прямыми углами, то на такой карте и круги широты должны быть прямыми линиями, перпендикулярными к линиям меридианов. Короче сказать, мы приходим к той именно сетке, которая составляет характерную особенность морской карты.

Пристрастие моряков к картам Меркатора теперь понятно. Желая определить курс, какого надо держаться, идя к назначенному порту, штурман прикладывает линейку к конечным точкам пути и измеряет угол, составляемый ею с меридианами. Держась в открытом море все время этого направления, штурман безошибочно доведет судно до цели. Вы видите, что «локсодромия» хотя и не кратчайший и не самый экономный, зато в известном отношении весьма удобный для моряка путь. Чтобы дойти, например, от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии (рис. 1), надо неизменно держаться одного курса  $S\ 87^{\circ},50$ . Между тем, чтобы довести судно до того же конечного пункта кратчайшим путем (по «ортодромии»), приходится, как видно из рисунка, непрерывно менять курс: начать с  $S\ 42^{\circ},50$ , а кончить курсом  $S\ 39^{\circ},50$  (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?

### Р е ш е н и е

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 шар в строгом смысле слова, а эллипсоид, раздутый на экваторе. На земном эллипсоиде не только экватор длиннее круга меридиана, но и ближайшие к экватору параллельные круги также длиннее кругов меридиана. Расчет показывает, что примерно до  $5^\circ$  широты градусы параллельных кругов (т. е. долготы) длиннее градусов меридиана (т. е. широты).

### *Куда полетел Амундсен?*

#### З а д а ч а

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

Дайте ответ, не заглядывая в дневники великого путешественника.

### Р е ш е н и е

Северный полюс — самая северная точка земного шара.

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

«Норвегия» описала круг около северного полюса. Затем мы продолжали путь... Курс был взят на юг в первый раз с того времени, как дирижабль оставил Рим».

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 все-таки виден, как точка какая-нибудь, едва движущаяся вдаль?.. Неправда! И сзади восток. Короче: — везде и всюду нескончаемый восток».

Такой страны, окруженной со всех сторон востком, на земном шаре существовать не может. Но место, окруженное всюду югом, на Земле имеется, — как и пункт, охваченный со всех сторон «нескончаемым» севером. На северном полюсе можно было бы соорудить дом, все четыре стены которого обращены на юг<sup>1</sup>.

### *Пять родов времени*

Мы так привыкли пользоваться карманными и стенными часами, что не отдаем себе даже отчета в значении их показаний. Среди читателей, я убежден, 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  $\frac{7}{24}$  от каких суток? Что такое сутки?

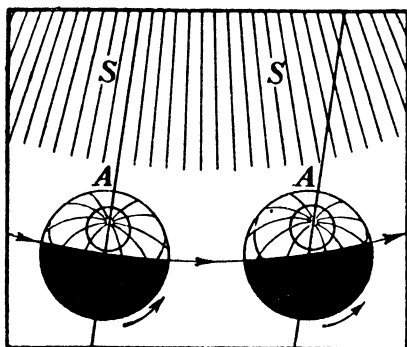
---

<sup>1</sup> Во время печатания книги славные советские полярники осуществили это на деле.

Сутки — это промежуток времени, в течение которого земной шар успевает один раз обернуться вокруг своей оси. 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 вовсе 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 своем 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 счета 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 есть то, что в астрономии именуется «средним солнцем». Момент прохождения его через линию зенит — юг называется «средним полуднем»; промежуток между двумя средними полуднями есть «средние солнечные сутки», а время, так исчисляемое, есть «среднее солнечное время». Карманные и стенные часы идут именно по этому среднему солнечному времени, между тем как солнечные часы, в которых стрелку заменяет тень от 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 — ее движения по орбите вокруг Солнца. Мы сейчас поймем,

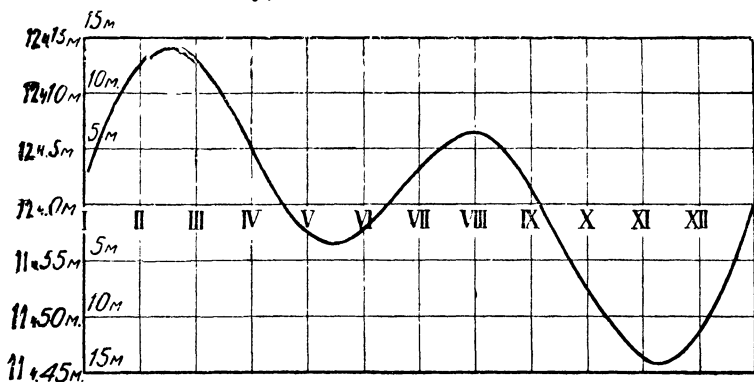


**Рис. 7. Почему солнечные сутки длиннее звездных? (Подробности в тексте.)**

как это может отразиться на длине суток. На рис. 7 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 А теперь полдень: эта точка проходит 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, проведенный к точке А, имеет такое же направление, как и сутки назад, но точка А оказывается уже лежащей не прямо против Солнца. Для человека, стоящего в точке А, полдень еще не наступил: Солнце левее прочерченной линии. Земле надо вращаться еще несколько минут, чтобы в точке А наступил новый полдень.

Что же отсюда следует? То, что промежуток ме-

жду двумя истинными солнечными полуднями длиннее времени полного оборота Земли вокруг оси. Если бы Земля обходила вокруг Солнца по кругу, в центре которого находилось бы Солнце, то разница между действительной продолжительностью оборота вокруг оси и тою кажущеюся, которую мы устанавливаем по Солнцу, была бы изо дня в день одна и та



**Рис. 8.** Эта кривая показывает, как велико в тот или иной день расхождение между истинным и средним солнечным полднем. Например, 1 апреля в истинный полдень верные механические часы должны показывать 12 ч. 5 м. Иными словами, кривая показывает среднее время в истинный полдень

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

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

Заметим кстати, что «действительная» продолжительность суток есть не что иное, как время вращения

Земли по отношению к любой звезде; оттого такие сутки и называют «звездными».

Итак, звездные сутки в среднем короче солнечных на 3 м. 56 сек., круглым счетом — на 4 минуты. Разница не остается постоянной, потому что земной шар обходит около Солнца не равномерным движением по круговой орбите, а по эллипсу, в одних частях которого (более близких к Солнцу) он движется быстрее, в других (более отдаленных) — медленнее.

Эта причина (и еще другая, которую мы здесь рассматривать не будем), обуславливает то, что истинное и среднее солнечное время в разные дни расходятся между собою на различное 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 и*

*2 ноября*

разница между истинным и средним временем достигает наибольшей величины — около четверти часа. Кривая рис. 8 показывает, как велико это расхождение в разные дни года.

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 ленинградскому (петербургскому, петроградскому). Граждане различали «городское» и «вокзальное» время; первое — местное среднее солнечное время — показывалось городскими часами, а второе — петроградское среднее солнечное время — показывалось часами железнодорожного вокзала.

С 1919 г. в основу счета времени дня положено не местное, а так называемое «международное», или «поясное» время. Земной шар разделен меридианами на 24 одинаковых «пояса», и все пункты одного пояса исчисляют одинаковое время, именно то среднее солнечное время («главное» время), которое отвечает времени среднего меридиана данного пояса. На всем земном шаре в каждый момент «существует» поэтому только 24 различных времени, а не множество времен, как было до 1919 г.

Впрочем некоторые страны, например Китай, Иран, Мексика еще не присоединились к соглашению о международном времени.

К этим трем родам времени — 1) истинному солнечному, 2) среднему местному солнечному и 3) поясному — надо прибавить четвертый, употребляемый только астрономами. Это — 4) «звездное» время, исчисляемое по упомянутым ранее звездным суткам, которые, как мы уже знаем, короче средних солнечных примерно на 4 минуты. В полдень 22 марта оба времени совпадают, но с каждым следующим днем звездное время опережает гражданское на 4 минуты.

Наконец, существует еще и пятый вид времени, так называемое **д е к р е т н о е** время, — то, по которому круглый год живет все население СССР, а большинство западных стран — в течение только летнего сезона.

Декретное время исчисляет ровно на один час раньше, чем поясное. Цель этого мероприятия, возникшего впервые на Западе и введенного у нас, состоит в следующем: в светлое время года — с весны до осени — важно заставить население начинать и кончать свой трудовой день пораньше, чтобы снизить расход горючего на искусственное освещение. Этого всего проще достичь официальным переводом часовой стрелки вперед. Такой перевод в западных государствах делается каждую весну (в час ночи стрелка переставляется к цифре 2), а каждую осень часы вновь приводятся в нормальное состояние.

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 достигается зато более равномерная нагрузка электростанций.

Декретное время впервые было введено у нас в 1917 г.<sup>1</sup>; в течение некоторого периода оно разнилось от поясного на два и даже на три часа; 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 обиходных целей подобная точность; если он готов удовольствоваться сравнительно грубым приближением, то хорошую службу сослужит ему прилагаемый чертеж (рис. 9). Вдоль левого его края показана в ча-

---

<sup>1</sup> По почину Я. И. Перельмана, предложившего этот законопроект.

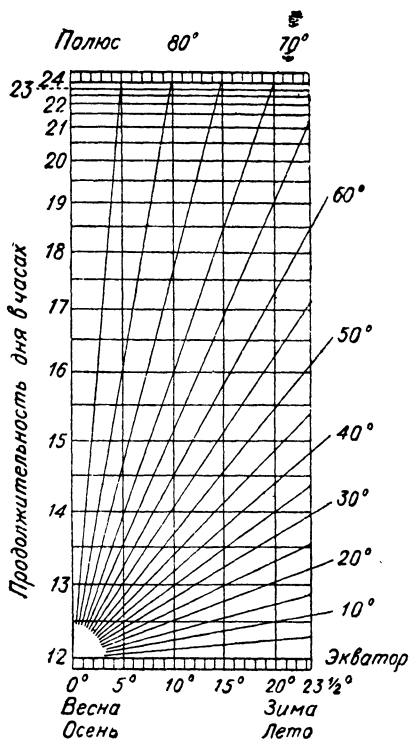
сах продолжительность дня. Вдоль нижнего края нанесено угловое расстояние Солнца от небесного экватора (т. е. того большого круга на небесной сфере, плоскость которого совпадает с плоскостью земного экватора). Это расстояние, измеряемое в градусах, называется «склонением» Солнца. Наконец, косые линии отвечают различным широтам мест наблюдения.

Чтобы пользоваться чертежом, надо знать, как велико угловое расстояние («склонение») Солнца от экватора в ту или иную сторону для различных дней года. Соответствующие данные указаны в табличке на стр. 28.

Покажем на примерах, как пользоваться этим чертежом.

1. Найти продолжительность дня в середине апреля в Ленинграде (т. е. на широте  $60^\circ$ ).

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  $10^\circ$  и ведем от него прямую линию



**Рис. 9. Чертеж для графического определения продолжительности дня. (Объяснения в тексте.)**

под прямым углом к нижнему краю до пересечения с косой линией, отвечающей 60-й параллели. На левом краю точка пересечения отвечает числу  $14\frac{1}{3}$ , т. е. искомая продолжительность дня равна примерно 14 час. 20 мин. Говорим «примерно» потому, что чертеж не учитывает влияния так называемой «атмосферной рефракции» (см. стр. 52).

Склонение Солнца	В какие дни года
0°	21 марта и 23 сентября
+ 5°	4 апреля и 10 сентября
+ 10°	16 апреля и 28 августа
+ 15°	1 мая и 12 августа
+ 20°	21 мая и 24 июля
+ $23\frac{1}{2}$ °	22 июня
— 5°	6 октября и 8 марта
— 10°	20 октября и 23 февраля
— 15°	3 ноября и 8 февраля
— 20°	22 ноября и 21 января
— $23\frac{1}{2}$ °	22 декабря

(Знак плюс означает северное полушарие неба, минус — южное).

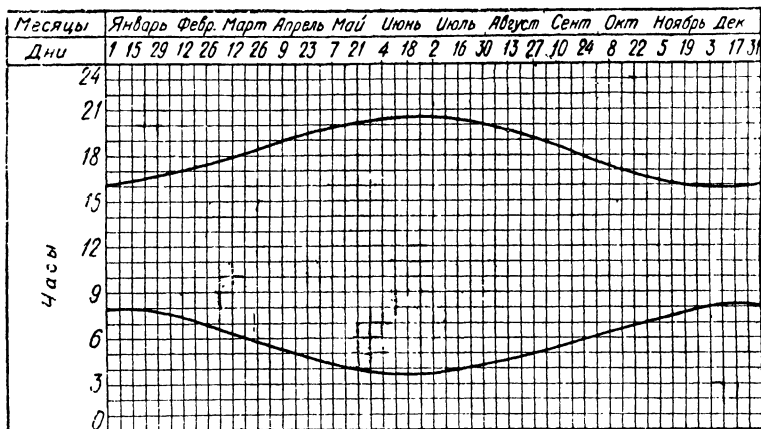
2. Найти продолжительность дня 10 ноября в Астрахани ( $46^\circ$  ш.).

Склонение Солнца 10 ноября равно  $17^\circ$ . (Солнце в южном полушарии неба.) Поступая попрежнему, находим  $14\frac{1}{4}$  часа. Но так как мы имеем на этот раз склонение с минусом, то полученное число означает продолжительность не дня, а ночи. Искомая же продолжительность дня равна  $24 - 14\frac{1}{4} = 9\frac{3}{4}$  часа.

Мы можем вычислить также и момент восхода Солнца. Разделив  $9\frac{3}{4}$  пополам, получим 4 ч. 50 мин. Зная из рис. 8, что 10 ноября часы в истинный полдень показывают 11 ч. 45 мин., узнаем момент восхода Солнца: 11 ч. 45 мин. — 4 ч. 50 мин. = 6 ч. 55 мин. Заход Солнца в этот день произойдет в 11 ч. 45 мин. + 4 ч. 50 мин. = 16 ч. 35 мин., т. е. в 4 ч. 35 мин.

Вы видите, что оба чертежа (рис. 8 и 9) при надлежащем использовании могут заменить соответствующие таблицы астрономического ежегодника.

Вы можете, пользуясь изложенным сейчас приемом, составить для широты места вашего постоянного жительства на весь год график восхода и захода Солн-

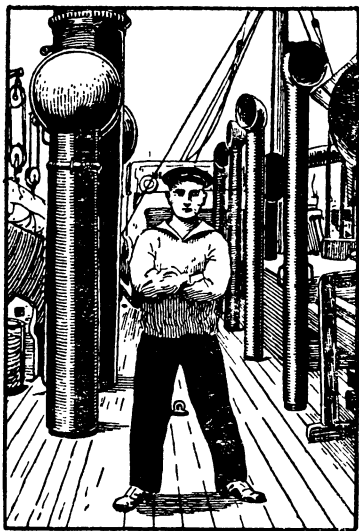


**Рис. 10. График восхода и захода Солнца в течение года для 50-й параллели**

ца, а также продолжительности дня. Образчик такого графика для 50-й параллели вы видите на рис. 10 (он составлен по местному, а не по декретному времени). Рассмотрев его внимательно, вы поймете, как надо чертить подобные графики. А начертив его один раз для той широты, где вы живете, вы сможете уже, бросив взгляд на чертеж, сразу сказать, в котором примерно часу взойдет или зайдет Солнце в тот или иной день года.

## Необычайные тени

Рисунок 11, воспроизведенный на этой странице, может показаться загадочным: человек при полном свете Солнца почти не отбрасывает тени, как герой фантастической повести Шамиссо («Петр Шлемиль»). Однако



**Рис. 11. Человек почти без тени. Рисунок воспроизводит фотографию, снятую вблизи экватора**

рисунок сделан с натуры, — не в наших широтах, а близ экватора, в тот момент, когда Солнце стояло почти отвесно над головой наблюдателя (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, т. е. на параллели  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  северной широты). Спустя полгода, 22 декабря, 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 люди не дают теней.

Рис. 12, относящийся к полюсу, напротив, фантастический, но все же поучительный. Человек не может

отбрасывать сразу шесть теней; этим приемом художник хотел лишь наглядно показать своеобразную особенность полярного солнца: тени от него в течение целых суток получаются одинаковой длины. Причина та, что Солнце на полюсе в течение суток



**Рис. 12, Тени на полюсе не изменяют своей длины 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  $40^\circ$ , невозможную на полюсе: Солнце никогда не поднимается там выше  $23\frac{1}{2}^\circ$ . Легко вычислить, — чита-



тель, знакомый с тригонометрией, может меня проверить, — что самая короткая тень на полюсе должна быть не меньше 2,3 высоты отбрасывающего ее предмета.

### ***Задача о двух поездах***

Два совершенно одинаковых поезда идут с одинаковой скоростью в противоположные стороны: один



***Рис. 13. Задача о двух поездах***

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

### **Решение**

Тяжелее (т. е. сильнее давит на рельсы) тот, который движется *п р о т и в* вращения Земли, с востока на запад. Этот поезд медленнее движется вокруг оси земного шара; поэтому он теряет (вследствие центробежного эффекта) из своего веса меньше, чем поезд, идущий на восток.

Как велика разница? Сделаем расчет для поездов, идущих вдоль 60-й параллели со скоростью 36 км/час, или 10 м/сек. Точки земной поверхности на указанной параллели движутся вокруг оси со ско-

ростью 230 м/сек. Значит, поезд, идущий на восток, в направлении вращения Земли, обладает круговой скоростью в  $230+10$ , т. е. 240 м/сек, а идущий на запад, против движения Земли, — скоростью в 220 м/сек. Центробежное ускорение для первого составляет

$$\frac{24\,000^2}{320\,000\,000} \text{ см/сек}^2,$$

так как радиус кругового пути на 60-й параллели равен 3 200 км.

Для второго поезда оно составляет

$$\frac{22\,000^2}{320\,000\,000} \text{ см/сек}^2.$$

Разница в величине центробежного ускорения обоих поездов равна

$$\frac{24\,000^2 - 22\,000^2}{320\,000\,000} = \text{около } 0,3 \text{ см/сек}^2.$$

Так как направление центробежного ускорения составляет с направлением тяжести угол в  $60^\circ$ , то принимаем во внимание только соответствующую часть центробежного ускорения, именно  $0,3 \text{ см/сек}^2 \times \cos 60^\circ = 0,15 \text{ см/сек}^2$ .

Это составляет от ускорения тяжести долю  $\frac{0,15}{980}$ , около 0,00015.

Значит, поезд, идущий на восток, легче идущего в западном направлении на 0,00015 своего веса. Если поезд состоит, например, из паровоза и 15 груженых товарных вагонов, т. е. весит 400 т, то разница в весе будет равняться

$$400 \times 0,00015 = 0,06 \text{ т} = 60 \text{ кг}.$$

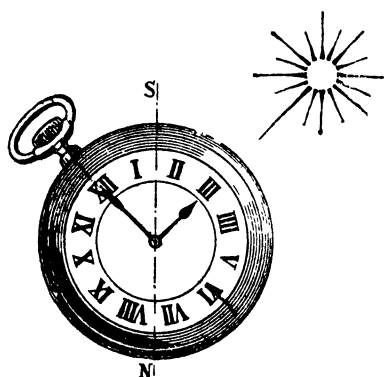
Это — вес взрослого человека.

Для крупного парохода водоизмещением в 20 000 т разница составляла бы 3 т: пароход этот при движе-

нии на восток со скоростью 36 км/час (20 узлов) весит на 3 т меньше, чем при движении на запад (по 60-й параллели) и, конечно, соответственно мельче сидит в воде. 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

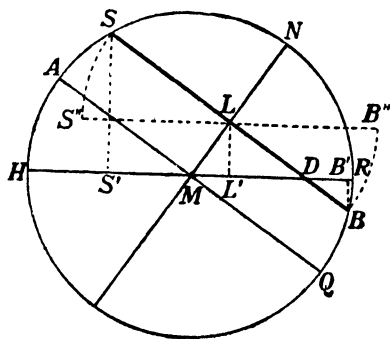


***Рис. 14. Простой, но неточный прием определения стран света с помощью карманных часов***

располагают так, чтобы часовая стрелка была направлена на Солнце. Угол между этой стрелкой и линией VI—XII делят пополам: равноделящая укажет тогда направление на юг. Не трудно 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 одина-

ковое время вдвое большую дугу. Значит, если в полдень часовая стрелка указывала на Солнце, то спустя

Испытание показывает однако, что прием этот крайне неточен, греша на десятки градусов. Чтобы понять, почему так происходит, надо ближе 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 составляет с горизонтом разные углы — вплоть до прямого на (экваторе).



**Рис. 15. Почему карманные часы в роли компаса дают неточные показания? (Сравни с рис. 16)**

Поэтому ориентироваться по карманным часам можно безошибочно только на полюсе, во всех же прочих местах неизбежна большая или меньшая погрешность.

Обратимся к чертежу (рис. 15). Пусть наблюдатель расположен в точке  $M$ ; точка  $N$  — полюс мира; круг  $HASNQ$  (небесный меридиан) проходит через зенит наблюдателя и через полюс. На какой широте находится наблюдатель, легко определить: для этого достаточно измерить транспортиром высоту полюса

над горизонтом  $HR$ ; она равна широте места<sup>1</sup>. Глядя из  $M$  в направлении  $H$ , наблюдатель имеет перед собою точку юга. Путь Солнца по небу мы видим на этом чертеже с ребра — в форме не дуги, а прямой линии, которая частью лежит над линией горизонта  $HR$  (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 в начале лета; 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 ежечасно проходит 24-ю долю их полной длины, т. е.  $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$ . И все же через три часа после полудня Солнце не оказывается в юго-западной точке горизонта, как можно ожидать ( $15^\circ \times 3 = 45^\circ$ ); причина расхождения та, что проекции равных дуг солнечного пути на плоскость горизонта неравны между собою.

Это станет нагляднее, если разберемся в рис. 16. На нем  $SWNO$  изображает круг горизонта, видимый с зенита. Прямая  $SN$  — небесный меридиан. Наблюдатель и здесь занимает центральное положение в точке  $M$ . Центр круга, описываемого на небе Солнцем, проектируется на круг горизонта не в точке  $M$ , а в точке  $L$ . Самый круг солнечного пути  $SB$  представим себе повернутым сначала в горизонтальное положение ( $S''B''$  рис. 15); от этого форма его не изменится, и мы легко можем разделить его на 24 равные части, по  $15^\circ$  в каждой. Затем повернем этот круг снова в первоначальное наклонное положение и спроек-

---

<sup>1</sup> Почему это так, объяснено в моей книге «Занимательная геометрия», в главе «Геометрия Робинзонов».

тируем его на плоскость горизонта. Получим эллипс с центром в  $L$  (рис. 16). Точки деления эллипса на часовые промежутки найдем, если из точек деления охватывающего его круга  $S''B''$  проведем прямые линии, параллельные  $SN$ . Ясно, что мы получим при этом неравные дуги; они будут казаться наблюдателю еще более неравными, потому что он рассматривает их не из центра  $L$  эллипса, а из точки  $M$  в стороне от него.

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

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

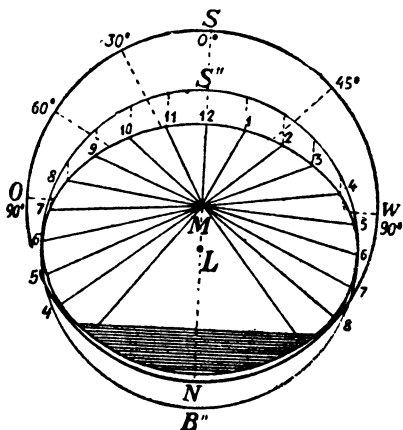


Рис. 16. Дополнение к рис. 15

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

### *Белые ночи и черные 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 (Петербургом), что многие готовы считать их исключительной достопримечательностью нашей бывшей столицы. В действительности, конечно, белые ночи, как явление астрономическое, характерны для всех мест, лежащих выше определенной широты.

Если отвлечься от поэзии и обратиться к астрономической правде этого явления, то белая ночь — не что иное, как слияние вечерних и утренних сумерек. Пушкин правильно определил сущность этого феномена, как смычку двух зорь, вечерней и утренней: «И не пуская тьму ночную на золотые небеса, одна заря сменить другую спешит...» В тех широтах, где Солнце в своем суточном движении по небесному своду неглубоко опускается ниже горизонта, не глубже  $17\frac{1}{2}^{\circ}$ , — там вечерняя заря не успевает померкнуть, как уже загораются лучи утренней, не давая ночи и получаса.

Разумеется ни Ленинград, ни какой-либо другой пункт не имеет привилегии быть единственным местом, где наблюдается это явление. Граница зоны белых ночей вычисляется астрономически. И оказывается,

что слияние зорь может быть наблюдаемо уже 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, так сказать, могут быть наблюдаемы в Москве в течение всего июня и начала июля.

Южная граница зоны белых ночей проходит в СССР на широте Полтавы, на  $49^{\circ}$  ( $66\frac{1}{2}^{\circ}$ — $17\frac{1}{2}^{\circ}$ ). Здесь бывает одна белая ночь в году — именно 22 июня. К северу, начиная с этой широты, белые ночи становятся все 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 еще 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 уже не только слияние двух зорь, но и непрерывный день. Это впервые можно наблюдать на  $65^{\circ}42'$  широты: здесь начинается царство полуночного Солнца. Еще севернее — с  $67^{\circ}24'$  — можно наблюдать также и непрерывную ночь, слияние утренней зари с вечерней через полдень, а не через полночь. Это — «черный день», противоположность белой ночи, хотя степень их освещения одинакова. Страна черных дней — та же страна полуночного Солнца, только в другое время года. Где можно ви-



деть незаходящее Солнце в июне<sup>1</sup>, там в декабре господствует многосуточный мрак, обусловленный невосходящим Солнцем.

### *Смена света и тьмы*

Белые ночи — наглядное доказательство того, что усвоенное нами с детства представление о правильной смене дня и ночи на земном шаре слишком упрощенно 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  $49^\circ$  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.

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

Для четвертого пояса, между  $67\frac{1}{2}^\circ$  и  $83\frac{1}{2}^\circ$ , характерна кроме непрерывного дня в июне еще много-

---

<sup>1</sup> На о-ве Тромзе, в Норвегии, Солнце не погружается под горизонт, начиная с 19 мая по 26 июля, в Гаммерфесте (на о-ве Квалло) — с 14 мая по 30 июля, а близ мыса Нордкапа — с 12 мая по 1 августа.

суточная ночь в декабре: Солнце в течение ряда суток вовсе не восходит, утренние и вечерние сумерки поглощают день. Это — пояс черных дней.

Самый сложный случай чередования света и темноты мы имеем в пятом поясе, 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. Все полугодие от летнего до зимнего солнцестояния, т. е. от 22 июня до 22 декабря, разделяется на 5 периодов, на 5 времен 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 «далекого юга», то лишь по той причине, что там — область океана.

Параллель, отвечающая в южном полушарии широте Ленинграда, не пересекает ни одного клочка твердой земли, — вся лежит в океане; любоваться «белыми ночами юга» могут только южно-полярные мореплаватели и исследователи.

## ***Полярная загадка***

### **Задача**

Полярные путешественники отмечают любопытную особенность лучей летнего Солнца в высоких широтах. Лучи его слабо греют там землю, зато оказывают неожиданно 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?

### **Решение**

Мы имеем здесь неожиданное следствие физического закона, в силу которого 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 усиленно нагревать все отвесно возвышающиеся предметы.

## **Об одном заблуждении**

С вращением Земли связано заблуждение, широко распространенное даже среди людей образованных. Оно касается стремления рек северного полушария отклоняться в правую сторону, вследствие чего правые берега северных рек высокие, обрывистые, а левые — низкие, размытые. Заблуждение состоит в том, что указанную особенность считают присущей только рекам, текущим вдоль меридианов, т. е. на юг или на север; реки же, текущие вдоль параллелей, — на запад или на восток, — не отличаются будто бы этой особенностью.

Академик Бэр, установивший (в 1857 г.) это правило, которое называется «законом Бэра», сам придерживался сейчас отмеченного ошибочного мнения. Его работа носит заглавие: «Почему у наших рек, текущих на север или на юг, правый берег высок, левый — низмен». Попало это ошибочное представление и во многие учебники, наши и заграничные, и даже в лучший из русских дореволюционных энциклопедических словарей («Новый энц. словарь Брокгауза и Ефрона»). Вот что мы читаем в этом издании:

«Скорость вращения различных точек земной поверхности не одинакова, а изменяется от максимальной у экватора, постепенно уменьшаясь к полюсам, где она равна нулю. Если мы остановимся на реках северного полушария, текущих на юг, то мы заметим, что каждая частица воды, переходя из широт с меньшей скоростью в широты с большей скоростью, удерживая некоторое время по инерции свою прежнюю скорость, будет отставать от движения соответственных точек поверхности земли в данной широте. Результатом совокупной деятельности этого отставания

и меридионального движения вследствие падения реки явится, по закону параллелограмма сил, равнодействующая, подмывающая правый (западный) берег». Иначе говоря, вода в реке, текущей на юг, имеет восточную скорость, но все время отстает от своего ложа, тоже уносимого земным вращением на восток; поэтому вода ударяет в западный берег.

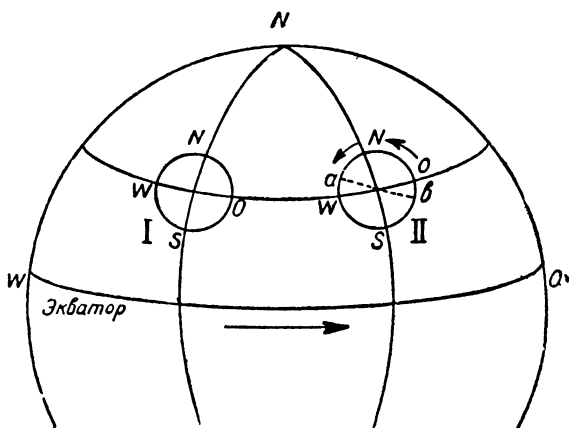
В приведенном рассуждении причина отклонения указана неполно: дело не столько в сохранении водою ее скорости по величине, сколько в сохранении ее по направлению. Привожу далее более полное объяснение явления Бэра, не порождающее ошибочных выводов.

Следите за ходом рассуждений, держа перед глазами рис. 17. Пусть мы имеем реку, текущую на восток вдоль параллели, начерченной на рисунке. Выделим небольшой участок этой реки в тот момент, когда он находится в положении *I*; вода течет в направлении *WO*. Когда же участок займет положение *II*, он словно повернется, как показано стрелками; вода же будет стремиться течь по прежнему направлению, параллельно линии *WO* в кружке *I*; это параллельное направление обозначено в кружке *II* пунктирной линией *ab*. Вы видите, что вода должна ударять в правый берег своего русла.

Читатель сам сможет применить те же соображения к случаям, когда река течет в любом другом направлении; он убедится, что во всех случаях закон Бэра вполне применим. Ограничение его применимости одним лишь меридиональным направлением — предрассудок. Правый берег Дуная высок и обрывист по той же причине, как и правый берег Днепра или Енисея.

Многие очень смутно уясняют связь между стро-

ением берегов и отклонением реки. Дело надо представлять себе так. Ударяя в свой правый берег, вода постепенно размывает его и отступает вправо; по истечении долгого промежутка времени река оставит по левую сторону от себя низкую, размытую ею равнину и будет прижиматься к еще неразмытому, высо-



**Рис. 17. Причина явления Бэра**

кому берегу. Процесс этот протекает нередко так деятельно, что отступление рек от прежнего русла наблюдается даже в исторически охватываемые промежутки времени. Город Черный Яр, например, триста лет назад перенесенный дальше от подмываемого правого берега Волги, сейчас оказался снова у самой воды и подвержен опасности разрушения.

Закон Бэра применим не только к текучей воде, но и ко всяким перемещающимся по земной поверхности массам, например, к движению железнодорожных поездов или к полету артиллерийских снарядов. Поезда чаще сходят с рельсов в правую сторону; больше изнашивается (на двухпутных дорогах) также

правый рельс. Добавочное давление поезда на правый рельс, порождаемое явлением Бэра, может быть вычислено; для поезда, например, весом 500 т, мчащегося со скоростью 80 км/час, оно равно 150 кг. Это, конечно, слишком малая сила, чтобы вызвать сход с рельсов, но достаточная, чтобы объяснить преимущественный сход в правую сторону.

Что касается артиллерийских снарядов, то в северном полушарии путь их также несколько отклоняется вправо; это отклонение принимается во внимание при точных артиллерийских расчетах.

Самое поучительное применение находят себе изложенные соображения в теории известного маятника Фуко. Едва ли нужно на нем здесь останавливаться: я убежден, что читатель знаком с ним, а может быть и видел его в Ленинградском антирелигиозном музее (бывшем Исаакиевском соборе).

Подвержены отклоняющему действию даже и ружейные пули: пуля, выпущенная из винтовки на 45-й параллели в северном направлении, при дальности полета в 1 км и продолжительности его 2 сек., отклоняется от точки прицела примерно на 10 см; более медленная пуля отклоняется на том же расстоянии на еще большую величину.

### ***Когда начинаются времена года***

Бушует ли 21 марта снежная метель, стоит ли крепкий мороз или, наоборот, установилась мягкая оттепель, — день этот во всех случаях считается концом зимнего сезона и началом весны, весны астрономической. Многим представляется совершенно непонятным, почему именно указанная сейчас дата, 21 марта (в иные годы — 22) избрана служить грани-

цей между зимой и весной, хотя в эту пору может еще в полной силе господствовать суровый мороз или же, напротив, давно уже стоять теплая погода.

Дело в том, что начало астрономической весны определяется вовсе не изменчивыми и ненадежными 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 чисто 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 этот момент 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 в свете. Это означает, что в указанный момент года продолжительность дня равняется продолжительности ночи. Равенство дня и ночи наблюдается в эту пору на всем земном шаре от северного до южного полюса. А так как день длится тогда 12 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 короче темной. Так продолжается целое полугодие, в течение которого дни сначала еще укорачиваются — до 22-го декабря, затем прибавляются, 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 собою начало и конец астрономических времен года. А именно, для всех мест северного полушария:

21 марта — день, равный ночи, — начало весны,

22 июня — самый долгий день — начало лета,

23 сентября — день, равный ночи, — начало осени,  
22 декабря — самый короткий день — начало зимы.  
По другую сторону экватора, в южном полушарии  
Земли, с нашей весной совпадает осень, с нашим ле-  
том — 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) взойдет  
в Ташкенте Солнце 21 марта нынешнего года? В кото-  
ром часу взойдет 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? <sup>1</sup>

### ***Три «если бы»***

Слишком привычное уясняется нередко с бóльшим  
трудом, чем необычное. Особенности десятичной си-  
стемы счисления, которой мы овладаем с детства,

---

<sup>1</sup> Ответы на вопросы: 1) День всегда равен ночи на  
экваторе, потому что граница освещения делит круг экватора  
на две равные части при всяком положении земного шара.  
2 и 3) В дни равноденствия Солнце всюду на Земле восходит  
в 6 часов и заходит в 18 часов местного времени. 4) На эква-  
торе Солнце в течение всего года восходит ежедневно в 6 часов  
местного времени. 5) В высоких широтах южного полушария  
июльский мороз и январский летний зной — обычные явления.

обнаруживаются для нас только тогда, когда мы пробуем изображать числа в иной, например, в семиричной или двенадцатиричной системе. Сущность евклидовой геометрии постигается нами, лишь когда мы начинаем знакомиться с геометрией неевклидовой. Чтобы хорошо понять, какую роль в нашей жизни играет сила тяжести, надо вообразить, что она во много раз больше или меньше, чем в действительности. Мы так и поступим, когда будем говорить о тяжести. А сейчас воспользуемся способом «если бы», чтобы лучше уяснить себе условия движения Земли вокруг Солнца.

Начнем с затвержденного 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 поймете 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 движения 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

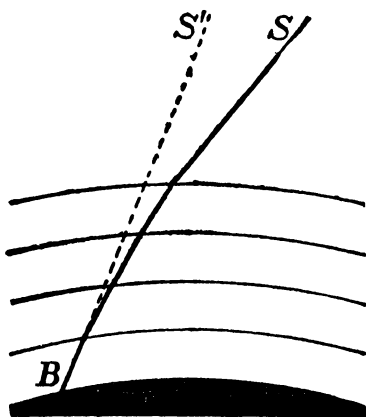
нее, и звездный купол станет вращаться вокруг другой точки неба.

Совершенно изменилась бы, далее, смена времен года; изменилась бы в том смысле, что смены этой больше не было бы вовсе. Чем обусловлена смена времен года? Почему летом теплее, чем зимой? Не станем уклоняться от ответа на этот банальный вопрос. В школе разъясняют его далеко не достаточно, 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 обращен 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 большим 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 раньше). Весною и осенью оба полюса занимают одинаковое положение по отношению к солнечным лучам; круг освещения почти совпадает с меридианами, дни и ночи близки к равенству, — создается климатическая обстановка средняя между зимою 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 одно время года. Какое? Для умеренного и полярного поясов мы можем назвать его весной, хотя оно 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 ее вращения почти перпендикулярна к плоскости движения ее 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 светила над горизонтом (рис. 18), Солнце никогда не заходило бы, а круглый год скользило бы у горизонта. Стоял бы вечный день, вернее — вечное раннее утро. Хотя те-

плота, приносимая лучами столь низкого Солнца, незначительна, но так как нагревание длилось бы непрерывно круглый год, то суровый полярный климат был бы заметно смягчен. Вот единственная выгода от перемены угла наклона оси, выгода, не вознаграждаемая

ущербом, который понесут самые культурные области земного шара.

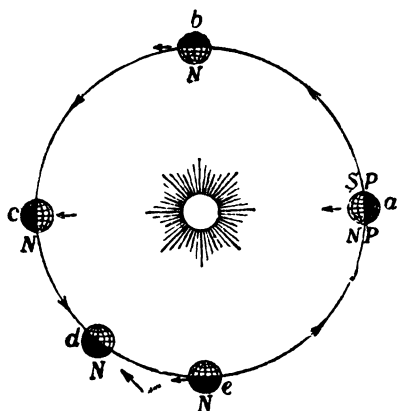
***Если бы земная ось была наклонена к плоскости орбиты на 45°.***

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 ( $60^\circ$ ) Солнце не доходило бы до зенита только на  $15^\circ$ ; высота Солнца поистине тропическая! Но по другую сторону той же 45-й параллели, которая ограничивала бы тогда жаркий пояс, начинался бы уже вечный день. 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 будет подниматься там в полдень не выше  $45^\circ$ .

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-теплый летний период, когда даже на самом полюсе Солнце стояло бы в полдень на высоте  $45^\circ$  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 ее орбиты. Земля будет обходить Солнце «лежа», вращаясь вокруг оси примерно так, как вращается далекий член нашей планетной семьи — Уран. Что произойдет? Близ полюсов



***Рис. 19. Как двигался бы земной шар вокруг Солнца, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости ее орбиты***

стояли бы тогда непрерывные многосуточные сумерки, или же Солнце кружилось бы несколько суток на самом горизонте. В остальное время года на полюсах царила бы ночь, а затем — 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. В такое лето 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 в широте места.

Для Ленинграда, например, многосуточный день наступил бы через 30 дней после 21 марта и длился бы

60 суток. За тридцать суток до 23 сентября снова явятся 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 ее движения вокруг Солнца равно всего  $8^\circ$ . Уран, можно сказать, обращается вокруг Солнца в «лежачем» положении.

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

### *Еще одно «если бы»*

Обратимся теперь к другой стороне движения нашей планеты — к форме ее орбиты. Как и все планеты, Земля подчиняется первому закону Кеплера: планеты движутся по эллипсам, 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 ее 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, которою она изображена. Такого эллипса не отличил бы от круга даже и изощренный глаз художника.

Познакомимся немного с геометрией эллипса. В эллипсе рис. 20  $AB$  — его «большая ось»,  $CD$  — «малая ось». В каждом эллипсе кроме «центра»  $O$  есть еще две замечательные точки — «фокусы», лежащие на большой оси симметрично по обеим сторонам центра.

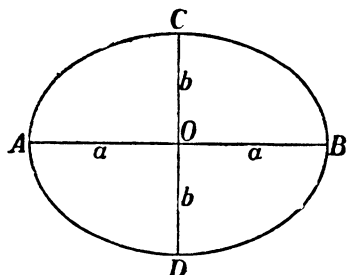


Рис. 20. Эллипс и его оси — большая ( $AB$ ) и малая ( $CD$ ). Точка  $O$  — центр эллипса

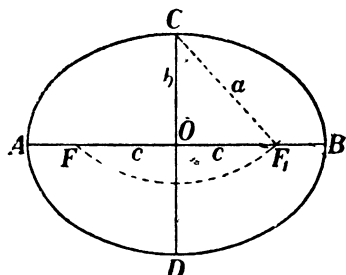


Рис. 21. Как разыскать фокусы ( $F$  и  $F_1$ ) эллипса;  $a$  = большой полуоси

Разыскивают фокусы так (рис. 21): 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 буквою  $c$ , а оси, большая и малая, через  $2a$  и  $2b$ . Расстояние  $c$ , отнесенное к длине  $a$  большой полуоси, т. е. дробь  $c/a$ , служит мерою растянутости эллипса и называется его «эксцентриситетом». Чем больше эллипс отличается от круга, тем эксцентриситет его больше.

