
НАУКУ — ВСЕМ!
МОСКВА
Я. И. Перельман
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ
ШЕДЕВРЫ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
· Астрономия ·

Яков Исидорович Перельман
Занимательная астрономия

Текст предоставлен издательством «АСТ»
http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=266332
Занимательная астрономия: АСТ; М.;

Аннотация

Настоящая книга, написанная выдающимся популяризатором науки Я.И.Перельманом, знакомит читателя с отдельными вопросами астрономии, с ее замечательными научными достижениями, рассказывает в увлекательной форме о важнейших явлениях звездного неба. Автор показывает многие кажущиеся привычными и обыденными явления с совершенно новой и неожиданной стороны и раскрывает их действительный смысл.

Задачи книги – развернуть перед читателем широкую картину мирового пространства и происходящих в нем удивительных явлений и возбудить интерес к одной из самых увлекательных наук – к науке о звездном небе.

Для всех, кто интересуется астрономией, в том числе учителей, лекторов, руководителей кружков, любознательных школьников.

Содержание

Яков Исидорович Перельман
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

После выхода в 1966 году очередного издания книги Я.И. Перельмана «Занимательная астрономия» прошло более сорока лет. За это время многое изменилось. Знания людей о космическом пространстве расширились в той же степени, в какой стали доступными для науки объекты ближнего и дальнего космоса. Новые возможности наблюдательной астрономии, развитие астрофизики и космологии, успехи пилотируемой космонавтики, информация с борта все более совершенных автоматических межпланетных станций, выведение на околоземную орбиту мощных телескопов, «прощупывание» вселенских пространств радиоволнами – все это постоянно обогащает астрономические знания. Разумеется, новая астрономическая информация была внесена и в готовящееся издание книги Я.И. Перельмана.

В частности, книга была дополнена новыми результатами исследований Луны и уточненными данными о планете Меркурий. Приведены в соответствие с современными знаниями даты ближайших солнечных и лунных затмений, а также противостояний Марса.

Весьма впечатляющи полученные с помощью телескопов и автоматических межпланетных станций новые сведения о планетах-гигантах Юпитере, Сатурне, Уране и Нептуне – в частности, о количестве их спутников и о наличии планетных колец не только у Сатурна. Эти сведения были также внесены в текст нового издания – там, где это позволяет структура книги. Новые данные о планетах Солнечной системы внесены в таблицу «Планетная система в числах».

В новом издании учтены также изменения географических и политикоадминистративных названий, появившиеся в результате перемены власти и экономической системы в стране. Перемены сказались также на сфере науки и образования: например, астрономия постепенно выводится из числа предметов, изучаемых в средней общеобразовательной школе, изымается из обязательных школьных программ. И тот факт, что группа издательств АСТ продолжает выпускать популярные книги по астрономии, в том числе новое издание книги великого популяризатора науки Я.И. Перельмана, вселяет надежду, что молодые люди новых поколений все-таки будут что-то знать о родной планете Земля, Солнечной системе, нашей Галактике и других объектах Вселенной.

Н.Я. Дорожкин

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА К ИЗДАНИЮ 1966 г.

Подготавливая к печати 10-е издание «Занимательной астрономии» Я.И. Перельмана, редактор и издательство полагали, что это последнее издание этой книги. Бурное развитие науки о небе и успехи в освоении космического пространства пробудили интерес к астрономии у новых многочисленных читателей, которые вправе рассчитывать получить новую книгу этого плана, отражающую события, идеи и мечты нашего времени. Однако многочисленные настойчивые просьбы о переиздании «Занимательной астрономии» показали, что книга Я.И. Перельмана – выдающегося мастера популяризации науки в легкой, доступной, занимательной, но в то же время достаточно строгой форме – стала в известном смысле классической. А классиков, как известно, переиздают несчетное число раз, приобщая к ним новые и новые поколения читателей.

Подготавливая новое издание, мы и не стремились приблизить его содержание к нашему «космическому веку». Мы надеемся, что появятся новые, посвященные новому этапу развития науки книги, которых ожидает благодарный читатель. Мы внесли лишь самые необходимые изменения в текст. В основном это уточненные данные о небесных телах, указания на новые открытия и достижения, ссылки на книги, изданные в последние годы. В качестве книги, которая сможет значительно расширить кругозор читателей, интересующихся наукой о небе, можно рекомендовать «Очерки о вселенной» Б.А. Воронцова-Вельяминова, которые, пожалуй, также стали классическими и выдержали уже пять изданий. Много нового и интересного читатель найдет в научно-популярном журнале Академии наук СССР «Земля и вселенная», посвященном проблемам астрономии, геофизики и исследования космического пространства. Этот журнал начал выходить в 1965 г. в издательстве «Наука».

П. Куликовский

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Астрономия – счастливая наука: она, по выражению французского ученого Араго, не нуждается в украшениях. Достижения ее настолько захватывающи, что не приходится прилагать особых забот для привлечения к ним внимания. Однако наука о небе состоит не только из удивительных откровений и смелых теорий. 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 обострить внимание к ним и освежить интерес. Изложение по возможности освобождено от специальных терминов и от того технического аппарата, который часто становится преградой между астрономической книгой и читателем.

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

В предлагаемый сборник вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звездам и тяготению, причем 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.

Я П.

Глава первая
ЗЕМЛЯ, ЕЕ ФОРМА И ДВИЖЕНИЯ

Кратчайший путь на Земле и на карте

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

Ученик, подумав, старательно выводит между ними извилистую линию.

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

– Мой папа. Он 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!

Еще поразительнее следующее утверждение: изображенный на рис. 2 кружный путь из Японии к Панамскому каналу короче прямой линии, проведенной между ними на той же карте!

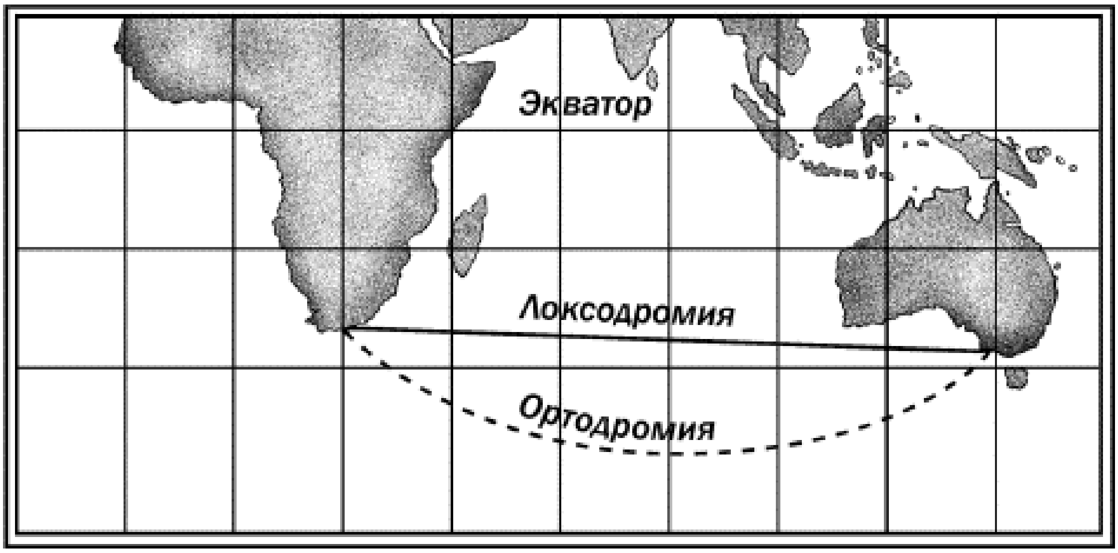


Рис. 1. На морской карте кратчайший путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии обозначается не прямой линией («локсодромией»), а кривой («ортодромией»)

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

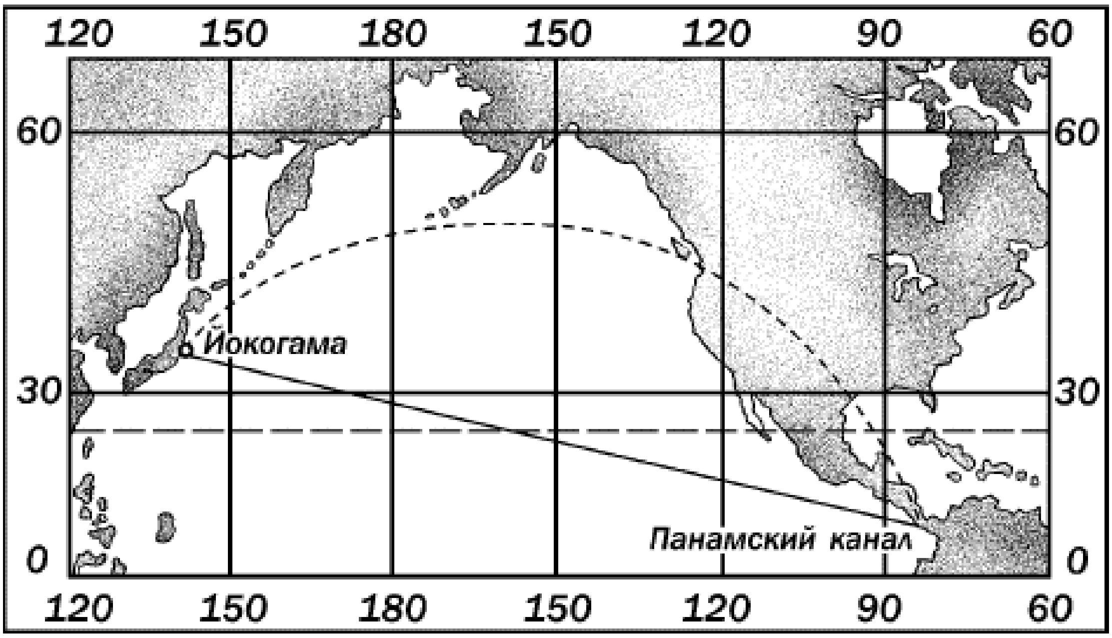


Рис. 2. Кажется невероятным, что криволинейный путь, соединяющий на морской карте Иокогаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведенной между теми же точками

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

Моряки пользуются картами, начерченными по способу старинного голландского картографа и математика XVI в. Меркатора. Способ этот называется «меркаторской проекцией». Узнать морскую карту легко по ее прямоугольной сетке: меридианы изображены на ней в виде ряда параллельных прямых линий; круги широты – тоже прямыми линиями, перпендикулярными к первым (см. рис. 5).

Вообразите теперь, что требуется найти кратчайший путь от одного океанского порта до другого, лежащего на той же параллели. На океане все пути доступны, и осуществить там путешествие по кратчайшему пути всегда возможно, если знать, как он пролегает. В нашем случае естественно думать, что кратчайший путь 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.[1] Но круг параллели – ***малый*** круг. Дуга большого круга менее искривлена, чем дуга любого малого круга, проведенного через те же две точки: большему радиусу отвечает меньшая кривизна. Натяните на глобусе нить между нашими двумя точками (ср. рис. 3); вы убедитесь, что она вовсе не ляжет вдоль параллели. Натянутая нить – бесспорный указатель кратчайшего пути, а если она на глобусе не совпадает с парал-

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

лелью, 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***.

