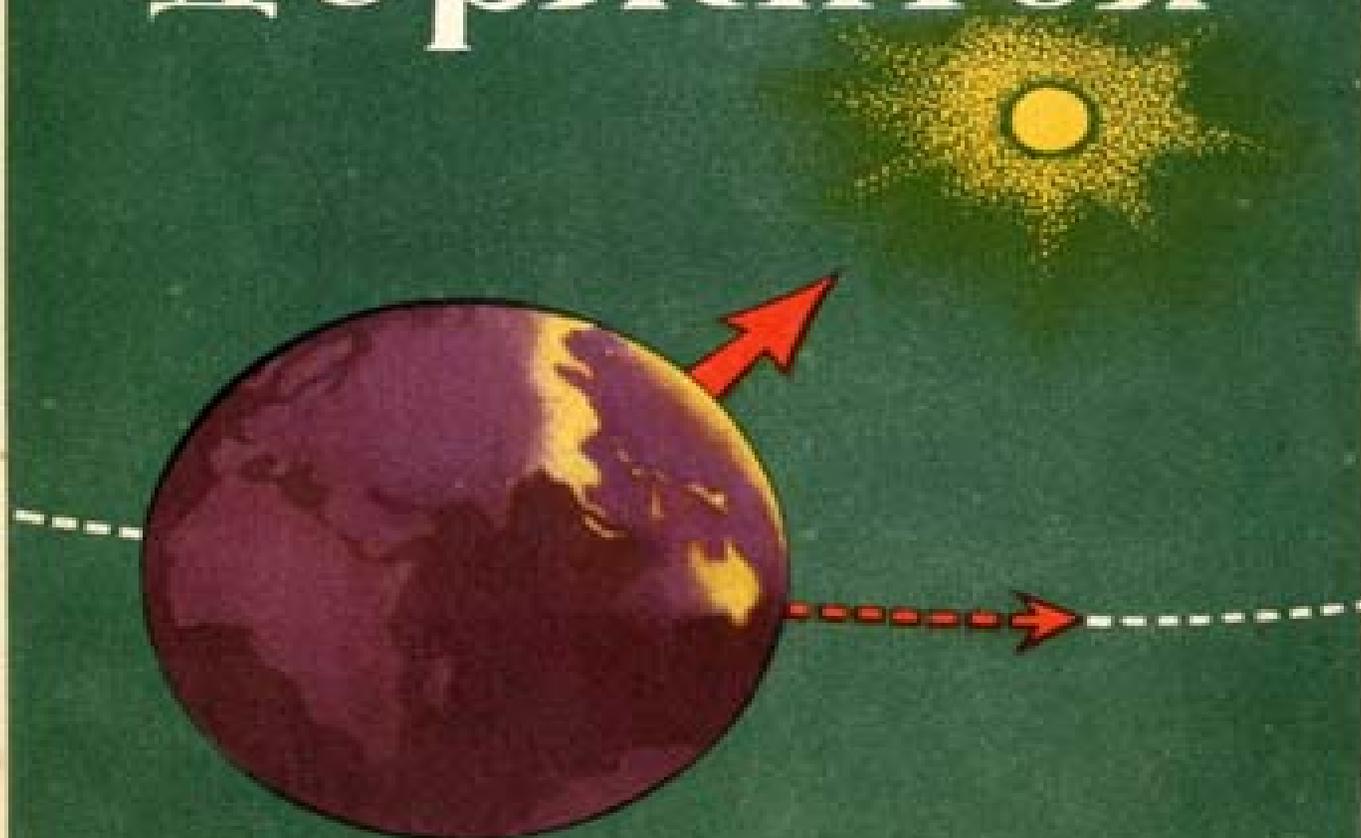


НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА



Проф. К. Ф. ОГОРОДНИКОВ

На чём Земля держится



Annotation

Вопрос о том, на чем держится Земля человек задавал себе с самых древних времен. Этот вопрос возникает совершенно естественно, так как в нашей жизни мы всюду привыкли видеть, что каждый предмет обязательно должен иметь какую-то поддержку. Всё окружающее нас, в том числе и воздух, опирается, давит на Землю. Земля является опорой всего, что на ней находится. Но на чем держится сама Земля? Почему она никуда не падает? Об этом и рассказывается в данной книжке.

- [Кирилл Фёдорович Огородников](#)
 -
 - [1. Земля — прочная опора](#)
 - [2. «Земля на трёх китах»](#)
 - [3. Что значит слово «вниз»?](#)
 - [4. Можно ли падать так, чтобы никогда не упасть?](#)
 - [5. Луна, как пушечное ядро](#)
 - [6. На чём же держится Земля?](#)
 - [Заключение](#)
-

Кирилл Фёдорович Огородников

На чём Земля держится

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 4

Проф. К. Ф. ОГОРОДНИКОВ

**НА ЧЁМ
ЗЕМЛЯ ДЕРЖИТСЯ**

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЁРТОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1953



1. Земля — прочная опора

Вопрос о том, на чём держится Земля, человек задавал себе с самых древнейших времён. Этот вопрос возникает совершенно естественно, так как в нашей жизни мы всюду привыкли видеть, что каждый предмет должен обязательно иметь какую-нибудь поддержку, иначе он упадёт вниз, на землю. Корабль, плывущий в море, поддерживается снизу водой. Птица и самолёт также не лишены опоры: их поддерживает снизу воздух, на который они опираются своими крыльями.