Мы будем иметь точное представление о форме земной орбиты, если узнаем величину ее эксцентриситета. Это можно определить и не измерив 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. 21). 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 —  $32'—32''$ . Имеем пропорцию

$$\frac{32'32''}{31'28''} = \frac{BF}{AF} = \frac{a+c}{a-c},$$

из которой составляем так называемую «производную» пропорцию:

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

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 измерять видимый диск Солнца, чтобы определить форму земной орбиты.

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

ось эллипса? Из прямоугольного треугольника  $OCF_1$  (рис. 21) 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 разница. Значит, мы практически не делаем никакой ошибки, когда чертим земную орбиту в форме круга.

Куда следует поместить изображение Солнца на таком чертеже? На сколько надо отодвинуть его от центра, чтобы оно оказалось в фокусе орбиты? Другими словами, чему равно расстояние  $OF$  или  $OF_1$  на нашем воображаемом чертеже? Расчет несложен:

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

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.

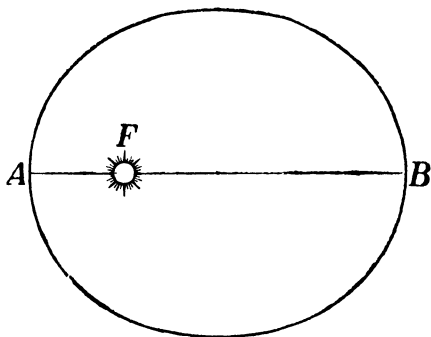
Может ли столь незначительная асимметрия в положении Солнца влиять на климатические условия Земли? Чтобы выяснить, в чем могло бы обнаружиться подобное влияние, произведем опять мысленный опыт, обратимся к «если бы». Допустим, что эксцентриситет земной орбиты возрос до более заметной величины, — например, до 0,5. Это значит, что фокус эллипса делит его полуось пополам; такой эллипс будет иметь вытянутость примерно куриного яйца. Ни одна из главных планет солнечной системы не обладает столь значительным эксцентриситетом; самая вытянутая орбита, Меркурия, имеет эксцентриситет 0,2. (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 ее полуось пополам. Рис. 22 изображает эту новую орбиту. Земля попрежнему бывает 1 января в точке *A*, ближайшей к Солнцу, а 1 июля в точке *B*, наиболее удаленной. Так как *FB* втрое больше, чем *FA*, то в январе Солнце было бы втрое ближе к нам, чем в июле. Январский поперечник Солнца втрое превышал бы июльский, а количество посылаемого тепла было бы в январе в 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 Солнца с избытком покрывала бы невыгодные условия освещения.

Сюда присоединится еще другое 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 Землей. Так как Земля мчится по орбите, то



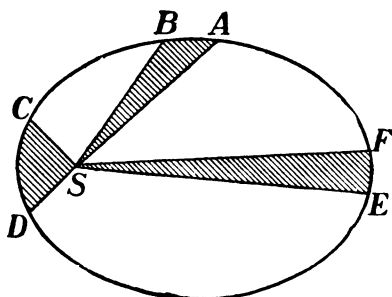
*Рис. 22. Какой формы была бы орбита земного шара, если бы ее фокусы находились посредине больших полуосей. В фокусе F — Солнце*

движется и радиус-вектор, который описывает при этом некоторую площадь; закон Кеплера устанавливает, что части площади эллипса, описываемые в равные времена (например, в сутки или в месяц), равны между собою. Легко сообразить, что в точках своего пути, близких к Солнцу, Земля должна двигаться по

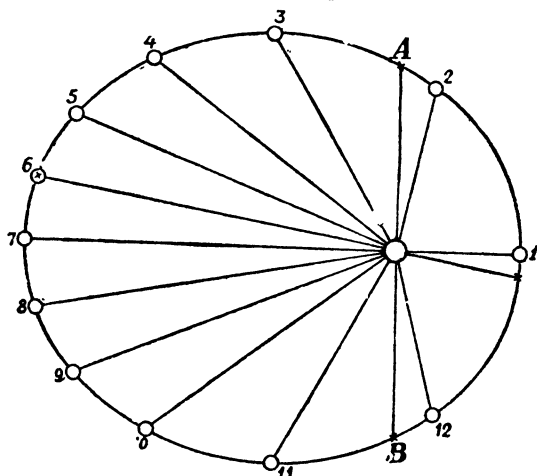
орбите быстрее, чем в точках, удаленных от Солнца: иначе площадь, описанная коротким радиусом-вектором, не могла бы равняться площади, образованной более длинным радиусом-вектором (рис. 23).

Применяя сказанное к нашей воображаемой орбите, заключаем, что в декабре — феврале, когда Земля значительно ближе к Солнцу, она должна двигаться по своей орбите соответственно 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.

Рис. 24 дает более точное представление о продолжительности времен года при наших воображаемых условиях. Эллипс изображает форму новой земной орбиты (с эксцентриситетом 0,5). Числа 1—12 делят путь Земли на части, пробегаемые ею в равные времена; по закону Кеплера, доли эллипса, на которые он пересекается начерченными в нем радиусами-векторами, равны по площади. В точке 1 Земля бывает 1 января, в точке 2 — 1 фев-

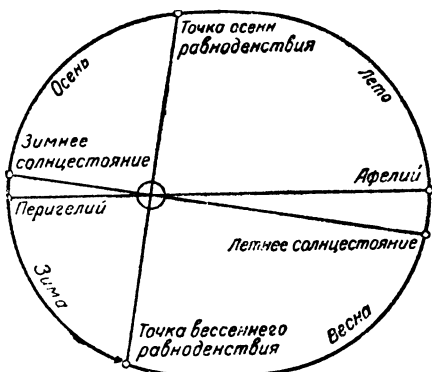


*Рис. 23. Закон движения планет по орбите — второй закон Кеплера: если дуги AB, CD и EF пройдены планетой в одинаковые промежутки времени, то заштрихованные площади равны*



*Рис. 24. Как двигался бы вокруг Солнца земной шар по сильно вытянутому эллипсу. Расстояния между соседними цифрами проходились бы в равные промежутки времени, именно — в один месяц: дуга 1—2 в январе, дуга 2—3 в феврале и т. д.*

раля, в точке 3—1 марта, и т. д. Из чертежа видно, что весеннее равноденствие (А) должно наступить, на подобной орбите, уже в первых числах февраля, а осеннее (В)—в конце ноября. Значит, зимнее время года длилось бы в северном полушарии лишь два с небольшим месяца—от конца декабря до начала февраля. Период же долгих дней и высокого полу-



**Рис. 25. Схематическое изображение пути Земли вокруг Солнца**

денного Солнца в странах северного полушария—от весеннего до осеннего равноденствия—охватывал бы более 9½ 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 ее. Лето, напротив, было бы невыносимо знойное, хотя и короткое.

Отметим еще одно следствие нашего «если бы». В январе быстрое движение Земли по орбите создало бы значительные расхождения между моментами среднего и истинного полудня,—расхождение, достигающее целых часов. Жить по среднему солнеч-

ному времени, как мы живем, было бы крайне неудобно.

Мы знаем теперь, в чем 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 14%. 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 настолько же длиннее, чем в южном. Большее обледенение южного полюса объясняется, вероятно, этим обстоятельством. Вот точная продолжительность времен года в северном и в южном полушариях:

Северное полушарие	Продолжительность	Южное полушарие
Весна	92 суток 21 ч.	Осень
Лето	93 " 14 ч.	Зима
Осень	89 " 19 ч.	Весна
Зима	89 " —	Зима

Вы видите, что северное лето длиннее зимы на 4,6 суток, а северная весна длиннее осени на 3,2 суток.

Такое преимущество северного полушария не будет сохраняться вечно. Большая ось земной орбиты медленно перемещается в пространстве; она переносит



удаленнейшие от Солнца и ближайшие точки земного пути в другие места. Полный цикл этих движений завершается в 26 тысяч лет. Вычислено, что в 11900 г. нашей эры указанное сейчас преимущество северного полушария Земли перейдет к южному.

Самый эксцентриситет земной орбиты не остается неизменным: его величина подвержена медленным вековым колебаниям почти от нуля (0,003), когда орбита Земли превращается почти в круг, до 0,077, когда она получает наибольшую растянутость и уподобляется по форме орбите Марса. В настоящее время ее эксцентриситет находится в периоде убывания; он будет уменьшаться еще 24 тысячелетия — до 0,003, затем станет увеличиваться в течение 40 тысячелетий. Само собою 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 — 6 400 км (длина земного радиуса).

Но орбита Земли — эллипс, а Солнце помещается в его фокусе. Земля бывает поэтому то ближе к Солнцу, то дальше от него. В течение полугодия с 1 января по 1 июня Земля удаляется от Солнца, в течение другого полугодия — приближается к нему. Разница

между наибольшим и наименьшим расстоянием достигает

$$2 \times \frac{1}{60} \times 150\,000\,000, \text{ т. е. } 5\,000\,000 \text{ км.}$$

Это изменение расстояния составляет в среднем около 30 000 км в сутки. Поэтому за время от полу дня до заката Солнца (четверть суток) расстояние точек земной поверхности от дневного светила успевает измениться в среднем на 7 500 км, т. е. больше, чем от вращения Земли вокруг оси.

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

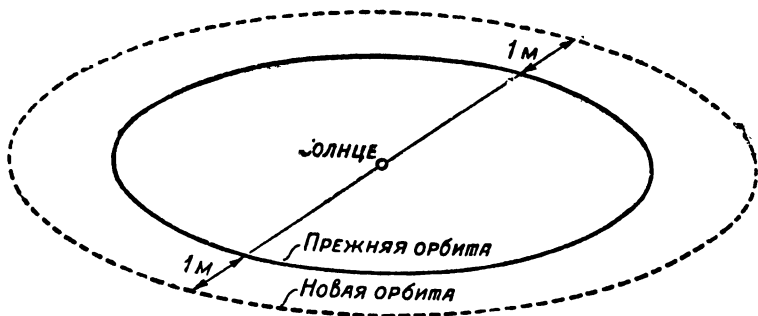
Земля обращается вокруг Солнца в расстоянии 150 000 000 км. Вообразите, что расстояние это увеличилось на 1 м. На сколько удлинился бы при этом путь Земли вокруг Солнца, и на сколько возросла бы от этого продолжительность года (принимая, что скорость движения Земли по орбите не изменилась)?

#### 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 раз-



**Рис. 26.** На сколько удлинилась бы земная орбита, если бы наша планета удалилась от Солнца на один метр?  
(Решение задачи в тексте)

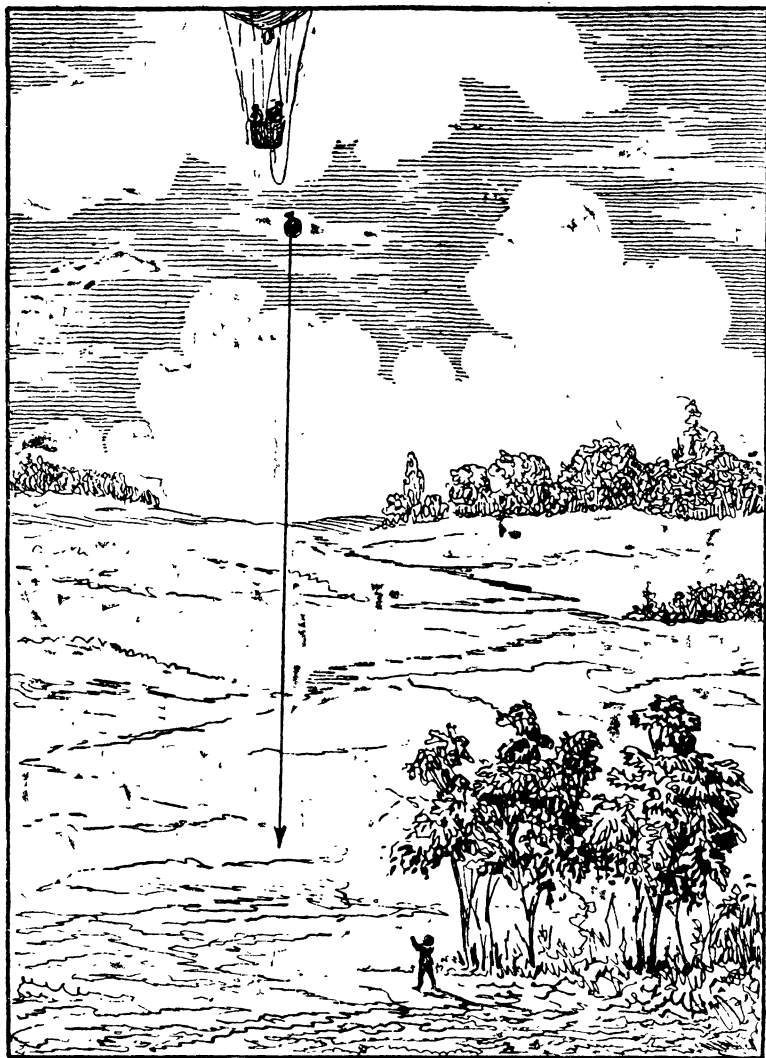
меров, если радиусы в обоих случаях разнятся на 1 м. В этом убеждает нас геометрический расчет. Если радиус земной орбиты (принимаемой за круг) равен  $R$  м, то длина ее равна  $2\pi R$ . При удлинении радиуса на 1 м новая длина орбиты будет равна  $2\pi (R + 1) = 2\pi R + 2\pi$ . Прибавка длины орбиты составляет, как видим, всего  $2\pi$ , 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 5 000-ю долю секунды — величину, конечно, неощутимую.

### *С разных точек зрения*

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

Попробуем мысленно взглянуть на падение тела глазами такого наблюдателя. Рис. 27 изображает тяжелый 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 ее движении вокруг Солнца, но не разделяет вращательного ее 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. Рис. 28 изображает эту кривую: по такому пути двигалось бы падающее на Земле тело для достаточно зоркого наблюдателя, помещающегося на Луне.



*Рис. 27. Для земного наблюдателя путь свободно падающего тела—отвесная линия*

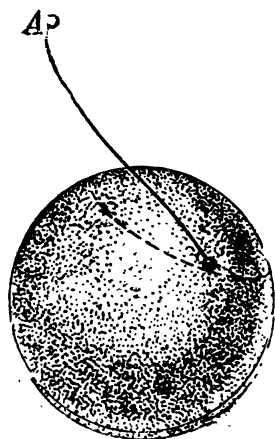
Сделаем еще шаг: перенесемся мысленно на Солнце, захватив с собой сверхмощный телескоп, чтобы оттуда следить за падением на Земле нашего тяжелого шара. Находясь на Солнце, мы не участвуем уже не только во вращении земного шара вокруг оси, но и в его обращении по орбите. Следовательно, с Солнца мы можем заметить три движения, совершаемые падающим телом одновременно:

1) отвесное падение к земной поверхности;

2) движение на восток по касательной к земной поверхности;

3) движение вокруг Солнца.

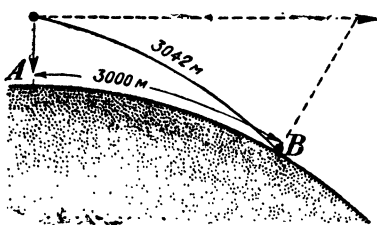
Первое перемещение равно 0,5 км. Второе за 10 секунд времени падения тела — равно на широте Москвы  $0,3 \times 10 = 3$  км. Третье движение — самое быстрое: 30 км в одну секунду. За 10 сек., пока длится падение, тело переместится по земной орбите на 300 км. По сравнению с столь значительным перемещением 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. 30. Земля переместится налево, а падающее тело — из точки на Земле в правом положении в соответствующую точку (только чуть пониже) на Земле в левом положении. На рисунке, мы сказали, масштаб не



*Рис. 28. Тот же путь представляется лучному наблюдателю искривленным*

соблюден: центр Земли за 10 сек. передвинется не на 10 000 км, как изобразил для наглядности художник, а только на 300 км. Это перемещение Земли в пространстве мы могли бы заметить с Солнца по звездам: Земля будет видна в другом созвездии.

Остается сделать еще шаг: перенестись на какую-нибудь звезду, т. е. на отдаленное Солнце, освободив себя от участия в движении нашего собственного

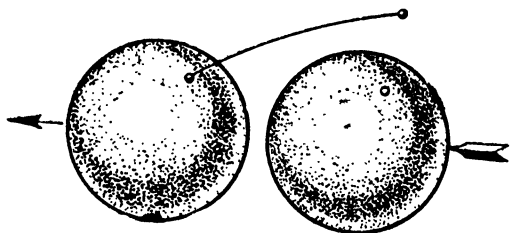


**Рис. 29.** Тело, свободно падающее на Землю, движется одновременно в направлении касательной к тому круговому пути, который описывают точки земной поверхности вследствие вращения земного шара

Солнца. Оттуда мы заметим, что помимо трех рассмотренных ранее движений падающее тело совершает еще и четвертое — по отношению к этой звезде. Величина и направление четвертого движения зависят от того, на какую именно звезду мы перенеслись, т. е. какое движение совершает вся солнечная система по отношению

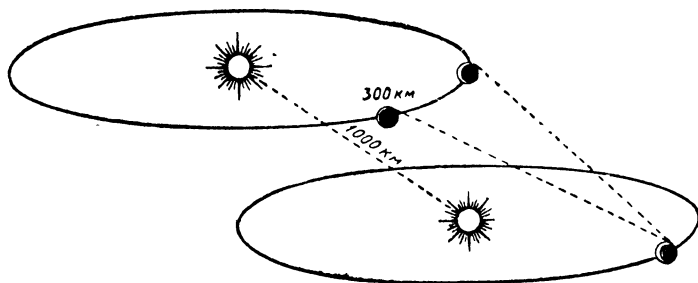
к этой звезде. Рис. 31 изображает один из возможных случаев, когда солнечная система движется по отношению к выбранной звезде под острым углом к плоскости земной орбиты со скоростью 100 км в секунду (скорости такого порядка наблюдаются и в действительности). Движение это за 10 сек. перенесет падающее тело на 1 000 км по своему направлению и, конечно, еще более усложнит его путь. С такой звезды движение падающего тела представилось бы нам в виде линии, отмеченной на рисунке надписью «1 000 км». При наблюдении с другой звезды путь этот имел бы иную величину и иное направление.

Можно было бы идти и еще дальше: поставить вопрос о том, какой вид имеет путь падающего на Землю тела для наблюдателя, расположенного вне



*Рис. 30. Что видел бы солнечный наблюдатель, следящий с Солнца за отвесным падением тела на Землю, как показано на рис. 27 (масштаб не соблюден)*

Млечного Пути и не участвующего в быстром движении, которое увлекает «наше» звездное скопление по отношению к другим островам вселенной. Но нет



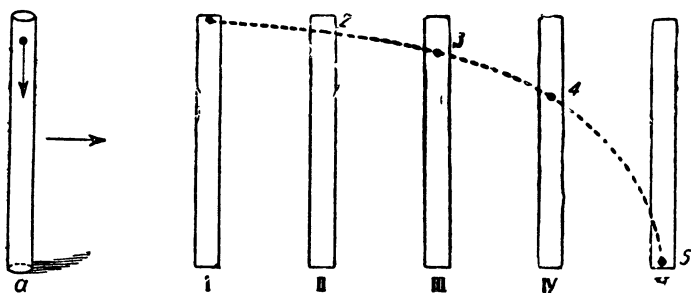
*Рис. 31. Как представлялось бы падение тела на Землю наблюдателю, следящему за ним с отдаленной звезды*

нужды забираться так далеко. Читателю ясно теперь, что с каждой новой точки зрения путь одного и того же падающего тела представляется совершенно иным.

Один из читателей предыдущих изданий «Зани-



мательной астрономии» не согласился с высказанными здесь соображениями. Возражения его сводятся к следующему: «Путь падающего на Землю тела несомненно направлен к центру Земли... В общем этот путь падения на Землю мог бы быть изображен твердым материальным стержнем, как бы блестящим следом отвесно падающего метеора. Откуда бы со стороны ни смотреть на такой стержень, он должен всегда казаться прямым».



**Рис. 32. Падение пули внутри отвесной трубы а — труба неподвижна. Далее — последовательные положения пули в трубе, которая находится в равномерном движении**

Полезно будет остановиться на рассмотрении этого возражения, так как оно возникло, быть может, в уме и других читателей. С первого взгляда довод представляется весьма доказательным; однако, он основан на заблуждении. Рассуждая так, забывают, что блестящий след метеора, подобно всем телам на земном шаре, участвует во вращательном движении нашей планеты. При этом движении метеорный след описывает в пространстве некоторую поверхность. Последовательно занимая различные точки светящегося следа, метеор движется по этой поверхности, вы-

черчивая на ней кривую линию — ту, которая показана на наших рисунках.

Кому сейчас изложенное не кажется убедительным, тот пусть подумает о следующем опыте. Пуля падает внутри отвесной стеклянной трубки *а*, имеющей горизонтальное движение (рис. 32). Так как в нашем случае падающее тело остается все время внутри трубки, то можно думать, что путь падения пули также заключен внутри этой прямой трубки и поэтому ни откуда не может казаться кривым. Между тем легко сообразить, что для наблюдателя, не участвующего в движении трубки, пуля падает не по прямой, а по кривой линии. Это ясно из рис. 32, где последовательные положения трубки обозначены римскими цифрами, а положение пули внутри нее — арабскими цифрами.

Основная ошибка рассуждения моего корреспондента в том, что он считает, будто падающее тело бывает одновременно во всех точках своего пути, между тем как оно посещает их последовательно.

### *Не-земное время*

Вы час работали, час отдыхали. Одинаковы ли оба промежутка времени? Безусловно одинаковы, если они измерены 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 повертывается на равные углы в строго одинаковые промежутки времени.

Но откуда, собственно говоря, известно, что зем-

ной шар вращается равномерно? Почему уверены мы, что два последовательных оборота вокруг оси совершаются нашей планетой в одинаковое время? Проверить это нет возможности до тех пор, пока вращение Земли само служит мерою времени.

Надо отдать себе ясный отчет в том, что равномерность вращения Земли вовсе не есть установленный опытом факт. Это не более, как условное допущение. Условились считать вращение Земли равномерным, — вот единственный источник уверенности людей в том, что планета наша вращается равномерно. И, прибавим,—таков единственный смысл этого утверждения. Движение может быть равномерным или неравномерным не само по себе, а лишь по отношению к другому движению. Стрелка часов движется равномерно по отношению к вращению земного шара; уроненное тело падает неравномерно (ускоренно) по отношению к вращению Земли: каждый следующий метр оно проходит в более короткий промежуток времени, чем предыдущий.

Мы могли бы однако, если бы пожелали, условиться считать движение падающего тела равномерным, и тогда вращение земного шара сделалось бы уже неравномерным (замедленным). Но такой выбор образца равномерного движения, допустимый логически, представлял бы много практических неудобств, потому что обширный ряд движений в природе и технике, равномерных при прежнем образце, превратился бы в неравномерные. Технические расчеты и изучение природы значительно усложнились бы. Вращение Земли в качестве образца равномерного движения выбрано человечеством чрезвычайно удачно, хотя и вполне инстинктивно: величественная картина звездного неба породила мысль об абсолютной плавности дви-

жения небесного свода (движения, являющегося отражением вращения Земли).

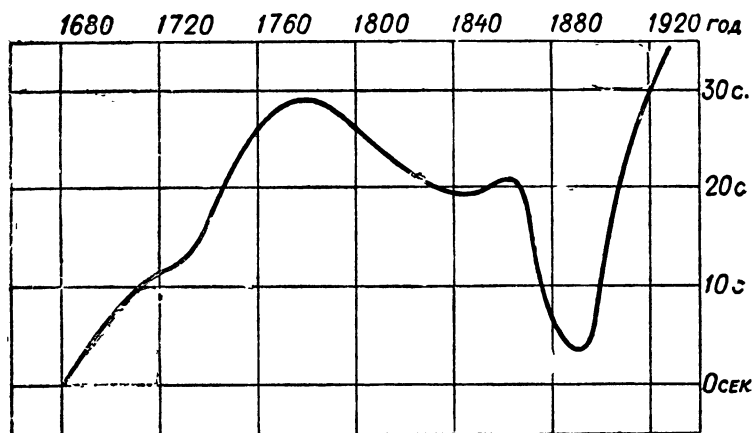
В последнее время, однако, астрономы сочли полезным для некоторых целей этот издавна узаконенный образец равномерного движения временно заменять другим. Изложим поводы и последствия такой замены.

Тщательное изучение небесных движений обнаружило, что некоторые светила в своем движении отступают от теоретически 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 ее 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 уклонения.

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 дви-

жение 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 (рис. 33).



**Рис. 33.** Эта кривая показывает, как изменялась продолжительность земных суток с 1680 г. по 1920 г. Подъемы кривой отзывают удлинению суток, т. е. замедлению вращения Земли; понижения соответствуют ускорению вращения

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 ее движениям, а также к движениям, совершающимся в нашей планетной системе и условно принимаемым за движения равномерные. Размер отклонений Земли от строго равномерного (в указанном

смысле) движения 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 еще 20 сек.; в первую же четверть XX в. движение Земли снова замедлялось, сутки опять стали удлиняться, и накопилась вновь разница почти в полминуты.

Предполагаемые причины этих изменений могут быть различны: лунные приливы, изменение диаметра земного шара<sup>1</sup> 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 еще 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 смены даты»; она проходит через Берингов пролив и тянется по водам Тихого океана в виде изломанной

---

<sup>1</sup> 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 вращения, о которых идет речь.

линии, точное направление которой определяется международным соглашением.

На этой-то воображаемой линии, прорезающей безлюдные пустыни 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, январь, февраль; 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, — на этот раз чтобы соскользнуть с поверхности планеты и 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 населенный мир, чтобы начать свое шествие через все части света. И здесь же, у восточной оконечности советской Азии, дни умирают, исполнив свою 24-часовую службу.

Некогда Карл V, считавшийся императором Германии, Австрии, Испании, Италии, Голландии и части Америки, хвастал тем, что в его владениях не заходит Солнце. С бóльшим правом могли бы мы гордиться тем, что владеем колыбелью нарождающихся дней; в пределах СССР совершается первая на твердой земле смена дня и месяца другим.

Итак, смена дней происходит на линии даты. Первые кругосветные путешественники, не подозревавшие обо всем этом, сбились в счете дней. Вот подлинный рассказ Антония Пигафеты, спутника Магеллана в его кругосветном путешествии:

«19 июля, в среду, мы увидели острова Зеленого мыса и стали на якорь... Чтобы узнать, правильно ли

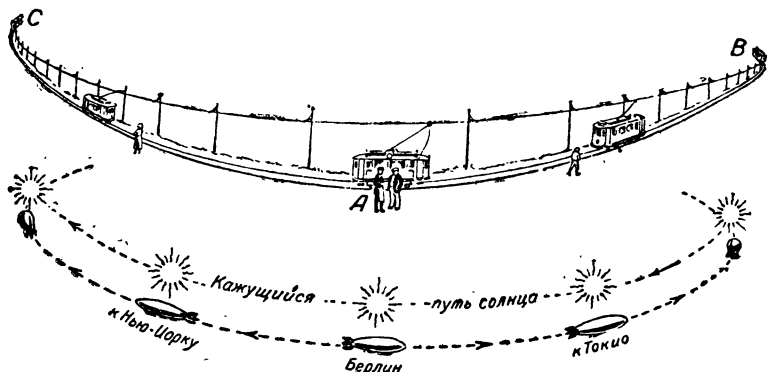
вели мы наши корабельные журналы, мы велели спросить на берегу, какой сегодня день недели. Ответили, что четверг. Это нас удивило, потому что по нашим журналам была только среда. Нам казалось невозможным, что мы все ошиблись на один день...

«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 подумать над этим, чтобы согласиться».

Как же поступают теперь мореплаватели, когда проезжают линию даты? Чтобы не сбиваться в счете дней, моряки пропускают один день, если идут с востока на запад; когда же пересекают линию даты с запада на восток, то считают один и тот же день дважды, 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 кругом света, «привез» на родину воскресенье, когда там был еще только предшествующий день — суббота. Это могло произойти лишь в эпоху Магеллана, потому что тогда не было еще соглашения о «линии даты». Невозможны в наши дни и приключения вроде того, о котором рассказал Эдгард 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.



Теперь понятно, почему участники знаменитого воздушного (на дирижабле «Цеппелин») кругосветного путешествия 1929 г., перелетая над Великим океаном, считали дважды один и тот же день. В немецких журналах это было пояснено наглядно помощью иллюстрации, которая здесь воспроизведена (рис. 34)



**Рис. 34. Пояснение календарной загадки.** На верхнем рисунке мы видим двух пешеходов, беседующих у трамвайной остановки А. Каждые 6 минут отходит трамвайный вагон из В и направляется к С. Что, однако, произойдет, если беседующие разойдутся в разные стороны: один к В, другой — к С? Первый идет навстречу трамваю и потому встретит вагон раньше, чем через 6 минут, — скажем, минуты через 4. Другой идет в сторону движения трамвая, и потому вагон нагонит его позже, чем через 6 минут, — скажем, минут через 8.

На нижнем рисунке имеем те же соотношения, но пешеходы заменены дирижаблем, а трамвай — Солнцем. (Подробности в тексте.)

Пока дирижабль стоял под Берлином, Солнце восходило для него каждые 24 часа. При полете в Токио, на восток, т. е. навстречу Солнцу, на дирижабле должны наблюдать солнечный восход чаще, чем каждые 24 часа; при полете же в Нью-Йорк, на запад, т. е. в сторону суточного движения Солнца, восход дневного светила должен наблюдаться пассажирами реже,

чем каждые 24 часа. От этих упреждений и запаздываний накапливаются при кругосветном перелете целые сутки. Чтобы не было расхождения с календарем, следует при полете на восток как бы приостанавливаться немного в счете дней, давая Солнцу себя догнать, т. е. считать одни и те же сутки дважды; при движении же на запад надо, напротив, пропускать одни сутки, чтобы не отстать от Солнца.

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

Во-время кругосветного перелета «Цепелина» (1929 г.) находившийся на борту представитель печати никак не мог понять, почему в течение 20-дневного путешествия пассажиры садились к обеденному столу 21 раз...

### ***Сколько понедельников в феврале?***

#### **Задача**

За рубежом сохранилась еще семидневная неделя. Поэтому имеет смысл поставить следующий вопрос:

Какое наибольшее и какое наименьшее число понедельников возможно в феврале?

Задача эта (сюжет которой в измененном виде я заимствую у американского астронома проф. Юнга) имеет довольно неожиданное решение.

#### **Решение**

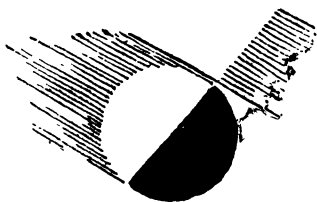
Обычно отвечают, что наибольшее число понедельников в феврале 5, наименьшее 4. Безусловно верно, что если первое февраля високосного года па-

дает на понедельник, то и 29-е число придется в понедельник<sup>1</sup>; всех понедельников окажется тогда 5.

Однако можно насчитать и вдвое больше понедельников в течение одного февраля. Вообразите корабль, совершающий рейс между восточным берегом Сибири и Аляской; он регулярно покидает азиатский берег каждый понедельник. Сколько насчитает капитан этого корабля понедельников в феврале такого високосного года, в котором 1-е число пришлось на понедельник? Так как он пересекает линию даты с запада на восток и пересекает в понедельник, то будет иметь еженедельно по два понедельника кряду, а всех понедельников насчитает 10.

Напротив, капитан, покидающий берега Аляски каждое воскресенье и идущий к берегам Сибири, будет в счете дней пропускать как раз понедельник, за весь месяц он не насчитает ни одного понедельника.

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



---

<sup>1</sup> В феврале високосного года 29 суток; это составляет 4 семидневных недели и один день пятой недели.



## *Глава вторая*

### *Луна и ее движения*

#### *Молодой или старый месяц?*

Видя на небе неполный диск луны, не всякий безошибочно определит, молодой ли это месяц, или 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 надежно и безошибочно, куда какой месяц смотрит? Для этого имеются разные искусственные приемы, облегчающие запоминание.

Остроумная мнемоническая примета имеется 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 чет-

верть, т. е. старый месяц. Буква *p* — начальная в слове «premier» (первый) — указывает, что Луна в фазе первой четверти, вообще — молодая. У немцев тоже существует правило, связывающее форму Луны с определенными буквами.

Но у нас таких примет относительно старого и молодого месяца не имеется. Надо придумать; 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. 35).



*Рис. 35. Простой способ отличать молодой (растущий) месяц от старого*

Этим правилом можно пользоваться только в северном полушарии Земли. Для Австралии или Трансвааля смысл приметы как раз обратный. Но и в северном полушарии она может оказаться непримени-

мой — именно в южных широтах. Уже в Крыму и в Закавказье серп и полумесяц сильно клонятся набок, а еще южнее они совсем ложатся. Близ экватора висящий на горизонте серп Луны кажется либо гондолой, качающейся на волнах («челнок Луны» арабских сказок), либо светлой аркой. Здесь не пригодятся ни французская, ни русская приметы — из лежащей дужки можно сделать по желанию обе пары букв: *p* и *d*, *P* и *C*. Недаром в древнем Риме наклонную Луну называли «обманчивой» (*Luna fallax*). Чтобы и в этом случае не ошибиться в возрасте Луны, надо обратиться к астро-

номическим признакам: молодой месяц виден вечером в западной части неба; старый — поутру на восточном небе.

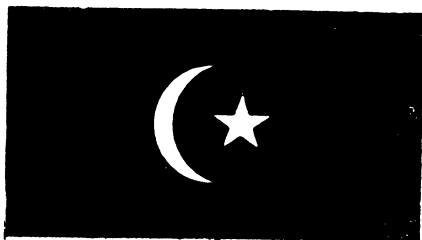
### *Луна на флагах*

#### **Задача**

На рис. 36 перед вами флаг Турции. На нем имеется изображение лунного серпа и звезды. Это наводит нас на следующие вопросы:

1. Серп какого месяца изображен на флаге — молодого или старого?

2. Могут ли лунный серп и звезда наблюдаться на небе в том виде, в каком они показаны на флаге?



*Рис. 36. Турецкий флаг*

#### **Решение**

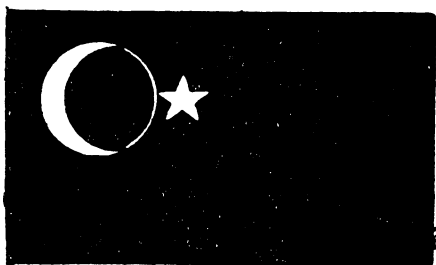
1. Вспомнив указанную ранее (стр. 83-84) приметку и приняв во внимание, что флаг принадлежит стране

северного полушария, устанавливаем, что месяц на флаге с т а р ы й.

2. Звезда не может быть видна внутри диска Луны дополненного до круга (рис. 37). Все небесные светила гораздо дальше Луны



*Рис. 37.*



**Рис. 38. Почему звезда не может быть видна между рогами месяца**

ного серпа и звезды, она отодвинута от серпа именно так, как на рис. 38.



**Рис. 39. На ландшафте допущена астрономическая ошибка. Какая? (Ответ в тексте)**

и, следовательно, должны ею заслоняться. Их можно видеть только за краем неосвещенной части Луны, как показано на рис. 38.

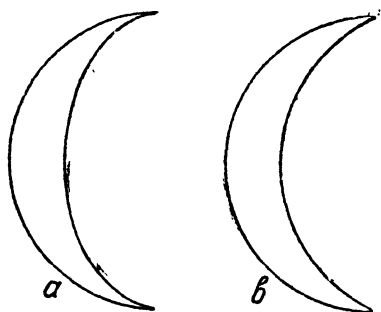
Любопытно, что на флаге Египта, тоже содержащем изображение лунного серпа и звезды,

### **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 забывают. На выставках картин не редкость увидеть ландшафт с полумесяцем, обращенным к Солнцу своей прямой стороной; попадаетесь и лунный серп, повернутый к Солнцу своими рогами (рис. 39).

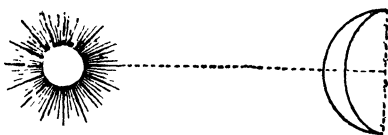
Надо впрочем заметить, что правильно

нарисовать молодой месяц не так просто, как кажется. Даже опытные художники рисуют наружную и внутреннюю дуги лунного серпа в форме полукругов (рис. 40в). Между тем полукруглую форму имеет только наружная дуга, внутренняя же представляет собою полуэллипс, потому что это — полукруг (граница освещенной части) в перспективе (рис. 40а).



**Рис. 40. Как надо (а) и как не надо (в) изобразить лунный серп**

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 ее середине (рис. 41). Иначе говоря, центр Солнца должен находиться на перпендикуляре, проведенном через середину прямой, соединяющей концы месяца. Однако правило



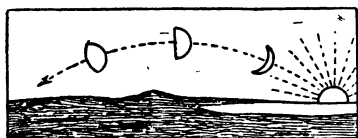
**Рис. 41. Положение лунного серпа относительно Солнца**

это соблюдается только для очень молодого, узкого серпа. Для полумесяца же и более старой Луны оно нарушается самым очевидным образом. Рис. 42 показывает положение месяца в разных фазах относительно лучей Солнца. Впечатление получается такое, словно



лучи Солнца искривляются, прежде чем достичь Луны.

Разгадка кроется в действии перспективы. Луч,



**Рис. 42. В каком положении относительно Солнца мы видим Луну в разных фазах**

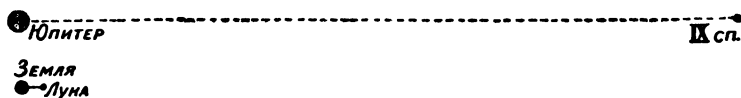
идущий от Солнца к Луне, в действительности перпендикулярен к линии, соединяющей концы месяца, и в пространстве представляет собою прямую линию.

Но глаз наш рисует на небе не эту прямую, а ее проекцию на вогнутый небесный свод, т. е. кривую линию.

Вот почему нам и представляется, 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 значитель-



**Рис. 43. Система Земля — Луна по сравнению с системой Юпитера. (Размеры самих небесных тел показаны без соблюдения масштаба)**

ной величиной и массой по отношению к своей центральной планете. Есть в солнечной системе спутники абсолютно более крупные и более тяжелые, 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 самого крупного (относительно) 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 тяжелый из спутников, какой существует в солнечной системе, — III спутник Юпитера — составляет менее 10 000-й доли массы своей центральной планеты.

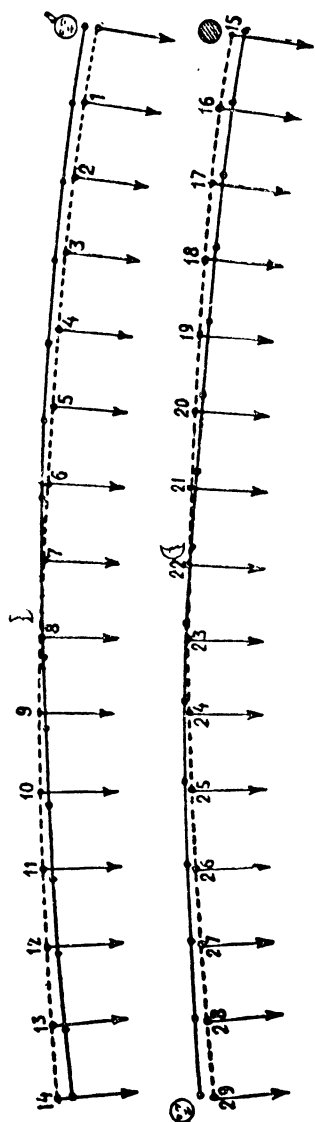
Вот табличка, показывающая, какую долю от массы центральной планеты составляет масса крупных спутников:

Планета	Ее спутник	Масса (в долях массы планеты)
Земля	Луна	0,0123
Юпитер	III-й	0,00008
Сатурн	Титан	0,00024
Уран	Титания	0,00003
Нептун	Тритон	0,00025

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

Третье, что дает системе Земля — Луна право при-  
ти-  
язать на наименование «двойной планеты» — это тес-  
ная близость обоих небесных тел. Спутники других  
планет кружатся на гораздо больших расстояниях: не-  
которые спутники Юпитера (например IX, рис. 43)  
кружатся в 60 раз дальше.