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

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

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

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

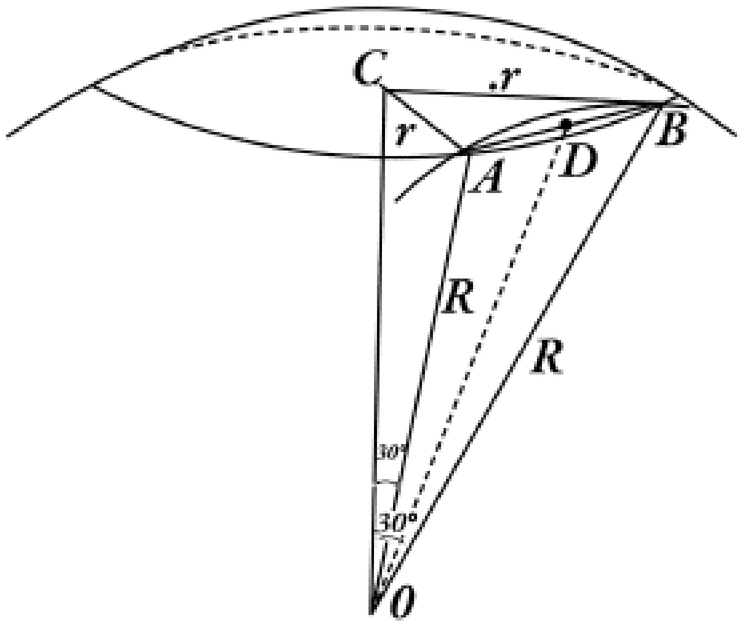


Рис. 4. К вычислению расстояний между точками A и B на шаре по дуге параллели и по дуге большого круга

На рис. 4 точка *O* – центр земного шара, *AB* – дуга круга широты, на котором лежат гавани *A и B; в* ней 60°. Центр круга широты – в точке *C* Вообразим, что из центра *O* земного шара проведена через те же гавани дуга большого круга: ее радиус *OB = OA = R;* она пройдет близко к начерченной дуге *AB,* но не совпадет с нею.

Вычислим длину каждой дуги. Так как точки *A* и *B* лежат на широте 60°, то радиусы *OA* и *OB* составляют с *OC* (осью земного шара) угол в 30°. В прямоугольном треугольнике *ACO* катет *AC (=r),* лежащий против угла в 30°, равен половине гипотенузы *AO;*

значит, *r=R/2* Длина дуги *AB* составляет одну шестую длины круга широты, а так как круг этот имеет вдвое меньшую длину, чем большой круг (соответственно вдвое меньшему радиусу), то длина дуги малого круга

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

Чтобы определить теперь длину дуги большого круга, проведенного между теми же точками (т. е. кратчайшего пути между ними), надо узнать величину угла *AOB.* Хорда *AS*, стягивающая дугу в 60° (малого круга), есть сторона правильного шестиугольника, вписанного го в тот же малый круг; поэтому *AB = r=R/2*

Проведя прямую *OD,* соединяющую центр *O* земного шара с серединой *D* хорды *AB,* получаем прямоугольный треугольник *ODA,* где угол *D* – прямой:

DA=½AB и OA = R.

Значит,

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

Отсюда находим (по таблицам):

$$\angle AOD = 14°28',5$$

и, следовательно,

$$\angle AOB = 28°57'.$$

Теперь уже нетрудно найти искомую длину кратчайшего пути в километрах. Расчет можно упростить, если вспомнить, что длина минуты большого круга земного шара есть морская миля, т. е. около 1,85 км. Следовательно, 28°57′ = 1737' ≈ 3213 км.

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

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

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

Почему же прежние мореплаватели пользовались столь обманчивыми картами и избирали невыгодные пути? Ошибочно думать, что в старину не знали о сейчас указанной особенности морских карт. Дело объясняется, конечно, не этим, а тем, что карты, начерченные по способу Меркатора, обладают наряду с неудобствами весьма ценными для моряков выгодами. Такая карта, во-первых, изображает отдельные небольшие части земной поверхности без искажения, сохраняя углы контура. Этому не противоречит то, что с удалением от экватора все контуры заметно растягиваются. В высоких широтах растяжение так значительно, что морская карта внушает человеку, незнакомому с ее особенностями, совершенно ложное представление об истинной величине материков: Гренландия кажется такой же величины, как Африка, Аляска больше Австралии, хотя Гренландия в 15 раз меньше Африки, а Аляска вместе с Гренландией вдвое меньше Австралии. Но моряка, хорошо знакомого с этими особенностями карты, они не могут ввести в заблуждение. Он мирится с ними, тем более, что в пределах небольших участков морская карта дает точное подобие натуры (рис. 5).

Зато морская карта весьма облегчает решение задач штурманской практики. Это – единственный род карт, на которых путь корабля, идущего постоянным курсом, изображается прямой линией. Идти «постоянным курсом» – значит держаться неизменно одного направления, одного определенного «румба», иначе говоря, идти так, чтобы пересекать все меридианы под равным углом. Но этот путь («локсодромия») может изобразиться прямой линией только на такой карте, на которой все меридианы – прямые линии, параллельные друг другу.[2] А так как на земном шаре круги широты пересекаются с меридианами под прямыми углами, то на такой карте и круги широты должны быть прямыми линиями, перпенди-

[2] В действительности локсодромия есть спиралевидная линия, винтообразно наматывающаяся на земной шар.

кулярными к линиям меридианов. Короче говоря, мы приходим именно к той координатной сетке, которая составляет характерную особенность морской карты.

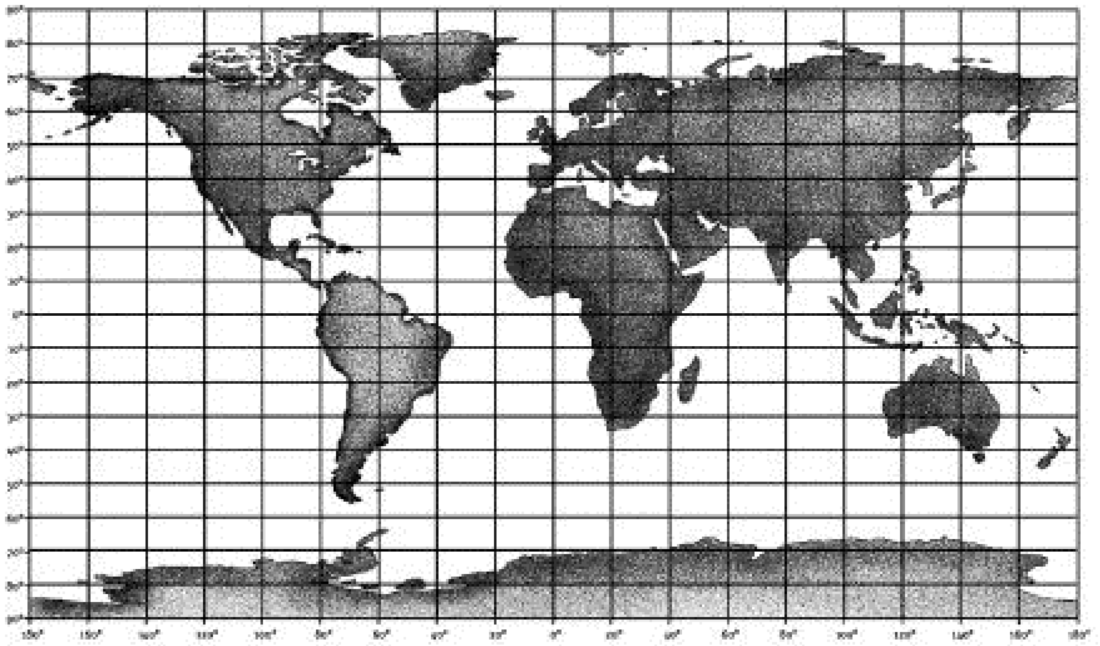


Рис. 5. Морская или меркаторская карта земного шара. На подобных картах сильно преувеличены размеры контуров, удаленных от экватора. Что, например, больше: Гренландия или Австралия? (Ответ в тексте)

Пристрастие моряков к картам Меркатора теперь понятно. Желая определить курс, которого надо держаться, идя к назначенному порту, штурман прикладывает линейку к конечным точкам пути и измеряет угол, составляемый ею с меридианами. Держась в открытом море все время этого направления, штурман безошибочно доведет судно до цели. Вы видите, что «локсодромия» – хотя и не самый короткий и не самый экономный, но зато в известном отношении весьма удобный для моряка путь. Чтобы дойти, например, от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии (см. рис. 1), надо неизменно держаться одного курса S 87°,50′. Между тем, чтобы довести судно до того же конечного пункта кратчайшим путем (по «ортодромии»), приходится, как видно из рисунка, непрерывно менять курс судна: начать с курса S 42°,50′, а кончить курсом N 53°,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?

РЕШЕНИЕ

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

Куда полетел Амундсен?

ЗАДАЧА

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

Дайте ответ, не заглядывая в дневники великого путешественника.

РЕШЕНИЕ

Северный полюс – самая северная точка земного шара.

Куда бы мы оттуда ни направлялись, – мы всегда отправились бы на юг.

Возвращаясь с северного полюса, Амундсен мог направиться только на юг; иного направления оттуда не было. Вот выписка из дневника его полета к северному полюсу на дирижабле «Норвегия»:

«"Норвегия" описала круг около северного полюса. Затем мы продолжали путь… Курс был взят на юг в первый раз с того времени, как дирижабль оставил Рим». 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 вдали?.. Неправда! И сзади восток. Короче: везде и всюду нескончаемый восток».

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

Пять родов счета 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 7/24 суток. Но после ***какого*** полудня и прежде всего 7/24 ***каких*** суток?

Что такое сутки? Те сутки, о которых говорит известная поговорка «день и ночь – сутки прочь», представляют собой промежуток времени, в течение которого земной шар успевает один раз обернуться вокруг своей оси по отношению к Солнцу. На практике его измеряют так: наблюдают два последовательных прохождения Солнца (вернее его центра) через ту линию на небе, которая соединяет точку, находящуюся над головой наблюдателя («зенит»), с точкой юга на горизонте. Промежуток этот не всегда одинаков: Солнце приходит на указанную линию то немного раньше, то позже. Регулировать часы по этому «истинному полудню» невозможно, самый искусный мастер не в состоянии выверить часы так, чтобы они шли строго по Солнцу: для этого оно чересчур неаккуратно. «Солнце показывает время обманчиво», – писали парижские часовщики на 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 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, называется «средним солнечным временем». Карманные и стенные часы идут именно по этому среднему солнечному времени, между тем как солнечные часы, в которых стрелкой служит тень стерженька, показывают истинное солнечное время для данного места. У читателя после сказанного составилось, вероятно, такое представление, что неравенство истинных солнечных суток вызвано неравномерным вращением Земли вокруг своей оси. Земля действительно вращается неравномерно, но неравенство суток обусловлено неравномерностью другого движения Земли, а именно – ее движения по орбите вокруг Солнца. Мы сейчас поймем, как это может отразиться на длине суток. На рис. 6 вы видите два последовательных положения земного шара. Рассмотрим левое положение. Стрелки внизу показывают, в каком направлении Земля вращается вокруг оси: против часовой стрелки, если смотреть на северный полюс. В точке *А* теперь полдень: эта точка лежит как раз против Солнца. Представьте себе теперь, что Земля сделала один полный оборот вокруг оси; за это время она успела переместиться по орбите направо и заняла другое место. Радиус Земли, проведенный в точке *А*, имеет такое же направление, как и сутки назад, но точка *А* оказывается уже лежащей не прямо против Солнца. Для человека, стоящего в точке *А*, полдень еще не наступил: Солнце левее прочерченной линии. Земле надо вращаться еще несколько минут, чтобы в точке *А* наступил новый полдень.

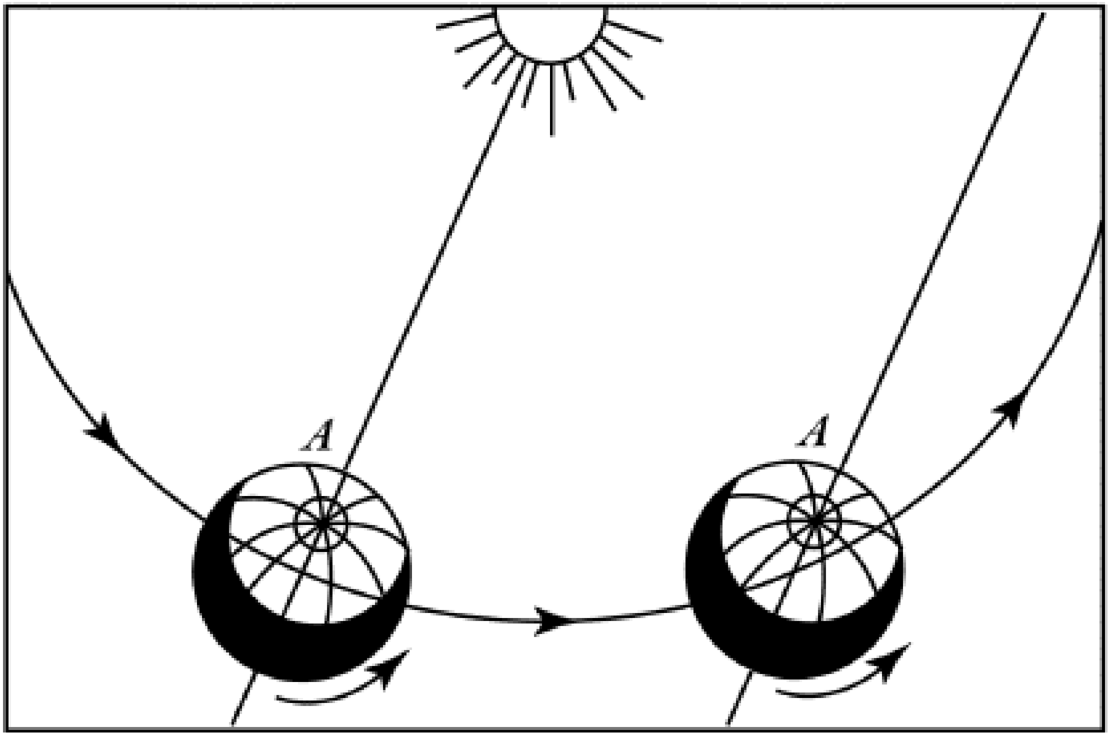


Рис. 6. Почему солнечные сутки длиннее звездных? (Подробности в тексте)

Что же отсюда следует? То, что промежуток между двумя истинными солнечными полуднями ***длиннее*** времени полного оборота Земли вокруг оси. Если бы Земля равномерно двигалась вокруг Солнца по ***кругу***, в центре которого находилось бы Солнце, то разница между действительной продолжительностью оборота вокруг оси и той кажущейся, которую мы устанавливаем по Солнцу, была бы изо дня в день одна и та же. Ее легко определить, если принять во внимание, что из этих небольших добавок должны в течение года составиться целые сутки (Земля, двигаясь по орбите, делает в год один лишний оборот вокруг оси); значит, действительная продолжительность каждого оборота равняется

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

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

Итак, звездные сутки ***в среднем*** короче солнечных на 3 м. 56 с, круглым счетом – на 4 м. Разница не остается постоянной, потому что: 1) Земля обходит около Солнца не равномерным движением по круговой орбите, а по эллипсу, в одних частях которого (более близких к Солнцу) она движется быстрее, в других (более отдаленных) – медленнее, и 2) ось вращения Земли наклонена к плоскости ее орбиты. Обе эти причины обусловливают то, что истинное и среднее солнечное время в разные дни расходятся между собой на различное число минут, достигающее в некоторые дни до 16. Только четыре раза в год оба времени совпадают:

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

Напротив, в дни

12 февраля,
3 ноября

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

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

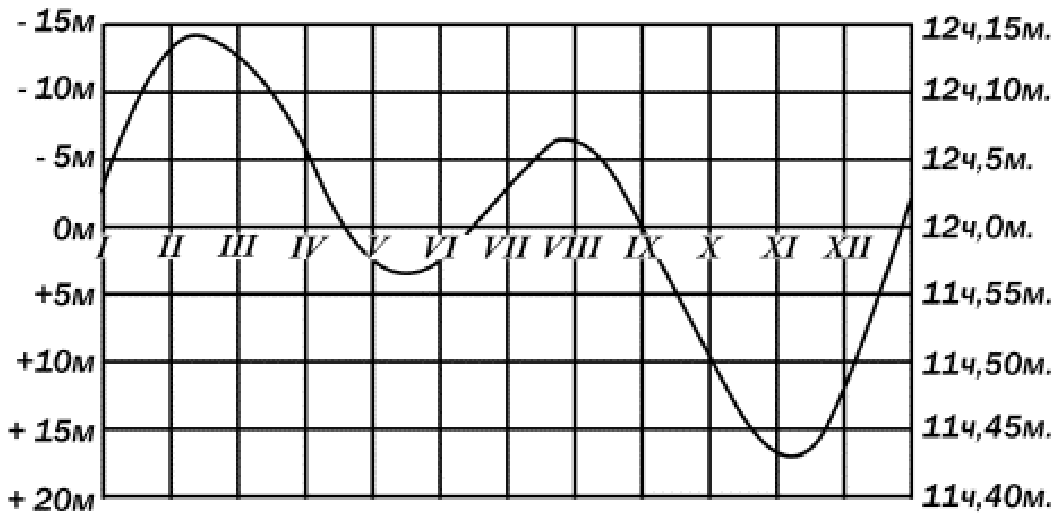


Рис. 7. Этот график, именуемый «графиком уравнения времени», показывает, как велико в тот или иной день расхождение между истинным и средним полуднем (левая шкала). Например, 1 апреля в истинный полдень верные механические часы должны показать 12 ч. 5 м.; иными словами, кривая дает среднее время в истинный полдень (правая шкала)

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

К этим трем родам счета 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. 22 сентября оба счета времени совпадают, но с каждым следующим днем звездное время опережает среднее солнечное на 4 минуты.

Наконец, существует еще и пятый вид времени, – 5) так называемое ***декретное*** время, – то, по которому в течение летнего сезона живет все население России и большинство западных стран.

Декретное время идет ровно на один час впереди поясного. Цель этого мероприятия состоит в следующем: в светлое время года – с весны до осени – важно начинать и кончать трудовой день пораньше, чтобы снизить расход электроэнергии на искусственное освещение. Это достигается официальным переводом часовой стрелки вперед. Такой перевод в западных государствах делается каждую весну (в час ночи стрелка переставляется к цифре 2), а каждую осень часы вновь переводятся назад.

Декретное время впервые было введено у нас в 1917 г.;[3] в течение некоторого периода стрелка часов была переведена на два и даже на три часа вперед; 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. 8). Вдоль левого его края показана в часах ***продолжительность*** дня. Вдоль нижнего края нанесено угловое расстояние Солнца от небесного экватора. Это расстояние, измеряемое в градусах, называется «склонением» Солнца. Наконец, косые линии отвечают различным широтам мест наблюдения.

Чтобы пользоваться 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.

[3] По почину Я.И. Перельмана, предложившего этот законопроект. *(Прим. ред.)*

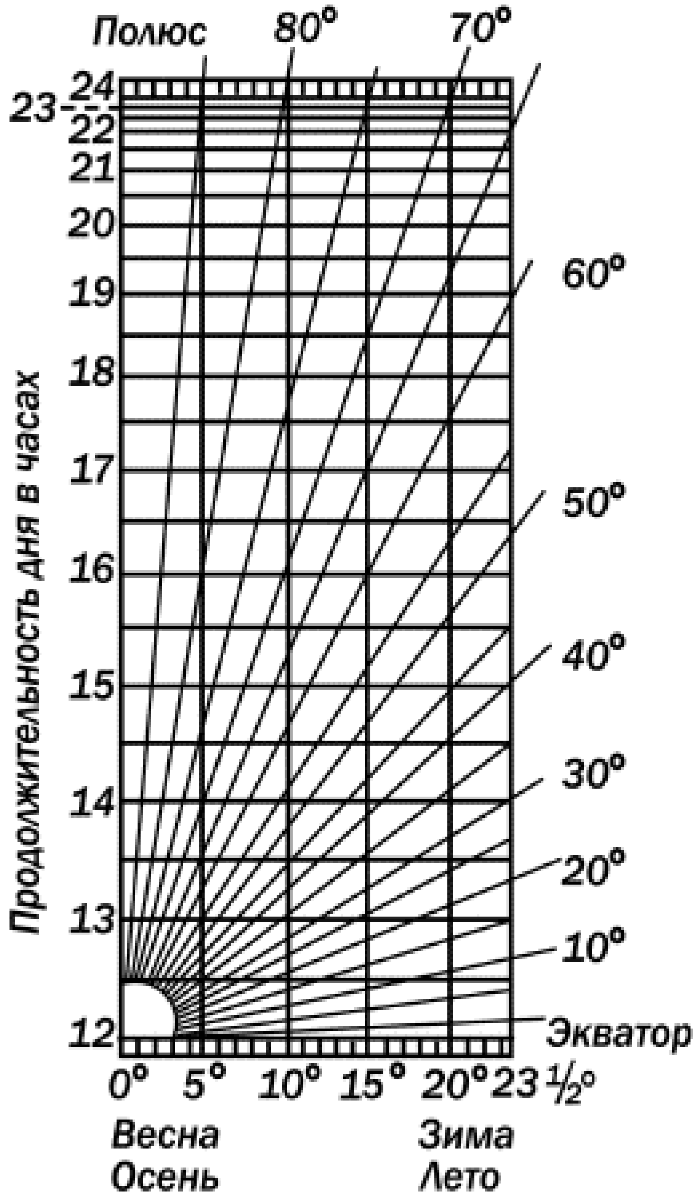


Рис. 8. Чертеж для графического определения продолжительности дня (Подробности в тексте)

Дни года	Склонение Солнца	Дни года	Склонение Солнца
21 января	–20°	24 июля	+20°
8 февраля	–15	12 августа	+15
23 февраля	–10	28 августа	+10
8 марта	–5	10 сентября	+5
21 марта	0	23 сентября	0
4 апреля	+5	6 октября	–5
16 апреля	+10	20 октября	–10
1 мая	+15	3 ноября	–15
21 мая	+20	22 ноября	–20
22 июня	+23½	22 декабря	–23½

Покажем на примерах, как пользоваться этим чертежом.

1. Найти продолжительность дня в середине апреля на широте 60°.

Находим в табличке склонение Солнца в середине апреля, т. е. угловое расстояние его в эти дни от небесного экватора: +10°. На нижнем краю чертежа отыскиваем число 10° и ведем от него прямую линию под прямым углом к нижнему краю до пересечения с косой линией, отвечающей 60-й параллели. На ***левом*** краю точка пересечения отвечает числу 14½, т. е. искомая продолжительность дня равна примерно 14 ч. 30 м.

При составлении этого чертежа учтено влияние так называемой «атмосферной рефракции» (см. стр. 49, рис. 15).

2. Найти продолжительность дня 10 ноября на широте 46° с.ш.

Склонение Солнца 10 ноября равно —17°. (Солнце в ***южном*** полушарии неба.) Поступая по-прежнему, находим 14½ часов. Но так как на этот раз склонение отрицательно, то полученное число означает продолжительность не дня, а ночи. Искомая же продолжительность дня равна 24–14½ = 9½ часов.

Мы можем вычислить также и момент восхода Солнца. Разделив 9½ пополам, получим 4 ч. 45 м. Зная из рис. 7, что 10 ноября часы в истинный полдень показывают 11 ч. 43 м., узнаем момент восхода Солнца. 11 ч. 43 м. – 4 ч. 45 м. = 6 ч. 58 м. Заход Солнца в этот день произойдет в 11 ч. 43 м. + 4 ч. 45 м. = 16 ч. 28 м., т. е. в 4 ч. 28 м. вечера. Таким образом, оба чертежа (рис. 7 и 8) при надлежащем использовании могут заменить соответствующие таблицы астрономического ежегодника.