В связи с этим находится тот любопытный факт,  
что путь, описываемый Луной вокруг Солнца, очень  
мало отличается от пути Земли. Это покажется неве-



**Рис. 44. Месячный путь Земли (пунктир) и Луны (сплошная линия) вокруг Солнца.**

роятым, если вспомнить, что Луна кружится около Земли на расстоянии почти 400 тысяч км. Не забудем однако, что пока Луна совершает один оборот вокруг Земли, сама Земля успевает перенестись вместе с нею на 12-ю долю своего годового пути, т. е. на 80 миллионов км. Представьте же себе круговой путь Луны —  $21\frac{1}{2}$  миллиона 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 нее лишь 12-ю едва заметными выступами и 12-ю легкими уплощениями. Можно доказать несложным расчетом (которым мы не станем здесь обременять изложения), что путь Луны при этом всюду обращен к Солнцу своей выпуклостью. Грубо говоря, он по виду похож на двенадцатиугольник с мягко округленными углами.

На рис. 44 вы видите точное изображение путей Земли и Луны в течение одного

месяца. Пунктирная линия — путь Земли, сплошная — путь Луны. Они так близки друг к другу, что для раздельного их изображения пришлось взять очень крупный масштаб чертежа: поперечник земной орбиты здесь равен  $\frac{1}{2}$  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 чертеж, вы наглядно убеждаетесь, что Земля и Луна движутся вокруг Солнца почти по одному и тому же пути и что наименование «двойной планеты» присвоено им астрономами вполне справедливо<sup>1</sup>.

Итак, для наблюдателя, помещенного на Солнце, путь Луны представился бы слегка волнистой линией, почти совпадающей с орбитой Земли. Это нисколько не противоречит тому, что по отношению к Земле Луна движется по небольшому эллипсу. Перемена точки зрения изменяет на этот раз форму движения самым существенным образом.

Причина, конечно, в том, что, глядя с Земли, мы не замечаем переносного движения Луны по земной орбите, так как сами в нем участвуем.

### ***Почему Луна не падает на Солнце?***

Вопрос может показаться наивным. С какой стати Луне падать на Солнце? Ведь Земля притягивает ее

---

<sup>1</sup> Внимательно рассматривая чертеж, можно заметить, что движение Луны представлено на нем не строго равномерным. Так в действительности и есть: Луна ведь движется вокруг Земли по эллипсу с Землей в фокусе, а потому согласно второму закону Кеплера, на участках, близких к Земле, она бежит быстрее, чем на удаленных. Эксцентриситет лунной орбиты довольно велик: 0,055.

сильнее далекого 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 Землей!

Что это так, показывает расчет. Сравним силы, притягивающие Луну: силу Солнца и силу Земли. Обе силы зависят от двух обстоятельств: от величины притягивающей массы и от расстояния этой массы до Луны. Масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз; во столько же раз Солнце притягивало бы Луну сильнее, нежели Земля, если бы расстояние до Луны было в обоих случаях одинаково. Но Солнце примерно в 400 раз дальше от Луны, чем Земля. Сила притяжения убывает с квадратом 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 Землей. Почему же тогда в самом деле Луна не обрушивается на Солнце? Почему Земля все же заставляет Луну обращаться вокруг нее, а не берет верх действие Солнца?

Луна не падает на Солнце по той же причине, по какой не падает на него и Земля; Луна обращается около Солнца вместе с Землей, и притягательное действие Солнца расходуется без остатка на то, чтобы постоянно переводить оба эти тела с прямого пути на орбиту, т. е. превращать прямолинейное движение в криволинейное. Достаточно бросить взгляд на рис. 44, разобранный в предшествовавшей статье, чтобы убедиться в сказанном.

У иных читателей, может быть, осталось некоторое

сомнение. Как же это все-таки выходит? Земля тянет Луну к себе, Солнце тянет Луну с большею силою, а Луна, вместо того чтобы падать на Солнце, кружится около Земли? Это действительно было бы странно, если бы Солнце притягивало к себе только Луну. Но оно притягивает Луну вместе с Землей, всю «двойную планету», и, так сказать, не вмешивается во внутренние отношения членов этой пары между собою. Строго говоря, к Солнцу притягивается общий центр тяжести системы Земля — Луна; этот центр и обращается вокруг Солнца под действием солнечного притяжения.

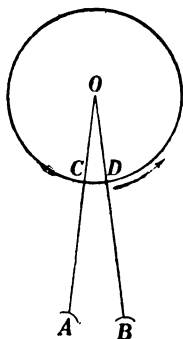
### ***Видимая и невидимая стороны Луны***

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 ее надо быть хорошо знакомым с особенностями капризных движений ночного светила.

На первый взгляд здесь как будто не должно быть особых затруднений. Вещь кажется рельефной, когда ее рассматривают двумя глазами с не слишком большого расстояния, — иначе зрительные впечатления обоих глаз будут тождественны, и рельефа не получится. Значит, чтобы два снимка сливались при рассматривании в один рельефный образ, нужно фотографировать предмет с двух таких пунктов, расстояние которых от предмета не чересчур превышает их взаимное уда-

ление<sup>1</sup>. Применяя сказанное к Луне, находящейся от нас в расстоянии 380 000 км, заключаем, что нам нужно сфотографировать ее с таких двух пунктов, которые разделены расстоянием по крайней мере в радиус земного шара (6 400 км); тогда точка лунного диска, центральная на одном снимке, окажется на другом смещенной примерно на 1° лунной долготы, — угол, достаточный для получения стереоскопического эффекта (см. пояснение к рис. 45). Остается сфотографировать Луну при двух ее положениях, соответствующих повороту на 1°, и требуемые снимки будут получены.



**Рис. 45. Какой поворот лунного шара был бы достаточен для получения хорошего стереоскопического снимка Луны. ОА — расстояние от центра Луны до Земли — в 60 раз больше АВ, равного земному радиусу (масштаб не соблюден). Угол О равен поэтому примерно 1°**

Но здесь возникает затруднение особого рода: Луна обходит Землю так, что обращена к ней все время одной и той же своей стороной. Обегая вокруг Земли, Луна вращается вместе с тем и вокруг своей оси, при чем оба движения завершаются в один и тот же срок. Если бы обращение Луны происходило по кругу, задача получения стереоскопических фотографий ночного светила была бы неразрешима: нам никак не удалось бы бросить на лицо Луны взгляд хотя бы чуть сбоку. Но Луна обходит Землю не по кругу, а по эллипсу, и довольно вытянутому (эксцентриситет = 0,055, т. е. около  $\frac{1}{18}$ );

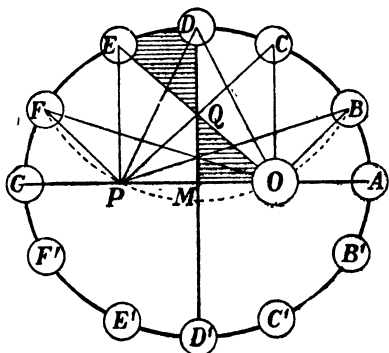
это обстоятельство и дает выход из положения.

На рис. 46 вы видите эллипс, который должен на-

<sup>1</sup> Подробнее об этом — см. «Занимательную физику».

глядно изображать орбиту Луны. Чертеж намеренно усиливает вытянутость лунного эллипса. Представить точно на маленьком чертеже лунную орбиту так, чтобы глаз отличил ее от круга, невозможно: при величине большой полуоси даже в целый метр малая полуось была бы короче ее всего на 1 мм; Земля отстояла бы от центра только на 5,5 см. Чтобы легче было понять дальнейшее объяснение, на рисунке начерчен более вытянутый эллипс.

Итак, вообразите, что эллипс на рис. 46 есть путь Луны вокруг Земли. Земля помещена в точке  $O$  — в одном из фокусов эллипса. Законы Кеплера относятся не только к движениям планет вокруг Солнца, но и к движениям спутников вокруг центральных планет,



**Рис. 46. Как Луна обходит  
вокруг Земли по своей орбите.  
(Подробности в тексте)**

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  $OABCD$  (равенство площадей  $OAE$  и  $DMA$  на нашем чертеже подтверждается приблизительным равенством площадей  $MOQ$  и  $EDQ$ ). 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  $90^\circ$ . Поэтому, когда Луна оказывается в  $E$ , центральный радиус Луны опишет дугу больше, чем в  $90^\circ$ ,



и будет направлен не к точке  $M$ , а к некоторой другой точке, левее  $M$ , неподалеку от другого фокуса  $P$  лунной орбиты. Оттого, что Луна чуть отвернет свое лицо от земного наблюдателя, он сможет увидеть с правой стороны узкую полоску прежде невидимой ее половины. В точке  $F$  Луна показывает земному наблюдателю уже более узкую полоску своей, обычно невидимой стороны, потому что угол  $OFP$  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 своем движении Луна отворачивается от Земли уже в противоположную сторону, показывая нашей планете другую полоску своей невидимой стороны; полоска эта сначала расширяется, потому суживается, и в точке  $A$  Луна занимает прежнее положение.

Мы убедились, что вследствие эллиптической формы лунного пути спутник наш обращен к Земле не строго одной и той же своей половиной. Луна неизменно обращена одной и той же стороной не к Земле, а к другому фокусу своей орбиты. Для нас же она покачивается около среднего положения, наподобие весов; отсюда и астрономическое наименование этого покачивания: «либрация» — от латинского слова, 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  $8^{\circ}$ .

Интересно проследить за тем, как нарастает и убывает угол либрации с передвижением Луны по орбите. Поставим в  $D$  острие циркуля и опишем дугу, проходящую через фокусы  $O$  и  $P$ . Она пересечет орбиту в точках  $B$  и  $F$ . Углы  $OBP$  и  $OFP$ , как вписанные, равны половине центрального угла  $ODP$ . Отсюда выво-

дим, 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 еще 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 ее полюсы. Эта либрация по широте достигает  $6\frac{1}{2}^\circ$ .

Объясним теперь, как пользуется астроном-фотограф описанными легкими покачиваниями Луны около среднего положения, чтобы получить стереоскопические снимки ее. Читатель догадывается, вероятно, что для этого надо подстеречь два таких положения Луны, при которых она была бы в одном повернута по отношению к другому на достаточный угол. 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 отли-

чаются величиной либрации (по долготе) так, чтобы круг освещения проходил по одним и тем же деталям лунной поверхности. Но и этого недостаточно: в обоих положениях должны быть еще одинаковы либрации по широте.

Вы видите теперь, к каким тонким ухищрениям приходится прибегать, чтобы 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 объяснен здесь, конечно, не с практической целью, а лишь для того, чтобы ради него рассмотреть особенности лунного движения, дающие астрономам возможность увидеть небольшую полоску обычно недоступной наблюдателю стороны нашего спутника. Благодаря обеим лунным либрациям, мы видим в общем не половину всей лунной поверхности, а 59% ее. Совершенно недоступной нашему зрению остается 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: в настоящее время разрабатываются способы облететь вокруг Луны на особом летательном аппарате, могущем преодолеть земную тяжесть и двигаться в пустом мировом пространстве (см. мою книгу «Межпланетные путешествия»). До осуществления этого смелого предприятия сейчас еще далеко. Пока

известно одно: высказываемая нередко мысль о существовании атмосферы и воды на этой невидимой стороне Луны совершенно необоснована и противоречит законам физики: если нет атмосферы и воды на одной стороне Луны, то не может быть их и на другой (к этой теме мы еще вернемся).

Уместно поставить еще такой вопрос: всегда ли Луна показывала Земле ту свою сторону, которую мы видим теперь? Быть может, в древности к Земле обращена была другая сторона? Вопрос не праздный: если бы продолжительность лунного оборота Луны по орбите отличалась от периода обращения Луны вокруг оси всего хотя бы на 1 минуту, то 2½ тысячи лет назад Луна должна была показывать Земле противоположную свою сторону. Имеются однако свидетельства в пользу того, что древние видели ту же самую сторону ночного светила, какую видим сейчас и мы.

### ***Вторая Луна и луна Луны***

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

Вопрос о существовании второго спутника Земли не нов. Он имеет за собой длинную историю. Кто читал роман Жюль Верна «Вокруг Луны», тот помнит, вероятно, что уже там упоминается о второй Луне. Она так мала, и скорость ее так велика, что жители Земли наблюдать ее не могут. Французский астроном Пти, — говорит Жюль Верн, — заподозрил ее существование и определил период ее обращения вокруг Земли в 3 ч. 20 мин. Расстояние ее от поверхности Земли равно

8 140 км. Любопытно, что солидный 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 все-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 мин., кружащегося, правда, не в 8, а в 5 тысячах км от земной поверхности. Мнение это разделялось 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. Выдающийся американский астроном Мультион высказывает об этом следующие соображения:

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

### ***Почему на Луне нет атмосферы?***

Вопрос этот принадлежит к тем, которые уясняются, если сначала их, так сказать, перевернуть. Прежде чем говорить о том, почему Луна не удерживает вокруг себя 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? Не трудно вычис-

лить: скорость  $v$ , высота подъема  $h$  и ускорение тяжести  $g$  связаны следующей формулой:

$$v^2 = 2 gh.$$

Подставим вместо  $v$  его значение — 500 м/сек, вместо  $g$  — 10 м/сек<sup>2</sup>, имеем

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

откуда

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

Но если молекулы воздуха могут взлетать не выше 12½ км, то откуда берутся воздушные молекулы выше этой границы? Ведь кислород, входящий в состав нашей атмосферы, образовался близ земной поверхности (частью из углекислого газа деятельностью растений, главным же образом — путем разложения перекиси водорода, увлеченной на землю с каплями дождя). Какая же сила подняла и удерживает их на высоте 500 и более километров, где безусловно установлено присутствие следов воздуха? Физика дает здесь тот же ответ, какой слышали бы мы от статистика, если б спросили его: «Средняя продолжительность человеческой жизни 40 лет; откуда же берутся 80-летние старики?» Все дело в том, что выполненный нами расчет относится к средней, а не реальной молекуле. Средняя молекула обладает секундной скоростью в ½ км, но реальные молекулы движутся одни медленнее, другие быстрее средней. Правда, процент молекул, скорость которых заметно отклоняется от средней, невелик и быстро убывает с возрастанием величины этого отклонения. Из всего числа молекул, заключающихся в данном объеме кислорода при 0°, только 20% обладают скоростью от 400 до 500 м в секунду; приблизи-

тельно столько же молекул движется со скоростью  $300\text{—}400 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ , 17% — со скоростью  $200\text{—}300 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ , 9% — со скоростью  $600\text{—}700 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ , 8% — со скоростью  $700\text{—}800 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ , 1% — со скоростью  $1\,300\text{—}1\,400 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ . Небольшая часть (меньше миллионной доли) молекул имеет скорость  $3\,500 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ , а эта скорость достаточна, чтобы молекулы могли взлететь даже на высоту 600 км. Действительно

$$3\,500^2 = 20h, \text{ откуда } h = \frac{12\,250\,000}{20}, \text{ т. е. около } 600 \text{ км.}$$

Становится понятным присутствие частиц кислорода на высоте сотен километров над земной поверхностью: это вытекает из молекулярного строения газов<sup>1</sup>. 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 легкого из газов земной атмосферы — водорода — должно пройти число лет, выражающееся 25 цифрами. Миллионы лет не внесут

---

<sup>1</sup> Не следует думать, что одна и та же молекула может свободно пролететь такой большой путь. Менее, чем через миллиардную долю секунды, молекула сталкивается с другой. Но равенство масс молекул приводит к тому, что соударяющиеся частицы обмениваются скоростями, т. е. словно проходят одна сквозь другую. Благодаря этому можно принять, что летящая вверх молекула, несмотря на биллионы столкновений, как бы пронизывает всю толщу атмосферы.



никакого изменения в состав и массу земной атмосферы.

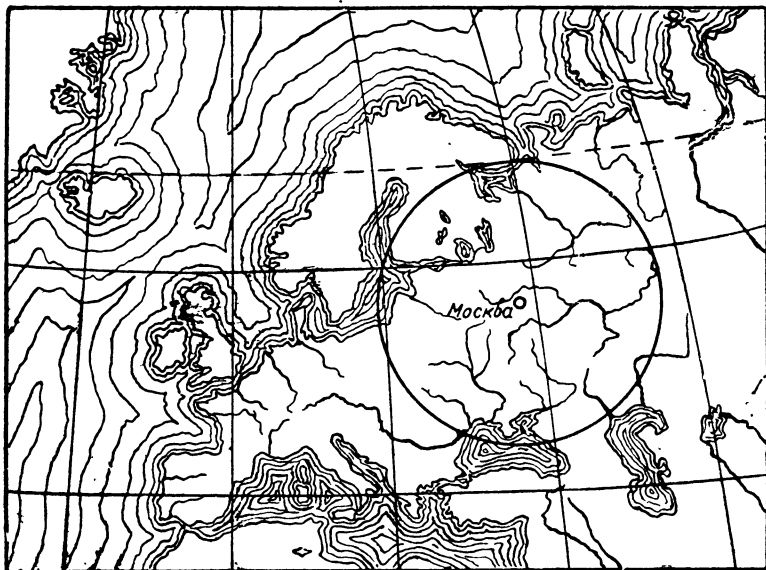
Чтобы разъяснить теперь почему Луна не может удерживать вокруг себя подобной же атмосферы, остается досказать немного. Напряжение тяжести на Луне в 6 раз слабее, чем на Земле; соответственно этому скорость, необходимая для преодоления там силы тяжести, тоже меньше и равна всего 2 360 м/сек. А так как 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 нее образовалась. Когда улетучатся наиболее быстрые из молекул, критическую скорость приобретут и те молекулы (таково следствие закона распределения скоростей между частицами газа), и в мировое пространство должны безвозвратно ускользать все новые и новые частицы атмосферной оболочки. По истечении достаточного промежутка времени, ничтожного в масштабе мироздания, вся атмосфера покинет поверхность столь слабо притягивающего небесного тела.

Можно доказать математически, что если средняя скорость молекул в атмосфере планеты даже втрое меньше предельной (т. е. составляет для Луны  $2\,360 : 3 = 790$  м/сек), то такая атмосфера должна наполовину рассеяться в течение нескольких недель. (Устойчиво сохраняться атмосфера небесного тела может лишь при условии, что средняя скорость ее молекул меньше одной пятой доли предельной.)

Высказывалась мысль — вернее, мечта, — что со временем, когда земное человечество посетит и покорит Луну, оно окружит ее искусственной атмосферой и сделает таким образом пригодной для обитания. После сказанного в этой статье 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



**Рис. 47. Размеры лунного шара по сравнению с материком Европы. (Не следует однако заключать, что поверхность Луны меньше поверхности Европы)**

обуславливать ее отсутствие вообще на всех мировых телах со слабым напряжением тяжести: на астероидах и на большинстве планетных спутников.

### ***Размеры лунного мира***

Об этом, конечно, с полной определенностью говорят числовые данные: величина диаметра Луны (3 500 км), поверхности, объема. Но числа, незамени-

мые при расчетах, бессильны дать то наглядное представление о размерах, какого требует наше воображение. Полезно будет обратиться для этого к конкретным сопоставлениям.

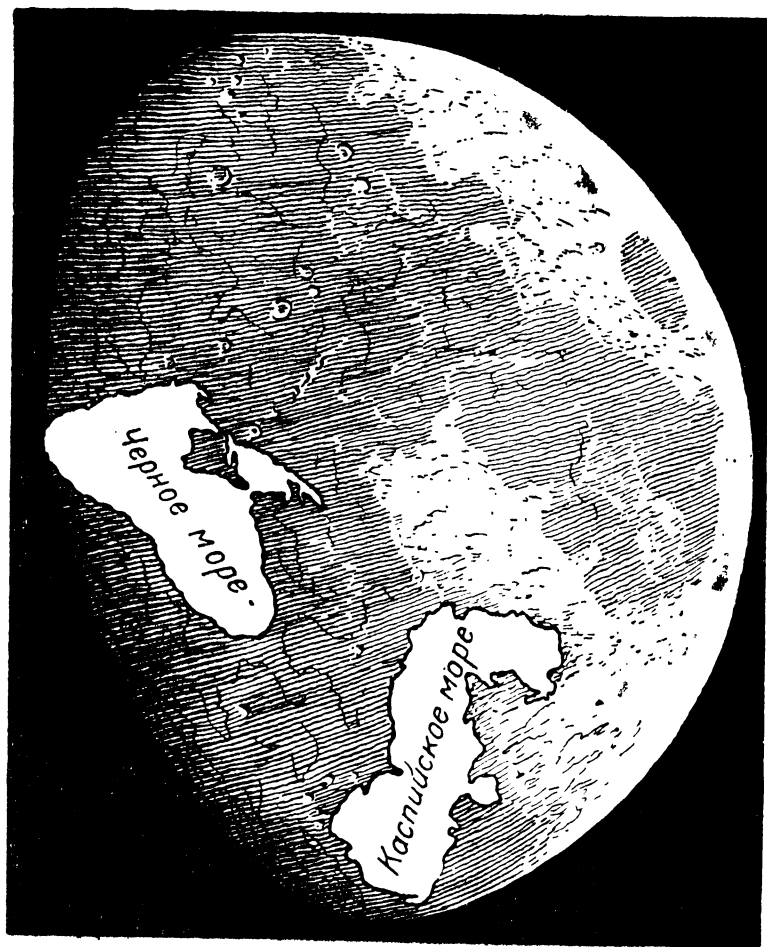
Сравним лунный материк (ведь Луна — сплошной материк) с материками земного шара. Это скажет нам больше, нежели отвлеченное утверждение, что полная поверхность лунного шара в 14 раз меньше земной поверхности. По числу квадратных километров поверхность нашего спутника лишь немногим меньше поверхности обеих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

Чтобы сделать наглядными размеры лунных «морей» по сравнению с земными, здесь (рис. 48) на карту Луны наложены в том же масштабе контуры Черного и Каспийского морей. Сразу видно, что лунные «морья» не особенно велики, хотя и занимают заметную часть диска. Море Ясности, например ( $170\,000\text{ км}^2$ ), примерно в  $2\frac{1}{2}$  раза меньше Каспийского.

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

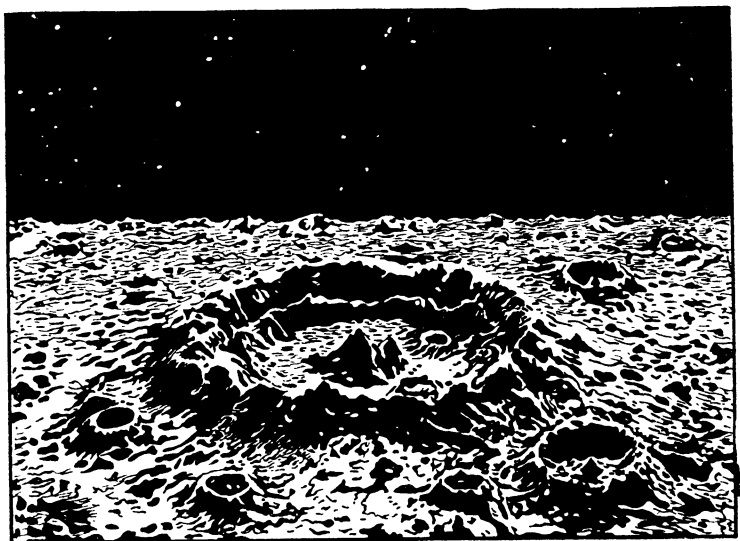
### ***Лунные пейзажи***

Фотографии лунной поверхности воспроизводятся в печати так часто, что вид характерных особенностей лунного рельефа — кольцевых гор, «цирков» — знаком, вероятно, каждому из наших читателей. Возможно, что иные наблюдали лунные горы и в небольшую трубу;



**Рис. 48. Земные моря по сравнению с лунными. Черное и Каспийское моря, перенесенные на Луну, были бы там крупнее всех лунных морей**

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



*Рис. 49. Типичные кольцевые горы Луны*

рассматривать предмет сверху, с высоты 400 тысяч км, и совсем иное — сбоку вблизи. Покажем на нескольких примерах, в чем проявляется это различие. Гора Эратосфен представляется с Земли в виде кольцевого вала с пиком внутри. В телескоп она вырисовывается рельефно и резко, благодаря четким, неразмытым теням, очертания которых не смягчаются атмосферой. Взгляните однако на ее профиль (рис 50): вы видите, что по сравнению с огромным поперечником цирка — 60 км —

высота вала и внутреннего конуса очень мала; отлогость склонов еще более скрадывает их высоту.

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 ров-



**Рис. 50. Профиль большой кольцевой горы**

ной местности, может видеть вокруг себя не далее 5 км. Это вытекает из формулы дальности горизонта<sup>1</sup>:

$$\text{дальность} = \sqrt{\text{высота глаза} \times \text{диаметр планеты}}.$$

Подставив в нее данные для Земли и для Луны, узнаем, что для человека среднего роста дальность горизонта

На Земле . . . . .	4,8 км.
На Луне . . . . .	2,5 км.

Какая картина представилась бы наблюдателю внутри большого лунного цирка показывает рис. 51. (Ландшафт изображен 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»?

<sup>1</sup> О вычислении дальности горизонта см. мою «Занимательную геометрию», главу «Где небо с землею сходится».

Очутившись по другую сторону вала, вне цирка, наблюдатель также увидел бы не то, что ожидает. Наружный скат кольцевой горы (ср. рис. 50) поднимается столь отлого, что путнику она вовсе не пред-



*Рис. 51. Какую картину увидел бы наблюдатель, помещенный в центре большой кольцевой горы на Луне*

ставляется горой; а главное, он не сможет убедиться, что видимая им холмистая гряда есть кольцевая гора, имеющая круглую котловину. Для этого придется



*Рис. 52. Половина горошины отбрасывает при косом освещении длинную тень*

перебраться через ее гребень; да и тут, как мы уже объяснили, лунного альпиниста не ожидает ничего примечательного.

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

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



*Рис. 53. Гора Пико кажется в телескоп крутой и острой (сравни рис. 54)*

Положите половину горошины выпуклостью вверх. Велика ли она? А посмотрите, какую длинную тень она отбрасывает (рис. 52). При боковом освещении на Луне тень бывает в 20 раз более высоты того тела, которое ее отбрасывает, и это сослужило астрономам хорошую службу: благодаря длинным теням, можно наблюдать в телескоп на Луне предметы высотой всего в 30 м. Но то же обстоятельство заставляет нас преувеличивать неровности лунной почвы. Гора Пико, например, так резко обрисовывается в телескоп, что невольно представляешь ее себе в виде острой и крутой скалы (рис. 53). Так ее и изображали в прежнее время. Но наблюдая ее с лунной поверхности, вы увидели бы совсем иную картину, — то, что изображено на рис. 54.



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



*Рис. 54. Наблюдателю на лунной поверхности гора Пико казалась бы отлогой*

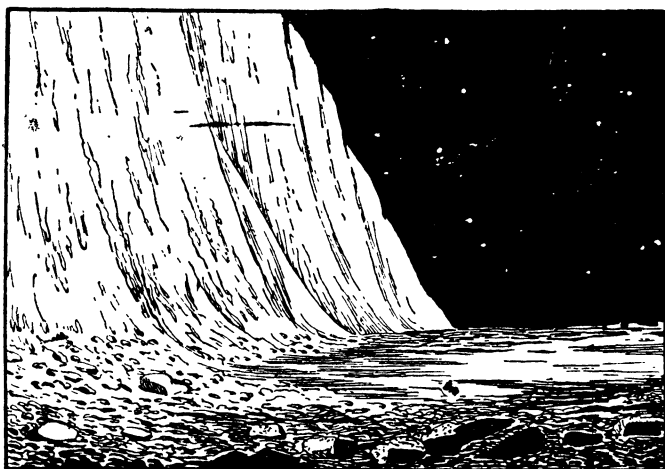


*Рис. 55. Так называемая «Прямая стена» на Луне; вид в телескоп*

роли в лунном пейзаже. Но перенесенные на поверхность нашего спутника, мы увидели бы в этих местах у своих ног глубокую черную пропасть, простирающуюся далеко за горизонт. Еще пример. На Луне есть так называемая «Прямая стена» — отвесный уступ, прорезывающий одну из ее равнин.

Видя эту стену на

карте (рис. 55), мы забываем, что она имеет 300 м высоты и что следовательно, находясь у основания стены, мы были бы подавлены ее грандиозностью. На рис. 56 художник попытался изобразить эту отвесную стену, видимую снизу: ее конец теряется где-то за горизонтом: ведь она тянется на 100 км!



*Рис. 56. Какой должна казаться «Прямая стена» наблюдателю, находящемуся близ ее основания*

Точно так же и тонкие трещины, различаемые в сильный телескоп на лунной поверхности, должны в натуре представлять огромные провалы (рис. 57).

## ***Лунное небо***

### ***Черный 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, расстился бы совершенно черный небосклон, усеянный — при ярком сиянии Солнца! — множеством звезд, четко выделяющихся, но не мерцающих. Причина — отсутствие на Луне атмосферы.



*Рис. 57. Одна из лунных «трещин», наблюдаемая в непосредственной близости*

«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 озер, издревле отражающие в себе далекие лазурные небеса, вмещающие целую бесконечность в своих глубинах, — ваше существование и вся красота ваша зависят исключительно лишь от той легкой оболочки, которая простирается над земным шаром. Без нее ни одной из этих картин, ни одной из этих пышных красок не существовало бы. Вместо лазурно-голубого неба, вас окружало бы беспредельное черное пространство; вместо величе-

ственных восходов и закатов Солнца дни резко, без переходов, сменялись бы ночами и ночи — днями. Вместо нежного полусвета, царящего всюду, куда прямо не попадают ослепительные лучи Солнца, яркий свет был бы лишь в местах, прямо озаренных дневным светилом, а во всех остальных царила 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 черное небо. Фантастическая картина освещения природы, нарисованная в сейчас приведенном отрывке, полностью осуществляется на Луне: черное небо, отсутствие зорь и сумерек, ослепительная яркость освещенных 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 отлете на Луну был оставлен в н и з у, неожиданно очутился здесь в в е р х у. Но это — одно из проявлений относительности понятий «верх» и «низ». Уже на нашей планете «верх» для москвича не тот, что для жителя Токио или Нью-Йорка. Общий «низ» для всех пунктов земного шара — направление к центру Земли — не есть «низ» для наблюдателей, находящихся на Луне или на Марсе: их «низ» — направление к центру их миров.

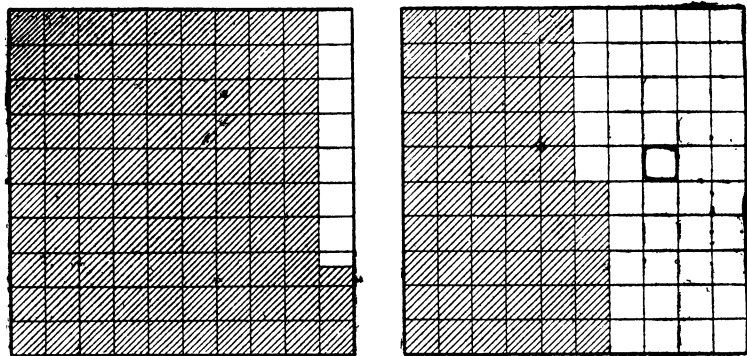
Во Вселенной нет одного для всех миров верха и низа, и вас не должно удивлять что, оставив Землю внизу, вы увидели бы ее вверху, находясь на Луне.

Висящий в лунном небе диск Земли огромен: поперечник его 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 6 раз превосходит лунную<sup>1</sup>; 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 Землею настолько ярко, что позволяет нам с расстояния 400 тысяч км различать ночную часть лунного шара в виде неясного мерцания внутри узкого серпа; оно носит название «пепельного света» Луны. Вообразите 90 полных лун, льющих с неба свой свет, да примите еще во внимание отсутствие на нашем спутнике атмосферы, поглощающей часть света, и вы получите некоторое представление о феерической картине лунных пейзажей, залитых среди ночи сиянием полной Земли.

---

<sup>1</sup> Лунная почва — следовательно вовсе не белая, как обычно думают, а скорее темная. Это не противоречит тому факту, что она сияет белым светом. «Солнечный свет, отраженный даже от черного предмета, остается белым. Если бы Луна была одета в самый черный бархат, она все-таки красовалась бы на небе, как серебристый диск», — пишет Тиндаль в своей книге о свете. Способность лунной почвы рассеивать озаряющие ее солнечные лучи в среднем одинакова с рассеивающей способностью влажного чернозема, а самые темные места рассеивают свет немного слабее, чем лава Везувия.

Мог ли бы лунный наблюдатель различать на земном диске очертания материков и океанов? Распространено ошибочное мнение, будто Земля в небе Луны представляет нечто похожее на школьный глобус. Так ее и изображают художники, когда им приходится ри-



**Рис. 58.** Стражательная способность поверхности Земли (налево) и Луны (направо). Луна рассеивает 14-ю долю (семь белых клеток из ста) падающего на нее солнечного света, а остальные лучи поглощает. Земля же рассеивает 0,45 озаряющего ее света — в шесть с лишком раз больше, чем Луна

совать земной шар в мировом пространстве: с контурами материков, с снежной шапкой в полярных частях и т. п. подробностями. Все 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:

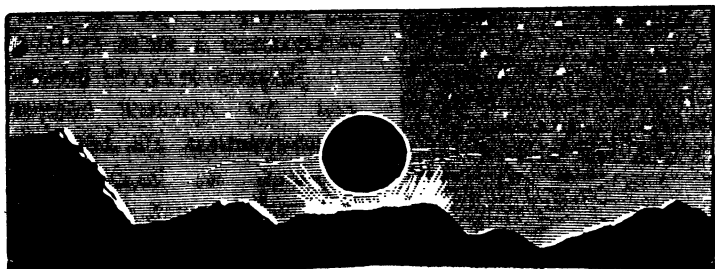
«Смотря на Землю из пространства, мы увидели бы диск цвета сильно белесоватого неба и едва ли различили бы какие-либо подробности самой поверхности. Громадная часть падающего на Землю солнечного света успевает рассеяться в пространстве атмосферой и всеми ее примесями раньше, чем дойдет до поверхности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

Итак, в то время как Луна отчетливо показывает нам все подробности своей поверхности, Земля скрывает свое лицо от Луны, да и от всей вселенной, под сияющим покрывалом атмосферы.

Но не только этим отличается лунное ночное светило от земного. На нашем небе месяц восходит и заходит, описывая свой путь вместе с звездным куполом. На лунном небе Земля такого движения не совершает. Она не восходит там и не заходит, не принимает участия в стройном, чрезвычайно медленном шествии звезд. Почти неподвижно висит она на небе, занимая для каждого пункта Луны определенное положение, в то время как звезды медленно скользят позади нее. Это — следствие уже рассмотренной нами особенности лунного движения, состоящей в том, что Луна обращена к Земле всегда одной и той же частью своей поверхности. Для лунного наблюдателя Земля висит неподвижно на небесном своде. Если Земля стоит в зените какого-нибудь лунного кратера, то она никогда не покидает своего зенитного положения. Если с какого-нибудь пункта она видна на горизонте, она вечно остается на горизонте этого места. Только лунные либрации, о которых мы уже беседовали, несколько нарушают эту неподвижность. Звездное небо совершает позади земного диска свое медленное, в 27<sup>1/3</sup>

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 черном небе.

Но оставаясь на одном месте, Земля быстро, в 24 часа, вращается вокруг своей оси, и если бы наша ат-

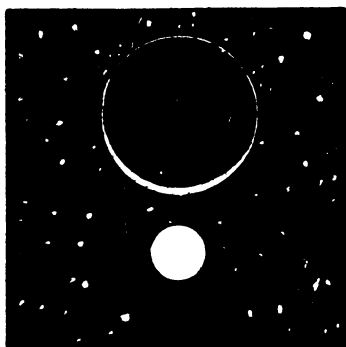


*Рис. 59. «Новоземлие» на небе Луны. Черный диск Земли  
виден в окружении яркой каймы из сияющей земной  
атмосферы*

мосфера была прозрачна для обитателей Луны, Земля могла бы служить для них удобнейшими небесными часами. Кроме того Земля имеет фазы такие же, какие показывает Луна на нашем небе. Значит, наш мир не всегда сияет на лунном небе полным диском: он появляется то в виде полукруга, то в виде серпа, более или менее узкого, то в виде неполного круга, смотря по тому, какая часть озаренной Солнцем половины Земли обращена к Луне. Начертив взаимное расположение Солнца, Земли и Луны, вы легко убедитесь, что Земля и Луна должны показывать друг другу противоположные фазы. Когда мы наблюдаем новолуние, лунный наблюдатель должен видеть полный диск Земли — «полноземлие»; напротив, когда у нас полнолуние, на Луне «новоземлие». Когда мы видим



узкий серп молодого месяца, с Луны можно было бы любоваться Землей на ущербе, при чем до полного диска нехватает как раз такого серпа, какой показывает нам в этот момент Луна. Впрочем фазы Земли очерчены не так резко, как лунные: земная атмосфера размывает границу света, создает тот постепенный пере-



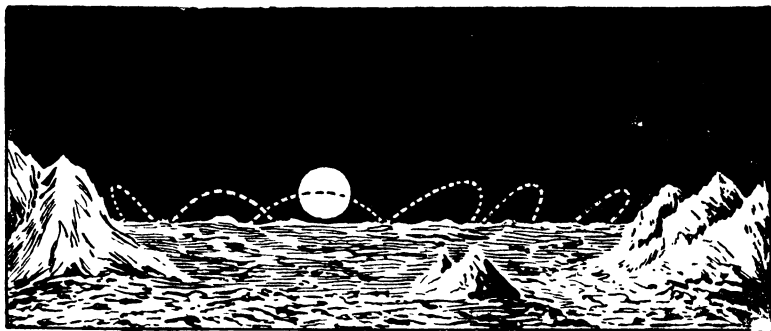
*Рис. 60. «Молодая» Земля на небе Луны. Белый кружок под земным серпом — Солнце*

ход 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  $5^\circ$ , т. е. на 10 своих поперечников), так что узкий, озаренный Солнцем край лунного шара мог бы быть виден, — он все же недоступен нашему зрению: блеск Солнца пог-

лощает скромное сияние серебряной нити новой Луны. Мы замечаем новую Луну обычно лишь в возрасте двух суток, когда она успевает отойти на достаточное расстояние от Солнца, и лишь в редких случаях (весной) — в возрасте одних суток. Не то бывает при наблюдении «новоземлия» с Луны: там нет атмосферы, рассеивающей солнечные лучи и создающей вокруг дневного светила сияющий ореол. Звезды и планеты не теряются там в лучах Солнца, а четко выделяются на небе в непосредственном соседстве с ним. Поэтому, когда Земля оказывается не прямо перед Солнцем

(т. е. не в моменты затмений), а несколько выше или ниже его, она всегда видна на черном усеянном звездами небе нашего спутника в форме тонкого серпа с рогами, обращенным от Солнца (рис. 60). По мере отхода Солнца влево серп словно перекачивается влево.



*Рис. 61. Медленное появление Земли из-под лунного горизонта и ее исчезновение вследствие так называемой «либрации» Луны. Пунктирные линии — пути центра земного диска*

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 нехватает узкого серпа, который темной полоской скользит близ края освещенного диска влево по мере отхода Луны вправо. Но Земля и Луна всегда показывают друг другу противоположные фазы; поэтому в описанный момент лунный наблюдатель должен был бы видеть тонкий серп «новоземля».

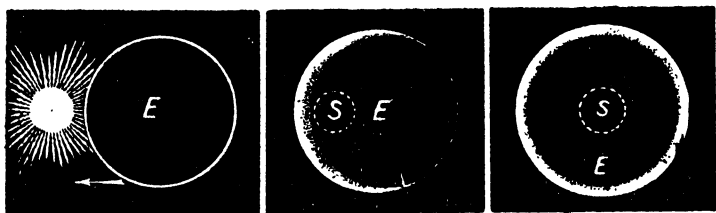
Мы заметили уже вскользь, что либрации Луны должны сказываться в том, что Земля не совсем неподвижна на лунном небе: она колеблется около среднего положения в северо-южном направлении на  $14^\circ$ , а в западно-восточном — на  $16^\circ$ . Для тех пунктов Луны, где Земля видна на самом горизонте, планета наша должна поэтому казаться иногда заходящей и вскоре затем вновь восходящей, описывая странные кривые (рис. 61). Такой своеобразный восход или заход Земли в одном месте горизонта, без обхода всего неба, может длиться до сотни часов.

### *Затмения на Луне*

Набросанную сейчас картину лунного неба дополним описанием тех небесных спектаклей, 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 вишнево-красных лучах, проникающих внутрь конуса земной тени. Если бы мы перенеслись в этот момент на поверхность Луны и взглянули оттуда на Землю, то ясно поняли бы причину красного освещения: на небе Луны земной шар, помещаясь впереди яркого, хотя и гораздо меньшего Солнца, представляется черным диском, окруженным багровой каймой своей атмосферы.

Эта-то кайма и освещает кровавым светом погруженную в тень Луну (рис. 62).

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.