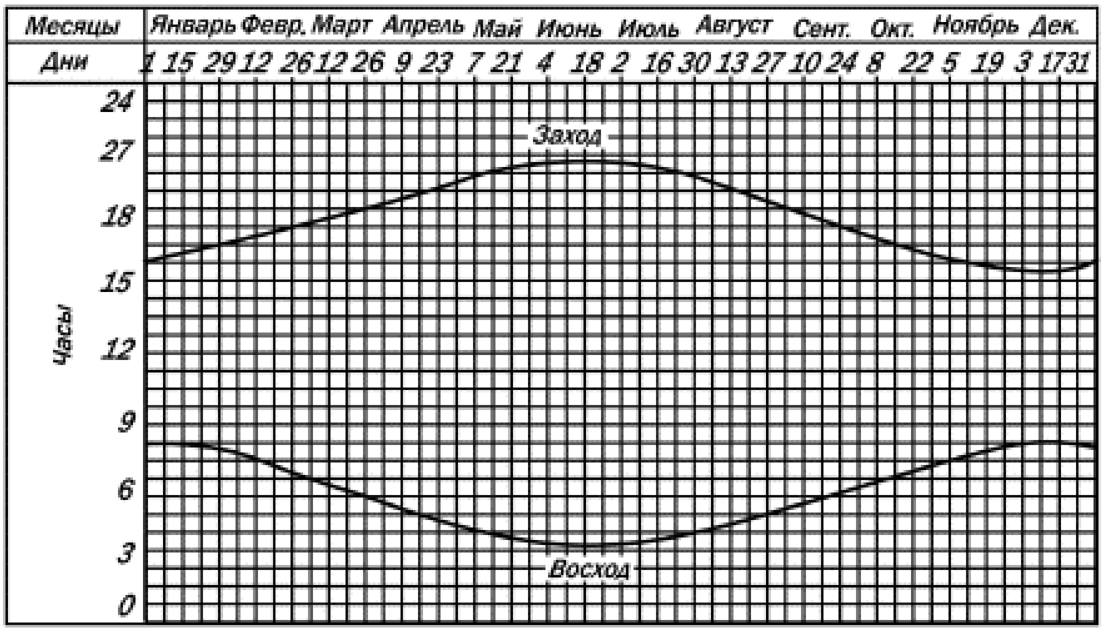


Рис. 9. График восхода и захода Солнца в течение года для 50-й параллели

Вы можете, пользуясь изложенным сейчас приемом, составить для широты места вашего постоянного жительства на весь год график восхода и захода Солнца, а также продолжительности дня. Образчик такого графика для 50-й параллели вы видите на рис. 9 (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, бросив взгляд на свой чертеж, сразу сказать, в котором примерно часу взойдет или зайдет Солнце в тот или иной день года.

Необычайные тени

Воспроизведенный здесь рис. 10 может показаться загадочным: человек при полном свете Солнца почти не отбрасывает тени. Однако этот рисунок сделан с натуры, но не в наших широтах, а близ экватора, в тот момент, когда Солнце стояло почти отвесно над головой наблюдателя (как говорят, в «зените»).

В наших широтах Солнце никогда не бывает в зените; видеть такую картину у нас невозможно. Когда полуденное Солнце достигает у нас наибольшей высоты (22 июня), то оно проходит через зенит всех мест, расположенных на северной границе жаркого пояса (на тропике Рака – на параллели $23^{1/2\circ}$ северной широты). Спустя полгода, 22 декабря, Солнце проходит через зенит всех мест, расположенных на $23^{1/2\circ}$ южной широты (на тропике Козерога). Между этими границами, т. е. в жарком поясе, расположены места, где полуденное Солнце дважды в год оказывается в зените и освещает местность сверху так, что все предметы лишены теней, лучше сказать – их тени располагаются как раз под ними.

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

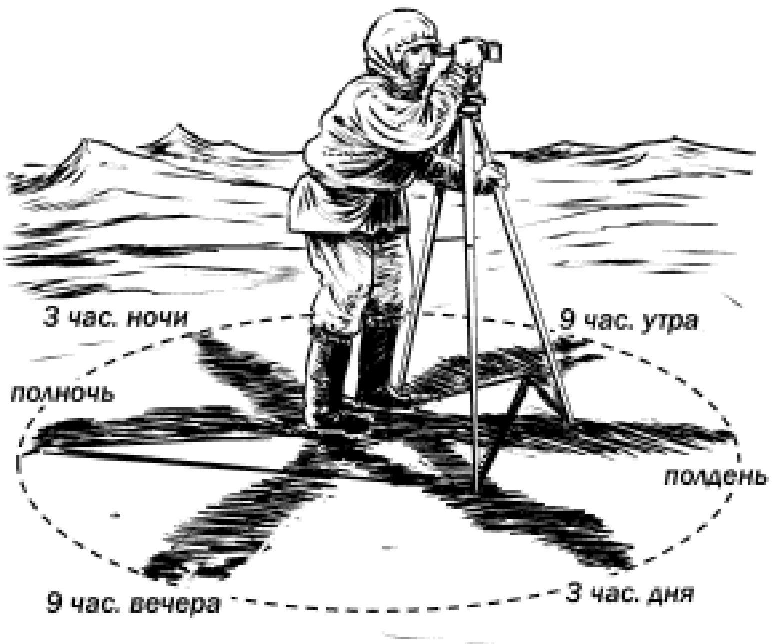


Рис. 11. Тени на полюсе не изменяют своей длины в течение суток

Рис. 11, относящийся к полюсу, напротив, фантастический, но все же поучительный.

Человек не может отбрасывать сразу шесть теней; этим приемом художник хотел наглядно показать своеобразную особенность полярного Солнца: тени от него в течение целых суток получаются ***одинаковой длины***. Причина та, что Солнце на полюсе в течение суток движется не под углом к горизонту, как у нас, а почти параллельно ему. Ошибка художника, однако, в том, что он изобразил тени чересчур короткими по сравнению с ростом человека. Если бы тени были такой длины, это указывало бы на высоту Солнца около 40°, невозможную на полюсе: Солнце никогда не поднимается там выше $23\frac{1}{2}°$. Легко вычислить, – читатель, 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 (рис. 12): один с востока на запад, другой – с запада на восток. Какой из них тяжелее?

РЕШЕНИЕ

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

Рис. 12. Задача о двух поездах

Как велика разница? Сделаем расчет для поездов, идущих вдоль 60-й параллели со скоростью 72 км/ч, или 20 м/с. Точки земной поверхности на указанной параллели движутся вокруг оси со скоростью 230 м/с. Значит, поезд, идущий на восток в направлении вращения Земли, обладает круговой скоростью в 230 + 20, т. е. 250 м/с, а идущий на запад против движения Земли – скоростью в 210 м/с. Центростремительное ускорение для первого составляет

$$\frac{V_1^2}{R} = \frac{25\ 000^2}{320\ 000\ 000}\ \text{см/с}^2$$

так как радиус кругового пути на 60-й параллели равен 3200 км.
Для второго поезда оно составляет

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

Разница в величине центростремительного ускорения обоих поездов равна

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

Так как направление центростремительного ускорения составляет с направлением тяжести угол в 60°, то принимаем во внимание только соответствующую часть центростремительного ускорения, именно 0,6 см/с^2 × cos 60° = 0,3 см/с^2.

Это составляет от ускорения тяжести 0,3/980, или около 0,0003.

Значит, поезд, идущий на восток, легче идущего в западном направлении на 0,0003 своего веса. Если поезд состоит, например, из паровоза и 45 груженых товарных вагонов, т. е. весит 3500 т, то разница в весе будет равняться

3 500 × 0,0003 = 1,05 т = 1050 кг.

Для крупного парохода водоизмещением в 20 000 т движущегося со скоростью 35 км/ч (20 узлов), разница составляла бы 3 т. Уменьшение веса при движении судна на восток должно отразиться, между прочим, на показаниях ртутного барометра; при отмеченной скорости высота барометра должна быть на 0,00015 × 760, т. е. на 0,1 мм меньше на пароходе, идущем в восточном направлении, нежели на идущем к западу. Даже пешеход, шагающий по улице Петербурга с запада на восток, при скорости ходьбы 5 км в час становится примерно на 1,5 г легче, чем идя с востока на запад.

Страны горизонта по карманным часам

Способ находить в солнечный день страны горизонта по карманным часам общеизвестен. Циферблат располагают так, чтобы часовая стрелка была направлена на Солнце. Угол между этой стрелкой и линией 6—12 делят пополам: равноделящая укажет тогда направление на юг. Нетрудно понять основание этого способа. Солнце в суточном движении обходит небо в 24 часа, часовая же стрелка обходит циферблат в 12 часов, т. е. описывает в одинаковое время вдвое большую дугу. Значит, если в полдень часовая стрелка указывала на Солнце, то спустя некоторое время она опередит его, описав своим концом вдвое большую дугу. Вот почему, разделив при указанном раньше положении циферблата пополам дугу, описанную стрелкой, мы должны найти то место неба, где находилось Солнце в полдень, т. е. направление на юг (рис. 13).

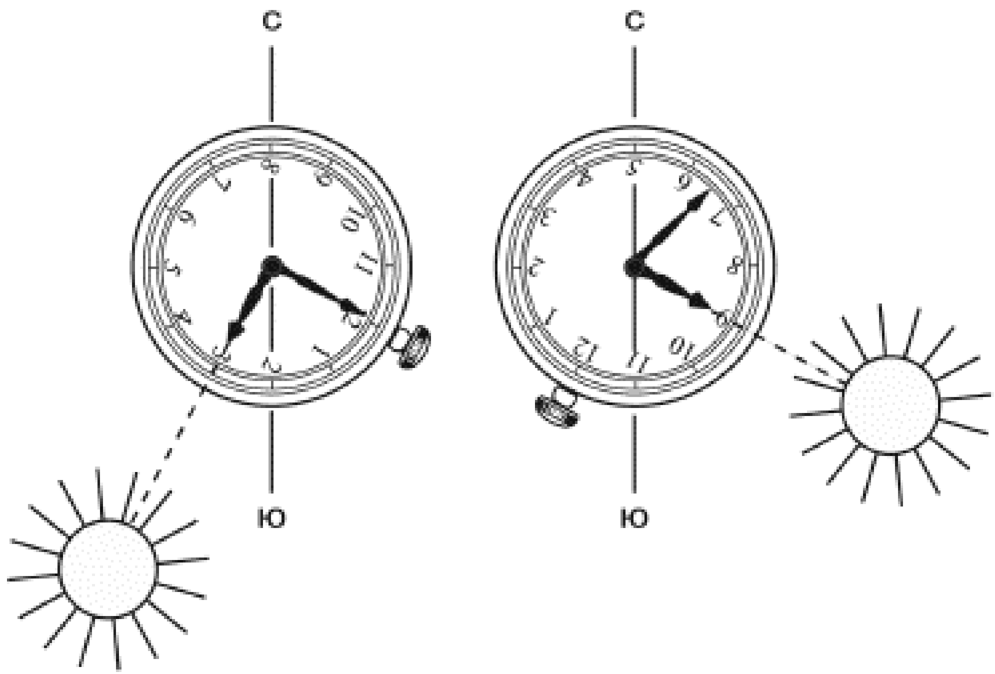


Рис. 13. Простой, но неточный прием определения стран света с помощью наручных или карманных часов

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

Обратимся к чертежу (рис. 14, *а).* Пусть наблюдатель расположен в точке *M;* точка *N* – полюс мира; круг *HASNRBQ* – небесный меридиан – проходит через зенит наблюдателя и через полюс. На какой широте находится наблюдатель, легко определить; для этого достаточно измерить транспортиром высоту полюса над горизонтом *NR;* она равна широте места.[4] Глядя из *M* в направлении *H,* наблюдатель имеет перед собою точку юга. Суточный путь Солнца на этом чертеже изобразится прямой линией, которая частью лежит над линией горизонта (дневной путь), частью же под нею (ночной путь). Прямая *AQ* изображает путь Солнца в дни равноденствий; как видим, дневной путь равен тогда ночному. *SB* – путь Солнца летом; он параллелен *AQ,* но большая часть его лежит выше горизонта, и только незначительная часть (вспомним короткие летние ночи) находится под горизонтом. По этим кругам Солнце ежечасно проходит 24-ю долю их полной длины, т. е.360°/24=15°. И все же через три часа после полудня Солнце не оказывается в юго-западной точке горизонта, как можно ожидать

[4] Почему это так, объяснено в моей книге «Занимательная геометрия», в главе «Геометрия Робинзонов».