*Рис. 62. Ход солнечного затмения на Луне: Солнце (S) постепенно заходит за земной диск (E), неподвижно висящий на лунном небе*

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

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

## *Для чего астрономы наблюдают затмения?*

Благодаря сейчас отмеченной случайности длинный конус тени, которую постоянно влачит за собою наш спутник, доходит как раз до земной поверхности. 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 и в одних частях орбиты бывает на 50 000 км ближе к Земле, чем в других: расстояние Луны меняется от 356 000 до 407 000 км.

Скользя по земной поверхности, конец лунной тени чертит на ней полосу, находясь на которой можно видеть солнечное затмение. Полоса эта не шире 300 км, так что число населенных 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, почему полное солнечное затмение — зрелище чрезвычайно редкое. Для каждого данного пункта земного шара оно случается один раз в два-три столетия. В Лондоне за шесть веков, протекших между 1140 г. и 1715 г., не было ни одного полного солнечного затмения.

Ученые буквально охотятся поэтому за солнечными затмениями, снаряжая специальные экспедиции в те иной раз весьма отдаленные для них места земного шара, откуда это явление можно наблюдать. Затмение Солнца 1936 г. (19 июня) видно было, как полное, только в пределах Советского Союза, и ради наблюде-

ния его в течение двух минут к нам приехало 70 иностранных ученых из десяти различных государств: Франции, Британии, Польши, Швеции, Голландии, Чехословакии, Италии, Соединенных Штатов Америки, Японии и Китая. При этом труды четырех экспедиций пропали даром из-за пасмурной погоды. Советских



*Рис. 63. Конец конуса лунной тени скользит по земной поверхности; в покрытых им местах наблюдается солнечное затмение*

экспедиций в полосу полного затмения было организовано около 30.

Затмения лунные, хотя и случаются в полтора раза реже солнечных, наблюдаются гораздо чаще. Этот астрономический парадокс объясняется очень просто. Есть существенное различие между затмениями солнечными и лунными. И в том и в другом случаях мы наблюдаем померкание светила. Но при солнечном затмении Солнце не лишается света физически, — оно продолжает попрежнему изливаться в пространство своей свет и только на пути к Земле встречает небольшой заслон в виде лунного шара. Это не «затмение» в строгом смысле слова, а только «заслонение».

Другое дело — затмение Луны. В этом случае Луна действительно перестаёт светить, так как погружается в широкую земную тень, и солнечные лучи почти не достигают ее поверхности.

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

Совсем иначе протекает затмение лунное. Луна темнеет реально. Поэтому затмение Луны наблюдается сразу на всей половине земного шара, где в это время Луна доступна взгляду, т. е. стоит над горизонтом. Последовательные фазы лунного затмения наступают для всех точек земной поверхности в один и тот же физический момент; разница обусловлена лишь различием в счете 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 далекие 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 черным кругом Луны.

Есть ли смысл ради столь быстротечных наблюдений снаряжать дорогие стоящие экспедиции? Разве нельзя производить те же наблюдения, не дожидаясь случайного заслонения Солнца Луною? 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.

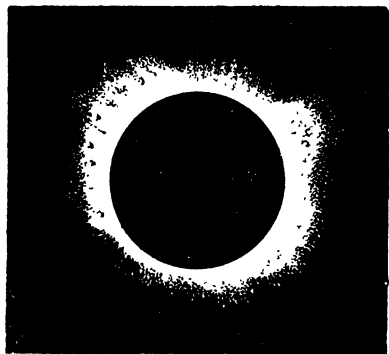
Такое искусственное солнечное затмение не может, однако, дать того, что наблюдается при заслонении Солнца Луною. Дело в том, что лучи Солнца прежде, чем достигнуть нашего глаза, проходят через земную атмосферу и рассеиваются здесь частицами воздуха. Оттого-то небо днем и кажется нам светлым голубым сводом, а не черным, усеянным звездами, каким представлялось бы оно нам даже днем при отсутствии атмосферы. Закрыв Солнце кружком, но оставаясь на дне воздушного океана, мы хотя и защищаем глаз от прямых лучей дневного светила, однако атмосфера над нами попрежнему залита солнечным светом и продолжает рассеивать лучи, затмевая звезды. Этого не бывает, если заслоняющий экран находится за пределами атмосферы. Луна есть именно такой экран, помещенный от нас в тысячу раз дальше крайней границы атмосферы (и притом случайно имеющий поперечник, ровно во столько раз меньший поперечника Солнца, во сколько раз Луна ближе к нам, чем Солнце). Лучи Солнца задерживаются этим экраном до того, как проникают в земную атмосферу, и рассеивание света в затененной полосе тем самым предупреждается. Правда, не полностью: в область тени проникают все же немногие лучи, рассеиваемые окружающими светлыми областями, и потому небо в момент полного солнечного затмения никогда не бывает так черно, как в полночь; звезды видны только самые яркие.

Какие же 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 темные на светлой ленте спектра, становятся светлыми на темном фоне в момент полного покрытия Солнца диском Луны: «спектр поглощения» превращается в «спектр испускания». Хотя это явление, дающее драгоценный материал для суждения о природе наружной оболочки Солнца, может быть при известных



**Рис. 64.** В момент полного затмения Солнца становится доступной наблюдению так называемая «солнечная корона»

условиях наблюдаемо и не только во время затмения, оно обнаруживается при затмениях настолько четко, что астрономы стремятся не упустить подобного случая.

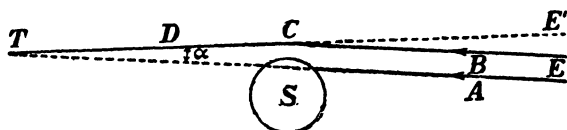
Вторая задача — исследование солнечной короны. Корона — самое замечательное из явлений, наблюдаемых исключительно в моменты полного солнечного затмения: вокруг совершенно черного круга Луны,

окаймленного огнистыми выступами («протуберанцами») наружной оболочки Солнца, сияет жемчужный ореол различных размеров и формы в разные затмения. Длинные лучи этого сияния нередко в несколько раз больше солнечного поперечника, а яркость составляет всего лишь половину света полной Луны.

Во время затмения 1936 г. «солнечная корона, — по словам директора Пулковской обсерватории, — оказалась исключительной яркости, ярче полной Луны, что бывает редко. Длинные, несколько размытые лучи короны простирались на три и более солнечных диа-

метра; вся корона представлялась в виде пятиконечной звезды, центр которой был занят темным диском Луны».

Природа солнечной короны до сих пор еще не выяснена окончательно. Астрономы делают во время затмений фотографические снимки короны, измеряют ее яркость, исследуют ее спектр в различных частях, и это поможет узнать ее физическое строение.



**Рис. 65. Одно из следствий теории относительности. Отклонение световых лучей действием могучего солнечного притяжения. По учению Эйнштейна, земной наблюдатель в Т видит звезду в точке E' по направлению прямой TBCE'; между тем как в действительности она находится в E и посылает свои лучи по искривленному пути ECДТ. При отсутствии Солнца световой луч от звезды E к Земле Т направлялся бы по прямой ET. Проверка этого следствия из общей теории относительности возможна только в моменты полного солнечного затмения**

Третья задача, выдвинутая только в последние годы, состоит в проверке одного из следствий общей теории относительности. Согласно учению Эйнштейна лучи отдаленных звезд, проходя мимо солнечного шара, испытывают влияние его могучего притяжения и претерпевают отклонение, которое должно обнаружиться в кажущемся смещении звезд близ солнечного диска.

Измерения во время затмений 1919, 1922 и 1926 гг. не дали, строго говоря, решающих результатов<sup>1</sup>, и вопрос об опытном подтверждении указан-

<sup>1</sup> Самый факт отклонения подтвердился, но полного количественного согласия с теорией не установлено. Наблюдения 1936 г. еще не обработаны до конца.

ного следствия из теории Эйнштейна остается до сих пор открытым.

Таковы главные цели, ради которых астрономы покидают место своей постоянной работы и отправляются в отдаленные, 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 затмению в августе 1887 г.; наблюдение производилось на берегу Волги, в городке Юрьевце). Приводим выдержку из рассказа Короленко с несущественными пропусками:

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

«Теперь уже это видно простым глазом, чему помогает тонкий пар, который все еще курится в воздухе, смягчая ослепительный блеск.

«Тишина. Кое-где слышно нервное, тяжелое дыхание...

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

«Среди молодежи царит беспечное оживление и любопытство.

«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 определенность красок. Количество света, видимо, убывает, но так как нет сгущенных теней вечера, нет игры отраженного на низших слоях атмосферы света, то эти сумерки кажутся необычными и странными. Пейзаж будто расплывается в чем-то; трава теряет зелень, горы как бы лишаются своей тяжелой плотности

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

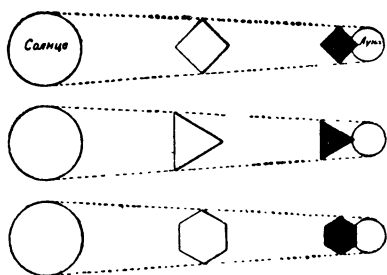
«Но вот эта искра исчезла. Она как-то порывисто, будто вырвавшись с усилием из-за темной заслонки, сверкнула еще золотой брызгой и погасла. И вместе с этим пролилась на землю густая тьма. Я удивил мгновение, когда среди сумрака набежала полная тень. Она появилась на юге и, точно громадное покрывало, быстро пролетела по горам, по рекам, по полям, обмахнув все 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 темную 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 синевы. Казалось, тонкий, неразличимый для глаза пепел рассыпался сверху над землей или будто тончайшая и пустая сетка повисла в воздухе. А там, где-то по бо-

кам, в верхних слоях чувствуется озаренная воздушная даль, которая сквозит в нашу тьму, сливая тени, лишая темноту ее формы и густоты. И над всею смущенною природой чудной панорамой бегут тучи, а среди них происходит захватывающая борьба... Круглое, темное, враждебное тело, точно паук, впилося в яркое солнце, и они несутся вместе в заоблачной вышине. Какое-то сияние, льющееся изменчивыми переливами из-за темного щита, придает зрелищу движение и жизнь, а облака еще усиливают иллюзию своим тревожным бесшумным бегом».

Затмения лунные 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 решающей роли, какую сыграло это убедительнейшее доказательство в истории величайшего географического предприятия — первого кругосветного плавания (Магеллана). Когда после утомительного долгого путешествия по пустынным водам Тихого океана матросы пришли в отчаяние, решив, что они безвозвратно удалились от твердой земли в водный простор, которому не будет конца, один Магеллан не терял мужества. «Хотя церковь постоянно твердила на основании священного писания, что Земля — обширная равнина, окруженная водами, — рассказывает спутник великого мореплавателя, — Магеллан черпал твердость в следующем соображении: при затмениях Луны тень, бросаема Землею, — круглая, а какова тень, таков должен быть и предмет, ее бросающий...» В старинных книгах по астрономии мы находим даже рисунки, поясняющие зависимость формы лунной тени от формы Земли (рис. 66).

Теперь мы в подобных доказательствах уже не нуждаемся. Зато лунные затмения дают современным астрономам возможность судить о преломляющей способности и степени прозрачности земной атмосферы по яркости и окраске Луны. Как известно, Луна не бесследно исчезает в земной тени, а продолжает быть видимой в солнечных лучах, загибающихся внутрь теневого конуса. Сила лунного освещения в эти моменты и его цветовые оттенки представляют для астрономии большой интерес и находятся, как установлено, в неожиданной связи с числом солнечных пятен. Кроме того, в последнее время пользуются явлениями лунных затмений, чтобы измерять быстроту остывания лунной почвы, когда она лишается солнечного тепла (мы еще вернемся к этому дальше).



*Рис. 66. Старинный рисунок, поясняющий мысль, что по виду земной тени на диске Луны можно судить о форме Земли*

### ***Почему затмения повторяются через 18 лет?***

Задолго до нашей эры вавилонские наблюдатели неба подметили, что ряд затмений — и солнечных и лунных — повторяются 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 более тщательного изучения движений нашего спутника. Остановимся на этом.

Чему равно время обращения Луны по ее орбите? Ответ на этот вопрос может быть различен в зависимости от того, в какой момент считать законченным оборот Луны вокруг Земли. Астрономы различают пять различных 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 центр ее 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 повторятся условия, при которых бывают затмения.

Как находить подобные промежутки времени? Для этого надо решить уравнение:

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

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

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

видим, что наименьшие точные решения этого уравнения таковы:

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

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. Развернем дробь

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

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

$$\frac{295\,306}{272\,123} = 1 \frac{23\,184}{272\,123}.$$

В последней дроби делим числитель и знаменатель на числитель:

$$\frac{295\,306}{272\,123} = 1 + \frac{1}{11 \frac{17\,098}{23\,184}}.$$

Числитель и знаменатель дроби  $\frac{17\,098}{23\,184}$  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 ее звенья и отбрасывая остальные, получаем такие последовательные приближения:

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

Пятая дробь в этом ряду дает уже достаточную точность. Если остановиться на ней, 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 10,3 (или 11,3) суток<sup>1</sup>.

Таково происхождение сароса. Зная, откуда он произошел, мы можем отдать себе отчет и в том, насколько точно можно помощью его предсказывать затмения. Мы видим, что считая сарос равным 18 г. 10 суткам, отбрасывают 0,3 суток. Это должно сказаться в том, что затмения, предусмотренные по такому учороченному 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 дает возможность предсказать лишь то, что в определенный день должно случиться затмение; но будет ли оно полное, частное или кольцеобразное, а также можно ли будет его наблюдать в тех же местах, как и в предыдущий раз, утверждать нельзя.

---

<sup>1</sup> Смотря по тому, входит ли в этот период 4 или 5 високосных лет.

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 и ее долей. Если бы предсказанное затмение не произошло, современные ученые готовы были бы допустить все, что угодно, только не ошибочность расчетов. Это удачно подмечено у Жюль Верна, который в романе «Страна мхов» рассказывает об астрономе, отправившемся в полярное путешествие для наблюдения солнечного затмения. Вопреки предсказанию, его 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 образчик истинно-научной логики!

### ***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 — затемненный диск Луны.

Наблюдались подобные явления и в 1936 г. в день частного лунного затмения 4 июля. «4 июля вечером в 20 час. 31 мин. вошла 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 закопченное стекло «увидеть линию, соединяющую центр Солнца и Луны», но мысленно провести ее мимо Земли при таком расположении вполне возможно. Может ли наступить затмение, если Земля не заслоняет Луны от Солнца? Надо ли придавать веру такому свидетельству очевидца?

В действительности однако в подобном наблюдении нет ничего невероятного. То, что Солнце и затемненная Луна видны на небе одновременно, — явление только кажущееся, обусловленное искривлением лучей света в земной атмосфере. Благодаря такому искривлению, называемому «атмосферной рефракцией», светила кажутся нам выше своего истинного положения (стр. 52 рис. 18). Когда мы видим Солнце или Луну близ самого горизонта, они геометрически находятся ниже горизонта. Ничего нет поэтому невозможного в том, что диск Солнца и затемненная Луна видны оба над горизонтом в одно время.

«Обыкновенно, — говорит по этому поводу Фламарион, — 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 ч. 29 мин., Солнце же закатывалось в 5 ч. 39 мин., а между тем полное затмение уже началось. 4 декабря 1880 г. произошло полное лунное затмение в Париже; в этот день Луна вошла в 4 часа, а Солнце закатилось в 4 ч. 2 мин., и это было почти в середине затмения, продолжавшегося от 3 ч. 3 мин. до 4 ч. 33 мин.

Если это не наблюдается гораздо чаще, то лишь по недостатку наблюдателей. Чтобы видеть Луну в полном затмении до заката Солнца или после его восхода, надо лишь выбрать такое место на Земле, чтобы Луна находилась на горизонте около середины затмения.

### ***Что не всем известно о затмениях***

#### **В о п р о с ы**

1. Сколько времени могут длиться солнечные и сколько лунные затмения?

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 черный диск Луны — справа или слева?

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

7. Можно ли читать книгу, во время полного солнечного затмения?

8. Почему пятна света в тени листвы имеют во время солнечного затмения форму серпов (рис. 67)?

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

10. Почему на солнечное затмение смотрят через закопченное стекло?

#### **О т в е т ы**

1. Наибольшая продолжительность полной фазы солнечного затмения  $7\frac{1}{2}$  мин. (на экваторе;

в высших широтах — меньше). Все же фазы затмения могут захватить до  $4\frac{1}{2}$  ч. (на экваторе).

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

2. Число всех затмений в течение года — и солнечных и лунных — не может быть больше 7 и меньше 2.



*Рис. 67. Пятна света в тени древесной листвы в момент неполной фазы солнечного затмения имеют серповидную форму*

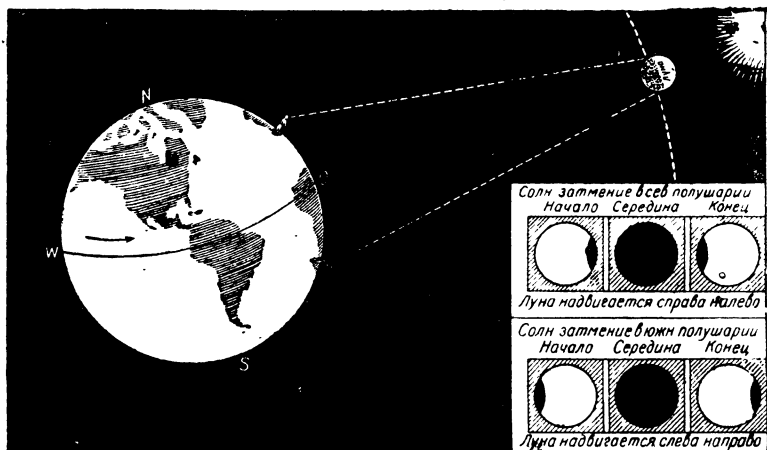
(В 1935 г. насчитывалось 7 затмений: 5 солнечных и 2 лунных).

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, наступит 21 сентября 1941 г. Полоса полного затмения пройдет через Северный Кавказ и Среднюю Азию. Это затмение будет видно и в остальном СССР, но как частное.

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. 68 — 69).

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



**Рис. 68—69. Почему для наблюдателя в северном полушарии Земли диск Луны во время затмения надвигается на Солнце справа, для наблюдателя же в южном полушарии надвигается слева?**

7. Читать книгу при полном затмении Солнца нельзя.

8. Пятна света в тени листы есть не что иное, как изображения Солнца. Во время затмения Солнце имеет вид серпа, и такой же вид должны иметь его изображения в тени листы (рис. 67).

9. Лунный серп ограничен снаружи полукругом, изнутри — полуэллипсом. Солнечный серп огра-

ничен двумя дугами круга одного радиуса (см. статью «Загадка лунных фаз»).

10. На Солнце, хотя бы и частью заслоненное Луною, нельзя смотреть незащищенными глазами. Солнечные лучи обжигают самую чувствительную часть сетчатой оболочки глаза, заметно понижая остроту зрения в продолжение ряда последующих недель, а иногда и на всю жизнь.

Еще в начале XIII в. новгородский летописец отметил: «От сего же знамения в Великом Новгороде едва кто от человек видети лишился». Избежать ожога, однако, легко, если заpastись густо закопченным стеклом. Закоптить его надо на свечке настолько густо, чтобы диск Солнца казался через такое стекло резко очерченным кружком, без лучей и ореола; для удобства закопченную 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 стекол, с различной густотой затемнения.

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

---

<sup>1</sup> Желаящим подробнее ознакомиться с тем, как протекает полное солнечное затмение и какие наблюдения производят астрономы во время этих явлений, рекомендую книгу «Полное солнечное затмение 1936 г.», составленную группой специалистов под общей редакцией проф. А. А. Михайлова. Книга предназначена для любителей астрономии, преподавателей и учащихся второй ступени.

## *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 чем может быть речь, это температура почвы.

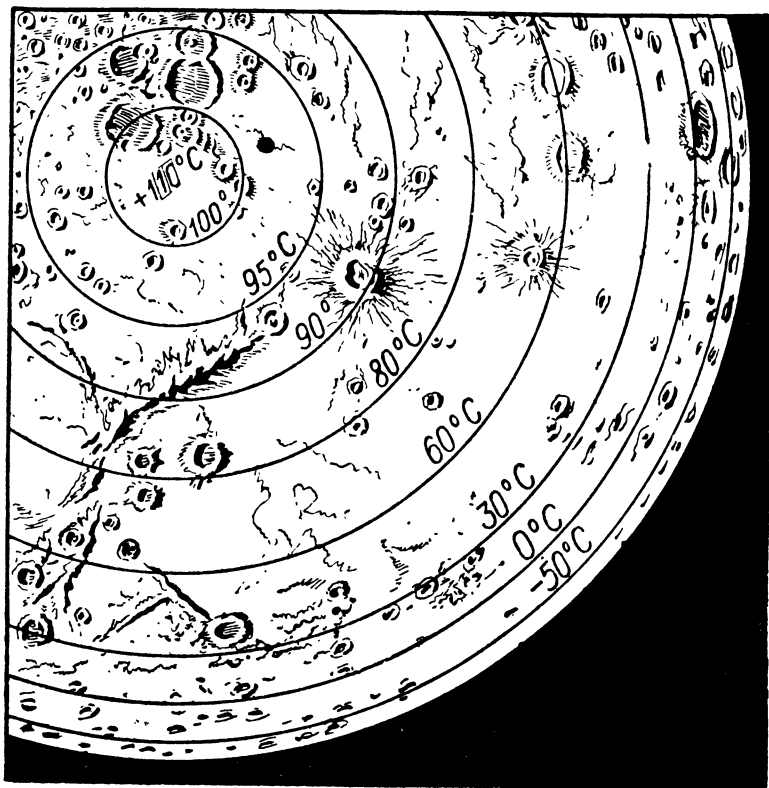
Итак, насколько нагрета почва Луны? Астрономы располагают теперь прибором, дающим возможность измерять температуру не только далеких светил, но и отдельных их участков. Устройство прибора основано на явлении термоэлектричества: в проводнике, спаянном из двух разнородных металлов, пробегает электрический ток, когда один спай теплее другого; сила возникающего тока зависит от разности температур и позволяет измерить количество поглощенной теплоты.

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 звезд 13-й величины, повышающее температуру на десятки миллионные доли градуса. Звезды этого класса не видны без телескопа; они светят в 600 раз слабее, нежели звезды, находящиеся на границе видимости простым глазом. Уловить столь ничтожное количество тепла — все равно, что обнаружить теплоту свечи с расстояния нескольких тысяч километров.

Располагая таким почти чудесным измерительным прибором, астрономы вводили его в отдельные участки телескопического изображения Луны (работа производилась с величайшим в мире телескопом обсерватории на горе Вильсон в США), измеряли получаемое ими



тепло и на этом основании оценивали температуру различных частей Луны (с точностью до  $10^\circ$ ). Вот результаты (рис. 70): в центре диска полной Луны тем-



*Рис. 70. Температура на Луне достигает в центре видимого диска  $110^\circ$  и быстро падает к краям диска до  $50^\circ$  и ниже. (По данным обсерватории на горе Вильсон в США)*

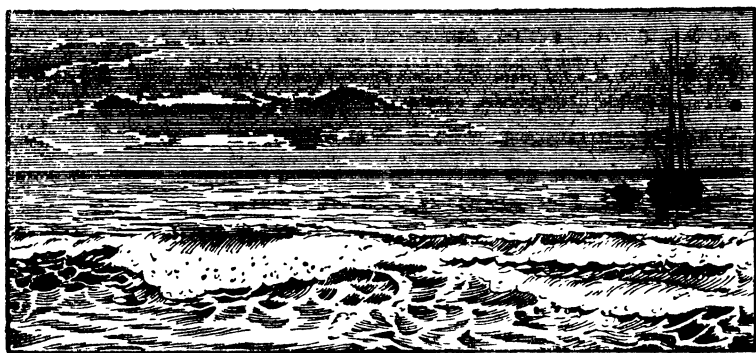
пература выше  $100^\circ$ ; вылитая здесь на лунную почву вода вскипала бы даже под нормальным давлением. «На Луне нам не пришлось бы готовить себе обед на плите, — пишет один астроном, — ее роль могла бы

выполнить любая ближайшая скала». Начиная от центра диска, температура равномерно убывает во все стороны, но еще в 2 700 км от центральной точки она не ниже  $80^{\circ}$ . Затем падение температуры идет быстрее, и близ края освещенного диска господствует мороз в  $-50^{\circ}$ . Еще холоднее на темной, отвернутой от Солнца стороне Луны, где мороз достигает  $-153^{\circ}$ .

Раньше было упомянуто, что во время затмений, когда лунный шар окунается в земную тень, почва Луны, лишенная солнечного света, быстро охлаждается. Было измерено, как велико это остывание: в одном случае установлено падение температуры во время затмения с  $+70^{\circ}$  до  $-117^{\circ}$ , т. е. почти на двести градусов в течение каких-нибудь  $1\frac{1}{2}$ —2 ч. 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 счет земной атмосферы, сравнительно прозрачной для видимых лучей Солнца и задерживающей невидимые «тепловые» лучи нагретой почвы.

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





### *Глава третья*

## *Планеты*

### *Планеты при дневном свете*

**М**ожно ли днем, при ярком сиянии Солнца видеть планеты? В телескоп — безусловно: астрономы нередко производят наблюдения над планетами днем, различая их в трубы даже средней силы, правда, не так отчетливо, как ночью. В трубу, диаметр наружного конца которой 10 см, можно днем не только видеть Юпитер, но и различать на нем характерные полосы. Свои классические наблюдения Меркурия итальянский астроном Скиапарелли производил преимущественно днем, — 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 планеты доступны днем и невооруженному глазу.

Особенно часто удастся наблюдать на дневном небе самую яркую из планет, Венеру, — конечно, в пору наибольшей ее яркости. Известен рассказ Араго

о Наполеоне I, который во время своего парадного следования по улицам Парижа был обижен тем, что толпа, пораженная 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 днем отмечены и русскими летописцами. Так, новгородская летопись говорит, что в 1331 г. днем «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 днем простым глазом не только Венеру, но и Юпитер и даже Меркурий.










Здесь уместно остановиться на вопросе о сравнительной яркости планет. В кругу неспециалистов возникают иногда сомнения: какая планета достигает большей яркости — 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 яркости:

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

Мы еще вернемся к этой теме в следующей главе, когда познакомимся с числовой оценкой яркости небесных светил.

## Планетная азбука

Для обозначения Луны и планет современные астрономы употребляют значки весьма древнего проис-

Луна		<p>хождения (рис. 71 и 72). Их начертание требует пояснений, кроме, конечно, знака Луны, понятного самого по себе. Знак Меркурия есть упрощенное изображение жезла мифического бога Меркурия, покровителя этой планеты. Знаком Венеры служит изображение ручного зеркала — эмблемы женственности и красоты, присущих богине Венере. Символом для Марса, покровительствуемого богом войны, выбрано копье, заслоненное щитом, — атрибуты воина. Знак Юпитера не что иное, как начальная буква греческого наименования Юпитера — Zeus (Z — в рукописном шрифте). Знак Сатурна, по толкованию Фламариона, есть искаженное изображение «косы времени» — традиционной принадлежности бога судьбы.</p>
МЕРКУРИЙ		
ВЕНЕРА		
МАРС		
ЮПИТЕР		
САТУРН		
УРАН		
НЕПТУН		
ПЛУТОН		

**Рис. 71. Условные значки для Луны и планет**

Рис. 71. Условные значки для Луны и планет



Рис. 72. Условные значки для Земли и Солнца

Перечисленные сейчас знаки употребляются с 9 в. Знак Урана, разумеется, более позднего происхождения: планета эта открыта лишь в конце 18 в. Ее знак — кружок с буквой Н — должен напоминать нам о великом Гершеле (Herschel), которому мы обязаны открытием Урана. Знак Нептуна (планеты, открытой в 1846 г.) отдает дань мифологии изображением трезубца бога морей. Знак для недавно открытой последней планеты, Плутона, понятен сам собой.

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

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 — *mardi* — 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.

Наконец, отголоском средневекового почтения к планетным знакам является употребление современными ботаниками и зоологами знаков Марса и Венеры для обозначения мужских и женских экземпляров. Ботаники употребляют также астрономический знак Солнца для обозначения однолетних растений; для двухлетних берется тот же знак, но видоизмененный (с двумя точками в кружке); для многолетних трав — знак Юпитера, для кустарников и деревьев — знак Сатурна.

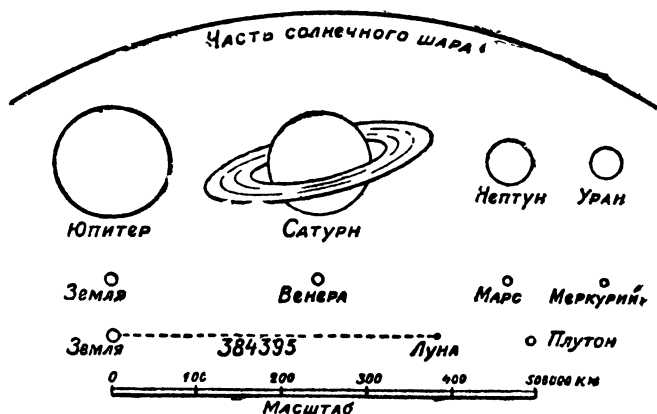
### ***Чего нельзя изобразить***

К числу вещей, которых нет никакой возможности изобразить на бумаге, принадлежит точный план нашей солнечной системы. То, что под именем плана солнечной системы приводится в книгах по астрономии, есть чертеж планетных путей, а никак не солнечной системы: самих планет на таких чертежах изобразить нельзя без грубого нарушения масштаба.

Солнечная система — невообразимо обширное пространство, в котором затеряно несколько крупинок вещества. Планеты по сравнению с разделяющими их расстояниями так ничтожно малы, что трудно даже составить себе сколько-нибудь правильное представление об этом соотношении. Мы облегчим работу воображения, если обратимся к уменьшенному подобию планетной системы. Тогда станет ясно и то, почему нет возможности представить солнечную систему ни на каком чертеже.

Изберем для земного шара самую скромную величину — булавоочную 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, помещенный в одном углу просторной комнаты, и булавочная головка в другом — вот подобие того, что



**Рис. 73. Сравнительные размеры планет и Солнца. Вся орбита Луны могла бы поместиться внутри солнечного шара**

представляют собой в мировом пространстве Солнце и Земля. Вы видите, что здесь в самом деле гораздо больше пустоты, чем вещества. Правда, между Солнцем и Землей есть две планеты — Меркурий и Венера, но они мало способствуют заполнению пространства; в нашей комнате прибавятся лишь две крупинки: одна в  $\frac{1}{3}$  мм поперечником (Меркурий) на расстоянии 4 м от мяча-Солнца, и вторая — с булавочную головку (Венера) — в 7 м от мяча.

Но будут еще крупинки вещества по другую сто-



рону 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. 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, в числе свыше тысячи 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 9 его спутников. Размеры этих больших лун — около  $\frac{1}{2}$  мм, остальные представляются в модели опять-таки бактериями. Наиболее удаленный из его спутников, IX, пришлось бы поместить в 2 м от ореха-Юпитера. Значит, вся система Юпитера имеет у нас 4 м в поперечнике. Это очень много, по сравнению с системой Земля — Луна (поперечник 6 см), но довольно скромно, если сопоставить такие размеры с шириной орбиты Юпитера (104 м) на нашей модели.

Уже и теперь очевидно, насколько безнадежны попытки уместить план солнечной системы на одном чертеже. Невозможность эта станет в дальнейшем еще убедительнее. Планету Сатурн пришлось бы поместить в 100 м от мяча-Солнца в виде орешка 8 мм поперечником. Прославленные кольца Сатурна, шириною 4 мм и толщиной  $\frac{1}{250}$  мм, будут находиться в 1 мм от поверх-

ности орешка. 9 спутников разбросаны вокруг планеты на протяжении  $1\frac{1}{2}$  м в виде крупинок в  $1/10$  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 4 пылинками-спутниками, разбросанными на расстоянии до 4 см от центральной крупинки.

В 300 м от центрального крокетного пара медленно совершает свой путь планета, еще недавно считавшаяся последней в нашей системе, — Нептун: горошина с единственным спутником (Тритоном), в 3 см от нее.

Еще далее обращается новооткрытая небольшая планета — Плутон, расстояние которой в нашей модели выразится 400 м, а поперечник раза в два меньше 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 звезд» (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 дальнейший (афелий) — в 1700 м от него, в 4 раза далее Плутона. Если исчислить размеры солнечной системы по этим кометам, то наша модель вырастет до  $3\frac{1}{2}$  км в поперечнике и займет площадь 9 км<sup>2</sup> — при величине Земли, не забудьте.

с булавочную головку! На этих 9 км<sup>2</sup> помещается такой инвентарь:

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

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

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

### *Почему на Меркурии нет атмосферы?*

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

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

Скорость, необходимая для полного преодоления притяжения Меркурия на его поверхности, равна 4 900 м/сек, а этой скорости при невысоких температурах не достигают быстреешие из молекул нашей атмосферы<sup>1</sup>. И тем не менее Меркурий лишен атмосферы. Причина та, что он движется вокруг Солнца наподобие Луны около Земли, т. е. обращен к центральному светилу всегда одной и той же своей сто-

---

<sup>1</sup> См. гл. II, стр. 101. («Почему на Луне нет атмосферы?»).

роной. 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, отвернутой от Солнца, царит 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  $2\frac{1}{2} \times \times 2\frac{1}{2}$ , 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<sup>1</sup> (около— $264^{\circ}\text{C}$ ), так как теплота дневной стороны не может проникать сквозь толщу планеты. А на границе дневной и ночной стороны существует полоса шириною в  $23^{\circ}$ , куда вследствие либрации<sup>2</sup> 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 замерзнет. Вследствие резкого понижения атмосферного давления, туда устремится газовая оболочка дневной стороны

---

<sup>1</sup> Под условным выражением «температура мирового пространства» физики разумеют ту температуру, которую показал бы в пространстве зачерненный термометр, заслоненный от лучей Солнца. Эта температура несколько выше точки абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) вследствие греющего действия звездного излучения. См. книгу Я. И. Перельмана «Знаете ли вы физику?»

<sup>2</sup> О либрации см. очерк «Видимая и невидимая сторона Луны» (гл. II, стр. 93). Для либрации Меркурия по долготе имеет силу то же приближенное правило, которому подчинена Луна: Меркурий постоянно обращен одной и той же стороной не к Солнцу, а к другому фокусу своей довольно вытянутой орбиты.

планеты и затвердеет в свою очередь. В итоге вся атмосфера должна в твердом виде собраться на ночной стороне планеты, вернее в той ее части, куда Солнце вовсе не заглядывает. Таким образом отсутствие на Меркурии атмосферы является неизбежным следствием физических законов<sup>1</sup>.

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

Если для Меркурия и Луны можно считать дока-

---

<sup>1</sup> Это не препятствовало, однако, возникновению недавно среди астрономов оживленного спора о существовании атмосферы Меркурия; спор велся на страницах «Журнала Британской астрономической ассоциации» в продолжение всего 1935 г.

занным отсутствие атмосферы, то для Венеры, второй от Солнца планеты нашей системы, присутствие атмосферы совершенно несомненно.

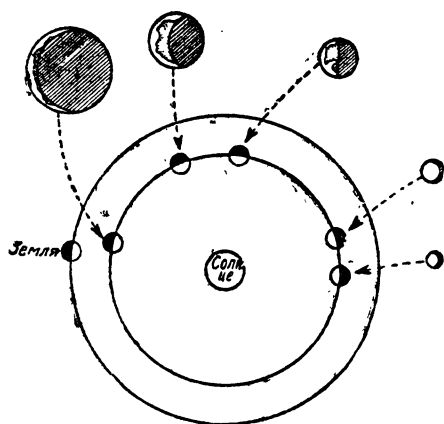
Установлено даже, что в атмосфере, — точнее — в стратосфере Венеры, много углекислого газа — в десять тысяч раз больше, чем в земной атмосфере.

### *Фазы Венеры*

Великий немецкий 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 астроному: поставив глаз к окуляру, женщина не выразила никакого изумления по поводу вида планеты, а осведомилась лишь, почему серп обращен в трубе в обратную сторону... Гаусс не подозревал до того времени, что мать его различает фазы Венеры даже и невооруженным 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 их поперечник неодинаков: узкий серп по диаметру значительно больше полного диска (рис. 74). 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. Удаление Венеры от нас изменяется, значит, в этих пределах. В ближайшем

соседстве с Землей Венера обращена к нам неосвещенной стороной, и потому наиболее крупная ее фаза совершенно невидима. Отходя от этого положения «нововенерия», планета видна в виде серпа, диаметр которого тем меньше, чем серп шире. Наибольшей



**Рис. 74. Фазы Венеры. Почему Венера в разных фазах имеет различный видимый диаметр**

яркости Венера достигает не тогда, когда она видна полным диском, и не тогда, когда диаметр ее наибольший, а в некоторой промежуточной фазе. Полный диск Венеры виден под углом зрения  $10''$ , наибольший серп — под углом  $64''$ . Высшей же яркости планета достигает спустя три декады после «нововенерия», когда угловой диаметр ее  $40''$  и угловая ширина серпа —  $10''$ . Тогда она светит в 13 раз ярче Сириуса, самой блистательной 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: великое противостояние Марса. Памятен год последнего «великого противостояния» красной планеты —

1924-й. Но мало кто знает, почему событие это повторяется 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 сойтись вновь через такой промежуток времени, который заключает 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

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

Развернем последнюю дробь в непрерывную (ср. стр. 135), получаем

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

Взяв первые три звена, имеем приближение

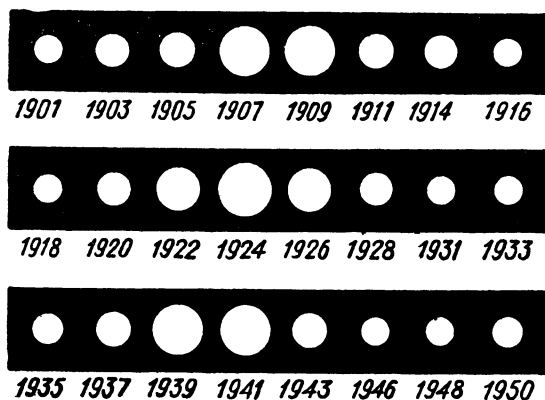
$$1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{7}} = \frac{15}{8}$$

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 времен 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). Развертываем это дробное число в непрерывную дробь:

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



**Рис. 75.** Изменение видимого диаметра Марса в различные противостояния первой половины XX века. В 1909 г., в 1924 г. и в 1939 г. великие противостояния

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. Взаимное расстояние Юпитера и Земли в эти моменты равно 587 миллионам км. Это — наименьшее расстояние, на какое подходит к нам крупнейшая планета солнечной системы.

## *О том, чего нет в этой книге*

Читатель ждет теперь рассказа о жизни на самой интересной из планет — на нашем соседе Марсе, и будет разочарован, не найдя в «Занимательной астрономии» ни слова о таком волнующем предмете. В этой книге ничего не будет сказано ни о цветущих долинах Марса, ни о замечательной сети его оросительных каналов, ни о сигналах, посылаемых нам его разумными обитателями, ни о многих других увлекательных вещах, о которых не-астрономы знают гораздо больше, чем самые сведущие специалисты.

Если вы спросите о них ученого-астронома, он выслушает вас с улыбкой и скажет, что все перечисленное, быть может, в самом деле имеется на Марсе, но что науке об этом ничего достоверного неизвестно.

Более разговорчивый астроном, пожалуй, прибавит к сказанному свой скромный взгляд на дело. А именно, что столь холодный мир, как Марс, атмосфера которого более разрежена, чем над самыми высокими горами Земли, мир, страдающий от недостатка влаги и скупое наделенный кислородом<sup>1</sup>, мир, где преобладающим ландшафтом является морозная и безводная пустыня, — такой негостеприимный мир едва ли приходится считать хорошо приспособленным для жизни.

Есть, правда, некоторые основания предполагать, что темные области («океаны») Марса представляют собой не водные пространства, а влажные равнины, по-

---

<sup>1</sup> «Если в атмосфере Марса и существует кислород, то его количество должно быть меньше 1% кислорода, заключенного в земной атмосфере», — так формулирует результаты новейших наблюдений пулковский астрофизик Г. А. Тихов.

крытые растительностью. Но это не более, как догадка, не притязающая на непреложность.

Впрочем, если бы на Марсе и имелись налицо все благоприятствующие жизни условия, из этого никак еще не следовало бы, что жизнь там действительно есть. Кошелек может быть превосходно приспособлен для хранения в нем денег, и все же не заключать ни одной копейки; на свете достаточно кошельков, подтверждающих эту печальную истину.