(15° x 3 = 45°); причина расхождения та, что проекции равных дуг солнечного пути на плоскость горизонта не равны между собой.

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

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

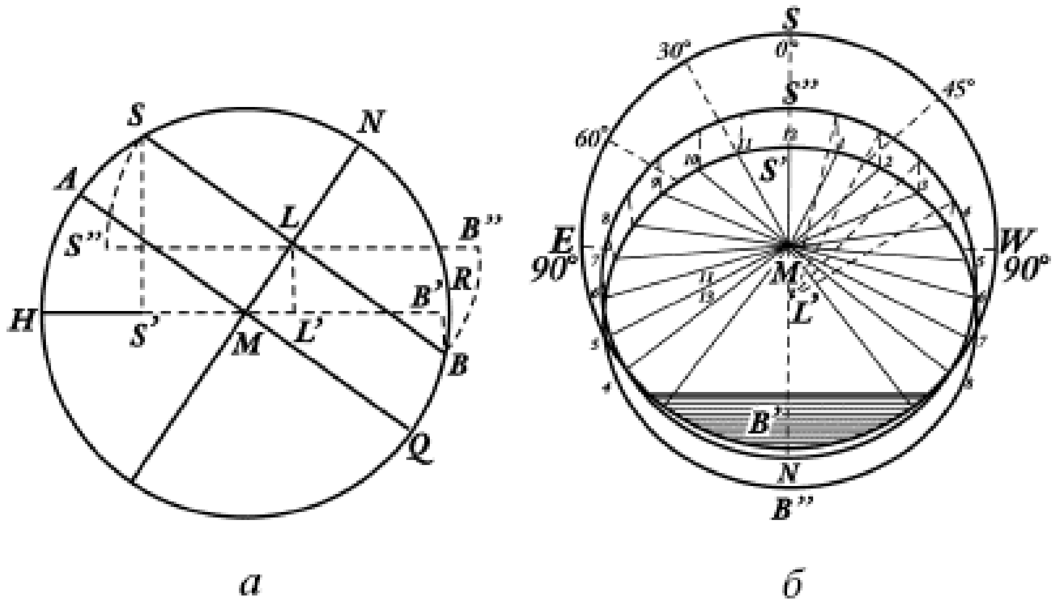


Рис. 14. Почему карманные часы в роли компаса дают неверные показания.

Проследим теперь, как велика может быть погрешность определения по циферблату стран горизонта в летний день для взятой нами широты (53°). Солнце восходит тогда между 3 и 4 часами утра (граница заштрихованного сегмента, означающего ночь). В точку *E* востока (90°) Солнце приходит не в 6 часов, как должно быть по циферблату, а в половине 8-го. В 60° от точки юга оно будет не в 8 ч. утра, а в 9 ½ ч.; в 30° от точки юга – не в 10 ч., а в 11 ч. В точку юго-запада (45° по другую сторону от *S)* Солнце является не в 3 ч. дня, а в 1 ч. 40 м.; на западе оно бывает не в 6 ч. вечера, а в 4 ½ 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.

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 Петербург 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 Петербургом, что многие готовы считать их достопримечательностью исключительно нашей бывшей столицы. В действительности, белые ночи, как явление астрономическое, характерны для всех мест, лежащих выше определенной широты.

Если отвлечься от поэзии и обратиться к астрономической прозе этого явления, то белая ночь – не что иное, как слияние вечерних и утренних сумерек. Александр Сергеевич Пушкин правильно определил сущность этого феномена как смыкание двух зорь – вечерней и утренней: «И не пуская тьму ночную на золотые небеса, одна заря сменить другую спешит…». В тех широтах, где Солнце в своем суточном движении по небесному своду опускается ниже горизонта не глубже 17 ½°, – там вечерняя заря не успевает еще померкнуть, как уже загораются лучи утренней, не давая ночи и получаса.

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

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

Южная граница зоны белых ночей проходит на широте 49° (66½– 17½°). 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 Самаре, и в Казани, и в Пскове, и в Кирове, и в Енисейске, но так как пункты эти южнее Петербурга, то белые ночи охватывают там меньший период (по обе стороны от 22 июня) и не достигают такой яркости. Зато в Пудоже они еще светлее, чем в Питере, а особенно светлы в Архангельске, расположенном уже недалеко от зоны незаходящего Солнца. Белые ночи Стокгольма ничем не отличаются от петербургских.

Когда нижняя часть суточного пути Солнца совсем не погружается под горизонт, а лишь слегка скользит по нему, мы имеем не только слияние двух зорь, но и непрерывный день. Это впервые можно наблюдать на 65°42′ широты: здесь начинается царство полуночного Солнца. Еще севернее – с 67°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 видеть незаходящее Солнце в июне,[5] 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

[5] В бухте Амбарчик Солнце не погружается под горизонт с 19 мая по 26 июля, а близ бухты Тикси – с 12 мая по 1 августа.

гораздо разнообразнее и не укладывается в привычную схему дня и ночи. В этом отношении обитаемый нами шар можно разделить на 5 поясов, каждый из которых имеет свой порядок чередования света и тьмы.

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

Второй пояс – между 49 и 65½°, включающий все места севернее параллели 49° – имеет около времени летнего солнцестояния период непрерывных сумерек; это – пояс белых ночей.

В третьем узком поясе между 65½° и 67½° Солнце около 22 июня в течение ряда суток вовсе не заходит: это – пояс полуночного Солнца.

Для четвертого пояса, между 67½° и 83½°, характерна, кроме непрерывного дня в июне, еще многосуточная ночь в декабре: Солнце в течение ряда суток вовсе не восходит, утренние и вечерние сумерки поглощают день. Это – пояс черных дней.

Самый сложный случай чередования света и темноты мы имеем в пятом поясе, севернее 83½°. Та брешь, которую пробивают в однообразной смене дней и ночей петербургские 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 петербургские 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.

Правда, параллель, отвечающая в южном полушарии широте Санкт-Петербурга, не пересекает ни одного клочка твердой земли, – вся лежит в океане; любоваться «белыми ночами юга» могут только южнополярные мореплаватели. В последние годы в Антарктиде появилось много исследовательских станций. Обитатели этих станций и участники экспедиций в глубь материка могут наблюдать явления, характерные для четвертого и пятого поясов.

Загадка полярного Солнца

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, который гласит, что действие лучей тем значительнее, чем отвеснее падают они на поверхность тела. Солнце в полярных странах даже летом стоит невысоко: его высота за полярным кругом не может превышать половины прямого угла, а в высоких широтах значительно меньше половины прямого угла.

Легко сообразить, что если солнечные лучи составляют с горизонтальной поверхностью угол меньше половины прямого, то с отвесной линией они должны составлять угол больше половины прямого, иначе говоря, встречать вертикальные поверхности довольно круто.

Теперь понятно, что по той же причине, по какой лучи полярного Солнца слабо греют землю, они должны сильно нагревать все отвесно возвышающиеся предметы.

Когда начинаются времена года

Бушует ли 21 марта снежная метель, стоит ли крепкий мороз, или, наоборот, установилась мягкая оттепель, – день этот в северном полушарии считается концом зимы и началом весны – весны астрономической. Многим представляется совершенно непонятным, почему именно указанная сейчас дата, 21 марта (в иные годы – 22), избрана служить границей между зимой и весной, хотя в эту пору может еще в полной силе господствовать суровый мороз или же, напротив, давно уже стоит 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 астрономическими: высотой полуденного Солнца и вытекающей отсюда продолжительностью дня. Та или иная погода является уже обстоятельством сопутствующим.

День 21 марта отличается от других дней года тем, что в это время граница света и тени на нашей планете проходит как раз через оба географических полюса. Взяв в руки глобус и держа его соответственно повернутым к лампе, вы убедитесь, что граница освещения следует тогда по линии земного меридиана, пересекая экватор и все параллельные круги под прямым углом. Поворачивайте глобус в таком положении вокруг оси, освещая его лампой: каждая точка поверхности глобуса опишет при этом круг, ровно половина которого погружена в тень и ровно половина находится на свету. Это означает, что в указанный момент года продолжительность дня равняется продолжительности ночи. Равенство дня и ночи наблюдается в эту пору на всем земном шаре от северного до южного полюса. Атак как день длится тогда 12 часов – половину суток, то Солнце восходит всюду в 6 часов и закатывается в 18 часов (конечно, по местному времени).

Итак, вот чем выделяется дата 21 марта: день и ночь равны тогда между собой на всей поверхности нашей планеты. Астрономическое наименование этого замечательного момента – «весеннее равноденствие», – весеннее потому, что равноденствие это не единственное в году. Спустя полгода, 23 сентября, снова бывает момент равенства дня и ночи – «осеннее равноденствие», отмечающее конец лета и начало осени. Когда в северном полушарии весеннее равноденствие, тогда по другую сторону экватора, в южном полушарии, равноденствие осеннее, и наоборот. По одну сторону экватора зима сменяется весной, по другую – лето сменяется осенью. Времена года в северном полушарии не совпадают с сезонами южного.

Проследим также за тем, как меняется в течение года сравнительная долгота дня и ночи. Начиная с осеннего равноденствия, т. е. с 23 сентября, светлая часть суток в северном полушарии становится короче темной. Так продолжается целое полугодие, в течение которого дни сначала укорачиваются – до 22 декабря, а затем удлиняются, пока 21 марта день не сравняется с ночью. С этого момента в течение всего остального полугодия день в северном полушарии длиннее ночи. Дни удлиняются до 22 июня, после чего убывают, оставаясь первые три месяца длиннее ночи; они опять сравняются с ночью лишь в момент осеннего равноденствия (23 сентября).

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

21 марта – день, равный ночи, – начало весны,
22 июня – самый долгий день – начало лета,
23 сентября – день, равный ночи, – начало осени, 22 декабря – самый короткий день – начало зимы.

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

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

1. Где на земном шаре день равен ночи круглый год?
2. В котором часу (по местному времени) взойдет в Ташкенте Солнце 21 марта нынешнего года? В котором 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?[6]

Три «если бы»

Слишком привычное уясняется нередко с большим трудом, чем необычное. Особенности десятичной системы счисления, которой мы овладеваем с детства, обнаруживаются для нас только тогда, когда мы пробуем изображать числа в иной, например, в семеричной или двенадцатеричной системе. Сущность евклидовой геометрии постигается нами тогда, когда мы начинаем знакомиться с геометрией неевклидовой. Чтобы хорошо понять, какую роль в нашей жизни играет сила тяжести, надо вообразить, что она во много раз больше или меньше, чем в действительности. Мы так и поступим, когда будем говорить о тяжести. А сейчас воспользуемся способом «если бы», чтобы лучше уяснить себе условия движения Земли вокруг Солнца.

Начнем с затверженного в школе положения, что земная ось составляет с плоскостью орбиты Земли угол в $66^{1/2\circ}$ (около 3/4 прямого угла). Вы хорошо поймете значение этого факта лишь тогда, когда вообразите, что угол наклона иной, – составляет не $^3/_4$ 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 Жюля Верна «Вверх дном». Какие изменения вызвало бы это в привычном обиходе природы?

Если бы земная ось была перпендикулярна к плоскости орбиты

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

[6] Ответы на вопросы: 1) День всегда равен ночи на экваторе, потому что граница освещения делит экватор на две равные половины во всяком положении земного шара. 2) и 3) В дни равноденствий Солнце всюду на Земле восходит в 6 часов и заходит в 18 часов по местному времени. 4) На экваторе Солнце в течение всего года восходит ежедневно в 6 часов по местному времени. 5) В средних широтах южного полушария июльский мороз и январский летний зной – обычные явления.

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, если угодно, раньше). Весной и осенью оба полюса занимают одинаковое положение по отношению к солнечным лучам; круг освещения почти совпадает с меридианами, дни и ночи близки к равенству, – создается климатическая обстановка, средняя между зимой и летом.

Будут ли эти перемены происходить, если земная ось станет перпендикулярно к плоскости орбиты? Нет, потому что земной шар окажется всегда в одинаковом положении относительно лучей Солнца, и в каждой точке круглый год будет царить один и тот же сезон. Какой?

Для умеренного и полярного поясов мы можем назвать его весной, хотя он имеет столько же прав именоваться и осенью. Дни всегда и всюду будут равны ночи, как теперь бывают только в 20-х числах марта и сентября. (В таком примерно положении находится планета Юпитер; ее ось 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 светило над горизонтом (рис. 15), Солнце никогда не заходило бы, а круглый год скользило бы у горизонта. Стоял бы вечный день, вернее – вечное раннее утро. Хотя теплота, приносимая лучами столь низкого Солнца, незначительна, но так как 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.

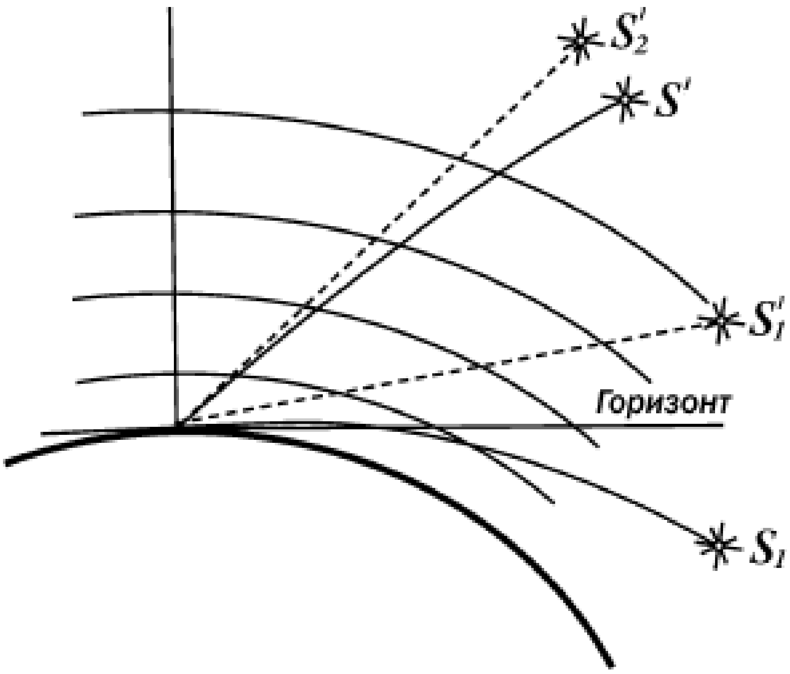


Рис. 15. Атмосферная рефракция. Луч, исходящий от светила S_2, проходя земную атмосферу, преломляется в каждом ее слое и искривляется, вследствие чего наблюдателю луч кажется вышедшим из точки S_2 лежащей выше. Светило S_1 уже зашло за горизонт, но благодаря рефракции наблюдатель еще видит его.

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

Сделаем теперь мысленно другую перемену: 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 23½°): эта широта играла бы роль тропиков. На широте 60 °Солнце не доходило бы до зенита только на 15°; высота Солнца поистине тропическая! Жаркий пояс непосредственно примыкал бы к холодному, а умеренного не существовало бы вовсе. В Москве, в Харькове весь июнь царил бы непрерывный, беззакатный день. Зимой, напротив, целые декады длилась бы сплошная полярная ночь в Москве, Киеве, Харькове, Полтаве. Жаркий же пояс на это время превратился бы в умеренный, потому что Солнце поднималось бы там в полдень не выше 45°.

Тропический пояс, конечно, много потерял бы от этой перемены, также 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° 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 (рис. 16). Земля будет обходить Солнце «лежа», вертясь вокруг оси примерно так, как вертится далекий член нашей планетной семьи – Уран. Что произойдет?

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

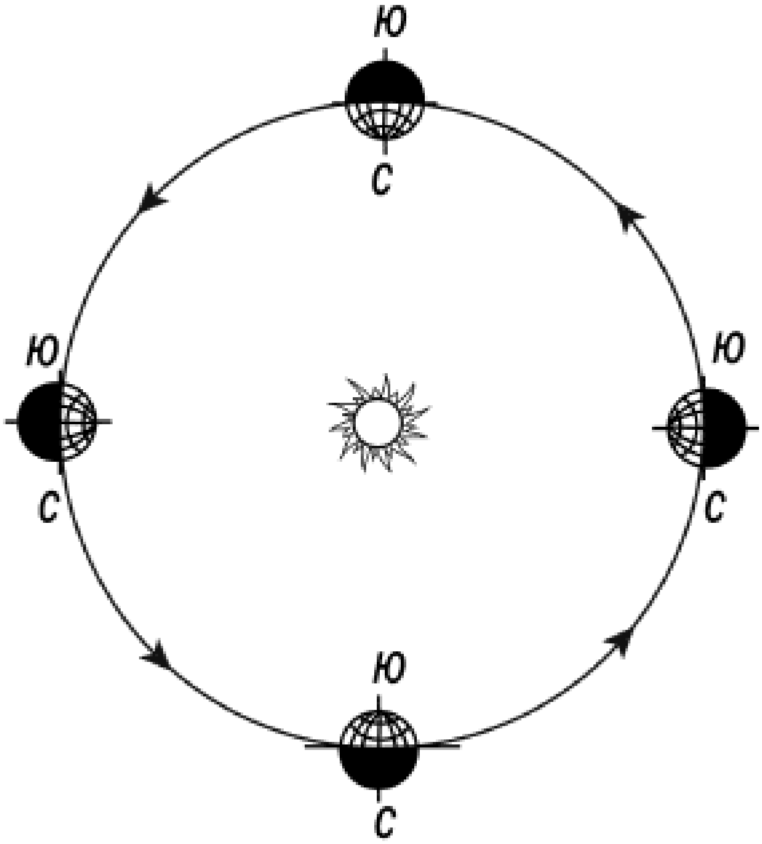


Рис. 16. Как двигался бы земной шар вокруг Солнца, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости ее орбиты

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

Для Петербурга, например, многосуточный день наступил бы через 30 дней после 21 марта и длился бы 120 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°. 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***».

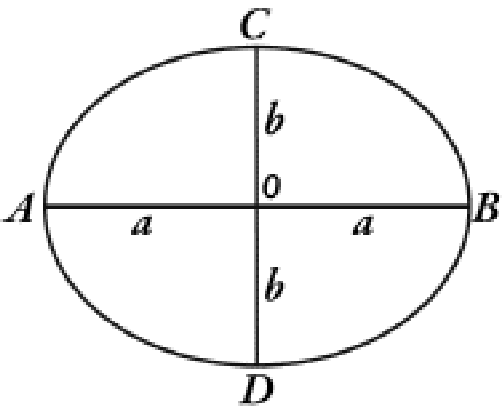
Еще одно «если бы»

Обратимся теперь к другой стороне движения нашей планеты – к форме ее орбиты. Как и все планеты, Земля подчиняется первому закону Кеплера: каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Каков же тот эллипс, по которому движется земной шар? Сильно ли отличается он от круга?

В учебниках и книгах по начальной астрономии нередко изображают земную орбиту в перспективе, в форме довольно сильно растянутого эллипса. Такой зрительный образ, неправильно понятый, запечатлевается у многих на всю жизнь: они остаются в убеждении, что орбита Земли – заметно растянутый эллипс. Это вовсе не так: земная орбита отличается от круга настолько мало, что 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, которой она изображена. Такого эллипса не отличил бы от круга даже изощренный глаз художника.

Познакомимся немного с геометрией эллипса. В эллипсе (рис. 17) *AB* – его «большая ось», *CD* – «малая ось». В каждом эллипсе, кроме «центра» *O*, есть еще две замечательные точки – «фокусы», лежащие на большой оси симметрично по обеим сторонам центра. Разыскивают фокусы так (рис. 18): раздвигают ножки циркуля на расстояние большой полуоси *OB* и, установив острие в конце *C* малой оси, описывают дугу, пересекающую большую ось. Точки пересечения F и F_1 – фокусы эллипса. Расстояния OF и OF_1 (они равны) обозначаются обыкновенно буквой *c*, а оси, большая и малая, через *2a* и *2b.* Расстояние *c,* отнесенное к длине *a* большой полуоси, т. е. дробь *c/a,* служит мерой растянутости эллипса и называется «эксцентриситетом». Чем больше эллипс отличается от круга, тем эксцентриситет его больше.



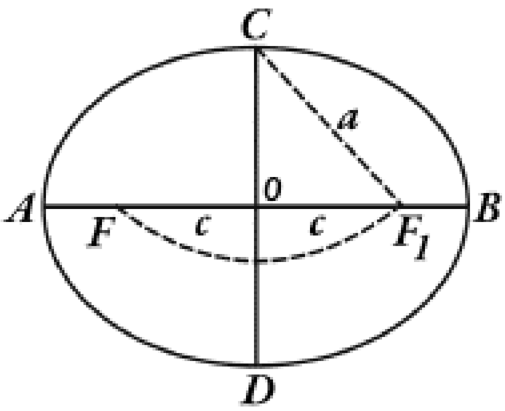


Рис. 17. Эллипс и его оси – большая (AB) и малая (CD). Точка O – центр эллипса.
Рис. 18. Как разыскать фокусы эллипса.

Мы будем иметь точное представление о форме земной орбиты, если узнаем величину ее эксцентриситета. Это можно определить и не измеряя величину орбиты. Дело в том, что Солнце помещается в одном из фокусов орбиты и кажется нам с Земли неодинаковой величины вследствие различного удаления точек орбиты от этого фокуса. Видимые размеры Солнца то увеличиваются, то уменьшаются, и отношение размеров, конечно, в точности отвечает отношению расстояний Земли от Солнца в моменты наблюдений. Пусть Солнце помещается в фокусе F_t эллипса (рис. 18). Земля бывает в точке *A* орбиты около 1 июля, и тогда мы видим наименьший диск Солнца; его величина в угловой мере – ЗГ28". В точке *B* Земля бывает около 1 января, и тогда диск Солнца кажется нам под наибольшим углом – 32'32". Составим пропорцию:

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

из которой можно образовать так называемую производную пропорцию

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

или

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

Значит,

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

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

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

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

Но c/a есть эксцентриситет земной орбиты, т.е. 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

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

и, значит,

$$(a-b) = \frac{a}{2\times 60^2} = \frac{1000}{7200}\text{, т.е. менее } {}^1/_7 \text{ мм.}$$

Мы узнали, что на чертеже даже столь крупного масштаба разница в длине большой и малой полуосей земной орбиты не превышает $^1/_7$ мм. Тонкая карандашная линия имеет толщину, большую, чем эта величина.

Значит, мы практически не делаем никакой ошибки, когда чертим земную орбиту в форме круга.

Куда следует поместить изображение Солнца на таком чертеже? Насколько надо отодвинуть его от центра, чтобы оно оказалось в фокусе орбиты? Другими словами, чему равно расстояние *O.F* или $0F_X$ 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 орбит главных планет солнечной системы не обладает столь значительным эксцентриситетом; орбита Плутона, самая вытянутая, имеет эксцентриситет 0,25. (Но астероиды и кометы движутся и по более вытянутым эллипсам.)

Если бы путь Земли был вытянут сильнее

Вообразим же, что орбита Земли заметно вытянута и фокус делит ее большую полуось пополам. На рис. 19 изображена эта новая орбита. Земля по-прежнему бывает 1 января в точке *A,* ближайшей к Солнцу, а 1 июля в точке 5, 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 долгие. Но холодов не было бы: большая близость Солнца с избытком покрыла бы невыгодные условия освещения.