Конечно, никому не возбраняется верить в существование на Марсе живой природы и населять его культурными инженерами, но никакой ответственности за подобные домыслы и чаяния наука не несет. Прославленные «каналы» этой планеты скорее всего не существуют реально, представляя собой своеобразный обман зрения. Самые сильные телескопы не обнаруживают никаких каналов: мощные инструменты «чересчур сильны для каналов», как выразился один американский астроном<sup>1</sup>.

Догадки, предположения, гипотезы имеют в науке свою цену, но им место в книгах иного содержания и назначения, чем «Занимательная астрономия»: в ней я стремлюсь ограничиться лишь областью твердо доказанного.

---

<sup>1</sup> По вычислениям Фламариона, основанным на наблюдениях Скиапарелли, в трубу с увеличением около 500 раз «такие острова, как Сицилия, Цейлон, Исландия, или такие озера, какие встречаются в Центральной Африке, были бы нам видны», если бы они существовали на Марсе. «Аппенинский полуостров, Адриатическое море, Красное море, — продолжает он, — мы могли бы на Марсе различить». Отсюда еще очень далеко до различения таких тонких подробностей, как каналы Марса. Правда, современные телескопы сильнее того, которым пользовался Скиапарелли, но большее увеличение связано с ухудшением чистоты изображений.

### Планета или меньшее солнце?

Такой вопрос можно поставить относительно Юпитера — самой крупной из планет нашей системы. Этот исполин, из которого можно было бы сделать 1 300 шаров такого объема, как земной, своим могучим притяжением заставляет обращаться вокруг себя целый рой спутников. Астрономами обнаружено у Юпитера 9 лун; самые крупные из них — те 4, которые еще 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 перечислены эти спутники сопоставлены с размерами диаметров Меркурия и Марса; заодно указаны также перечислены первые двух спутников Юпитера, а также и нашей Луны:

	Поперечник
Марс . . . . .	6 770 км
III спутник Юпитера . . . . .	5 150 "
IV " " . . . . .	5 180 "
Меркурий . . . . .	4 800 "
I спутник Юпитера . . . . .	3 730 "
Луна . . . . .	3 480 "
II спутник Юпитера . . . . .	3 150 "

Рис. 76 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. Направо от Луны — Марс и Меркурий. Рассматривая этот чертеж, вы должны иметь в виду, что перед вами не диаграмма, а рисунок: соотношение площадей кружков не дает правильного представления о соотношении объемов шаров. Объемы шаров относятся, как кубы их поперечников. Если диаметр Юпитера в 11 раз больше диаметра Земли, то объем его больше в  $11^3$ , т. е. в 1 300 раз. Сообразно этому вы

и должны исправить зрительное впечатление от рис. 76, 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:

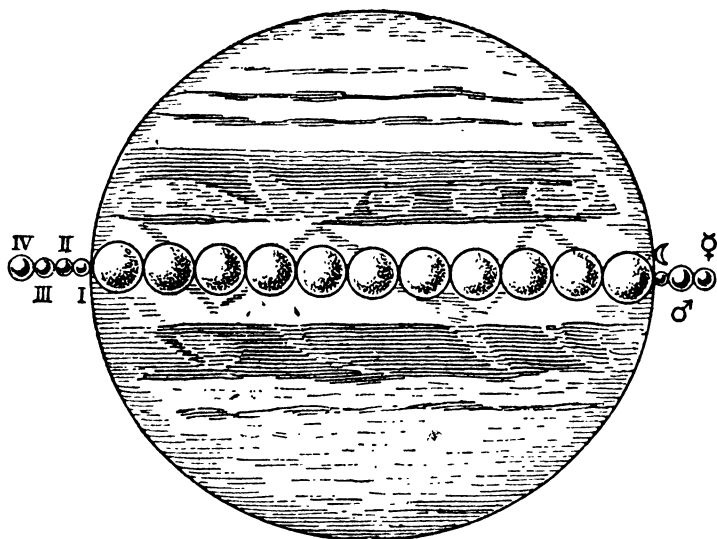
Расстояния	В километрах	Сравни- тельные
Луны от Земли . . . . .	380 000	1
III спутника от Юпитера . . . . .	1 070 000	3
IV " " " . . . . .	1 900 000	5
IX " " " . . . . .	24 000 000	63

Вы видите, что система Юпитера имеет размеры в 63 раза большие, чем система Земля — Луна; столь широко раскинувшейся семьей спутников не владеет никакая другая планета.

Не без основания, значит, уподобляют Юпитер маленькому солнцу. Масса его втрое больше массы всех прочих планет, вместе взятых; и исчезни вдруг Солнце, — 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 — 1,3 по отношению к воде — близка к плотности Солнца (1,4); подобно Солнцу, Юпитер менее плотен, чем обращающиеся вокруг него тела: плотность его спутников достигает 2,9, т. е. вдвое с лишним больше плотности центральной планеты.

Еще совсем недавно уподобление Юпитера Солнцу простирали и дальше; предполагали, что эта планета не покрыта твердой корой и едва вышла из стадии самосветящегося тела. Сейчас этот взгляд приходится



*Рис. 76. Юпитер и его спутники (налево) по сравнению с размерами Земли (вдоль диаметра), Луны, Марса и Меркурия (направо)*

безусловно отвергнуть: непосредственное измерение температуры Юпитера показало, что она чрезвычайно низка: на  $100^{\circ}\text{C}$  ниже нуля! Не следует думать, что речь идет о температуре наружных слоев юпитеровой атмосферы; измерение производилось для инфракрасных лучей, беспрепятственно пронизывающих атмосферу и испускаемых несомненно самой поверхностью планеты. Температура  $-100^{\circ}\text{C}$  показывает, что Юпитер вполне остывшая планета, находящаяся, так сказать, исключительно на энергетическом иждивении далекого Солнца, живущая всецело на его тепло-

вом пайке<sup>1</sup>. Пайек этот очень скуден. Если Земля ежеминутно получает от Солнца примерно по 2 малых калории на каждый  $\text{см}^2$ , перпендикулярно поставленный к его лучам, то Юпитер, удаленный в 5,2 раза более, получает лучистой энергии в  $5,2 \times 5,2$  т. е. в 27 раз меньше: 0,074 малых калорий.

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.

Новейшими исследованиями в стратосфере Юпитера (а также его соседа Сатурна) неожиданно обнаружено несомненное присутствие аммиака и метана<sup>2</sup>.

### *Исчезновение колец Сатурна*

В 1921 г. разнесся 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. разруше-

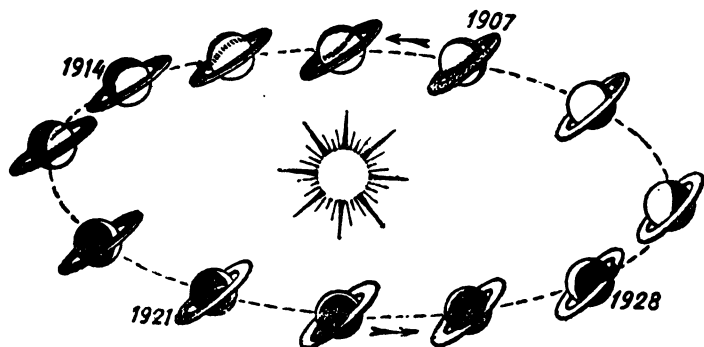
---

<sup>1</sup> То же нужно сказать и о Сатурне, температура поверхности которого еще ниже, чем для Юпитера ( $-150^\circ \text{Ц}$ ).

<sup>2</sup> Еще значительнее содержание метана в атмосфере более далеких планет — Урана и особенно Нептуна.

ние колец, и украсила событие дальнейшими подробностями, приличествующими мировой катастрофе; отсюда падение обломков к Солнцу и неизбежное столкновение с Землей.

Столько шуму наделало невинное сообщение астрономического календаря об оптическом исчезновении



**Рис. 77.** *Какие положения занимают Сатурновы кольца по отношению к Солнцу в течение 29-летнего обхода планеты по орбите*

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  $27^\circ$ , но за время 29-летнего обхода по планетной орбите кольца в двух диаметрально противоположных ее точках становятся ребром к Солнцу и к земному наблюдателю (рис. 77). А в двух других



точках, расположенных на  $90^\circ$  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 непонятного исчезновения колец. История эта очень любопытна. В то время существовал обычай закреплять за собой право на первенство в каком-либо открытии своеобразным способом. Напав на открытие, которое нуждается в дальнейшем подтверждении, ученый из опасения, чтобы его не опередили другие, прибегал к помощи анаграммы (перестановки букв): он кратко объявлял о сущности своего открытия в форме анаграммы, истинный смысл которой был известен лишь ему одному. Это давало ученому возможность не спеша проверить свое открытие, а в случае появления другого претендента — доказать свое 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 сделать заявку на это открытие и опубликовал следующий набор букв:

Smaismiclmibpobtalcvmbvneuvgttaviras

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

$$\frac{39!}{4! 3! 2! 2! 4! 2! 4! 2! 3! 3! 4!} \cdot$$

После несложных преобразований имеем

$$\frac{2 \cdot 39!}{247} \cdot$$

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.

Гениальный современник и друг итальянского физика, Кеплер, с присущим ему беспримерным терпением затратил немало труда на то, чтобы проникнуть в сокровенный смысл заявки своего друга, и ему казалось, что он добился этого, когда из опубликованных букв (опустив три) составил такую латинскую фразу:

*Salve umbestineum geminata Martia proles*

(Привет вам, близнецы, Марса порождение).

Кеплер был убежден, что Галилей открыл тех двух спутников Марса, существование которых подозревал великий немецкий астроном<sup>1</sup> (они в действительности

---

<sup>1</sup> Очевидно, Кеплер руководствовался при этом предполагаемой прогрессией в числе спутников планет: зная, что у Земли 1 спутник, а у Юпитера 4, он считал естественным существование у промежуточной планеты, Марса, 2 спутников. Подобный ход мыслей 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 скрываю-

и были открыты, но спустя два с половиной века). Однако остроумие Кеплера на этот раз не привело к цели. Когда Галилей раскрыл, наконец, секрет своей заявки, оказалось, что фраза — если двумя буквами пренебречь — такова:

*Altissimam 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 другому великому основоположнику науки, голландцу Гюйгенсу. Подобно Галилею, он не сразу опубликовал о своем открытии, а скрыл догадку под тайнописью:

*aaaaaa, cccc, d, eeeee, g, h, iiiiii, llll, mm, nnnnnnnnn,  
oooo, pp, q, rr, s, tttt, uuuu.*

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

*Annulo cingitur tenui, nusquam cohaerente, ad eclipticam incli-  
nato*

(Кольцом окружен тонким, нигде не прикасающимся,  
к эклиптике наклоненным).

---

щиеся от взора наших астрономов». В еще 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 американский астроном Асаф Холл обнаружил существование двух спутников Марса помощью сильного телескопа.

## *Планета далее Нептуна*

В первом издании этой книги (1929 г.) я писал, что последняя известная нам планета солнечной системы — Нептун, отброшенный от Солнца в 30 раз далее, чем Земля. Теперь я не могу повторить этого, потому что в 1930 г. прибавил к нашей солнечной системе нового члена, — 9-ю 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. Без малого 100 лет назад крайней планетой солнечной системы считался Уран. Некоторые неправильности в его движении навели на подозрение о существовании еще более далекой планеты, притяжение которой нарушает расчисленный бег Урана. Математическое исследование вопроса французским астрономом Леверрье завершилось блестящим открытием: заподозренная планета была усмотрена в телескоп. Мир, открытый «на кончике пера» вычислителя, был обнаружен для человеческого глаза.

Так был открыт Нептун. Впоследствии оказалось, что влияние Нептуна не объясняет без остатка всех неправильностей в движении Урана. Тогда выдвинута была мысль о существовании еще одной, занептунной планеты. Надо было ее отыскать, и вычислители стали работать над этой задачей. Предложены были довольно разнообразные варианты ее решения: орбиты 9-й планеты относили на различные расстояния от Солнца и наделяли разыскиваемое небесное тело различной массой.

В 1930 г. (вернее, еще в конце 1929 г.) телескоп, наконец, извлек из мрака мироздания нового члена

нашей планетной семьи, получившего название Плутона. Это открытие сделал молодой астроном Томбо.

Плутон кружится по пути, весьма близкому к одной из орбит, которые были предвычислены американским астрономом Ловеллом. 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 далек от нас и так скупо освещается Солнцем, что в сильнейшие инструменты не удастся измерить даже его диаметра.

Можно лишь подозревать, что Плутон, — сравнительно невелик: по диаметру вдвое, а по объему раз в 10 меньше нашей планеты. Значит, по размерам Плутон близок к Марсу. Точно известно лишь расстояние Плутона от Солнца и период его обращения.

Он движется вокруг Солнца по довольно вытянутой (эксцентриситет 0,24) орбите, заметно наклоненной ( $17^\circ$ ) к плоскости земной орбиты, на расстоянии от Солнца, в 40 раз большем, чем Земля. 250 лет затрачивает планета, чтобы обойти этот огромный путь.

На небе Плутона Солнце светит в 1 600 раз тусклее, 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, далекий Плутон вовсе не так обделен солнечным светом, как можно думать. Полная Луна светит у нас в 440 000 раз слабее Солнца. На небе же Плутона дневное светило тусклее, чем у нас в 1 600 раз. Значит, яркость солнечного света на Плуtone

в  $\frac{440\,000}{1\,600}$ , 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, лишен 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*

9 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 — «звездopodobные»), или просто «малыми планетами». Наиболее значительная из них, Церера, имеет в поперечнике около 700 км; она значительно меньше Луны по объему, примерно во столько же раз, во сколько сама Луна меньше Земли.

Первая из малых планет, Церера, открыта была в первую же ночь прошлого столетия (1 января 1801 г.). В течение XIX в. их было обнаружено свыше 400. Все они движутся вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. До недавнего времени считалось поэтому установленным, что астероиды скучены 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 далеко от орбиты Сатурна. Астероид Гидальго замечателен и в другом отношении: из всех известных планет он обладает чрезвычайно вытянутой орбитой (эксцентриситет ее равен 0,65), к тому же всего сильнее наклоненной к плоскости земной орбиты: под углом в  $43^\circ$ . Отметим кстати, что наименование свое планетка получила в честь Гидальго-и-Кастилья, прославленного героя революционной борьбы Мексики за свою независимость, умершего в 1811 г.

Еще более расширилась зона карликовых планет в 1936 г., когда открыт был астероид с эксцентриситетом 0,78, наибольшим из всех пока известных. Новый член нашей солнечной системы получил название Адонис.

Особенность новооткрытой планетки та, что в наиболее удаленной точке своего пути она отходит от Солнца почти на расстояние Юпитера, в ближайшей же проходит недалеко от орбиты Меркурия.

Система регистрации 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 разделен 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 не хватает, повторяют их сначала, но с числами возле них. Например, 1932EA<sub>1</sub> есть астероид, открытый в 1932 г. в первой половине марта, 25-й по счету.

Вероятно, случаев подобного рода будет обнаружено еще много при дальнейших поисках. Астрономы склоняются теперь к мысли, что малые планеты не сосредоточены исключительно в определенной зоне, а рассеяны по всей солнечной системе, от центрального светила до крайней планеты — Плутона. Из бесчисленного их множества, вероятно, лишь небольшая часть доступна астрономическим инструментам; остальные ускользают от сетей охотников.

В настоящее время число уловленных астрономами планет-карликов приближается к полутора тысячам: из них свыше сотни открыто астрономами Симеизской обсерватории (в Крыму, на берегу Черного 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), а также «Морозовия» и «Фигнерия» (в честь Шлиссельбургских героев), «Симеиза» и др. По числу открытых астероидов Симеиз занимает второе место среди обсерваторий мира; по разработке теоретических вопросов, связанных с астероидами, советская астрономия также занимает видное место в мировой науке.

Размеры малых планет крайне разнообразны. Таких крупных, как Церера (диаметр около 700 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 еще не все члены кольца астероидов, есть все 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, — пишет 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 четырех астероидов показали, что Церера и Паллада отражают свет, как темные 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 планеты».

### ***Наши ближайшие соседи***

Упомянутый в предыдущей статье астероид Адонис выделяется среди других не только чрезвычайно большой, чисто кометной вытянутостью своей орбиты. Он замечателен еще тем, что подходит к Земле ближе, нежели все прочие. По всей вероятности, он имеет право считаться ближайшей к Земле планетой. Правда, Луна ближе к нам, но ведь Луна, хотя и значительно крупнее астероидов, рангом ниже их: она не самостоятельная планета, а спутник планеты. К сожалению, пока еще нет точных данных о том, на какое именно расстояние приближается названный астероид к Земле. Точные цифры имеются относительно при-

ближения другого астероида Аполлон, который также вправе числиться в списке планет, самых близких к Земле. Этот астероид прошел в год своего открытия на расстоянии всего  $10\frac{1}{2}$  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 еще теснее: всего на 200 000 км — вдвое ближе, чем Луна к Земле! Более тесного сближения планет мы в солнечной системе не знаем.

Этот наш планетный сосед замечателен еще и тем, что он — самая маленькая из всех планет, зарегистрированных астрономами. Диаметр его не больше 2 км, а может быть и меньше. Поучительно рассмотреть на этом примере, что означает на языке астрономии слово «маленький». Крошечный астероид, если он имеет в объеме всего  $0,52 \text{ км}^3$ , т. е.

$$520\,000\,000 \text{ м}^3,$$

то если он гранитный (а возможно, что он даже железный), то вес его составляет примерно

$$1\,500\,000\,000 \text{ т.}$$

Из такого материала можно было бы возвести 300 таких сооружений, как Хеопсова пирамида. Все железные дороги и все суда нашего Союза не перевозят в течение года подобного груза (примерно — втрое меньше).

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

## *Попутчики Юпитера*

Среди 1 500 известных пока астероидов выделяется своим замечательным движением группа из десятка 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 на вершинах равностороннего треугольника. «Троянцев» можно считать своеобразными попутчиками Юпитера, которые сопровождают его, оставаясь на большом расстоянии: одни находятся на  $60^\circ$  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.

Такая устойчивость возможна лишь потому, что масса астероида ничтожно мала по сравнению с массой Юпитера, а масса Юпитера в свою очередь незначительна по отношению к массе Солнца.

Задолго до открытия «троянцев» подобный случай подвижного равновесия трех притягивающихся тел был предусмотрен в чисто теоретических исследованиях гениального французского математика Лагранжа. Он рассматривал этот случай, как любопытную 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

безжизненных небесных крупинок, которые объединяются под наименованием малых планет<sup>1</sup>.

### *Чужие небеса*

Мы совершили уже воображаемый перелет 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.

Начнем с Венеры. Если атмосфера там достаточно прозрачна, мы увидели бы диск Солнца, вдвое больший по площади, чем тот, который сияет на нашем небе; соответственно этому солнце Венеры посылает на эту планету 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 одинаковы. Легко понять, почему это так. Венера кружится около Солнца ближе, чем Земля. Поэтому в пору наибольшей ее близости

---

<sup>1</sup> Тем не менее неуклонно возрастающее число известных астероидов становится уже обременительным для астрономов наших дней; раздаются голоса за то, что гнаться за дальнейшим увеличением числа астероидов «совершенно нерационально. От этого могут только пострадать уже известные (занумерованные) планеты... Рост числа открытий за последние годы уже привел к тому, что старые планеты обслуживаются хуже как со стороны наблюдателей, так и вычислителей... Из 1264 планет, зарегистрированных до июня 1934 г. часть планет (именно 271) находятся в «угрожаемом» положении: их орбиты известны настолько неточно, что существует опасность потери этих планет... Для вновь открываемых планет неизбежно придется перейти к вычислению и наблюдению лишь наиболее ярких и интересных в теоретическом отношении объектов» (проф. И. Ф. Полак, «Что делать с малыми планетами?», «Астрономический календарь», 1936 г.).

к Земле мы совсем не можем ее видеть: она обращена к нам неосвещенной стороной. Она должна несколько удалиться в сторону, чтобы стать видимой, и тогда свет исходит лишь от узкого серпа, составляющего небольшую часть диска Венеры. Земля же на небе Венеры в пору наибольшей близости к ней светит полным диском, как у нас Марс в противостоянии. В итоге Земля на небе Венеры, находясь в полной фазе, светит в 6 раз ярче, чем Венера у нас при наибольшей ее яркости, если только, повторяем, небо нашей соседки вполне ясно. Было бы однако заблуждением думать, что земное сияние, обильно заливая ночную половину Венеры, может обусловить ее «пепельный свет»: освещение Венеры Землею 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 еще свет нашей Луны, которая сама по себе сияет здесь в 4 раза ярче Сириуса. Едва ли во всей солнечной системе найдется объект блистательнее двойной звезды Земля-Луна, украшающей небо Венеры. Видеть с Венеры простым глазом Землю и Луну раздельно наблюдатель мог бы лишь в моменты наибольшего оптического удаления их друг от друга. Зато в телескоп различались бы отсюда даже детали лунной поверхности.

Другая планета, ярко сияющая на небе Венеры, — Меркурий, ее утренняя и вечерняя звезда. Впрочем и с Земли Меркурий виден яркой звездой, перед которой меркнет свет Сириуса. На Венере эта планета светит почти в 3 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 звезд, 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 звездные узоры. Так велико удаление звезд по сравнению с планетными расстояниями.

\*

Умчимся с Венеры на маленький Меркурий, перенесемся в странный мир, лишенный атмосферы, не знающий смены дня и ночи. Солнце неподвижно висит здесь на небе огромным диском, в 6 раз большим (по площади), чем на Земле. Наша планета на небе Меркурия светит примерно вдвое ярче, чем Венера на земном небе. Сама Венера сияет здесь необычайно ярко. Никакая другая звезда или планета нигде в нашей системе не светит так ослепительно, как Венера на черном, безоблачном небе Меркурия.

\*

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

Гораздо больше внимания должен привлекать к себе на Марсовом небе ближайший спутник Марса — Фобос: при ничтожных своих размерах (15 км в диаметре), он настолько близок к Марсу, что

в период «полнофобосия» сияет в 25 раз ярче Венеры у нас. Второй спутник, Деймос, заметно менее ярок, но и он затмевает свет Земли на марсовом небе. Видимые поперечники обеих марсовых лун, однако, настолько малы, что различать с поверхности Марса их фазы невооруженным глазом мы бы не могли.

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  $45^\circ$ , т. е. в 90 раз больше, чем у нас Луна. Только на ближайшем спутнике Юпитера можно наблюдать подобную же необычайную достопримечательность неба.

\*

Перенесемся на поверхность сейчас упомянутой планеты-исполина. Если бы небо Юпитера было ясно, Солнце сияло бы на нем диском, в 25 раз меньшим по площади, чем на нашем небе; во столько же раз Солнце там и тусклее светит. Короткий пятичасовой день быстро сменяется ночью; на звездном фоне станем искать знакомые планеты. Мы их найдем, но как они здесь изменились! Меркурий совершенно теряется в лучах Солнца; Венеру и Землю можно наблюдать в трубу только в сумерках, — они заходят вместе с Солнцем<sup>1</sup>. Марс едва заметен. Зато Сатурн успешно соперничает в яркости с Сириусом.

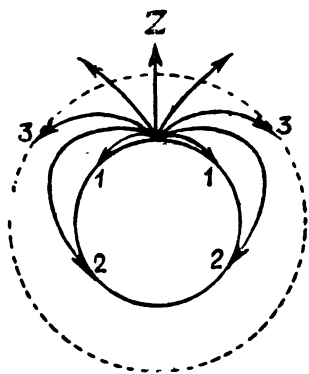
Видное место на небе Юпитера занимают его луны: спутники I и II примерно так же ярки, как Земля на небе Венеры, III — втрое ярче Земли на Венере,

---

<sup>1</sup> Земля светит на небе Юпитера звездой 8-й величины.

IV и V — в несколько раз ярче Сириуса. Что касается их размеров, то видимые поперечники первых четырех спутников больше 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 небольшой участок его поверхности.

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



*Рис. 78. Возможное искривление лучей света в атмосфере Юпитера. (О следствиях этого феномена см. в тексте)*

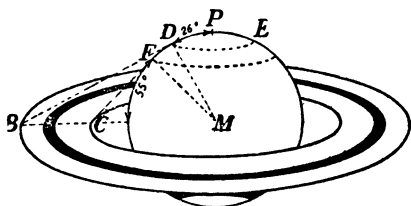


*Рис. 79. Юпитер, наблюдаемый с его третьего спутника*

тельная плотность атмосферы может обусловить на Юпитере совершенно своеобразные оптические явле-



ния, связанные с преломлением лучей света. На Земле преломление лучей атмосферой незначительно и порождает лишь поднятие (оптическое) светил на небе (см. стр. 52). Но при большой высоте и плотности атмосферы на Юпитере возможны гораздо более заметные оптические явления. Лучи, исходящие из точки поверхности (рис. 78) очень наклонно, вовсе не покидают атмосферы, а загигаются к поверхности планеты, как радиоволны в земной атмосфере. Наблюдатель, на-



**Рис. 80. Как определить видимость сатурновых колец для различных точек поверхности планеты. В полярной области планеты до 64-й параллели кольца вовсе не видны**

ходящийся 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 краев чаши сильно сжаты. А над чашей простирается

небо — не полнеба, как у нас, а почти все небо, лишь у краев 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, — сказать, конечно, нельзя.

Необыкновенно эффектное зрелище представляет сам Юпитер, видимый со своего ближайшего (V) спутника. Исполинский диск планеты (рис. 79) поперечником почти в 100 раз больше нашей Луны<sup>1</sup>, сияет всего

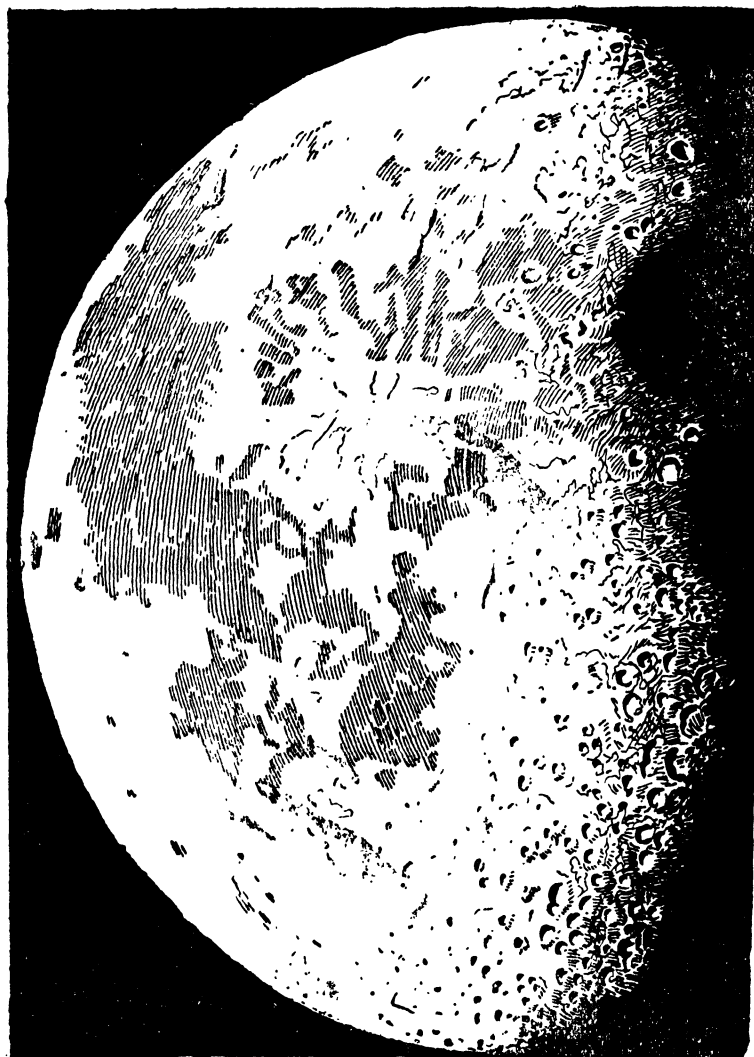
<sup>1</sup> Угловой диаметр Юпитера, рассматриваемого с этого спутника, — более 46°.

в 6—7 раз слабее Солнца. Когда он касается горизонта нижним своим краем, его верхний край приходится у середины небосклона. А погружаясь под горизонт, диск этот занимает восьмую часть всего кругозора. По этому быстро вращающемуся диску проходят время от времени темные кружки — тени юпитеровых лун, бессильных, конечно, сколько-нибудь заметно «затмить» гигантскую планету.


\*

Переходя к следующей планете, к Сатурну, проследим лишь за тем, в каком виде представляются наблюдателю на Сатурне знаменитые кольца этой планеты. Оказывается 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. 80). Начиная с 64-й параллели до 35-й, условия видимости колец улучшаются, видна все большая их часть, а на 35-й параллели наблюдатель может любоваться всей шириной колец, которые здесь представляются под наибольшим углом — в  $12^\circ$ . Ближе к экватору планеты они суживаются для наблюдателя, хотя и поднимаются выше над горизонтом. На самом экваторе Сатурна можно наблюдать кольца в зените и притом с ребра, т. е. в виде очень узкой полоски.


Сказанное не дает еще полного представления об условиях видимости колец. Надо помнить, что освещена всегда только одна сторона колец, другая остается в тени. Эта освещенная часть видна лишь с той половины Сатурна, к которой она обращена. В течение половины долгого сатурнова года можно видеть кольца только с одной половины планеты



*Рис. 81. Как видны Луна и планеты в трубу, увели  
глаза — начерченные диски представляются тогда такими,*




*Меркурий, в наибольшей близости (невидим) и в наибольшем удалении*



*Венера, в наибольшей близости (невидима), наибольшего видимого диаметра серп и в наибольшем удалении*



*Марс, в наибольшей близости и в наибольшем удалении*



*Юпитер с 4-мя наибольшими*

*спутниками*



*Сатурн с крупнейшим спутником*

*чающую в 100 раз. Рисунок надо держать в 25 см от какии видит их глаз, вооруженный трубой указанной силы*

(в остальное время они видны с другой половины), да и то преимущественно только днем. В те краткие часы, когда кольца видны ночью, они частью затмеваются тенью планеты. Наконец, еще любопытная подробность: экваториальные страны 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 серпом, представляет зрелище, какого нельзя видеть ни из какого другого места нашей планетной семьи. На небе вырисовывается огромный серп, пересеченный узкой полоской колец, которые наблюдаются с ребра, а вокруг них — группа сатурновых лун, также в виде серпов, но меньших размеров.

\*

Следующая таблица показывает, в нисходящем порядке, сравнительную яркость 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. Юпитер с Земли    |
| 4. Венера с Земли    | 11. Юпитер с Венеры   |
| 5. Венера с Марса    | 12. Юпитер с Меркурия |
| 6. Юпитер с Марса    | 13. Сатурн с Юпитера. |
| 7. Марс с Земли      |                       |

Мы выделили № 4, 7 и 10 — вид планет с Земли, — так как их знакомая нам яркость может служить опорой для оценки прочих яркостей. 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 «Звездная величина планет» (гл. IV) мы возвратимся к более точной, количественной оценке яркости Земли и других планет.;

### ***Мировая катастрофа***

Безмятежный бег планет может длиться лишь до тех пор, пока никакое массивное постороннее тело не вторгнется в солнечную систему и не нарушит налаженного хода планетного механизма. Полной уверенности в том, что вторжения не случится, у нас быть не может. Солнце стремительно уносит семью своих планет в неведомую тьму вселенной, перемещаясь на  $1\frac{1}{2}$  миллиона км каждые сутки, и хотя опасаться встречи с видимыми звездами нет оснований (они слишком далеко и свободно рассеяны в пространстве), мы можем оказаться неожиданно вблизи какого-нибудь темного, пока невидимого, крупного небесного тела. Если такое тело очутится на пути движения нашей планетной системы, — катастрофа неминуема.

Английский романист Уэллс сделал попытку набросать картину подобного события в рассказе «Звезда», который мы и приводим здесь в сокращении.

### ***Звезда***

Рассказ Г. Д. Уэллса

В первый день нового года три обсерватории одновременно объявили, что движение Нептуна<sup>1</sup> сделалось неправильным. Конечно, астрономы не могли рассчитывать, что подобная весть заинтересует мир, большая часть населения которого и о существовании-то Нептуна не подозревала. Равным образом и позднейшее появление отдаленной световой точки вблизи этой планеты не вызвало волнения вне астрономических кругов. Но

---

<sup>1</sup> Нептун в пору написания рассказа считался крайней планетой нашей системы.

ученые нашли новый факт достаточно значительным, нашли раньше, чем обнаружилось, что появившееся небесное тело быстро увеличивается.

Странный небесный путник, огромная глыба материи, плотная, тяжелая, неожиданно вынырнула из черной таинственности в залитую солнечным светом область. Вскоре ее можно было различить в трубу в виде светлой точки, а еще через короткое время новое небесное тело улавливал уже театральный бинокль.

На третий день нового года читатели газет впервые постигли важность необыкновенного явления на небе. «Столкнове-



*Рис. 82. «В высоте сияла звезда надвигающейся гибели...»*

ние планет», — так озаглавила статью одна из лондонских газет, сообщая, что новая планета до всем вероятиям столкнется с Нептуном. Другие повременные издания подхватили страшную весть и пространно толковали на эту тему. Поэтому 3 января в большинстве столиц мира царило неопределенное ожидание: ждали какого-то неизбежного явления на небе. Тысячи глаз обращались к небу, но видели там лишь прежние знакомые звезды в прежнем знакомом расположении.

Так продолжалось в Лондоне до зари. Стоял зимний расцвет; медленно, точно сочась, возрастал день. Зевающие полисмены широко открыли глаза; хлопотливые толпы на рынках останавливались пораженные; отправлявшиеся на заводы рабочие, кучера газетных фургонов, городские и сельские сторожа, земледельцы, шедшие на поля, моряки в море, ожидавшие зари, все замерли, когда огромная белая звезда внезапно засияла на западном небе. Она была ярче всех светил нашего неба, светлсе

Вечерней звезды в ее самую блестящую пору. Через час после наступления полного рассвета она все еще горела.

Сотня обсерваторий сдержанно волновалась. Когда два отдаленных небесных тела сблизились, возбуждение астрономов едва не заставило их кричать; снуя туда и сюда, они хватали фотографические аппараты, спектроскопы, другие приборы, чтобы увековечить невиданное зрелище — разрушение мира. И точно: погиб мир; планета, сестра Земли, но гораздо более крупная, внезапно вспыхнула, чтобы умереть огненной смертью. На Нептун натолкнулось неведомое небесное тело, нанесло ему удар, и



*Рис. 83. «Над Японией висела большая звезда...»*

жар столкновения превратил два твердых огромных шара в чудовищную массу пылающей материи.

Когда звезда опять засияла над Европой, на этом материке повсюду собрались толпы наблюдателей; они теснились на горных откосах, на домовых крышах, на открытых площадках и равнинах. Все смотрели на восток, наблюдая за восхождением странной новой звезды. Она поднималась, и при виде нового небесного тела люди, наблюдавшие его еще накануне, невольно говорили: «Звезда стала крупнее. Светлее. Ярче». На оашнях же темных обсерваторий наблюдатели, задерживая дыхание, шептали друг другу: «Она ближе. Ближе».

Телеграф подхватывал эти слова, они вибрировали по телефонным проводам, и в тысяче городов мрачные газетные наборщики перебирали печатные листы: «Ближе!» Люди внезапно начинали сознавать страшное значение слов: «она ближе».

День прошел по образцу своих братьев; в темные мороз-



ные часы на небе снова взошла странная белая звезда; теперь она сияла с такой силой, что прибывающий месяц висел на небе, точно собственный бледный призрак.

В эту ночь белая звезда поднялась позже; ослепительные лучи странницы превратили небо в лучезарную лазурь, и по мере ее восхождения звезды скрывались одна за другой; померкли все кроме Юпитера, Альдебарана, Сириуса.

Никто не спал; в городах на улицах и в домах горели огни; верфи были освещены; по всем дорогам в горы целую ночь текли толпы народа. В морях близ цивилизованных стран — суда с пыхтящими машинными или с надутыми парусами полны людьми, смотревшими в море и на север. Телеграф повсюду разнес предостережение астрономов, переведенное на сотню языков. Новая планета и Нептун, слившиеся в огненных объятиях, неслись к Солнцу, и их движение все ускорялось. Близ их пути обращался Юпитер со своими лунами. С каждым мгновением притяжение между пламенной звездой и крупнейшей из планет усиливалось. А результат? Юпитер неизбежно должен был изменить свою орбиту, а пылающей звезде, отклоненной его притяжением от полета к Солнцу, предстояло описать кривую и, может быть, столкнуться с Землей, во всяком случае пройти очень близко от нее. «Последуют землетрясения, вулканические извержения, циклоны, наводнения и подъем температуры до неизвестного еще предела».

И в высоте, как бы поддерживая это предсказание, сияла звезда надвигающейся гибели. В эту ночь многие смотрели на нее до рези в глазах; им чудилось, будто она явно приближается.

Когда наблюдатели в европейских странах снова увидели восход звезды, она заметно выросла; каждый час делалась она больше, блестела ярче; наконец, ночь превратилась в день. В следующую ночь она достигла трети луны, раньше, чем зашла для английских глаз.

Когда звезда поднялась над Америкой, она достигла почти величины Луны, горела ослепительным белым светом. Ее лучи были горячи; дыхание жаркого ветра начиналось вместе с ее восходом и все усиливалось. Снег и лед на горах превращались в воду; горные реки переполнились и, мутные, бешено неслись, унося на себе крутящиеся деревья, трупы животных и людей. Наконец, реки вышли из берегов, и их струи потекли вслед за бегущим населением долин.

В течение ночи зной стал до того силен, что, когда возо-

шло Солнце, казалось, будто на Землю спустилась тень. Начались землетрясения; они усиливались, двигаясь по Америке от северного полярного круга к мысу Горну. Откосы гор оползали; раскрывались расщелины; дома и ограды рассыпались обломками.

Так прошла звезда над Тихим океаном; за ней катилась все возвышавшаяся приливная волна, пенистая и могучая; она затопляла один остров за другим, переливалась через них, смывая людей. Наконец, огромная, быстрая и ужасная волна с голодным ревом хлынула на берега Азии и полилась внутрь материка через равнину Китая. Звезда, теперь более горячая и яркая, чем Солнце во всей его силе, безжалостно палила огромную густо населенную страну: города и селения с их пагодами и деревьями. Но скоро этому настал конец; послышался гул наводнения, низкий, возрастающий. Миллионы людей в эту ночь пережили бегство неизвестно куда, тяжесть онемевших от жары ног и рук, тяжелое, затрудненное дыхание, погоню водной стены, неумолимой, белой, быстрой...

Белый свет заливал Китай; но над Японией, Явой и над всеми островами восточной Азии большая звезда висела в виде тусклокрасного шара, так как пар и пепел огнедышащих гор поднимались, словно приветствуя ее появление.

Когда она повисла над Индией, вся равнина от устья Инда до дельты Ганга представляла пустыню блестящей воды, из которой поднимались храмы и дворы, холмики и горы, почерневшие от множества людей. Каждый минарет был покрыт народом. Зной и ужас лишали людей сил, и они падали в мутные воды.

Но звезда ушла, и люди под давлением голода, собрав мужество, крались в свои разрушенные города, шли обратно к промокшим полям. Спасшиеся от бурь того времени, изломанные и расшатанные корабли осторожно двигались между новыми мелями. Когда миновал период бурь и ливней, люди заметили, что климат повсеместно стал теплее, чем прежде. Солнце больше, а Луна уменьшилась до трети своей прежней величины: между ее рожденьями теперь проходило сорок дней.

История наша не говорит о странной перемене, которая произошла с Исландией, Гренландией и берегами Баффиннова залива, перемене такой значительной, что моряки, явившиеся туда, нашли их полными зелени и красоты и едва поверили своим глазам; не говорит она также о движении челове-

чества к северу и к югу, по направлениям к полюсам благодаря тому, что на Земле стало жарче. История наша занимается только появлением и уходом звезды.

Астрономы-марсиане (потому что на Марсе есть астрономы, хотя и непохожие на людей), понятно, глубоко заинтересовались случившимся. Понятно также, что они на все смотрели с своей точки зрения.

«Принимая во внимание массу тела, брошенного через нашу систему на Солнце, — писал один из них, — изумительно, как мало пострадала Земля, мимо которой оно столь близко прошло. Все обычные для нас континентальные приметы и моря Земли остались в прежнем виде, разницу составляет только значительное уменьшение белой бесцветности (повидимому, — замерзшей воды) около обоих полюсов».

Это показывает, что самая большая из человеческих катастроф может казаться незначительной, когда на нее смотрят с расстояния десятков миллионов километров<sup>1</sup>.

---

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

Солнце: диаметр 1 390 600 км; объем (Земли = 1) 1 300 000; масса (Земли = 1) 331 950; плотность (воды = 1) 1,41.

Луна: диаметр 3 476 км; объем (Земли = 1) 0,0203; масса (Земли = 1) 0,0123; плотность (воды = 1) 3,33. Среднее расстояние от Земли 384 400 км.

Рис. 81 дает наглядное представление о том, в каком виде представляются 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 зре-

---

<sup>1</sup> В главе V, в статье «С циркулем по планетным путям» будет рассмотрен путь подобного, вторгшегося в солнечную систему небесного тела.

**Планетная система в числах.**

*Размеры. Масса. Спутники.*

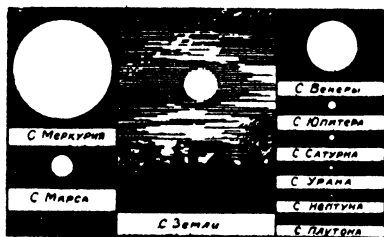
Названия планет	Средний поперечник			Объем (Земля = 1)	Плотность		Масса (Земля = 1)	Число спутни- ков
	видимый в секун- дах	истинный			Земля = 1	Вода=1		
		в млн. км	Земля = 1					
Меркурий . . . . .	13—4,7	5 000	0,39	0,06	0,7	3,87	0,04	—
Венера . . . . .	64—10	12 400	0,97	0,92	0,88	4,86	0,81	—
Земля . . . . .	— —	12 757	1	1	1	5,52	1	1
Марс . . . . .	25—3,5	6 770	0,53	0,15	0,72	3,96	0,11	2
Юпитер . . . . .	50—30,5	142 700	11,2	1312	0,24	1,34	317	9
Сатурн . . . . .	20,5—15	120 800	9,5	763	0,13	0,71	95	9
Уран . . . . .	4,2—3,4	49 700	3,9	59	0,23	1,27	15	4
Нептун . . . . .	2,4—2,2	53 000	4,2	72	0,29	1,58	17	1
Плутон . . . . .	0,2?	6 000?	0,5?	0,1?	—	—	0,7?	?

(Продолжение таблицы)

## Расстояния. Обращение. Вращение. Тяжесть.

Поздняя планет	Среднее расстояние		Эксцентриситет	Время обращения Солнца в земн. годах	Средняя скорость по орбите в км/сек	Период враще- ния вокруг оси	Наклон экватора к плоск. земной орбиты	Напряжения тя- жести (Земля=1)
	в астро- номич. един.	в млн км						
Меркурий . . . . .	0,387	58	0,21	0,24	48	88 <sup>d</sup> ?	?	0,27
Венера . . . . .	0,723	108	0,07	0,62	35	?	?	0,85
Земля . . . . .	1	149,5	0,017	1	29,76	23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	23° 27'	1
Марс . . . . .	1,524	228	0,093	1,88	24	24 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	25° 10'	0,38
Юпитер . . . . .	5,203	778	0,05	11,86	13	9 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	3° 7'	2,64
Сатурн . . . . .	9,539	1 426	0,06	29,46	9,5	10 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	26° 45'	1,17
Уран . . . . .	19,191	2 869	0,05	84,02	6,8	10,8 <sup>h</sup>	98°	0,92
Нептун . . . . .	30,071	4 496	0,008	164,8	5,4	15,7 <sup>h</sup>	151°	1,12
Плутон . . . . .	39,600	5 918	0,25,	249,2	4,5	—	—	—

ния, т. е. в 25 см от глаз). Направо вверх изображен — 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-я, гл. IX.)<sup>1</sup>



Концовка к этой главе изображает видимые размеры Солнца с Земли и с других планет.

<sup>1</sup> Желающим самостоятельно пополнить свои сведения о солнечной системе можно рекомендовать подробную «Астрономию» трех американских астрономов: Ресселя, Дэгана и Стюарта (есть русский перевод 1934 г.).



## *Глава четвертая*

### *Звезды*

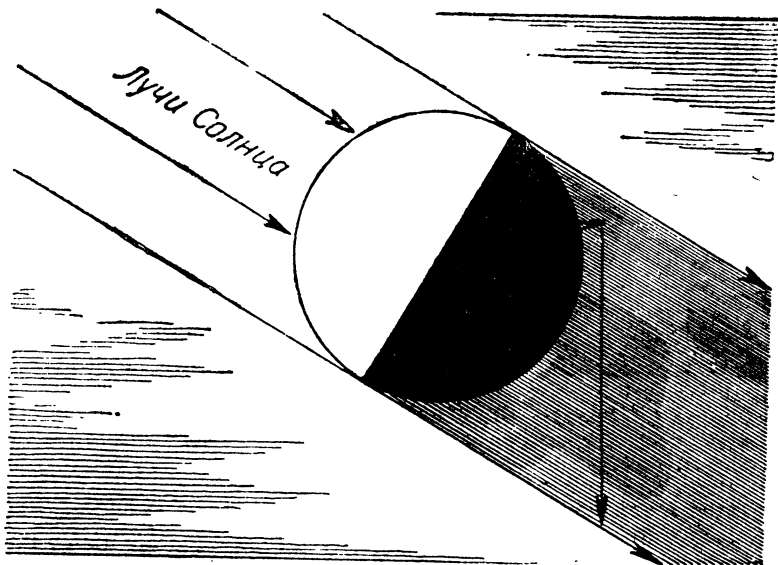
#### *Почему звезды кажутся звездами?*

Глядя на звезды, мы словно видим испускаемые ими лучи света. Но известно, что сами по себе световые лучи невидимы; вспомните, что мировое пространство вокруг земного шара даже и ночью пронизано лучами Солнца, а между тем мы не видим этого пространства освещенным (рис. 84). Если нам иной раз кажется, что мы видим лучи света, то в таких случаях, действительно, доступными зрению становятся только мелкие освещенные частицы в пыльном воздухе. Значит ли это, что звезды окружены далеко простирающеюся пыльной атмосферой? Конечно, нет: на столь большом расстоянии невозможно видеть, да еще простым глазом, пылинки, витающие на пути звездных лучей. Как же объяснить, что звезды представляются нам лучистыми?

Причина лучистого вида звезд кроется в нашем глазу, в недостаточной прозрачности хрусталика, имеющего не однородное строение, как хорошее сте-

кло, а волокнистое. Вот что говорит об этом Гельмгольц (в речи «Успехи теории зрения»):

«Изображения световых точек, получаемые в глазу, неправильно лучисты. Причина этого лежит в хруста-



**Рис. 84.** Мировое пространство кругом Земли залито солнечными лучами кроме конуса земной тени. Мы не видим однако этого освещенного пространства: с ночной половины земного шара вселенная кажется погруженной во мрак

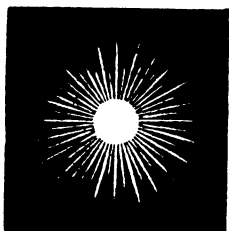
лике, волокна которого расположены лучисто по шести направлениям. Те лучи, которые кажутся нам исходящими из светящихся точек, — например, из звезд, отдаленных огоньков, — не более, как проявление лучистого строения хрусталика. Насколько этот недостаток глаз всеобщ, видно из того, что всякая лучистая фигура обыкновенно называется звездообразной».

Существует способ освободиться от влияния этого недостатка нашего хрусталика и видеть звезды без



лучей, не обращаясь при этом к услугам телескопа. Способ этот еще 400 лет назад указан был гениальным Леонардо да-Винчи.

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



*Рис. 85. Звезды кажутся лучистыми из-за волоконистой структуры глазного хрусталика*

Это не противоречит тому, что сказано о происхождении звездных «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 структуры.

Итак, будь наш глаз устроен совершеннее, мы видели бы на небе не «звезды», а лишь светящиеся точки, как астрономы в телескоп<sup>1</sup>.

### ***Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно?***

Отличить простым глазом неподвижную звезду от «блуждающей», т. е. от планеты<sup>2</sup>, очень легко, даже

---

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

<sup>2</sup> Первоначальный смысл слова «планета» — блуждающая звезда.

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

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

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

рассеянием, то наряду с колебаниями яркости наблюдаются и изменения окраски. Зрачок человеческого глаза не настолько широк, чтобы одновременно пропускать и сосредоточенные и рассеянные пучки лучей. Они проникают через зрачок последовательно; усиление яркости сменяется ослаблением, и мы видим звезду словно мигающей, а при сильном мерцании даже шевелящейся.

«Существуют, — пишет пулковский астроном Г. А. Тихов, исследовавший явление мерцания, — способы, позволяющие сосчитать число перемен цвета мерцающей звезды в определенное время. Оказывается, что эти перемены совершаются чрезвычайно быстро, и число их колеблется в разных случаях от нескольких десятков до ста и более в секунду. Убедиться в этом можно следующим простым способом. Возьмите бинокль и смотрите в него на яркую звезду, приводя объективный конец бинокля в быстрое круговое вращение. Тогда, вместо звезды, вы увидите кольцо, состоящее из многих отдельных разноцветных звезд. При более медленном мерцании или при очень быстром движении бинокля кольцо это распадается вместо звезд на разноцветные дуги большой и малой длины<sup>1</sup>.

Остается объяснить, почему планеты, в отличие от звезд, не мерцают, а светят ровно, спокойно. Планеты неизмеримо ближе к нам, чем звезды; они поэтому представляются глазу не точкой, а светящимся кружочком, диском. Каждая отдельная точка такого кружка мерцает, но перемены яркости и цвета отдельных точек совершаются независимо одна от другой,

---

<sup>1</sup> Сильное мерцание является признаком приближения дождя, так как указывает на близость циклона. Перед дождем звезды отливают преимущественно синим цветом, перед засухой — зеленым (Ханевский «Световые явления в атмосфере»).

в разные моменты времени, а потому восполняют друг друга; ослабление яркости одной точки совпадает с усилением яркости другой, так что общая сила света планеты остается неизменной. Отсюда — спокойный, немерцающий блеск планет. Значит, планеты представляются нам немерцающими потому, что «слишком мерцают» — сразу во многих точках, но в разные моменты времени.

### ***Видны ли звезды днем?***

Днем над нашими головами находятся те созвездия, которые полгода назад видны были ночью и спустя шесть месяцев вновь украсят ночное небо. Освещенная атмосфера Земли мешает нам их видеть, так как частицы воздуха рассеивают солнечные лучи в большем количестве, чем посылают нам звезды<sup>1</sup>.

Несложный опыт может наглядно пояснить это померкание звезд 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 темную комнату и освещают изнутри: на пробитой стенке явственно выступают тогда освещенные изнутри дырочки — это звезды на ночном небе. Но стоит, не прекращая освещения изнутри, зажечь в комнате достаточно яркую лампу, — и искусственные

---

<sup>1</sup> Наблюдая небо с высокой горы, т. е. имея самую плотную и запыленную часть атмосферы ниже себя, можно видеть наиболее яркие звезды и в дневные часы. Так, с вершины Арарата (5 км высоты) звезды первой величины хорошо различаются в 2 часа дня; небо там темносинее. (Странным образом однако команда стратостата «Осоавиахим I», находясь на высоте 21 км, отметила, что звезд не видно никаких, хотя небо там «черно-фиолетовое», согласно записям Федосеенко и Васенко.)

звезды на листе бумаги бесследно исчезают: это «дневной свет» гасит звезды.

Часто приходится читать о том, что со дна глубоких шахт, колодцев, высоких дымовых труб и т. п. можно различать звезды и днем. Это распространенное убеждение, поддерживаемое ссылками на авторитетные имена, 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 звезд сам при подобных условиях. Все ссылаются на свидетельство третьих лиц. Насколько однако мало надежны бывают свидетельства «очевидцев», показывает следующий любопытный пример. В американском журнале появилась статья, относившая дневную видимость звезд со дна колодцев к числу басен. Мнение это было энергично опровергнуто письмом одного фермера, утверждавшего, что он сам видел днем Капеллу и 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 звезды днем. Как мы уже говорили, звезды не видны днем потому, что тонут в свете неба. Это условие не изменяется для глаза, помещенного на дне шахты. Отпадает лишь боковой свет на протяжении шахты, но лучи, испускаемые всеми частицами воздушного слоя выше отверстия шахты, должны попрежнему мешать видимости звезд.

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

В телескоп звезды видны днем вовсе не потому, как многие думают, что на них смотрят «со дна трубы», а потому, что преломление лучей в стеклах или отражение в зеркалах ослабляет яркость рассматриваемого участка неба, между тем как яркость самой звезды (представляющейся в виде точки), напротив, усиливается. В трубу с объективом в 7 см можно уже видеть днем звезды первой и даже второй величины. Но к колодцам, шахтам, печным трубам сказанное не применимо. Неудивительно, что Гумбольдт, опрашивавший берлинских трубочистов, ни от одного из них не слышал, чтобы им случалось видеть звезды днем. То же утверждали и опрошенные мною шахтеры.

Другое дело — яркие планеты: Венера, Юпитер, Марс в противостоянии. Они светят гораздо ярче звезд, а потому при благоприятных условиях могут быть видны и на дневном небе (см. об этом стр. 146).

### ***Что такое звездная величина?***

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

наглядный пример последовательного проведения учения об относительных числах.

Остановимся подробнее на классификации звезд по величинам. Едва ли надо напоминать о том, что под словом «величина» разумеют в этом случае не геометрические размеры звезды, а ее видимую яркость. Уже в древности выделены были наиболее яркие звезды, раньше всех загорающиеся на вечернем небе, и отнесены к звездам первой величины. За ними следовали звезды второй величины, третьей и т. д. до звезд шестой величины, едва различимых невооруженным глазом. Такое субъективное распределение звезд по яркости не могло удовлетворять астрономов нового времени. Были выработаны более твердые основания для классификации звезд по яркости. Они состоят в следующем. Найдено, что звезды первой величины в среднем (звезды эти неодинаковы по яркости) ярче средней звезды 6-й величины ровно в 100 раз. Шкала звездной яркости установлена так, что отношение яркостей звезд двух смежных величин остается постоянным. Обозначив это «световое отношение» через  $n$ , имеем:

Звезды 2-й величины слабее звезд 1-й величины в  $n$  раз  
 „ 3-й „ „ 2-й „ „  $n$  „ и т. д.  
 „ 4-й „ „ 3-й „ „  $n$  „

Если же сравнить яркость звезд всех прочих величин с яркостью звезд 1-й величины, то получим:

Звезды 3-й величины слабее звезд 1-й величины в  $n^2$  раз  
 „ 4-й „ „ 1-й „ „  $n^3$  „  
 „ 5-й „ „ 1-й „ „  $n^4$  „  
 „ 6-й „ „ 1-й „ „  $n^5$  „

Отсюда имеем, что  $n^5 = 100$ . Найти теперь величину светового отношения  $n$  легко (помощью логарифмов):

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

Итак, звезды каждой следующей ступени светят в  $2\frac{1}{2}$  раза слабее звезды предыдущей ступени.

### *Звездная алгебра*

Рассмотрим немного подробнее группу наиболее ярких звезд. Мы уже отмечали, что яркость этих звезд неодинакова: одни светят в несколько раз ярче среднего, другие — тусклее (средняя степень их яркости — такая, которая в 100 раз превышает яркость звезд, едва различимых простым глазом). Найдем сами обозначения яркости звезд, которые в 2,5 раза ярче средней звезды 1-й величины. Какое число предшествует единице? Число 0. Значит, такие звезды надо отнести к звездам «нулевой» величины. А куда отнести звезды, которые ярче звезд 1-й величины не в  $2\frac{1}{2}$ , а всего в  $1\frac{1}{2}$  или 2 раза? Их место между 1 и 0, т. е. звездная величина такого светила выражается положительным дробным числом; говорят: «звезда 0,9 величины», «0,6 величины» и т. п. Такие звезды ярче первой величины.

Теперь станет понятной и необходимость введения отрицательных чисел для обозначения звездной яркости. Так как существуют звезды, по силе света превышающие нулевую величину, то очевидно их яркость должна быть выражена числами, стоящими по другую сторону нуля, — отрицательными. Отсюда такие ступени яркости, как «минус 1», «минус 2», «минус 1,6», «минус 0,9» и т. п.

В астрономической практике «величина» звезд определяется помощью особого прибора — фотометра: яркость светила сравнивается с яркостью определенной звезды, сила света которой известна, или же с «искусственной звездой» в приборе.



Самая яркая звезда всего неба — Сириус — имеет величину «минус 1,6». Звезда Канопус (видна только в южных широтах) обладает яркостью «минус 0,9». Наиболее яркая из звезд северного полушария неба, Вега, 0,1 величины; Капелла и Арктур 0,2, Ригель 0,3, Прочион 0,5, Альтаир 0,9. (Надо помнить, что звезды 0,5 величины ярче звезд 0,9 величины и т. п.)

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

Сириус (Большого Пса) . . . . .	—1,6
Канопус (Корабля) . . . . .	—0,9
Альфа Центавра . . . . .	0,1
Вега (Лиры) . . . . .	0,1
Капелла (Возничего) . . . . .	0,2
Арктур (Волопаса) . . . . .	0,2
Ригель (Ориона) . . . . .	0,3
Прочион (Малого Пса) . . . . .	0,5
Ахсрнар (Эридана) . . . . .	0,6
Бета Центавра . . . . .	0,9
Бетельгейзе (Ориона) . . . . .	0,9
Альтаир (Орла) . . . . .	0,9
Альфа Южного Креста . . . . .	1,1
Поллукс (Близнецов) . . . . .	1,2
Спика (Девы) . . . . .	1,2
Антарес (Скорпиона) . . . . .	1,2
Фомальгаут (Южной Рыбы) . . . . .	1,2
Денеб (Лебеда) . . . . .	1,3
Регул (Льва) . . . . .	1,3

Просматривая этот перечень, мы видим, что звезд ровно первой величины не существует вовсе: от звезд величины 0,9 список переводит нас к звездам 1,1 величины, 1,2 величины и т. д., минуя величину 1,0 (первую). Звезда первой величины есть, следовательно, не более, как единица меры яркости; на небе ее нет.

Не следует думать, что распределение звезд по ступеням яркости обусловлено физическими свойствами самих звезд. Оно вытекает из особенностей нашего зрения и является следствием общего для всех

органов чувств «психофизического 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 шумов выполняется физиками по тому же принципу, что и измерение яркости звезд; подробности об этом читатель найдет в моих «Занимательной физике» и «Занимательной алгебре».)

Познакомившись с астрономической шкалой яркости, займемся некоторыми поучительными подсчетами. Вычислим, например, сколько звезд 3-й величины, вместе взятых, светят так же, как одна звезда первой величины. Мы знаем, что звезда 3-й величины слабее звезды 1-й величины в  $2,5^2$ , т. е. в 6,3 раза; значит, их понадобится для замены 6,3 штуки. Звезд 4-й величины для замены одной звезды 1-й величины пришлось бы взять 15,8 и т. д. Подобными расчетами<sup>1</sup> найдены числа приводимой ниже таблицы.

Для замены одной звезды 1-й величины нужно следующее число звезд других величин:

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

Начиная с 7-й величины, мы вступаем уже в мир звезд, недоступных простому глазу. Звезды 16-й величины различаются лишь в весьма сильные телескопы;

---

<sup>1</sup> Вычисления облегчаются тем, что логарифм «светового отношения» выражается очень просто: он равен 0,4.

чтобы возможно было видеть их невооруженным глазом, чувствительность естественного зрения должна возрасти в 10 000 раз, — тогда мы увидим их звездочкой 6-й величины.

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

Интересно определить, в каких пределах колеблется яркость звезд, относившихся прежде к первой величине, а теперь распределенных по разным местам шкалы яркости от + 1,3 (Регул) до минус 1,6 (Сириус). Отношение яркостей этих крайних членов группы равно

$$2,5^{2,6} : \frac{1}{2,5^{0,3}} = 2,5^{2,9} = 14,5.$$

Понадобилось бы, следовательно, взять более 14 таких звезд, как Регул, чтобы все они вместе могли сравниться в яркости с Сириусом.

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

Примем, что звезд 1-й величины на одном полушарии неба 10. Замечено, что число звезд следующего класса примерно в 3 раза больше числа звезд предыдущего, яркость же их — в 2,5 раза меньше. Искомое число звезд равно поэтому сумме членов прогрессии:

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

Получаем:

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

Итак, суммарная яркость всех звезд одного полушария, видимых простым глазом, равна приблизительно ста звездам первой величины (или одной звезде м и н у с 4-й величины).

Если же подобное вычисление повторить, имея в виду не только звезды, видимые простым глазом, но и все те, которые доступны современному телескопу, то окажется, что суммарный свет их равносителен сиянию 1 100 звезд первой величины (или одной звезды м и н у с 6,6 величины).

### *Глаз и телескоп*

Сравним телескопическое наблюдение звезд с наблюдением их простым глазом.

Поперечник зрачка человеческого глаза примем в среднем равным 5 мм. Труба с объективом в 5 см пропускает лучей больше, чем зрачок, в  $\left(\frac{50}{5}\right)^2$ , т. е. в 100 раз, а с поперечником 50 см — в 10 000 раз. Вот во сколько раз труба усиливает яркость наблюдаемых в нее звезд! (Сказанное относится только к звездам, а никак не к планетам, имеющим заметный диск. Для планет при расчете яркости изображения следует принимать во внимание также оптическое увеличение трубы.)

Зная это, вы можете рассчитать, каков должен быть поперечник объектива телескопа, чтобы в него видны были звезды той или иной величины; но при этом надо знать, до какой величины видны звезды

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

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

где  $x$  — искомый диаметр объектива. Имеем:

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

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

### *Звездная величина Солнца и Луны*

Продолжим нашу алгебраическую экскурсию к небесным светилам. В той шкале яркости, которая применяется для звезд могут помимо неподвижных звезд найти себе место и другие светила — планеты, Солнце, Луна. О яркости планет мы побеседуем особо; здесь же укажем звездную яркость Солнца и Луны. Яркость Солнца выражается числом минус 26,8, а полной<sup>1</sup> Луны — минус 12,7. Почему оба числа отрицательные, читателю, надо думать, понятно после всего сказанного ранее. Но, быть может, его приведет в недоумение недостаточно большая разница между звездной величиной Солнца и Луны: первая «всего вдвое больше второй»?.

---

<sup>1</sup> В первой и в последней четверти звездная величина Луны минус 9.

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

Если звездная величина Солнца «минус 26,8», то это значит, что Солнце ярче звезды первой величины

в  $2,5^{27,8}$  раза.

Луна же ярче звезды первой величины

в  $2,5^{13,7}$  раза.

Значит, яркость Солнца больше яркости полной Луны в

$$\frac{2,5^{27,8}}{2,5^{13,7}} = 2,5^{14,1}.$$

Вычислив эту величину (помощью таблицы 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 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 см<sup>2</sup> 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 необоснованы все попытки приписать лунному свету какое-либо влияние на земную погоду. «Одно перистое облачко, — говорит проф. Мультон, — лишает земную поверхность большего количества тепла, чем получается от Луны в течение целого года»<sup>1</sup>.

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

Оставим теперь Луну и вычислим, во сколько раз Солнце ярче самой блестящей звезды всего неба — Сириуса. Рассуждая по предыдущему, получаем отношение их яркостей:

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

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

Очень интересен также следующий расчет: во сколько раз освещение, даваемое полной Луной, ярче совокупного освещения всего звездного неба, т. е. всех звезд, видимых простым глазом на одном небесном полушарии? Мы уже вычислили, что звезды от 1-й до 6-й величины включительно светят вместе так, как сотня звезд 1-й величины. Задача, следовательно, сводится к вычислению того, во сколько раз Луна ярче сотни звезд первой величины. Это отношение равно

$$\frac{2,5^{13,7}}{100} = 3\,000.$$

---

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

Итак, в ясную безлунную ночь мы получаем от звездного неба лишь 3 000-ю долю того света, какой посылает полная Луна, и в  $3\,000 \times 437\,000$ , т. е. в 1 300 миллионов раз меньше, чем дает в безоблачный день Солнце.

Прибавим еще, что яркость нормальной международной «свечи» на расстоянии 1 м равна, по звездной шкале, м и н у с 14,2; значит, свеча на указанном расстоянии освещает ярче полной Луны в  $2,5^{14,2-13,7}$ , т. е. в 4 раза.

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

### ***Истинная яркость звезд и Солнца***

Все оценки яркости, которые мы делали до сих пор, относились только к и х в и д и м о й яркости: приведенные числа выражают яркость светил на тех расстояниях, на каких каждое из них в действительности находится. Но мы хорошо знаем, что звезды удалены от нас неодинаково; видимая яркость звезд говорит нам поэтому столько же об их истинной яркости, сколько и об их удалении от нас, — вернее, не говорит ни о том, ни о другом, пока мы не расчленим оба фактора. Между тем очень важно знать, какова была бы сравнительная яркость различных звезд, если бы они находились от нас на о д и н а к о в о м расстоянии.

Ставя так вопрос, астрономы вводят понятие об «абсолютной» яркости звезд. Абсолютной яркостью звезды называется та, которую звезда имела бы, если бы находилась от нас на расстоянии 10 «парсеков».



Парсек — особая мера длины, употребляемая для звездных расстояний; о ее происхождении мы побеседуем позднее в особой статье; здесь скажем лишь, что один парсек равен около 30 000 000 000 000 км. Самый расчет произвести не трудно, если знать расстояние звезды и принять во внимание, что яркость должна убывать пропорционально квадрату расстояния<sup>1</sup>.

Мы познакомим читателя с результатом лишь двух таких расчетов: для Сириуса и для нашего Солнца. Абсолютная яркость Сириуса + 1,3, Солнца + 4,7. Это значит, что с расстояния 300 миллиардов км Сириус сиял бы нам звездой 1,3 величины, а наше Солнце 4,7 величины, т. е. слабее Сириуса в

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

хотя видимая яркость Солнца в 10 миллиардов раз больше яркости Сириуса.

«В армии неба наше Солнце — простой солдат», — сказал Фламарион. Мы сейчас убедились, что Солнце,

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

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

Здесь  $M$  — абсолютная яркость звезды,  $m$  — ее видимая величина,  $\pi$  — параллакс звезды в секундах. Последовательные преобразования таковы:

$$\begin{aligned} 2,5^M &= 2,5^m \cdot 100 \pi^2; \\ M \lg 2,5 &= m \lg 2,5 + 2 + 2 \lg \pi, \\ 0,4 M &= 0,4 m + 2 + 2 \lg \pi, \end{aligned}$$

откуда

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

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

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

действительно, простой солдат и даже не из правофланговых. Не следует, однако, считать наше Солнце совсем пигмеем среди окружающих его звезд: яркость его все же выше средней. По данным звездной статистики, средними по яркости из звезд, окружающих Солнце до расстояния 10 парсеков, признаются звезды 9-й абсолютной величины. Так как абсолютная величина Солнца равна 4,7, то оно ярче, нежели средняя из «соседних» звезд в

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

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

### ***Самая яркая звезда Вселенной***

Самой большой абсолютной яркостью обладает малозаметная, недоступная простому глазу звездочка 8-й величины в созвездии Золотой Рыбы, обозначаемая латинской буквой S. Созвездие Золотой Рыбы находится в южном полушарии неба и не видно в умеренном поясе нашего полушария. Упомянутая звездочка входит в состав звездного роя, принадлежащего скоплению Малого Магелланова облака, расстояние которого от нас оценивается, примерно, в 12 000 раз больше расстояния Сириуса. В таком огромном удалении звезда должна обладать совершенно исключительной яркостью, чтобы казаться даже 8-й величины. Сириус, заброшенный так же глубоко в пространство, сиял бы звездой 19-й величины, т. е. был бы едва виден в самый могущественный телескоп.

Какова же «абсолютная» яркость этой замечатель-

ной звезды? Расчет дает такой результат: минус 8-я величина. Это значит, что наша звезда абсолютно в 240 000 раз ярче Солнца! При такой исключительной яркости звезда эта, будучи помещена на расстоянии Сириуса, казалась бы на 19 величин ярче его, т. е. имела бы примерно яркость неполной Луны! Звезда, которая с расстояния Сириуса могла бы заливать Землю таким ярким светом, имеет бесспорное право считаться самой яркой из известных нам звезд во всей Вселенной.

### ***Звездная величина планет на земном и чужом небе***

Возвратимся теперь к мысленному путешествию на другие планеты (проделанному нами в статье «Чужие небеса») и оценим более точно яркость сияющих там светил. Прежде всего укажем звездные величины планет на з е м н о м небе. Вот табличка:

#### **На небе Земли:**

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

Просматривая ее, видим, что Венера ярче Юпитера почти на две звездные величины, т. е. в  $2,5^2 = 6,25$  раза, а Сириуса в  $2,5^{2,8} = 13$  раз (яркость Сириуса — 1,6 вел.). Из той же таблички видно, что тусклая планета, Сатурн, все же ярче всех неподвижных звезд кроме Сириуса и Канопуса. Здесь мы находим объяснение того факта, что планеты (Венера, Юпитер) бывают иногда днем видны простым глазом, звезды

же при дневном свете совершенно недоступны невооруженному зрению.

Далее приводим таблички яркости светил на небе Венеры, Марса и Юпитера без новых пояснений, так как они представляют собой лишь количественное выражение того, о чем говорилось уже в статье «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	IV спутник . . . . .	— 3,3
I спутник . . . . .	— 7,7	V " . . . . .	— 2,8
II " . . . . .	— 6,4	Сатурн . . . . .	— 2
III " . . . . .	— 5,6	Венера . . . . .	— 0,3

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

Поучительна, наконец, следующая таблица яркости планет, наблюдаемых одна с другой. Располагаем их в порядке убывания яркости.

	Звездная величина		Звездная 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 . . .	— 4,4	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, и Земля, видимая с Венеры.

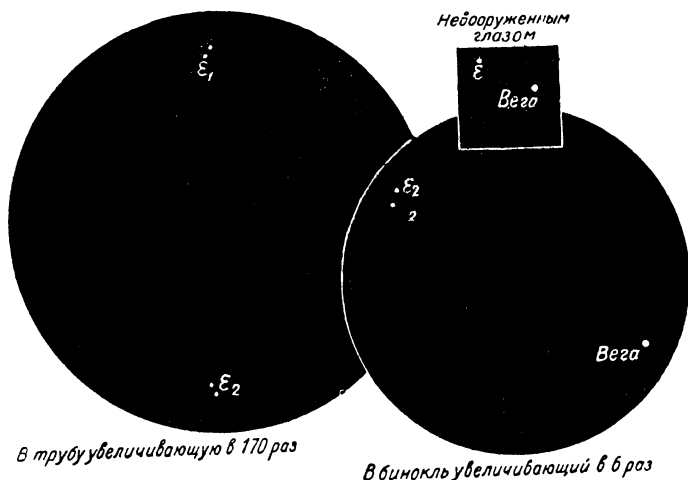
### ***Почему телескоп не увеличивает звезд?***

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

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

Чтобы объяснить такое бессилие телескопа по отношению к звездам, придется напомнить кое-что из физиологии и физики зрения. Когда мы наблюдаем за удаляющимся от нас человеком, его изображение на сетчатке глаза становится все меньше. В достаточном удалении голова и ноги человека настолько сближаются на сетчатке, что попадают уже не на разные ее элементы (нервные окончания), но на один и тот же, и тогда человеческая фигура кажется нам точкой, лишенной очертаний. У большинства людей это

наступает тогда, когда угол, под которым усматривается предмет, уменьшается до  $1'$ . Назначение зрительной трубы 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 трубе гово-



**Рис. 86.** Одна и та же звезда (близ Веги, созвездия Лыры), как она видна простым глазом, в бинокль и в телескоп

рят, что она «увеличивает в 100 раз», если угол, под которым мы видим предметы в эту трубу, 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 данная труба недостаточна для рассмотрения этой подробности.

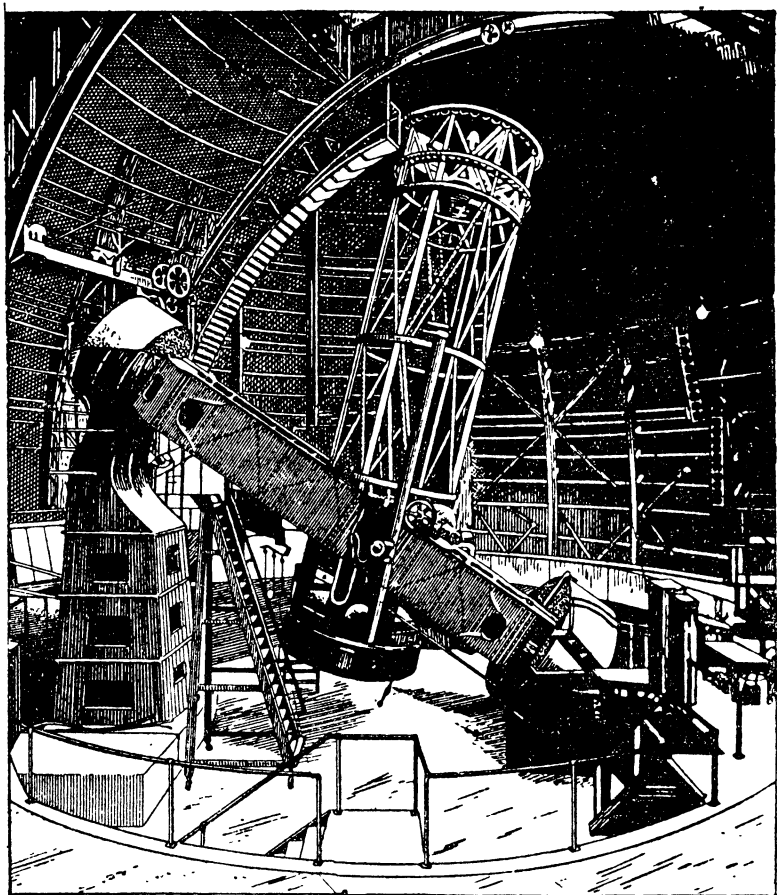
Не трудно рассчитать, что самая мелкая подробность, какую можно различить на расстоянии Луны

в телескоп, увеличивающий в 1 000 раз, имеет в поперечнике 110 м, а на расстоянии Солнца — 40 км. Но если тот же расчет сделать для ближайшей звезды, то получим огромную величину — 12 000 000 км.

Поперечник нашего Солнца меньше этой величины в  $8\frac{1}{2}$  раз. Значит, перенесенное на расстояние ближайшей звезды, Солнце наше должно казаться точкой в телескоп с 1 000-кратным увеличением. Ближайшая звезда должна обладать объемом в 600 раз больше Солнца, чтобы сильные телескопы могли показать ее диск. На расстоянии Сириуса звезда должна для этого быть больше Солнца по объему в 5 000 раз. Так как большинство звезд расположено гораздо дальше сейчас упомянутых, а размеры их в среднем не превышают в такой степени размеров Солнца, то звезды и представляются нам точками даже в сильные телескопы.

«Ни одна звезда на небе, — говорит Джинс, — не может иметь большего углового размера, чем булавочная головка с расстояния в 10 км, и нет еще такого телескопа, в который предмет столь малых размеров был бы виден, как диск». Напротив, крупные небесные тела, входящие в состав нашей солнечной системы, показывают при наблюдении в телескоп свои диски тем больше, чем телескоп сильнее. 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 для наблюдения планет и особенно комет приходится пользоваться лишь умеренно увеличивающими телескопами.

Читатель, пожалуй, задаст вопрос: если телескоп



**Рас. 87. Величайшим телескопом мира располагает обсерватория на горе Вильсон в США. Диаметр зеркала этого инструмента — 250 см. Сейчас сооружается в США еще больший телескоп — с зеркалом в 5 м**

не увеличивает звезд, то зачем же употребляют его при их наблюдении? После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно долго останавливаться на ответе. Телескоп бессилен увеличить видимые раз-



меры звезд, но он усиливает их яркость, а следовательно, умножает число звезд, доступных зрению.

Второе, что достигается благодаря телескопу, это разделение тех звезд, которые представляются невооруженному глазу сливающимися в одну. Телескоп не может увеличить видимого поперечника звезд, но увеличивает видимое расстояние между ними. Поэтому телескоп открывает нам двойные, тройные и еще более сложные звезды там, где невооруженный глаз видит одиночную звезду (рис. 86). Звездные скопления, для простого глаза сливающиеся за дальностью расстояния в туманное пятнышко, а в большинстве случаев и вовсе невидимые — рассыпаются в поле телескопа на многие тысячи отдельных звезд.

И, наконец, третья услуга телескопа при изучении мира звезд состоит в том, что он дает возможность измерять углы с поразительной точностью: современные астрономы измеряют углы величиною в 0,02 секунды. Под таким углом усматривается бронзовая копейка с расстояния 15 км или человеческий волос с расстояния 50 м!

### *Как измерили поперечники звезд?*

В самый сильный телескоп, как мы сейчас объяснили, нельзя не только измерить поперечники неподвижных звезд, но даже увидеть их. До недавнего времени все соображения о том, каких размеров звезды, 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 звездных диаметров необходимы телескопы, в сотни раз более мощные, чем самые сильные трубы нашего времени,

то задача определения истинных звезд казалось неразрешимой.

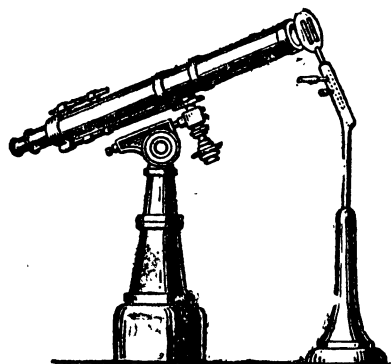
Так обстояло дело до 1920 г., когда новые приемы и орудия исследования открыли астрономам путь к измерению истинных размеров звезд.

Этим новейшим достижением астрономия обязана своей верной союзнице — физике, не раз оказывавшей ей самые ценные услуги. Мы сейчас изложим сущность этого способа измерения словами выдающегося американского астронома проф. Хэля, директора той самой обсерватории на горе Вильсон (в Калифорнии), где описываемый метод и был успешно применен:

«Принцип, на котором построен метод измерения, может быть уяснен каждым с помощью опыта, требующего простого прибора. Прорежьте в листе черной бумаги узкую щель в несколько десятых долей миллиметра шириною, поместите ее вертикально перед ярким источником света и наблюдайте с расстояния 10—15 м в небольшую трубу при увеличении около 30 раз. Объектив трубы должен быть закрыт непрозрачной крышкой с двумя круглыми отверстиями около 3 мм диаметром и взаимным расстоянием 15 мм. Когда крышка удалена, щель имеет вид узкой вертикальной полосы с значительно слабейшими полосами по бокам. При наблюдении же с крышкой центральная яркая полоса представляется исчерченной вертикальными полосами вследствие интерференции (взаимодействия) двух световых пучков, идущих от щели через различные части объектива. Закройте одно из отверстий, и полосы исчезнут: присутствие их обусловлено взаимодействием двух световых пучков.

«Допустим теперь, что отверстия перед объективом трубы сделаны в подвижных пластинках, так что взаимное их удаление можно изменять. По мере их раздви-

жения темные интерференционные полосы становятся все менее ясными и, наконец, исчезают совершенно. Зная отношение расстояния между отверстиями к длине световой волны ( $0,0005 \text{ мм}$ ), можно определить угловую величину щели, т. е. найти, под каким углом видна щель наблюдателя, а зная кроме того расстояние щели, можно вычислить и ее действительную ширину.



**Рис. 88. Схема опыта, объясняющего устройство прибора («интерферометра») для измерения углового поперечника звезд. Впереди объектива — крышка с двумя раздвигающимися отверстиями**

Если вместо щели взято маленькое круглое отверстие, то способ измерения остается тот же, надо лишь полученный угловой диаметр увеличить в 1,22 раза.

«При измерении диаметров звезд мы следуем тем же путем, но, ввиду чрезвычайной малости углового диаметра звезд, должны применять весьма большие телескопы».

Помимо работы описанным инструментом, «интерферометром», есть

и другой, более околный способ оценки истинного диаметра звезд, основанный на исследовании их спектров.

По спектру звезды астроном узнает ее температуру, а отсюда вычисляют величину излучения  $1 \text{ см}^2$  ее поверхности. Если кроме того известны расстояние звезды и ее кажущаяся яркость, то определяется и величина излучения всей ее поверхности. Деление второй величины на первую дает размер по-

верхности звезды, а значит и ее диаметр. Таким образом найдено, например, что поперечник Капеллы в 45 раз больше солнечного, Сириуса — в 30 раз, Полярной — в 10 раз, Веги — в 4 раза, а спутника Сириуса составляет 0,05 солнечного.