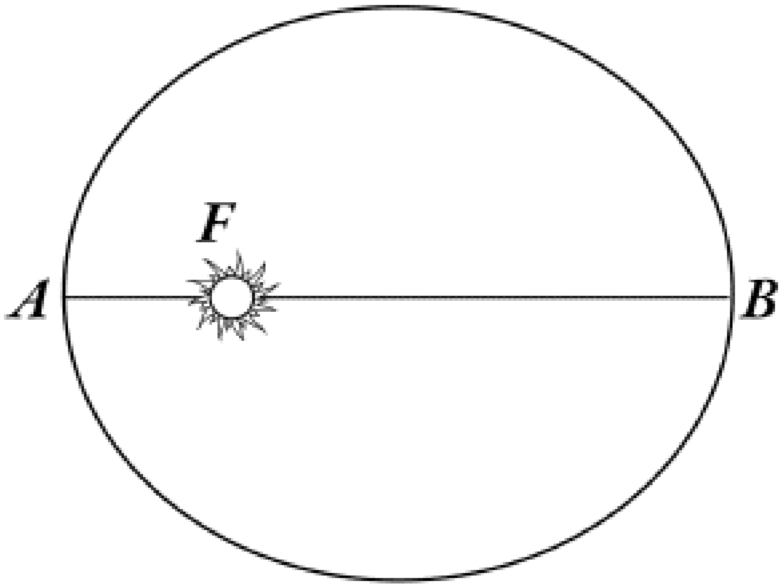


Рис. 19. Какую форму имела бы орбита Земли, если бы эксцентриситет земной орбиты был равен 0,5. В фокусе F – Солнце.

Сюда присоединится еще 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 перемещается по орбите, то движется и радиус-вектор, который описывает при этом некоторую площадь; закон Кеплера устанавливает, что части площади эллипса, описываемые в равные времена, равны между собой. В точках своего пути, близких к Солнцу, Земля должна двигаться по орбите быстрее, чем в точках, удаленных от Солнца; иначе площадь, описанная коротким радиусом-вектором, не могла бы равняться площади, образованной более длинным радиусом-вектором (рис. 20).

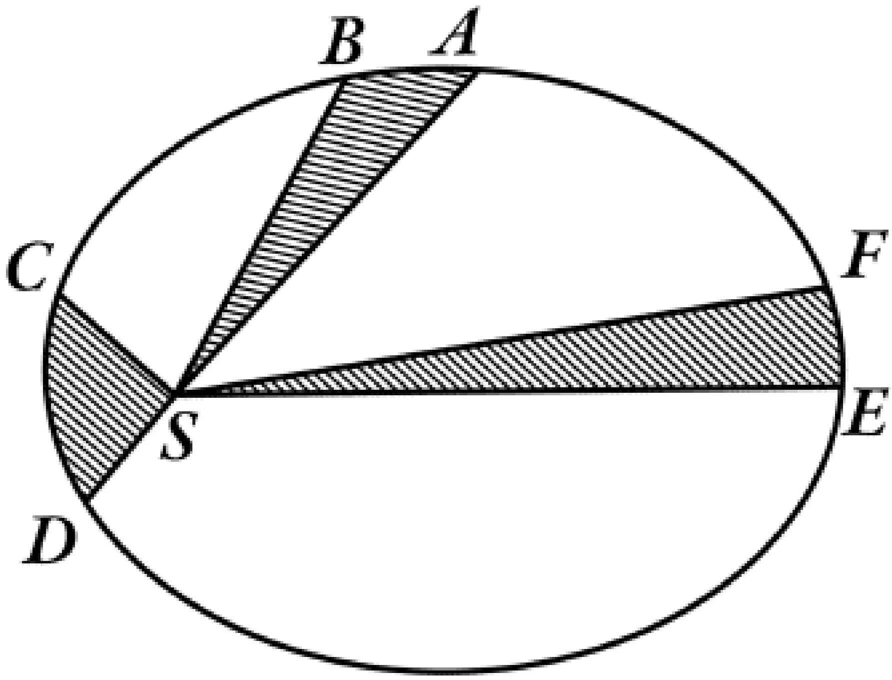


Рис. 20. Иллюстрация второго закона Кеплера: если дуги AB, CD и EFпройдены планетой в одинаковые промежутки времени, то заштрихованные площади равны.

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

На рис. 21 дается более точное представление о продолжительности времен года при наших воображаемых условиях. Эллипс изображает форму новой земной орбиты (с эксцентриситетом 0,5). Числа 1—12 делят путь Земли на части, пробегаемые ею в равные промежутки времени; по закону Кеплера, доли эллипса, на которые он рассекается начерченными в нем радиусами-векторами, равны по площади.

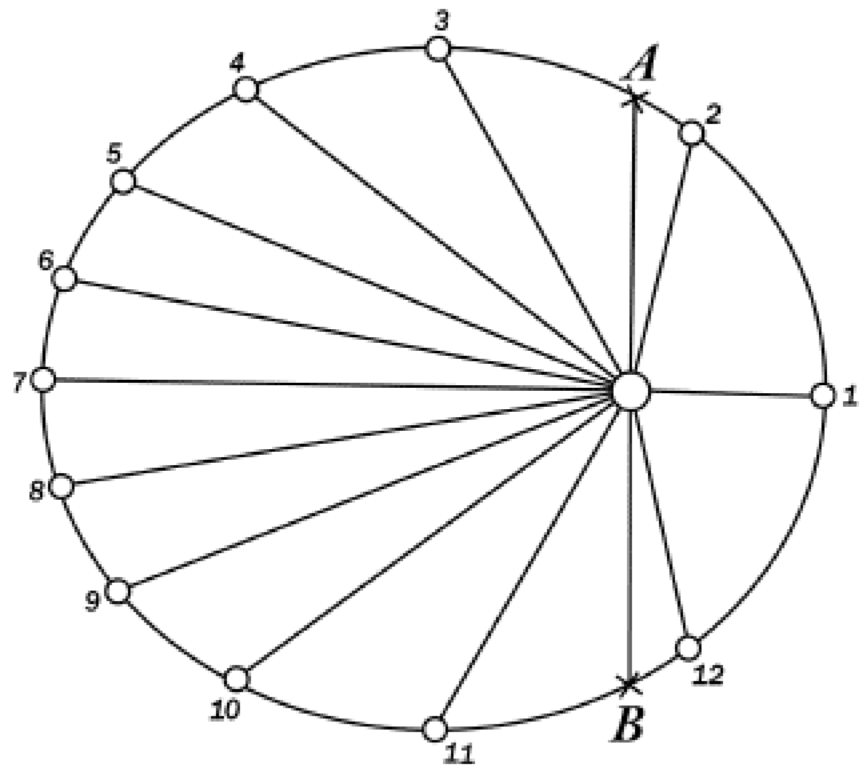


Рис. 21. Как двигалась бы вокруг Солнца Земля по сильно вытянутому эллипсу (расстояния между соседними точками, отмеченными цифрами, проходятся планетой за равные промежутки времени – за месяц).

В точке 1 Земля бывает 1 января, в точке 2–1 февраля, в точке 3–1 марта и т. д. Из чертежа видно, что весеннее равноденствие (*A*) должно наступить на подобной орбите уже в первых числах февраля, а осеннее *(B)* – в конце ноября. Значит, зимнее время года длилось бы в северном полушарии лишь два с небольшим месяца – от конца ноября до начала февраля. Период же долгих дней и высокого полуденного Солнца в странах северного полушария – от весеннего до осеннего равноденствия – охватывал бы более 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 солнечному времени, как мы живем, было бы тогда 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 2x1/60, т.е. на 1/30; количество получаемого от него тепла возрастает поэтому в $(61/59)^2$ раз, т.е. на 6%. Это несколько смягчает суровость северных зим. С другой стороны, северные осень и зима вместе примерно на 8 суток короче южных; лето северного полушария вместе с весной на столько же длиннее, чем в южном.

Большее обледенение южного полюса объясняется, вероятно, этим обстоятельством. Вот точная продолжительность времен года в северном и в южном полушариях:

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

Такое преимущество северного полушария не будет сохраняться вечно. Большая ось земной орбиты медленно перемещается в пространстве: она переносит наиболее удаленные от Солнца и ближайшие к нему точки земного пути в другие места. Полный цикл этих движений завершается в 21 тысячу лет. Вычислено, что около 10 700 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. Разумеется, что столь медлительные изменения имеют для нас только теоретическое значение.

Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером?

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

Но орбита Земли – эллипс, а Солнце помещается в его фокусе (рис. 22). Земля бывает поэтому то ближе к Солнцу, то дальше от него. В течение полугодия (с 1 января по 1 июля) Земля удаляется от Солнца, в течение другого полугодия – приближается к нему. Разница между наибольшим и наименьшим расстоянием достигает 2x1/60x150 000 000, т.е. 5 000 000 км.

Это изменение расстояния составляет в среднем около 28 000 км в сутки. Поэтому за время от полудня до заката Солнца (четверть суток) расстояние точек земной поверхности от дневного светила успевает измениться в среднем на 7500 км, т. е. больше, чем от вращения Земли вокруг оси.

Рис. 22. Схематическое изображение пути Земли вокруг Солнца

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

На один метр дальше

ЗАДАЧА

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

РЕШЕНИЕ

1м – 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.

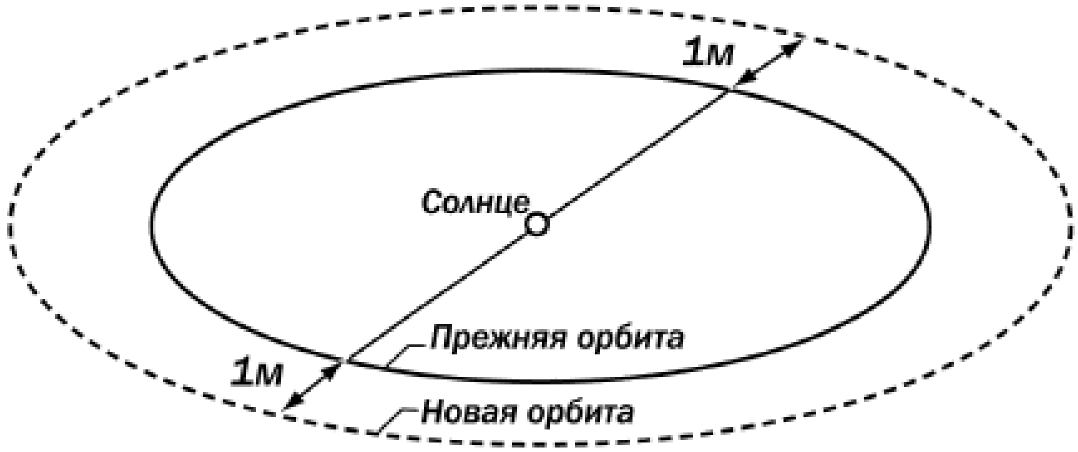


Рис. 23. Насколько удлинилась бы земная орбита, если бы наша планета удалилась от Солнца еще на 1 м? (Решение задачи в тексте)

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 длины двух концентрических окружностей зависит не от величины радиусов этих окружностей, а только от разности этих радиусов. У двух окружностей, начерченных на полу комнаты, она совершенно та же, что и у окружностей космических размеров, если радиусы в обоих случаях разнятся на 1 м. В этом убеждает нас расчет. Если радиус земной орбиты (принимаемой за круг) равен R м, то длина ее равна $2\pi R$. При удлинении радиуса на 1 м новая длина орбиты будет равна $2\pi(R + 1) = 2\pi R + 2\pi$. Прибавка длины орбиты составляет, как видим, всего 2π, 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 $6^{1}/_{4}$ м. На длине года это почти не отразилось бы, так как Земля делает по орбите 30 000 м в секунду: год удлинился бы всего на 5000-ю долю секунды – величину, конечно, неощутимую.

С разных точек зрения

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

Попробуем мысленно взглянуть на падение тела глазами такого наблюдателя. На рис. 24 изображен 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.