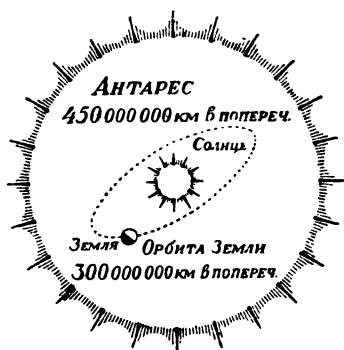
### *Гиганты звездного мира*

Результаты определения звездных поперечников оказались поистине поразительны. Астрономы не подозревали раньше, что во вселенной могут быть такие гигантские звезды, как те, которые открыты были описанными способами. Первая звезда, истинные размеры которой удалось определить (в 1920 г.), была самая яркая звезда ( $\alpha$ ) Ориона, носящая арабское название Бетельгейзе. Ее поперечник оказался превышающим диаметр орбиты Марса! Другим гигантом является Антарес, самая яркая ( $\alpha$ ) в созвездии Скорпиона: ее поперечник примерно в  $1\frac{1}{2}$  раза больше диаметра земной орбиты. В ряду открытых пока звездных гигантов надо поставить и так называемую Дивную («Мира») звезду в созвездии Кита, диаметр которой в 330 раз больше диаметра нашего Солнца и, значит, в  $1\frac{1}{2}$  раза больше поперечника земной орбиты (см. рис. стр. 198).

Остановимся теперь на физическом устройстве этих исполинов. Расчет показывает, что подобные звезды, несмотря на чудовищные размеры, содержат несоразмерно мало вещества. Они тяжелее нашего Солнца всего в несколько раз; а так как по объему Бетельгейзе, например, больше Солнца в 40 миллионов раз, то плотность этой звезды должна быть ничтожна. И если вещество Солнца в среднем по плотности приближается к воде, то вещество звезд-гигантов в этом отношении походит на разреженный воздух. Звезды эти, по выра-

жению одного астронома, «напоминают громадный аэростат малой плотности, значительно меньшей, нежели плотность воздуха».

Не следует думать, что звездные гиганты представляют собой какие-то исключительные феномены, игру природы, подобно великанам среди людей. Нет, повидимому, это неизбежная, хотя и сравнительно кратковременная стадия, через которую в процессе эволюции



**Рис. 89. Звезда-гигант Анта-рес (в созвездии Скорпиона) могла бы включить в себя наше Солнце с земной орби-той**

проходят все звезды, все солнца мироздания. И наше собственное Солнце было когда-то — миллиарды лет назад — звездой-гигантом, исполинским шаром разреженного вещества. Теперь оно успело уже значительно уплотниться и остыть. Оно пережило уже не только свою молодость, но и свой зрелый возраст, когда оно сияло белым светом, наподобие Сириуса. Теперь наше Солнце превратилось в «звезду-карлика» и скло-

няется к старости. Температура на его поверхности будет постепенно падать, свет — желтеть, потом краснеть, а когда температура поверхности понизится до  $3\,000^{\circ}$ , Солнце наше превратится в одну из тех угасающих звезд, которые в изобилии усеивают бездны мироздания.

Таков жизненный путь звезд. Каждая из них, остывая, последовательно в течение миллионов миллионов лет проходит пять стадий звездной эволюции: стадию красной звезды-гиганта, стадию белой звезды с наибо-

лсе высокой температурой, стадию начинающей угасать желтой звезды (наше Солнце), стадию красноватой, угасающей звезды-карлика и, наконец, стадию угасшей темной звезды. Мироздание усеяно звездами, переживающими различные стадии своей жизненной эволюции, и все разнообразие солнц вселенной обусловлено, главным образом, различием их возраста. Так как звезды-гиганты светят ярче прочих, то большая часть звезд, которые мы видим на небе, — молодые солнца, переживающие раннюю стадию своего жизненного пути <sup>1</sup>.

### ***Неожиданный расчет***

Интересно рассмотреть в связи с предыдущим, сколько места заняли бы на небе все звезды, если бы их видимые изображения были примкнуты одно к другому вплотную. Мы уже знаем, что совместная яркость всех звезд, доступных телескопу, равна яркости звезды минус 6,6 величины (см. стр. 211). Такая звезда светит на 20 звездных величин слабее нашего Солнца, т. е. испускает света меньше в 100 000 000 раз. Если считать Солнце по температуре его поверхности звездой средней, то можно принять, что видимая поверхность нашей воображаемой звезды в указанное число раз меньше видимой поверхности Солнца. А так как диаметры кругов пропорциональны квадратным корням из их поверхностей, то видимый диаметр нашей звезды должен быть меньше видимого диаметра Солнца в 10 000 раз, т. е. равняться

$$30 : 10\,000 = 0'',2$$

Результат поразительный: совместная видимая поверхность всех звезд занимает на небе столько места,

---

<sup>1</sup> Наиболее вероятный средний возраст звезд, по новейшим исследованиям, исчисляется 5 миллиардами миллионов лет.

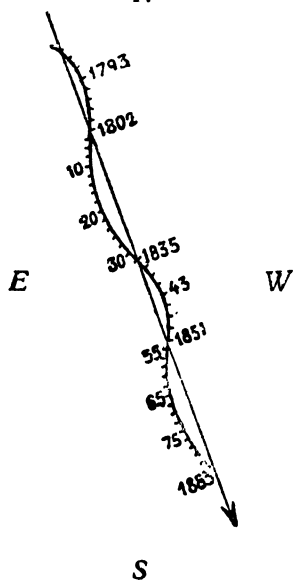
сколько кружок с угловым диаметром в 0,2". Небо содержит 41 253 квадратных градусов; легко сосчитать поэтому, что звезды покрывают только одну двадцатимиллиардную долю всего неба!

### Самое тяжелое вещество

Среди диковинок, скрытых в глубинах вселенной, вероятно, навсегда сохранит одно из первых мест небольшая звездочка близ Сириуса.

Эта звезда состоит из вещества в 60 000 раз более тяжелого, нежели вода! Когда мы берем в руки стакан ртути, нас удивляет его грузность: он весит около 3 кг. Но что сказали бы мы о стакане вещества, весящем 12 т и требующем для перевозки железнодорожной платформы? Это кажется полным 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 свое собственное движение среди звезд не по прямой линии, как большинство других звезд, а по странному извилистому пути (рис. 90). Чтобы

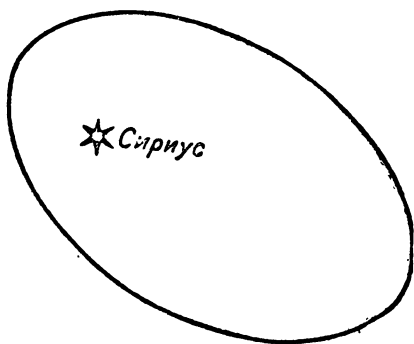


**Рис. 90.** Извилистый путь Сириуса среди звезд в промежуток времени с 1793 г. по 1855 г.

объяснить эти особенности его движения, знаменитый немецкий астроном Бессель предположил, что Сириуса сопровождает спутник, своим притяжением «возму-

щающий» его движение. Это было в 1844 г. — за два года до того, как Леверрье открыл Нептуна «на кончике своего 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 больше, чем Земля вокруг Солнца (т. е. примерно на расстоянии Урана). Это — слабая звездочка 8 — 9-й величины, но масса ее весьма внушительна, почти 0,8 массы нашего Солнца<sup>1</sup>. На расстоянии Сириуса наше Солнце должно было бы светить звездой 2-й или 3-й величины; если бы по этому спутник Сириуса имел поверхность, уменьшенную по сравнению с солнечной пропорционально отношению масс этих светил, то при той же температуре он должен был бы сиять, как звезда примерно 4-й величины, а не 8—9-й. Столь слабую яркость астрономы первоначально объясняли низкой температурой на поверхности этой звезды; ее



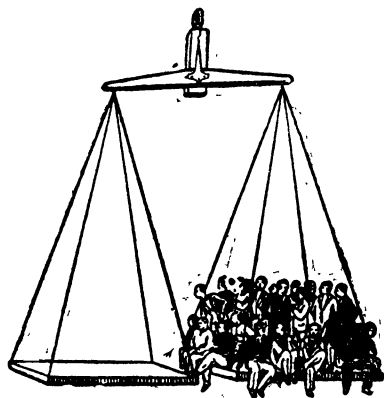
*Рис. 91. Орбита спутника Сириуса по отношению к Сириусу. Спутник этой яркой звезды есть также звезда, но не столь крупная и яркая. (Сириус не занимает фокуса видимого эллипса, потому что истинный эллипс искажен проекцией — мы видим его под углом)*

<sup>1</sup> Возможно, что у этого спутника есть также свой спутник — слабая звезда, обращающаяся около него в 1½ земных года. Следовательно, Сириус, может быть, тройная звезда.



рассматривали, как гаснущее солнце, покрывающееся уже твердой корой.

Но такое допущение оказалось ошибочным. Лет 25 назад на Вильсоновской обсерватории (в Калифорнии) удалось установить, что скромный спутник Сириуса вовсе не угасающая звезда, а, напротив, принадлежит к звездам с высокой поверхностной температурой,



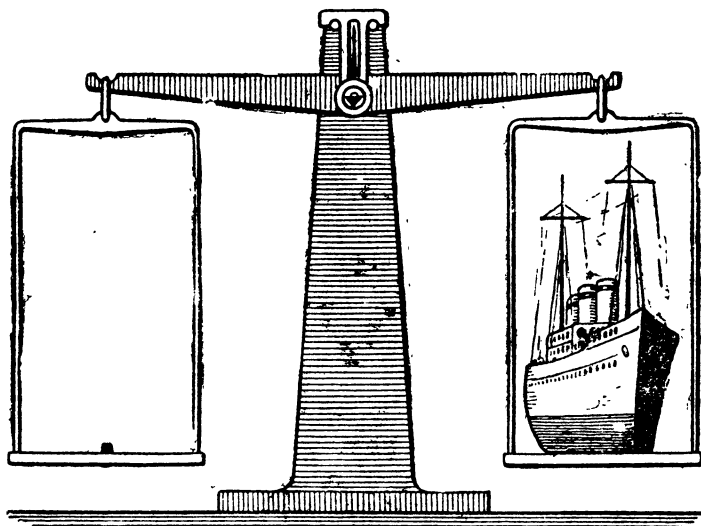
**Рис. 92.** Спутник Сириуса состоит из вещества, в 60 тысяч раз более плотного, чем вода. Несколько кубических сантиметров этого вещества могло бы уравновесить груз из двух десятков человек

гораздо выше, 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 ее 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 объем спутника Сириуса должен составлять менее

чем 6 800-ю долю объема Солнца, между тем как масса его составляет почти 0,8 массы дневного светила. Уже это одно говорит о большой уплотненности вещества этой звезды. Более точный расчет дает для диаметра планеты всего 40 000 км, а следовательно, для плотности, — то чудовищное число, которое мы привели в начале статьи: в 60 000 раз более плотности воды.

«Навострите уши, физики: замышляется вторже-

ние в вашу область», — приходят на память слова Кеплера, сказанные им, конечно, по другому поводу. Действительно, ничего подобного не мог представить себе до сих пор ни один физик. В обычных условиях



**Рис. 93. Один см<sup>3</sup> атомных ядер мог бы уравновесить океанский пароход, даже и при весьма неплотной упаковке их. Плотно же уложенные ядра весили бы в объеме 1 см<sup>3</sup> 10 миллионов тонн!**

столь значительное уплотнение совершенно немыслимо, так как промежутки между нормальными атомами в твердых телах слишком малы, чтобы допустимо было сколько-нибудь заметное сжатие их вещества. Иначе обстоит дело в случае «изувеченных» атомов, утративших те электроны, которые кружились вокруг ядер. Потеря электронов уменьшает поперечник атома в несколько тысяч раз, почти не уменьшая его веса; обнаженное ядро меньше нормального атома примерно

во столько раз, во сколько муха меньше крупного здания. Сдвигаемые чудовищным давлением, господствующим в недрах звездного шара, эти уменьшенные атомы-ядра могут сблизиться в тысячи раз теснее, чем нормальные атомы, и создать вещество той неслыханной плотности, какая обнаружена на спутнике Сириуса. Более того: сейчас указанная плотность даже превзойдена в другой звезде (открытой голландским астрономом Ван-Маненом). Эта звездочка 12-й величины; по размерам не превышающая земного шара, обладает веществом в 400 000 раз более плотным, нежели вода!

И это не самая еще крайняя степень плотности. Теоретически можно допускать существование гораздо более плотных веществ.

Вот соображения физика: «Диаметр атомного ядра составляет не более одной 10 000-й диаметра атома, а объем, следовательно, не более  $\frac{1}{10^{12}}$  объема атома. 1 м<sup>3</sup> металла содержит всего около  $\frac{1}{10\,000}$  мм<sup>3</sup> атомных ядер, и в этом крошечном объеме сосредоточена вся масса металла. 1 см<sup>3</sup> атомных ядер должен, таким образом, весить примерно 10 миллионов т»<sup>1</sup>.

После сказанного не будет казаться невероятным открытие звезды, средняя плотность вещества которой еще в 500 раз больше, чем у материи упомянутой ранее звезды Сириус В. Мы говорим о небольшой звездочке 13-й величины в созвездии Кассиопеи, открытой в конце 1935 г. на Калифорнийской обсерватории Лика. Будучи по объему не больше Марса и в 8 раз меньше земного шара, звезда эта обладает массой, почти втрое превышающей массу нашего Солнца (точ-

---

<sup>1</sup> Е. Рабинович и Э. Тило, «Периодическая система элементов». 1930. Русский перевод 1933 г.

нее — в 2,8 раза). В обычных единицах средняя плотность его вещества выражается числом 36 000 000 г/см<sup>3</sup>. Это означает, что 1 см<sup>3</sup> такого вещества весил бы на Земле более 3½ т! Вещество это, следовательно, плотнее золота почти в 2 миллиона раз<sup>1</sup>. О том, сколько должен весить сантиметровой кубик такой материи, взвешенный на поверхности самой звезды, мы побеседуем в главе V.

Немного лет назад ученые, конечно, считали бы немыслимым существование вещества в миллионы раз плотнее платины.

Бездны мироздания скрывают, вероятно, немало еще подобных парадоксов природы.

### ***Почему звезды называются неподвижными?***

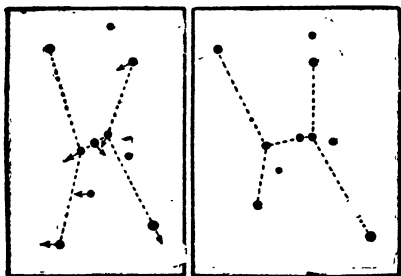
Когда в старину дан был звездам такой эпитет, желали

***Рис. 94. В течение тысячелетий фигуры созвездий меняются. Средний рисунок изображает Большую Медведицу в ее современном виде; стрелки возле звезд показывают направление их движения. Нижний рисунок — то же созвездие 50 тысяч лет назад. Верхний рисунок — вид созвездия через 50 тысяч лет после нашей эпохи***



<sup>1</sup> В центральной части этой звезды плотность вещества должна достигать неимоверно большой величины, примерно миллиарда граммов в см<sup>3</sup>!

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 звезд, бродят между ними и оттого получили в древности наименование «блуждающих звезд» (буквальный смысл слова «планета»)



*Рис. 95. В каких направлениях движутся звезды Ориона (рисунок налево) и как это движение изменит вид созвездия через 75 тысяч лет*

Мы знаем теперь, что представление о звездном мире, как о собрании солнц, застывших в своей неподвижности, — совершенно превратно. Все звезды<sup>1</sup>, в том числе и наше Солнце, движутся одна относи-

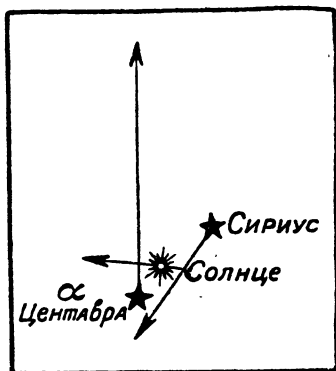
тельно другой со скоростью, в среднем 30 км/сек, т. е. с такой же, с какой планета наша обегает свою орбиту. Значит, звезды ничуть не менее подвижны, чем планеты. Напротив, в мире звезд мы встречаемся в отдельных случаях с такими огромными скоростями, каких нет в семье планет; известны звезды, — их называют «летающими», — которые несутся по отношению к нашему Солнцу со скоростью 250—300 км/сек.

Но если все видимые нами звезды хаотически движутся с невообразимыми скоростями, пробегая миллиарды километров ежегодно, то почему не замечаем

<sup>1</sup> Имеются в виду звезды, входящие в состав «нашего» звездного скопления — Млечного Пути.

мы этого бешеного движения? Почему звездное небо представляет издавна картину величавой неподвижности?

Причину не трудно отгадать: она кроется в невообразимой удаленности звезд. Случалось ли вам наблюдать с возвышенного пункта за поездом, движущимся вдали близ горизонта? Разве не казалось вам тогда, что курьерский поезд ползет, как черепаха? Скорость, головокружительная для наблюдателя вблизи, превращается в черепаший шаг при наблюдении с большого расстояния. То же происходит и с движением звезд; только в этом случае относительное удаление наблюдателя от движущегося тела гораздо значительнее. Самые яркие звезды удалены от нас в среднем менее других, — именно (по Кап-



*Рис. 96. Три звездных соседа — наше Солнце, альфа Центавра и Сириус — разбегаются в разные стороны*

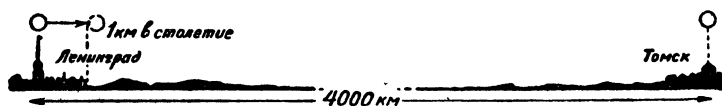
тейну) на 800 миллионов миллионов километров; перемещение же такой звезды за год составляет, скажем, миллиард (1 000 миллионов) километров, т. е. в 800 000 раз меньше. Такое перемещение должно усматриваться с Земли под углом менее 0,25 секунды, — величина едва уловимая точнейшими астрономическими инструментами. Для невооруженного же глаза оно совершенно незаметно, даже если длится столетия. Только кропотливыми инструментальными измерениями удалось обнаружить некоторые из этих отдаленных движений.

Итак, «неподвижные звезды», несмотря на то, что

увлекаются невообразимо стремительным движением, имеют полное право именоваться неподвижными, поскольку речь идет о том виде, какой они имеют для невооруженного глаза. Мир звезд предстоит перед нами окаменевшим в своей неподвижности.

### ***Возможны ли столкновения звезд?***

Из сейчас сказанного читатель сам может вывести заключение, как ничтожна вероятность встречи между двумя звездами, несмотря на их невообразимо стре-



***Рис. 97. Масштаб звездных движений. Два крокетных шара, один в Ленинграде, другой в Томске, движущиеся со скоростью километра в столетие, — вот уменьшенное подобие сближения двух звезд. Из этого ясно, как ничтожна вероятность столкновений в звездном мире***

мительное и совершенно беспорядочное движение. Астроном Джинс говорит об этом в следующих выражениях:

«Допустим в воображении, что мы выбрали место в пространстве где-то недалеко от Солнца и наблюдаем, как звезды движутся мимо нас в тысячу раз быстрее скорого поезда... Как показывает точное вычисление, звездное движение настолько слабо, что нам пришлось бы ждать триллион (миллион миллионов миллионов) лет, прежде чем на нас налетит звезда. Иными словами, каждой звезде дана возможность странствовать около триллиона лет, прежде чем она столкнется с другой. Звезды движутся в пространстве вслепую, и участников

этой звездной игры в жмурки так мало и они так далеки друг от друга, что вероятность столкновений у них ничтожно мала».

### ***Меры звездных расстояний***

Наши крупные меры длины — километр, морская миля (1 852 м) и географическая миля (= 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 — 9,55, Меркурия — 0,387, и т. п.

Но для расстояний нашего Солнца до других солнц сейчас приведенная мера слишком коротка. Например, расстояние до самой близкой к нам звезды (до так называемой Проксима в Центавре, красноватой звездочки 11-й величины) выражается в этих единицах таким числом

260 000.

И это лишь ближайшая звезда; прочие расположены гораздо дальше. Введенные в употребление



более крупные единицы значительно упростили запоминание подобных чисел и обращение с ними. В астрономии имеются следующие исполинские единицы расстояний: «световой год» и успешно вытесняющий его «парсек».

Световой год — это путь, пробегаемый в пустом пространстве лучом света за год времени. Как велика эта мера, мы поймем, вспомнив, что 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  $9\frac{1}{2}$  миллиардам км.

Сложнее происхождение другой единицы звездных 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 «годовым параллаксом» этой звезды. От соединения слов «параллакс» и «секунда» образовано слово «парсек». Параллакс названной выше альфы Центавра — 0,76 секунды; легко сообразить, что расстояние этой звезды — 1,31 парсека. Геометрически можно вычислить, что один парсек должен заключать в себе 206 265 расстояний от Земли до Солнца. Соотношение между парсеком и другими единицами длины таково: 1 парсек = 3,26 светового года = 30 800 000 000 000 км.

Вот расстояния нескольких ярких звезд, выраженные в парсеках и световых годах:

	Парсек	Свет. год
Альфа Центавра . . . . .	1,31	4,3
Сириус . . . . .	2,67	8,7
Прокцион . . . . .	3,19	10,4
Альтаир . . . . .	4,67	15,2

Это — сравнительно близкие к нам звезды. Какого порядка их «близость», вы поймете, когда вспомните, что для выражения приведенных расстояний в километрах надо каждое из чисел первого столбца увеличить в 30 миллиардов раз (разумея под миллиардом миллион миллионов). Однако световой год и парсек — не самые еще крупные меры, употребляемые в науке о звездах. Когда астрономы приступили к измерению расстояний и размеров звездных скоплений, т. е. целых вселенных, состоящих из многих миллионов звезд, понадобилась мера, еще более крупная. Ее образовали из парсека, как километр образован из метра: составилась «килопарсек», равный 1 000 парсекам, или 30 800 миллиардам км. В этих мерах, например, поперечник Млечного Пути выражается числом 100, а расстояние от нас до туманности Андромеды — 260.

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

Итак, вот таблица звездных мер длины:

1 мегапарсек	=	1 000 000 парсеков;
1 килопарсек	=	1 000
1 парсек	=	200 000 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 длиною до Солнца весила бы 3 т. Но протянутая на длину одного мегапарсека она должна была бы весить —

600 000 000 000 тонн!

### ***Система ближайших звезд***

Сравнительно давно — около ста лет назад — стало известно, что самой близкой звездной системой является двойная звезда первой величины, альфа южного созвездия Центавра. Последние годы обогатили наши знания об этой системе интересными подробностями. Открыта была вблизи  $\alpha$  Центавра небольшая звездочка 11-й величины, составляющая с двумя звездами альфы одну систему тройной звезды. О том, что третья звезда физически входит в систему альфы Центавра, хотя их разделяет расстояние свыше  $2^\circ$ , подтверждает одинаковость 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 остальные две звезды, и должен быть поэтому признан ближайшей из всех звезд, расстояния которых до сих пор определены. Звездочку эту так и называют: «Ближайшая», по-латыни — Проксима. Она ближе к нам, нежели звезды альфа Центавра (их называют альфа Центавра

А и альфа Центавра В) на 2 400 астрономических единиц. Вот их параллаксы:

Альфа Центавра (А и В) . . . . . 0,758  
 Проксима Центавра . . . . . 0,765

Так как звезды А и В отделены друг от друга расстоянием только в 34 астрономических единицы, то вся система имеет довольно странный вид, представленный на рис. 98. А и В раздвинуты немного больше, чем Уран от Солнца, Проксима же отстоит от них на 13 «световых суток». Звезды эти медленно меняют свое расположение: период обращения звезд А и В вокруг их общего центра тяжести равен 79 годам, Проксима же завершает один оборот более чем в 100 000 лет, так что нечего опасаться, что в близком времени она перестанет быть ближайшей к нам звездой, уступив место одной из составляющих альфы Центавра.

Что же известно о физических особенностях звезд этой системы? Альфа Центавра А по яркости, массе и диаметру лишь немногим больше нашего Солнца. Альфа Центавра В обладает несколько меньшей массой, больше Солнца по диаметру на  $\frac{1}{5}$  долю, но светит в 3 раза менее ярко; соответственно этому, и поверхностная температура ее ниже, нежели солнечная ( $4\,400^{\circ}$ , Солнце —  $6\,000^{\circ}$ ).

Еще холоднее Проксима: температура на ее поверхности  $3\,000^{\circ}$ ; звезда эта красного цвета. Диаметр

*α Центавра*

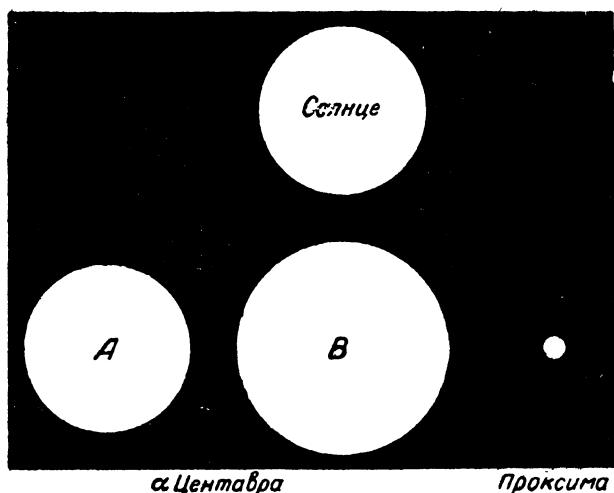
*А. В*



*Проксима*

**Рис. 98.** Система ближайшей к нам звезды (после Солнца): А, В и Проксима Центавра

ее в 14 раз меньше солнечного, так что по размерам эта звездочка занимает среднее место между Юпитером и Сатурном (превосходя их однако по массе в десятки раз). Если бы мы перенеслись на альфу Центавра А, то увидели бы оттуда звезду В примерно такой же величины, какой Солнце наше сияет на небе



**Рис. 99. Размеры звезд системы альфа Центавра по сравнению с размерами Солнца**

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, который она едва превосходит по размерам!

После тройной звезды Центавра следующая близкая соседка нашего Солнца — маленькая звездочка (9,5 величины) в созвездии Змееносца, названная «Летающей звездой». Такое наименование она получила из-за чрезвычайно быстрого видимого движения, кото-

рым она наделена. Звезда эта в  $1\frac{1}{2}$  раза дальше от нас, чем система альфа Центавра, но на северном полушарии неба она — наша ближайшая соседка. Полет ее, направленный косо к движению Солнца, так стремителен, что менее чем через десять тысячелетий она приблизится к нам вдвое и будет тогда ближе тройной звезды Центавра.

О других «близких» к нам звездах мы уже упоминали. Замечательно, что три ближайших к нам звезды первой величины: альфа Центавра, Сириус и Прокцион — все не одиночные, а двойные или тройные.

### ***Масштаб Вселенной***

Возвратимся к той уменьшенной модели солнечной системы, которую мы мысленно изготовили по указаниям главы о планетах, и попробуем достроить ее, включив мир звезд. Что получится?

Вы помните, что в нашей модели Солнце изображалось шаром 10 см в диаметре, а вся планетная система — кругом с поперечником в 800 м. В каких расстояниях от Солнца следовало бы поместить звезды, если строго придерживаться того же масштаба? Не трудно рассчитать, что, например, Проксима Центавра — самая близкая звезда — оказалась бы в расстоянии 2 600 км, Сириус — в 5 400 км, Альтаир — в 8 000 км. Этим «ближайшим» звездам даже на модели было бы тесно в Европе. Для звезд, более отдаленных, возьмем меру крупнее километра — именно 1 000 км, называемые «мегаметром» (Мм). Таких единиц всего 40 в окружности земного шара и 380 — между Землей 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 Лебеда — более чем

на 320 Мм. Расшифруем это последнее число. 320 Мм = 320 000 км, т. е. немного меньше расстояния Луны. Как видим, уменьшенная модель, в которой Земля — булавочная головка, а Солнце — крокетный шар, сама приобретает космические размеры!

Наша модель еще не достроена. Крайние, наиболее отдаленные звезды Млечного Пути разместятся в модели на расстоянии 6 200 Мм — почти в 20 раз дальше Луны. Но Млечный Путь — не вся вселенная. Далеко за его пределами расположены другие звездные скопления, например, то, которое видно даже простым глазом в направлении созвездия Андромеды или также доступные невооруженному зрению Магеллановы облака. На модели пришлось бы представить Малое Магелланово облако в виде объекта с поперечником в 1 500 Мм, Большое — в 3 000 Мм, удалив их на 70 000 Мм от модели Млечного Пути. Модели туманности Андромеды мы должны были бы дать поперечник в 300 000 Мм и отодвинуть его от модели Млечного Пути на 500 000 Мм, т. е. почти-что на действительное расстояние Юпитера!

Самый отдаленный небесный объект, с каким имеет дело современная астрономия, открыт недавно помощью знаменитого, величайшего в мире телескопа американской обсерватории Маунт Вильсон. Это — звездная туманность<sup>1</sup>, т. е. скопление многочисленных звезд, расположенная далеко за пределами нашего

---

<sup>1</sup> Упомянутая сейчас отдаленнейшая туманность обладает еще одним замечательным свойством: она наделена неимоверной быстротой движения. Это звездное скопление удаляется от нас, как одно целое, со скоростью 80 000 км в секунду! Расстояние, равное поперечнику земной орбиты, туманность эта проходит примерно в один час. Более быстрого небесного объекта астрономическая наука не знает.

Млечного Пути. Расстояние ее от Солнца оценивается в 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 найдет также в моей книге «Знаете ли вы физику?»

Интересующимся особенностями звезд и устройством звездной вселенной советуем внимательно прочитать следующие книги:

Рессел, Дэган, Стюарт, Астрономия, т. II (есть русск. пер. 1935 г.).

Джинс, Движение миров (русск. пер. 1932 г.).

Джинс, Вселенная вокруг нас (русск. пер. 1932 г.).







## *Глава пятая*

### *Тяготение*

#### *Из пушки вверх*

**К**уда упал бы снаряд, пущенный отвесно вверх из пушки, установленной на экваторе?

Такая задача обсуждалась лет десять назад в одном немецком журнале применительно к воображаемому снаряду, пущенному со скоростью 8 000 м в первую секунду; снаряд этот должен через 70 минут достичь высоты 6 400 км (земного радиуса). Вот что писал журнал:

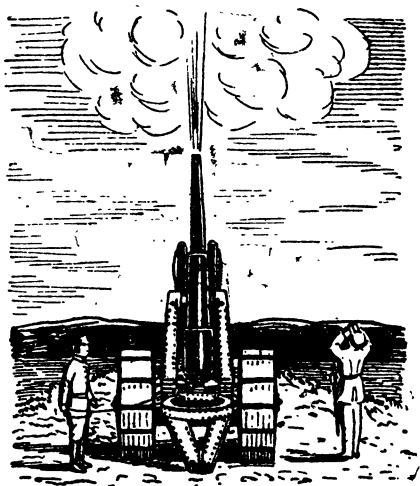
«Если снаряд выпущен отвесно вверх на экваторе, то он при вылете из орудия обладает еще и круговой скоростью точек экватора по направлению на восток (465 м/сек). С этой скоростью снаряд будет переноситься параллельно экватору. Точка на высоте 6 400 км, находившаяся в момент выстрела отвесно над точкой отправления снаряда, перемещается по кругу двойного радиуса с двойною скоростью. Она, следовательно, опережает снаряд в восточном направлении,

Когда снаряд достигнет высшей точки своего пути, он будет находиться не отвесно над пунктом отправления, а отстанет от него к западу. То же произойдет и при обратном падении снаряда. В результате снаряд за 70 минут полета вверх и обратно отстанет, примерно, на 4 000 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  $5^\circ$ .

Совершенно иначе решается подобная задача К. Фламарионом в его «Астрономии»:

«Если выстрелить из пушки, обратив ее прямо вверх, к зениту, то ядро снова упадет в жерло пушки,

хотя за время его подъема и нисхождения пушка передвинется с Землей к востоку. Причина очевидна. Ядро, поднимаясь вверх, ничего не теряет из скорости, сообщенной ему движением Земли. Полученные им два толчка не противоположны: оно может пройти километр вверх и в то же время сделать, например, 6 км к востоку. Движение его в пространстве будет совершаться по диагонали параллелограмма, одна сторона которого 1 км, другая — 6 км. Вниз под влиянием тяжести оно будет двигаться по другой диаго-



*Рис. 100. Задача о пушечном ядре, брошенном отвесно*

нали (вернее, по кривой, вследствие того, что падение ускоренное) и как раз упадет снова в жерло пушки, которая по-прежнему остается в вертикальном положении.

«Произвести такой опыт было бы, однако, довольно трудно, — прибавляет Фламарион, — потому что редко можно найти пушку, хорошо калиброванную, и очень не легко установить ее 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 стр. 248). На нем два наблюдателя — монах и военный — стоят возле наведенной на зенит пушки и смотрят вверх, как бы следя за выпущенным ядром. На гравюре надпись (по-французски): «Упадет ли обратно?» Монах — Мерсен, а военный — Пти. Этот опасный опыт они производили несколько раз и так как не оказались настолько меткими, чтобы ядро угодило им как раз в голову, то заключили, что 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. Немецкий автор утверждает, что ядро упадет далеко к западу от места выстрела, французский, — что оно должно упасть непременно в жерло орудия. Кто же прав?

Строго говоря, неверны оба решения, но Фламарионово гораздо ближе к истине. Ядро должно

упасть к западу от пушки, однако не столь значительно, как утверждает немецкий автор, и не в самое жерло, как был убежден французский.

Задача, к сожалению, не может быть решена средствами элементарной математики<sup>1</sup>. Поэтому ограничусь лишь тем, что приведу здесь окончательный результат.

Если обозначим начальную скорость ядра через  $v$ , угловую скорость вращения земного шара через  $\omega$ , а ускорение тяжести через  $g$ , то для расстояния  $x$  точки падения ядра к западу от пушки получаются выражения:

на экваторе

$$x = -\frac{4}{3}\omega \frac{v^3}{g^2}, \quad (1)$$

а на широте  $\varphi$

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

Применяя формулу к задаче, поставленной немецким автором, имеем

$$\omega = \frac{2\pi}{86164}$$

$$v = 8000 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \text{ м.}$$

Подставив эти величины в формулу (1), получаем  $x = 50 \text{ км}$ : ядро упадет в 50 км к западу от пушки (а не в 4 000 км, как думал немецкий автор).

Что же дает формула для случая, рассмотренного Фламарионом? Выстрел произведен был не на экваторе, а близ Парижа на широте  $48^\circ$ . Начальную ско-

---

<sup>1</sup> Для этой цели необходим специальный обстоятельный расчет, который, по моей просьбе, был выполнен специалистами. В подробности этого расчета я здесь входить не могу.

рость ядра старинной пушки примем равной 300 м. Подставив в формулу (2)

$$\omega = \frac{2\pi}{86164}$$

$$v = 300 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \text{ м}$$

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

получаем  $x = 1,7 \text{ м}$ : ядро упадет 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 расчетах предыдущей статьи принималось, между прочим, в соображение одно обстоятельство, на которое мы не обратили до сих пор внимания читателя. Речь идет 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, провозглашенному Ньютоном, сила притяжения убывает пропорционально квадрату расстояния; при этом расстояние следует считать от центра земного шара, потому что наша планета притягивает другие тела так, словно вся ее масса сосредоточена в центре. Поэтому сила земного притяжения на высоте 6 400 км, т. е. в месте, удаленном от центра Земли на 2 земных радиуса, ослабевает в 4 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 с фантастической скоростью 8 000 м в секунду, мы приняли, что он поднимется до высоты 6 400 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 тяжести  $g$ :

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

Для случая  $v = 8\,000$  м,  $g = 9,8$  м, получаем

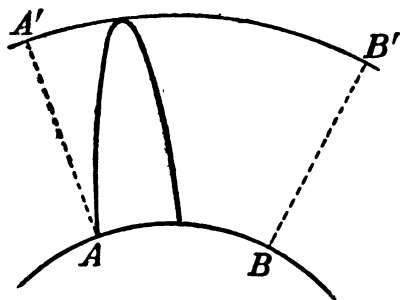
$$h = \frac{8\,000^2}{2 \cdot 9,8} = 3\,265\,000 \text{ м} = 3\,265 \text{ км}.$$

Это 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 ослабление силы тяжести с высотой. Ясно, что если снаряд притягивается Землей слабее, он должен — при данной скорости — подняться выше.

Не следует спешить с заключением, что приводимые в учебниках формулы для вычисления высоты подъема 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 еще настолько незначи-

тельно, что им можно пренебречь. Так, для снаряда, брошенного вверх с начальной скоростью 300 м в секунду, ослабление силы тяжести сказывается весьма мало заметно.

Но вот интересный вопрос: ощутительно ли уменьшение силы тяжести для высот, с которыми имеет дело современная авиация и воздухоплавание? Заметно



**Рис. 101. Неверное решение задачи о пушечном ядре: ядро полетит по кривой линии и упадет будто бы на 4 000 км к западу от места выстрела**

ли уже на этих высотах уменьшение веса тел? В 1936 г. летчик-орденоносец Коккинаки поднимал в своей машине различные грузы на большую высоту:  $1\frac{1}{2}$  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 те-

ряли там заметную его часть? С первого взгляда может казаться, что подъем 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 6 400 км; поднятие на 12 км увеличивает это расстояние до 6 412 км; прибавка как будто чересчур ничтожная, чтобы могла сказаться убыль в весе. Расчет однако говорит другое: потеря веса получается довольно ощутительная.

Выполним вычисление для одного случая, например для подъема Коккинаки с грузом 2 000 кг на 11 295 м. На этой высоте самолет 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 приемами приближенного расчета<sup>1</sup>, 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.

Еще большую потерю веса должны были обнаружить наши стратонавты, достигшие высоты 22 км: 7 г на каждый килограмм.

Для рекордного подъема летчика Юмашева, поднявшего в 1936 г. груз в 5000 кг на высоту 8919 м можно вычислением установить общую потерю веса грузом в 14 кг.

С тех пор, как эти строки были написаны, состоялось еще несколько высотных полетов с значительными грузами. Так, 4 ноября 1936 г. летчик М. Ю. Алексеев поднял на высоту 12 695 м груз в 1 т, летчик М. Нюхтиков поднял 11 ноября 1936 г. на высоту 7 032 м груз

---

<sup>1</sup> Можно пользоваться приближенными равенствами

$$(1 + \alpha)^2 = 1 + 2\alpha, \text{ и } 1 : (1 + \alpha) = 1 - \alpha,$$

где  $\alpha$  весьма малая величина. Поэтому

$$2000 : \left(1 + \frac{11,3}{6400}\right)^2 = 2000 : \left(1 + \frac{11,3}{3200}\right) = 2000 - \frac{11,3}{1,6} = 2000 - 7.$$



в 10 т и т. д. Пользуясь изложенным выше, читатель без труда сможет выполнить вычисление того, как велика была в этих случаях потеря веса.

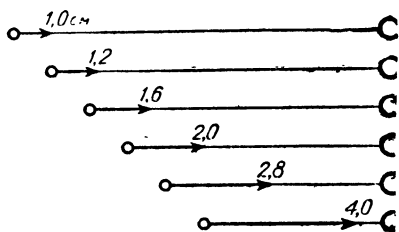
### ***С циркулем по планетным путям***

Из трех законов планетных движений, с такими 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 вольные 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 силою тяготения. Займемся ею. Кружок в правой части рис. 102 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 какою притягивается к Солнцу наша планета. Пусть теперь планета под действием этой силы приблизилась к Солнцу и находится от него в расстоянии всего 900 000 км, т. е. в 4,5 см на нашем чертеже. Притяжение планеты к Солнцу теперь усилится, по закону тяготения, в  $\left(\frac{10}{9}\right)$  т. е. в 1,2 раза. Если раньше притяжение планеты 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 чертеже, сила притяжения возрастет 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.



**Рис. 102.** Сила притяжения планеты Солнцем увеличивается с уменьшением расстояния

Можно представить себе, что те же стрелки изображают не только притягивающие силы, но и перемещения, которые тело совершает под влиянием этих сил в равные промежутки времени (перемещения пропорциональны 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 из мирового пространства (W, черт. 103) вынырнула планета K той же массы, что и сейчас рассмотренная, очутилась в сосед-

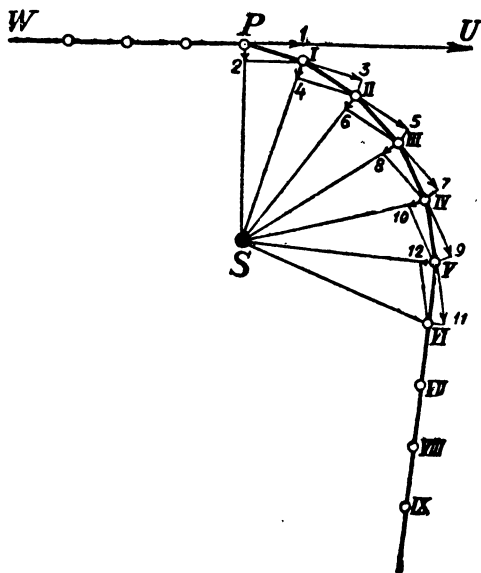
планета продвинется в первоначальном направлении на 2 единицы. В результате она переместится по диагонали  $KP$  параллелограмма, построенного на перемещениях  $K1$  и  $K2$ ; эта диагональ равна 3 единицам длины.

Очутившись в точке  $P$ , планета стремится двигаться дальше по направлению  $KP$ , со скоростью 3 единиц. Но в то же время, под действием притяжения Солнца в расстоянии  $SP = 5,8$ , она

должна в другом направлении пройти путь  $P3=3$ . В результате она пройдет 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 путем планеты. Рис. 104 дает ту же картину

в масштабе, более мелком. Здесь ясно видно, как Солнце отклоняет планету от ее первоначального пути и заставляет следовать по кривой  $P\ I\ II\ III\ IV\ V\ VI$ ; в точке  $VII$  планета вновь ускользает от власти солнечного притяжения и прямолинейно уносится в мировое

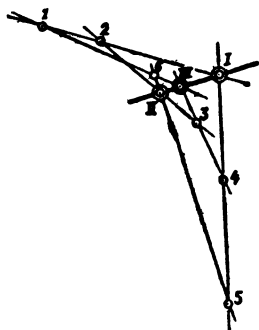


*Рис. 104. Солнце  $S$  отклоняет планету  $P$  от ее первоначального прямого пути  $WU$ , заставляя ее описывать кривую линию, но в данном случае не захватывает ее: планета идет далее по пути  $VI - IX$*

пространство. Углы построенного пути здесь не так резки, и отдельные положения планеты не трудно уже соединить плавной кривой линией.

Что же это за кривая? Ответить на этот вопрос поможет нам геометрия. Наложите на черт. 104 листок прозрачной бумаги и перенесите на нее шесть произ-

вольно взятых точек планетного пути. Выбранные 6 точек (черт. 105) перенумеруйте в любом порядке и соедините между собою 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



**Рис. 105. Геометрическое доказательство того, что небесные светила движутся по коническим сечениям. (Подробности в тексте.)**

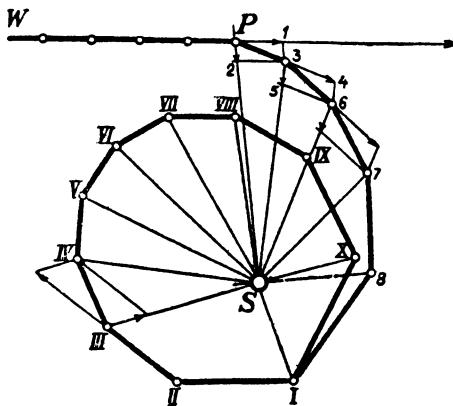
образом получите точку II на пересечении прямых 2—3 и 5—6, затем точку III — на пересечении 3—4 и 1—6. Если исследуемая нами кривая есть одно из так называемых «конических сечений», т. е. эллипс, парабола или гипербола, то три точки I, II и III должны оказаться на одной прямой линии. Такова геометрическая теорема (к сожалению, не из числа тех, что проходятся в средней школе), носящая название «шестиугольника Паскаля».

Тщательно выполненный чертеж всегда даст указанные точки пересечения на одной прямой. Это доказывает, что исследуемая кривая есть либо эллипс, либо парабола, либо гипербола. К чертежу 104 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 ее обращаться вокруг себя, «захватить» ее, как говорят астрономы.

Случай «захвата» мы имеем на черт. 106. Начало построения здесь такое же, как и в предыдущем случае. Планета начинает отклоняться в точке  $P$ , на том же расстоянии от солнца  $S$ , как на черт. 104. Но так как первоначальная скорость планеты на этот раз меньше, то результат получается иной: планета навсегда остается во власти Солнца, описывая около него постоянную замкнутую орбиту. Возьмем и здесь 6 любых точек замкнутой части пути и подвергнем прежнему испытанию. Точки пересечения оказываются на одной прямой — доказательство, что перед нами эллипс (рис. 107).

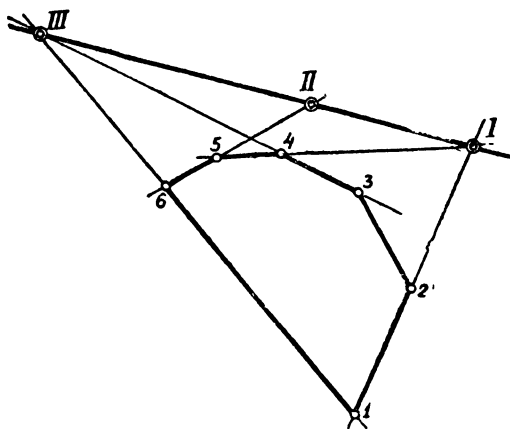
Итак, непосредственным построением мы убеждаемся в справедливости первого, самого «не-

понятного» закона движения планет: они движутся по эллипсам. Разумеется, наше построение — не строгое доказательство, а лишь наглядная демонстрация. Доказать что-либо таким несовершенным методом нельзя, и если при упражнениях подобного рода вы наткнетесь на какое-нибудь новое соотношение, то не думайте, что сделали астрономическое открытие, пока оно не подтверждено более строгими математическими методами: вы легко можете стать просто жертвой неточности построения.



**Рис. 106. Захват планеты Солнцем (S): планета начинает двигаться по замкнутой орбите**

Постараемся теперь подобным же образом уяснить второй закон движения планет — так называемый закон площадей. Рассмотрите внимательно замкнутую часть кривой рис. 106. Десять намеченных на ней точек делят ее на 10 участков; они не равны по длине, но нам известно, что они проходятся планетой в одинаковое



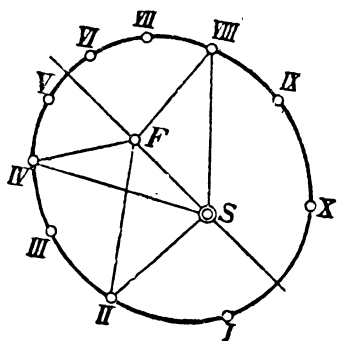
*Рис. 107. Путь «захваченной» планеты есть коническое сечение. (Арабские цифры этого чертежа отвечают римским предыдущего)*

время. Соединив точки I, II, III и т. д. с Солнцем, получите 10 треугольников. Измерив их основания и высоты, вычислите их площади. Вы убедитесь, что все треугольники имеют одинаковую площадь. Другими словами, вы приходите ко второму закону Кеплера:

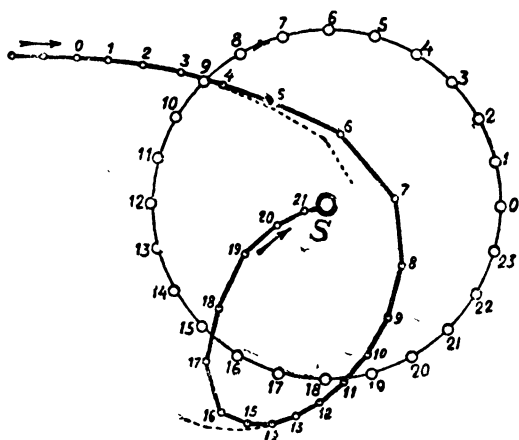
Радиусы-векторы планетных орбит описывают в равные времена равные площади.

Вы можете рассмотреть на чертеже движение планеты и в более сложных случаях. Рис. 109 изображает

путь планеты, вторгшейся  
внутрь орбиты другой си-  
стемы: под действием одно-  
временного притяжения  
двух центров планета-при-  
шелец описывает петлю,  
увлекающую ее прямо к  
Солнцу. Здесь принимается,  
что масса Солнца вдвое  
больше, чем масса планеты,  
принадлежащей к его систе-  
ме. (Случай этот к нашей  
солнечной системе непрילו-  
жим: он возможен лишь  
в системе двойных звезд.)  
Одновременные положения



*Рис. 108. Эллиптический  
путь планеты. F и S — фо-  
кусы. Сумма расстояний  
 $FVIII + SVIII = FIV + SIV =$   
 $= FII + SII =$  большой оси  
эллипса (легко убедиться  
измерением)*



*Рис. 109. Воображаемое вторжение посто-  
роннего светила в планетную систему.  
Одинаковыми цифрами обозначены одновре-  
менные положения вторгшегося тела и  
планеты на ее орбите. S — Солнце*

планеты-пришельца и коренной планеты отмечены  
одинаковыми цифрами. Если бы Солнце не имело



в своем подчинении столь крупной планеты, вторгшееся тело превратилось бы в постоянную планету (оно пошло бы, начиная с точки 4, по пунктирной линии). Под действием постоянной планеты пришелец достигает точки 14 и здесь, вместо того чтобы двигаться по пунктирной линии дальше<sup>1</sup>, возвращается к Солнцу и падает на него.

Читателю, выполнившему последнее построение, приятно будет узнать, что он имел дело с труднейшей и до сих пор еще не разрешенной в общем виде задачей небесной механики — с знаменитой проблемой «трех тел».

Итак, циркуль до известной степени помогает постичь первые два закона планетных движений. Чтобы уяснить себе третий закон, сменим циркуль на перо и сделаем несколько численных упражнений.

### ***Падение планет на Солнце***

Задумывались ли вы над тем, что произошло бы с нашей Землей, если бы, встретив препятствие, она внезапно была остановлена в своем беге вокруг Солнца? Прежде всего, конечно, тот огромный запас энергии, которым наделена наша планета, как движущееся тело, превратится в теплоту и нагреет земной шар. Земля мчится по орбите в десятки раз быстрее пули, и не трудно вычислить, что переход энергии ее движения в теплоту породит чудовищный жар, который мгновенно превратит наш мир в исполинское облако раскаленных газов...

Но если бы даже Земля при внезапной остановке избежала этой участи, она все-таки обречена была бы на огненную гибель: увлекаемая Солнцем, она устремилась

---

<sup>1</sup> Подобный случай рассмотрен Уэллсом в его рассказе «Звезда», который мы привели в конце главы III.

бы к нему с возрастающей скоростью и погибла бы в его пламенных объятиях.

Это роковое падение началось бы медленно, с черепашной вялостью: в первую секунду Земля приблизилась бы к Солнцу только на 3 мм. Но с каждой секундой скорость ее движения прогрессивно возрастала бы, достигнув в последнюю секунду 600 км: с этой невообразимой скоростью земной мир обрушился бы на раскаленную поверхность Солнца.

Интересно вычислить, сколько времени длился бы этот гибельный перелет, долго ли продолжалась бы агония нашего обреченного мира. Сделать этот расчет поможет нам третий закон Кеплера, который простирается 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 (ее «год») с ее расстоянием от Солнца и гласит:

квадраты времен обращения планет относятся между собою, как кубы их больших полуосей.

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 — близ земной орбиты, 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 ее орбиты, и тогда большая полуось орбиты кометы выразится дробью 0,5. Пропорция наша принимает теперь такой вид:

$$\frac{365^2}{(\text{пер. обр. ком.})^2} = \frac{1}{0,5^2},$$

откуда

$$(\text{период обр. кометы})^2 = 365^2 \times \frac{1}{8}.$$

Следовательно,

$$\text{период обр. кометы} = 365 \times \frac{1}{\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{8}}.$$

Нас интересует, собственно, не полный период обращения этой воображаемой кометы, а половина периода, т. е. продолжительность полета 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 счетом, 64 дня.

Итак, мы вычислили, что Земля, внезапно остановленная в своем движении по орбите, падала бы на Солнце в течение более чем двух месяцев.

Легко видеть, что полученная выше, на основании третьего закона Кеплера, простая формула применима не к одной только Земле, но и к каждой другой планете и даже к каждому спутнику. Иначе говоря, чтобы узнать, во сколько времени планета или спутник упадут на свое центральное светило, нужно период их обращения разделить на  $\sqrt{32}$ , 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 — 54 года:

Во сколько времени упала бы на Землю Луна, если бы внезапно остановился ее бег? Делим время обращения Луны — 27,3 дня — на 5,6; получим почти ровно 5 дней. И не только Луна, но и всякое вообще тело, находящееся от нас в расстоянии Луны, падало бы на Землю в течение 5 дней, если только ему не сообщена какая-нибудь начальная скорость, а падает оно, подчиняясь лишь действию земного притяжения (влияние Солнца мы ради простоты здесь исключаем). Пользуясь той же формулой, не трудно проверить продолжительность перелета на Луну, указанную Ж. Верном в романе «Из пушки на Луну»<sup>1</sup>.

### *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!

Не трудно, однако, вычислить, что вселенная древних греков, если измерять ее по этому признаку, была бы, по нашим понятиям, довольно тесновата.

---

<sup>1</sup> Расчеты приведены в моей книге «Межпланетные путешествия».

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  $\sqrt[3]{32}$ , 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 Кеплеров закон.

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:

$$\frac{27,3^2}{51^2} = \frac{380\,000}{(\text{расст. наковальни})^3}.$$

Отсюда неизвестное расстояние наковальни от Земли нетрудно вычислить:

$$\text{расст. наковальни} = \sqrt[3]{\frac{51^2 \cdot 380\,000^3}{27,3^2}} = 380\,000 \sqrt[3]{\frac{51^2}{27,3^2}}.$$

Вычисление дает следующий результат: 580 000 км.

Итак, вот как мизерно было на взгляд современного астронома расстояние до неба древних греков: всего в  $1\frac{1}{2}$  раза больше расстояния Луны. Мир древних кончался примерно там, где по нашим представлениям он только начинается.

### *Границы солнечной системы*

Третий закон Кеплера дает также возможность вычислить, насколько далеко должна быть отодвинута граница нашей солнечной системы, если считать край-

ними ее точками самые отдаленные концы (афелии) кометных орбит. Нам приходилось уже беседовать об этом раньше; здесь произведем соответствующий расчет. Мы упоминали в главе III о кометах, имеющих очень долгий период обращения: в 776 лет. Вычислим расстояние  $x$  афелия такой кометы, зная, что ближайшее ее расстояние от Солнца (перигелий) равно 1 800 000 км.

Привлекаем в качестве второго тела Землю и составляем пропорцию:

$$\frac{776^3}{1^3} = \frac{\left[\frac{1}{2}(x + 1\,800\,000)\right]^3}{150\,000\,000^3}.$$

Отсюда

$$x + 1\,800\,000 = 2 \cdot 150\,000\,000 \cdot \sqrt[3]{776^2}.$$

И следовательно,

$$x = 2\,518\,000\,000 \text{ км.}$$

Мы видим, что рассматриваемые кометы должны уходить почти в 168 раз далее от Солнца, чем Земля, и значит, вчетверо дальше, чем последняя из известных нам планет — Плутон.

### ***Ошибка в романе Жюль Верна***

Вымышленная комета «Галлия», на которую Жюль Верн перенес 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 расчет по формуле 3-го 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:

$$\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \cdot 150^3},$$

откуда

$$x = -343.$$

Отрицательный результат для величины ближайшего расстояния кометы от Солнца указывает на несогласованность исходных данных задачи. Другими словами, комета со столь коротким периодом обращения — 2 года — не могла бы уходить от Солнца так далеко, как указано в романе Жюль Верна.

### ***Как взвесили Землю?***

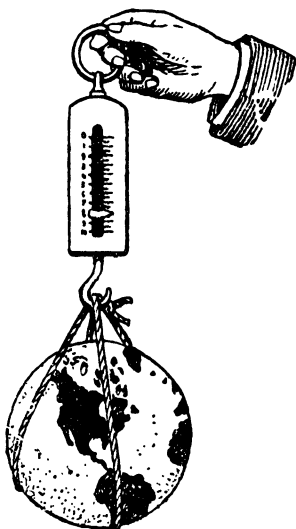
Существует анекдотический рассказ про наивного человека, которого всего более удивляло в астрономии то, что ученые узнали, как звезды называются. Если говорить серьезно, то наиболее удивительным достижением астрономов должно, вероятно, казаться то, что им удалось взвесить и Землю, на которой мы живем, и далекие небесные светила. В самом деле: каким способом, на каких весах могли взвесить Землю и небо?

Начнем с взвешивания Земли. Прежде всего отдадим себе отчет, что следует понимать под словами «вес земного шара». Весом тела мы называем давление, которое оно оказывает на свою опору, или натяжение, которое оно производит на точку привеса. Ни то, ни другое к земному шару неприменимо: Земля ни на что

не опирается, ни к чему не привешена. Значит, в таком смысле земной шар не имеет веса. Что же определили ученые, «взвесив» Землю? Они определили ее массу. В сущности, когда мы просим отвесить нам в лавке 1 кг сахара, нас нисколько ведь не интересует сила, с какою этот сахар давит на опору или натягивает нить привеса. Подобные свойства товара важны для нас, например, при покупке дрови для блочной лампы. В сахаре нас интересует другое: мы думаем лишь о том, сколько стаканов чая можно с ним выпить. Другими словами, нас интересует количество заключающегося в нем вещества. Но для измерения количества вещества существует только один способ: найти, с какою силой тело притягивается Землей. Мы принимаем, что равным массам отвечают равные количества вещества, а о массе тела судим только по силе его притяжения, так как притяжение пропорционально массе.

Переходя к весу Земли, мы скажем, что «вес» ее определится, если станет известна ее масса: если бы нам удалось узнать массу Земли, мы узнали бы, с какою силою давила бы Земля на опору, будь она помещена на подставке близ своей собственной поверхности.

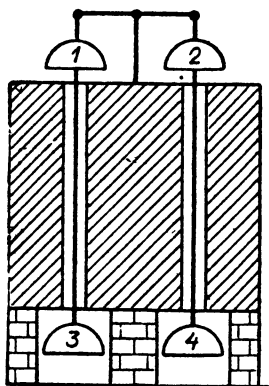
Итак, задачу определения веса Земли надо понимать, как задачу исчисления ее массы. План решения таков. Узнают, с какою силой 1 кг притягивается телом,



*Рис. 110. На каких весах могли взвесить Землю?*



масса которого известна. Затем определяют, с какой силой 1 кг притягивался бы на таком же расстоянии земным шаром. Земля, конечно, притягивает во много раз сильнее, чем выбранное для измерения тело: во столько же раз больше и масса Земли, т. е. во столько же раз Земля «тяжелее» взятого тела.



**Рис. 111. Один из способов «взвесить» земной шар: весы профессора Рихарца**

Теперь расскажем про один из способов выполнения этого плана (способ Рихарца и Кригар-Менцеля, 1898 г.). На рис. 111 вы видите весы, предназначенные для того, чтобы измерить, с какою силою 1 кг притягивается сплошным свинцовым кубом в 2 м высоты. Куб этот на рисунке изображен заштрихованным квадратом. В нем просверлены два отвесных канала, через которые продеты шнуры с чашками. К каждому шнуру подвешены две чашки: верхняя и нижняя. Если на чашку 1 поместить груз  $A$ , а на чашку 4 — уравнове-

шивающие его гири, то вес гирь не будет строго равен весу груза. Не будет потому, что гири, находясь под свинцовым кубом, оттягиваются им вверх; груз же, помещенный над кубом, притягивается не только Землей, но и свинцовой массой. Если истинный вес груза обозначим через  $A$ , истинный вес положенных гирь — через  $Q$ , а притяжение груза (и гирь) свинцовым кубом — через  $x$ , то на чашке 1 груз будет увлекаться вниз с силою  $A + x$ , гири же на чашке 4 — с силою  $Q - x$ . Так как весы в равновесии, то

$$A + x = Q - x,$$

откуда

$$A + Q = 2x.$$

Обменяем гири и груз местами. Новые гири увлекутся с силою, на  $x$  большею их истинного веса, а груз — с силою, на  $x$  меньшею истинного его веса. Опять истинный вес груза  $A$  будет на  $2x$  меньше веса уравнивающих его новых гирь  $Q_1$ . В самом деле:

$$A - x = Q_1 + x,$$

откуда

$$A = Q_1 + 2x.$$

Значит,

$$Q - 2x = Q_1 + 2x$$

и, следовательно,

$$4x = Q - Q_1; \quad x = \frac{Q - Q_1}{4}.$$

Так мы находим  $x$  — силу, с которой свинцовый куб притягивает тело  $A$ .

Опыт был проделан с величайшей тщательностью. В течение шести месяцев выполнены были сотни таких взвешиваний, а затем взят средний результат. Вот он: при весе свинцового куба в 100 000 кг и груза  $A$  в 947 г, разница при обмене местами груза и гири составляла 2,733 мг (такая ничтожная величина решает всю задачу).

Разделив 2,733 на 4, узнаем, что сила притяжения свинцового куба равна 0,683 мг для груза 947 г. Легко рассчитать, что для полного килограмма она составляет 0,721 мг. Расстояние груза от центра притяжения свинцового куба (ребро его = 2 м) примем равным 1 м. Земной шар притягивает 1 кг с силою, конечно, 1 кг, т. е. 1 000 000 мг, — но с расстояния не 1 м, а 6 370 000 м (расстояние до центра Земли). Значит, если бы все

вещество Земли было сосредоточено в ее центре, а 1 кг находился в 1 м от него, Земля притягивала бы его с силой в  $6\,370\,000^2$  раз большею, чем 1 000 000 мг, т. е. с силою

$$6\,370\,000^2 \times 1\,000\,000 \text{ мг.}$$

Свинцовый же куб притягивает его с силою

$$0,721 \text{ мг.}$$

Сила притяжения Земли больше силы притяжения куба в

$$\frac{6\,370\,000^2 \cdot 1\,000\,000}{0,721} \text{ раз.}$$

Эта величина равна  $5,6 \times 10^{19}$ . Более точный расчет, учитывающий второстепенные обстоятельства, которыми пренебрегли мы, дает несколько большее число:

$$5,984 \times 10^{19}.$$

Следовательно, земной шар обладает массой примерно в  $6 \times 10^{19}$  большей, чем масса свинцового куба, равная 100 000 кг. Отсюда определяется масса, а следовательно, и «вес» земного шара:

$$6 \times 10^{24} \text{ кг.}$$

Результат измерений, выполненных иными способами, хорошо согласуется с сейчас указанным. 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 какою оно притягивается Землей, а массу: мы устанавливаем лишь, что масса тела равна массе гирь.

## *Из чего состоят недра Земли?*

Здесь уместно отметить ошибку, которую приходится встречать в популярных книгах и статьях. Стремясь упростить изложение, авторы представляют дело взвешивания Земли так: ученые измерили средний вес  $1 \text{ см}^3$  нашей планеты (т. е. ее удельный вес) и, вычислив геометрически ее объем, определили вес Земли умножением ее удельного веса на объем. Указываемый путь однако неосуществим: нельзя непосредственно измерить удельный вес Земли, так как нам доступна только сравнительно тонкая наружная ее оболочка<sup>1</sup> и ничего неизвестно о том, из каких веществ состоит остальная, значительно бóльшая часть ее объема.

Мы уже знаем, что дело происходило наоборот: определение массы земного шара предшествовало определению его средней плотности. Она оказалась равной  $5,5 \text{ г на } 1 \text{ см}^3$ , — гораздо больше, чем средняя плотность пород, составляющих земную кору. Это указывает на то, что в глубине земного шара залегают очень тяжелые вещества. По их предполагаемому удельному весу (а также и по другим основаниям) надо думать, что ядро нашей планеты состоит из железа, сильно уплотненного давлением вышележащих масс.

## *Вес Солнца и Луны*

Как ни странно, вес далекого Солнца оказывается несравненно проще определить, чем вес гораздо более близкой к нам Луны. (Само собою разумеется, что

---

<sup>1</sup> Минералы земной коры исследованы только до глубины 25 км; расчет показывает, что в минералогическом отношении изучена всего  $\frac{1}{88}$  доля объема земного шара.

слово «вес» по отношению к этим светилам мы употребляем в том же условном смысле, как и для Земли: речь идет об определении массы.)

Масса Солнца найдена путем следующего рассуждения. Из того, что, как показал опыт Рихарца, 100 000 кг и 1 кг на расстоянии 1 м притягиваются с силою 0,721 мг, можно вычислить, что 1 г притягивает 1 г на расстоянии 1 см с силою  $\frac{1}{15\,000\,000}$  миллиграммов. Взаимное притяжение  $f$  двух тел с массой  $M$  и  $m$  на расстоянии  $D$  выразится, согласно Ньютону, закону всемирного тяготения, так:

$$f = \frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{D^2} \text{ миллиграммов.}$$

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 ее орбите и которая по правилам механики равна (тоже в миллиграммах):  $\frac{mv^2}{D}$ , где  $m$  — масса Земли (в граммах),  $v$  — ее круговая скорость, равная 30 км/сек = 3 000 000 см/сек, а  $D$  — расстояние от Земли до Солнца. Следовательно

$$\frac{1}{15\,000\,000} \cdot \frac{Mm}{D} = m \cdot \frac{3\,000\,000^2}{D}.$$

Из этого уравнения определяется неизвестное  $M$  (выраженное, как сказано, в граммах):

$$M = 2 \cdot 10^{33} \text{ г} = 2 \cdot 10^{27} \text{ т.}$$

---

<sup>1</sup> Точнее, дин; дина = 0,98 мг.

Разделив эту массу на массу земного шара, т. е. вычислив

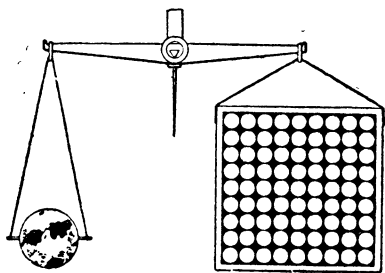
$$\frac{2 \cdot 10^{27}}{6 \cdot 10^{21}},$$

получаем  $\frac{1}{3}$  миллиона.

Итак, Солнце тяжелее Земли в треть миллиона раз.

Не трудно вычислить и среднюю плотность солнечного шара: для этого нужно лишь его массу разделить на объем. Оказывается, что плотность Солнца в 4 раза меньше плотности Земли.

Что же касается массы Луны, то, как выразился один астроном, «хотя она к нам ближе всех других небесных тел, взвесить ее труднее, чем Нептуна, самую далекую (тогда) планету». У Луны нет спутника, который помог бы вычислить ее массу, как вычислили мы сейчас массу Солнца. Ученым пришлось прибегнуть к другим, более сложным методам, из которых упомянем только один. Он состоит в том, что сравнивают высоту прилива, производимого Солнцем, и прилива, порождаемого Луной. Высота прилива зависит от массы и расстояния порождающего его тела, а так как масса и расстояние Солнца известны, расстояние Луны — тоже, то из сравнения высоты приливов и определяется масса Луны. Мы еще вернемся к этому расчету, когда будем говорить о приливах. Здесь сообщим лишь окончательный результат: масса Луны составляет  $\frac{1}{81}$  массы Земли.



*Рис. 112. Земной шар «весит» в 81 раз больше Луны*

Зная диаметр Луны, вычисляем ее объем, он в 49 раз меньше объема Земли. Поэтому средняя плотность нашего спутника составляет:

$$\frac{49}{81} = 0,6 \text{ плотности Земли.}$$

Значит, Луна в среднем состоит из более рыхлого вещества, нежели Земля, хотя и не столь малоплотного, как Солнце.

### ***Вес и плотность планет и звезд***

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 приравниваем 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.

Подобное же вычисление применимо и к двойным звездам с той лишь разницей, что здесь в результате вычисления получаются не массы отдельных звезд данной пары, а сумма их масс.

Гораздо труднее определить массу спутников планет, а также массу тех планет, которые вовсе не имеют спутников.

Например, массы Меркурия и Венеры найдены из учета того возмущающего влияния, которое они оказывают друг на друга, на Землю, а также на движение некоторых комет.

Для астероидов, масса которых настолько незначительна, что они не оказывают один на другой никакого возмущающего действия, задача определения массы, вообще говоря, неразрешима. Известен лишь — и то гадательно — высший предел совокупной массы всех этих крошечных планеток.

По массе и объему планет легко вычисляется их средняя плотность. Вот результаты:

	Плотность Земли = 1
Меркурий . . . . .	0,7
Венера . . . . .	0,88
Земля . . . . .	1,0
Марс . . . . .	0,72
Юпитер . . . . .	0,24
Сатурн . . . . .	0,13
Уран . . . . .	0,23
Нептун . . . . .	0,29

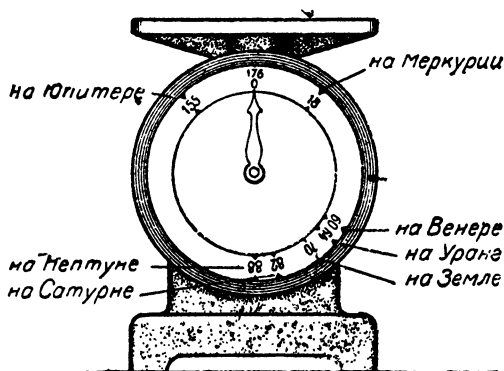
Мы видим, что наша Земля — самая плотная из всех планет нашей системы. А исполин Сатурн — наиболее рыхлая: вещество его в среднем даже легче воды.

### *Тяжесть на Луне и на планетах*

Люди, мало начитанные в астрономии, нередко высказывают изумление по поводу того, что ученые, не посетив Луны и планет, уверенно говорят о силе тяжести на их поверхности. Между тем совсем не трудно рассчитать, сколько килограммов должна весить гиря, перенесенная на другие миры. Для этого нужно лишь знать радиус и массу небесного тела.



Определим, например, напряжение тяжести на Луне. Масса Луны, мы знаем, в 81 раз меньше массы Земли. Если бы Земля обладала такой маленькой массой, то напряжение тяжести на ее 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 ее поверх-



**Рис. 113. Сколько весил бы человек на разных планетах?**

ности 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 тяжести на поверхности Луны составляет

$$\frac{100^2}{27^2 \cdot 81} \approx \text{или:} = \sim \frac{1}{6} \text{ земного.}$$

Итак, гиря в 1 кг, перенесенная на поверхность Луны, весила бы там только  $\frac{1}{6}$  кг; но, конечно, умень-

шение веса возможно было бы обнаружить только помощью пружинных весов, а не рычажных.

Любопытно, что если бы на Луне существовала вода, пловец чувствовал бы себя в лунном водоеме так же, как на Земле. Его вес уменьшился бы в 6 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, насколько погружается он у нас.

Впрочем усилия подняться над водою дали бы на Луне более заметный результат: раз вес тела пловца уменьшился, оно может быть поднято меньшим напряжением мускулов.

Ниже приведена табличка величины тяжести на разных планетах по сравнению с земной.

На Меркурии . . . . .	0,27
„ Венере . . . . .	0,85
„ Земле . . . . .	1,00
„ Марсе . . . . .	0,38
„ Юпитере . . . . .	2,64
„ Сатурне . . . . .	1,17
„ Уране . . . . .	0,92
„ Нептуне . . . . .	1,12
„ Плутоне . . . . .	?

Наша Земля занимает по силе тяжести 4-ое место в солнечной системе, после Юпитера, Сатурна и Нептуна<sup>1</sup>.

### ***Рекордная тяжесть***

Самой большой величины достигает тяжесть на поверхности тех «белых карликов» типа Сириуса В, о котором мы говорили в главе IV. Легко сообразить,

---

<sup>1</sup> Желающие подробнее познакомиться с проявлениями тяготения во Вселенной найдут много полезных сведений в общепонятно написанной книжечке проф. К. Л. Баева «Всемирное тяготение» (1936 г.).

что огромная масса этих светил при сравнительно небольшом радиусе должна обусловить весьма значительное напряжение тяжести на их поверхности. Сделаем расчет для той звезды созвездия Кассиопеи, масса которой в 2,8 раза больше массы нашего Солнца, а радиус — вдвое меньше радиуса Земли. Вспомнив, что масса Солнца в 330 000 раз больше земной, устанавливаем, что сила тяжести на поверхности упомянутой звезды превышает земную в

$$2,8 \cdot 300\,000 \cdot 2^2 = 3\,700\,000 \text{ раз.}$$

1 см<sup>3</sup> воды, весящий на земле 1 г, весил бы на поверхности этой звезды почти  $3\frac{3}{4}$  т! 1 см<sup>3</sup> вещества самой звезды (которое в 36 000 000 раз плотнее воды) должен в этом парадоксальном мире иметь чудовищный вес:

$$3\,700\,000 \cdot 36\,000\,000 = 133\,200\,000\,000\,000.$$

Наперсток вещества, весящий сотню миллиардов тонн — вот диковинка, о существовании которой во Вселенной не помышляли еще недавно самые смелые фантасты.

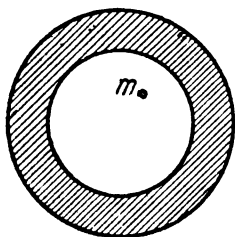
### ***Тяжесть в глубине планет***

Как изменился бы вес тела, если бы оно было перенесено в глубь планеты, например, на дно фантастической глубокой шахты?

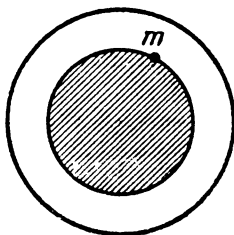
Многие ошибочно считают, что на дне такой шахты тело должно сделаться тяжелее: ведь оно ближе к центру планеты, т. е. к той точке, к которой притягиваются все тела. Это соображение однако неправильно: сила притяжения к центру планеты не возрастает в глубине, а напротив, ослабевает. Общепонятное разъяснение этого читатель может найти в «Занима-

тельной физике» (1936 г.) Чтобы не повторять сказанного там, замечу лишь следующее.

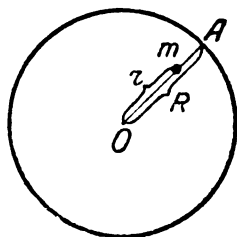
В небесной механике доказывается, что тела, помещенные в полость однородной шаровой оболочки, совсем лишены веса (рис. 114). Отсюда следует, что тело, находящееся внутри сплошного однородного шара, подвержено притяжению только вещества сфе-



*Рис. 114. Тело внутри шаровой оболочки не имеет веса*



*Рис. 115. От чего зависит вес тела в недрах планеты*



*Рис. 116. Изменение веса с приближением к центру планеты*

ры, радиус которой равен удалению тела от центра (рис. 115).

Опираясь на эти положения, не трудно вывести закон, по которому изменяется вес тела с приближением к центру планеты. Обозначим радиус планеты (рис. 116) через  $R$  и расстояние тела от ее 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, притягивающая 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 6 400 км, углубление на 3 200 км должно сопровождаться уменьшением веса вдвое; углубление на 5 600 км — уменьшением веса в

$$\frac{6\,400 - 5\,600}{6\,400}, \text{ т. е. в 8 раз.}$$

В самом центре планеты тело должно потерять свой вес полностью, так как

$$\frac{6\,400 - 6\,400}{6\,400} = 0.$$

Это, впрочем, можно было предвидеть и без вычислений, так как в центре планеты тело притягивается окружающим веществом со всех сторон одинаково сильно.

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.

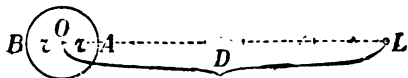
### ***Задача о пароходе***

Заимствуем из иностранного журнала следующую задачу:

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 озаренной лунным светом половине земного шара, должен быть легче, чем в безлунную, потому, что «его 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 все же пароход, озаренный Луной, легче, чем в безлунную ночь.



*Рис. 117. Действие лунного притяжения на частицы земного шара*

Объясним, почему. Пусть (рис. 117)  $O$  — центр земного шара,  $A$  и  $B$  — пароход в диаметрально противоположных точках земного шара. Радиус земного шара —  $r$ ; расстояние от центра  $L$  Луны до центра  $O$  земного шара —  $D$ . Массу Луны обозначим через  $M$ , парохода — через  $m$ . Для упрощения расчета берем точки  $A$  и  $B$  так, что Луна находится для них в зените и в надире. Сила, с какою притягивается Луной пароход в точке  $A$  (т. е. в лунную ночь), равна:

$$\frac{kMm}{(D-r)^2},$$

где  $k = \frac{1}{15\,000\,000}$  мг. В точке  $B$  (в безлунную ночь) тот же пароход притягивается Луной с силою

$$\frac{kMm}{(D+r)^2}.$$

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  $\frac{kMm}{D^2}$ ? Не трудно догадаться, что это — сила, с которой притягивается Лунной пароход в расстоянии  $D$  от ее центра. На поверхности Луны пароход, масса которого равна  $m$ , весит  $\frac{m}{6}$ . На расстоянии  $D$  от Луны он весит  $\frac{m}{6^2}$ . Так как  $D=220$  лунным радиусам, то

$$\frac{kMm}{D^2} = \frac{m}{6 \cdot 220^2} = \text{около } \frac{m}{300\,000}.$$

Возвращаясь теперь к вычислению разности притяжений, имеем:

$$\frac{kMm}{D^2} \cdot \frac{1}{15} = \frac{m}{300\,000} \cdot \frac{1}{15} = \frac{m}{4\,500\,000}.$$

Если вес парохода 45 000 т, 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 от того, 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 ее поверхности, обращенной 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 — настолько же слабее.

Вследствие этой разницы вода в обоих случаях поднимается над твердой земной поверхностью: в первом случае потому, что вода перемещается к Луне больше, чем твердая часть земного шара; во втором — потому, что твердая часть Земли перемещается к Луне больше, чем вода<sup>1</sup>.

Подобное же действие оказывает на воды океана и притяжение Солнца. Но чье действие сильнее: солнечное или лунное? Если сравнить их непосред-

---

<sup>1</sup> Здесь отмечена лишь основная причина приливов и отливов; в целом явление это сложнее и обуславливается еще 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».



ственные притяжения, то окажется, что действие Солнца сильнее. Действительно, масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз, масса же Луны еще в 81 раз меньше, т.е. меньше солнечной в  $330\,000 \times \times 81$  раз. Расстояние от Солнца до Земли равно 23 400 земных радиусов, а от Луны до Земли — 60 земных радиусов. Значит, притяжение Земли Солнцем относится к притяжению ее Луною, 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 расчетом 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 Землей), и тогда, когда действия их противоположны (прямая, соединяющая Солнце с Землей, перпендикулярна к прямой, соединяющей Луну с Землей). Наблюдения показали, что вторые приливы по высоте составляют 0,42 первых. Если приливообразующая сила Луны  $=x$ , Солнца  $=y$ , то

$$\frac{x+y}{x-y} = \frac{100}{42},$$

откуда

$$\frac{x}{y} = \frac{71}{29}.$$

Значит, пользуясь прежде выведенной формулой

$$\frac{M_c}{M_n} \cdot \frac{D_n^3}{D_c^3} = \frac{29}{71}.$$

или

$$\frac{M_c}{M_n} \cdot \frac{1}{64\,000\,000} = \frac{29}{71}.$$

Так как масса  $M_c$  Солнца  $= 330\,000 M_z$ , где  $M_z$  — масса Земли, то из последнего равенства легко найти

$$\frac{M_z}{M_n} = 80,$$

т. е. масса Луны составляет  $\frac{1}{80}$  долю земной. Более точный расчет дает 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, им занимались еще французские ученые Лаплас и Араго; тем не менее о роли воздушных приливов распространены превратные представления. Неспециалисты думают, будто в легкой и подвижной атмосфере Земли Луна вызывает огромные приливные волны. Отсюда убеждение в том, что приливы эти значительно изменяют давление атмосферы и должны иметь решающее значение в метеорологии.

Это мнение совершенно ошибочно. Теоретически можно доказать, что высота атмосферного прилива не должна превышать высоты водного прилива в открытом океане. Такое утверждение кажется неожиданным; ведь воздух даже в нижних, плотных слоях чуть не в тысячу раз легче воды; почему же лунное притяжение не поднимает его на тысячекратную высоту? Однако это не более парадоксально, чем одинаковая быстрота падения тяжелых и легких тел в пустоте.

Вспомним школьный опыт с пустой трубкой, внутри которой свинцовый шарик падая, не перегоняет пушинки. Явление прилива в конечном счете обусловлено не чем иным, как падением в мировом пространстве земного шара и его более легких оболочек под действием тяготения Луны (и Солнца). В пустоте мирового пространства все тела — и тяжелые и легкие — падают с одинаковой быстротой, получают от силы тяготения одинаковое перемещение, если расстояние их от центра притяжения одинаково.

Сказанное подготавливает нас к той мысли, что высота атмосферных приливов должна быть такая же, как и в водяном 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 ее в отдельных пунктах до десяти и более метров<sup>1</sup>.

В безбрежном же воздушном океане ничто не может нарушать теоретической картины лунного прилива и изменять наибольшую ее теоретическую высоту — полметра. Столь незначительное поднятие может оказывать на величину атмосферного давления лишь самое ничтожное влияние.

Лаплас, первый занимавшийся теорией воздушных приливов, пришел к выводу, что колебания атмосферного давления, обусловленные ими, не должны превышать 0,6 мм ртутного столба, а порождаемый атмо-

---

<sup>1</sup> Высота приливной волны изменяется обратно пропорционально квадратному корню из ширины залива и корню 4-й степени из глубины: при глубине 10 м прилив теоретически должен быть вдвое выше, чем при глубине 160 м, так как

$$\sqrt[4]{\frac{160}{10}} = 2.$$

сферными приливами ветер обладает скоростью не выше 7,5 см в секунду.

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.