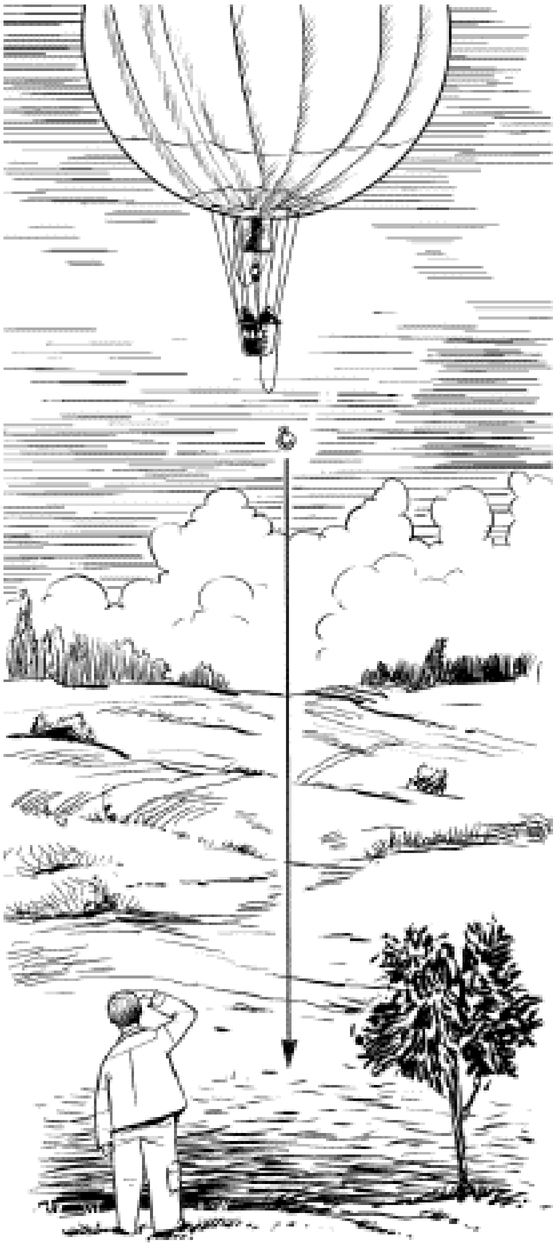


Рис. 24. Для земного наблюдателя путь свободно падающего тела – прямая линия

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. На рис. 25 изображена эта кривая: по такому пути двигалось бы падающее на Земле тело для достаточно зоркого наблюдателя, помещающегося на Луне.

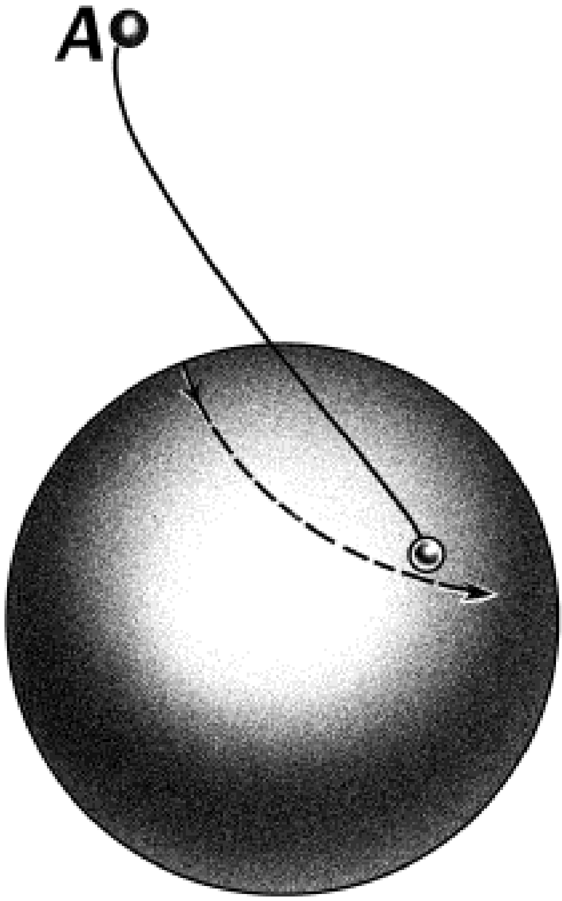


Рис. 25. Тот же путь представляется лунному наблюдателю искривленным

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

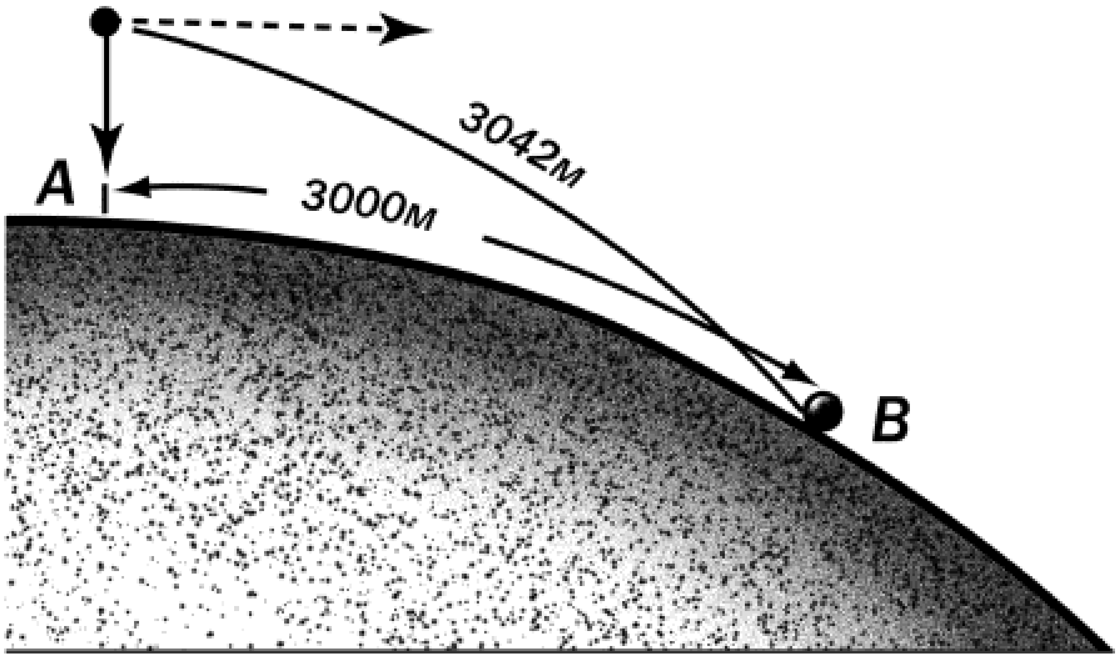


Рис. 26. Тело, свободно падающее на Землю, движется одновременно в направлении касательной к тому круговому пути, который описывают точки земной поверхности вследствие вращения Земли.

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 по широте Москвы 0,3х10 = 3 км. Третье движение – самое быстрое – 30 км в одну секунду. За 10 с, пока длится падение, тело переместится по земной орбите на 300 км. По сравнению со столь значительным перемещением оба предыдущих движения – ½ км вниз и 3 км в сторону – будут едва заметны; наблюдая с Солнца, мы обратим внимание лишь на самое значительное перемещение. Что же мы увидим? Примерно то, что показано (без соблюдения масштаба) на рис. 27. Земля переместится налево, а 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 соблюден: центр Земли за 10 сек. передвинется не на 14 000 км, как изобразил для наглядности художник, а только на 300 км.

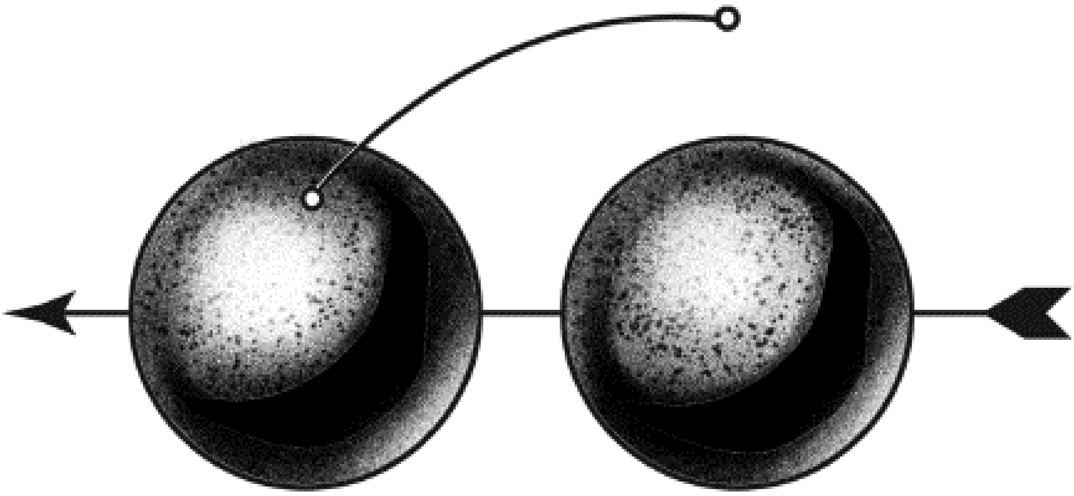


Рис. 27. Что видел бы наблюдатель, следящий с Солнца за отвесным падением тела на Землю, как показано на рис. 24 (масштаб не соблюден)

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

На рис. 28 изображен один из возможных случаев, когда солнечная система движется по отношению к выбранной звезде под острым углом к плоскости земной орбиты со скоростью 100 км в секунду (скорости такого порядка у звезд наблюдаются и в действительности). Движение это за 10 с. перенесет падающее тело на 1000 км по своему направлению и, конечно, еще более усложнит его путь. При наблюдении с другой звезды путь этот имел бы иную величину и иное направление.

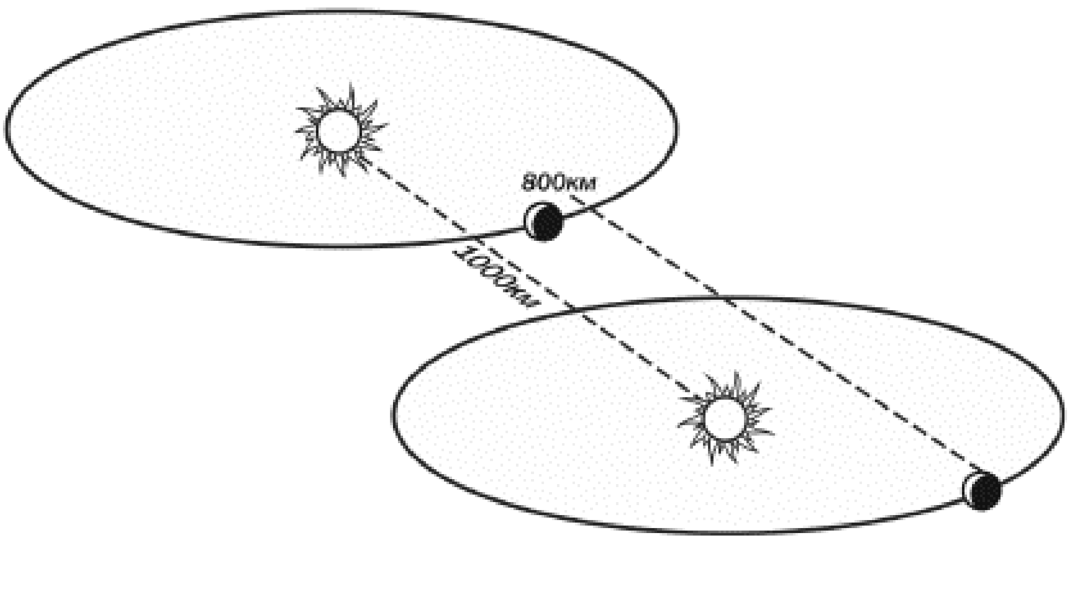


Рис. 28. Как представлялось бы падение тела на Землю наблюдателю, следящему за ним с отдаленной звезды

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

Неземное время

Вы час работали, час отдыхали. Одинаковы ли оба промежутка времени? Безусловно одинаковы, если они измерены с помощью хорошо выверенного часового механизма, – 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.

Конец ознакомительного фрагмента.