А на чём держится морская вода и окружающий Землю воздух?

Очевидно, что их снизу тоже поддерживает Земля. То, что воду поддерживает снизу морское дно, ясно каждому. Но что касается воздуха, то это на первый взгляд не столь очевидно. В самом деле, нуждается ли воздух в какой-либо опоре? Да, конечно, потому что воздух имеет вес, так же, как и все другие тела, и давит на земную поверхность с очень большой силой. Убедиться в этом можно, например, следующим способом: возьмём длинную стеклянную трубку с поперечным сечением в один квадратный сантиметр, согнутую в виде подковы (см. рис. 1); поставим её концами вверх и нальём в неё ртуть (ртуть — самая тяжёлая жидкость, она почти в 14 раз тяжелее воды). Пока оба конца трубки остаются открытыми, ртуть будет стоять в них на одинаковой высоте (левая часть рис. 1). Давление воздуха на поверхность ртути в обоих концах трубки одинаково. Начнём теперь при помощи воздушного насоса откачивать воздух из одного конца трубки; при этом мы сразу же заметим, что ртуть в этом конце начнёт подниматься. Если полностью откачать воздух из этого конца и затем запаять его или закрыть краном, то уровень ртути в нём будет выше уровня в открытом конце примерно на 76 сантиметров (правая часть рис. 1). Объяснить это можно только одним: на ртуть в открытом конце трубки давит сверху воздух, а в закрытом — нет, так как весь воздух мы из него удалили. Давление воздуха и будет как раз равно весу того столбика ртути, на который повысился уровень ртути в запаянном конце трубки. Этот вес нетрудно вычислить. Если поперечное сечение трубки равно одному квадратному сантиметру, то

вес столбика ртути высотой в 76 сантиметров равняется 1 килограмму и 33 граммам. Отсюда, между прочим, видно, почему для нашего опыта неудобно было бы взять воду. Вода слишком лёгкая, и для того, чтобы уравновесить давление воздуха, пришлось бы высоту столбика поднять на 10 метров 33 сантиметра, что равняется высоте трёхэтажного дома.

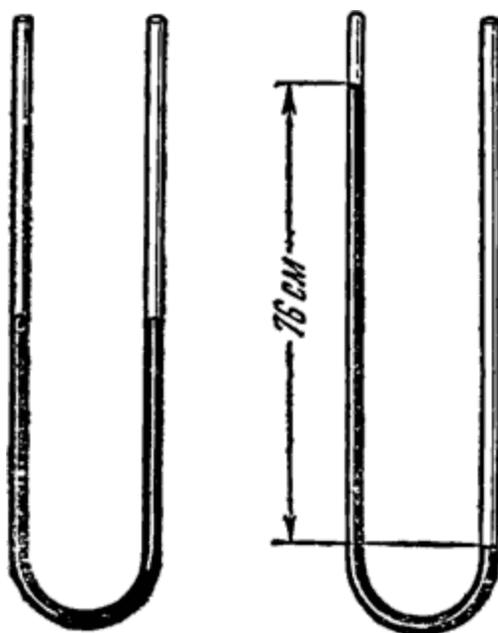


Рис. 1. Трубка с ртутью. Слева — оба конца трубки открыты. Справа — в одном конце трубки выкачан воздух и конец этот заплавлен.

Итак, вы видите, что давление воздуха равно весу столба воды высотой в 10 метров 33 сантиметра. Другими словами, можно сказать, что 1 килограмм 33 грамма есть давление воздуха на каждый квадратный сантиметр поверхности Земли.

Между прочим, такие изогнутые трубки с налитой в них ртутью применяются в приборах, служащих для измерения давления воздуха. Эти приборы носят название барометров.

Итак, всё окружающее нас, в том числе и воздух, опирается, давит на Землю. Земля является опорой всего, что на ней находится. Ведь и птица, летящая в воздухе, тоже в конце концов опирается на Землю, так как она опирается на воздух, а воздух опирается на Землю. Но на

чём же держится сама Земля? Почему она никуда не падает? Вот об этом мы и расскажем в нашей книжке.

Вы увидите, что этот вопрос не такой простой. Много веков люди не могли найти на него правильного научного ответа. Этим пользовались служители религиозных культов. Стараясь держать народ в страхе перед силами богов, они придумывали объяснения интересующую нас вопроса при помощи сверхъестественных сил. В действительности, однако, в природе нет ничего сверхъестественного. Вы увидите, что и на вопрос «на чём земля держится?» наука даёт ответ, не прибегая к разного рода сказкам и выдумкам.

2. «Земля на трёх китах»

В наше время знают, что Земля вращается вокруг Солнца и вокруг своей оси, но раньше люди считали, что она неподвижна. Следовательно, думали они, у Земли также должна иметься какая-нибудь опора.

Однако никаких сведений об этой опоре у людей не было, и поэтому они выдумывали различные небылицы. То наши предки воображали, что Земля покоится на спинах трёх больших китов, которые плавают на поверхности огромного океана (рис. 2), то (как древние индусы, например) считали, что Земля покоится на четырёх слонах (рис. 3), а ещё более древний народ — вавилоняне — думал, что Земля сама плавает на поверхности океана.

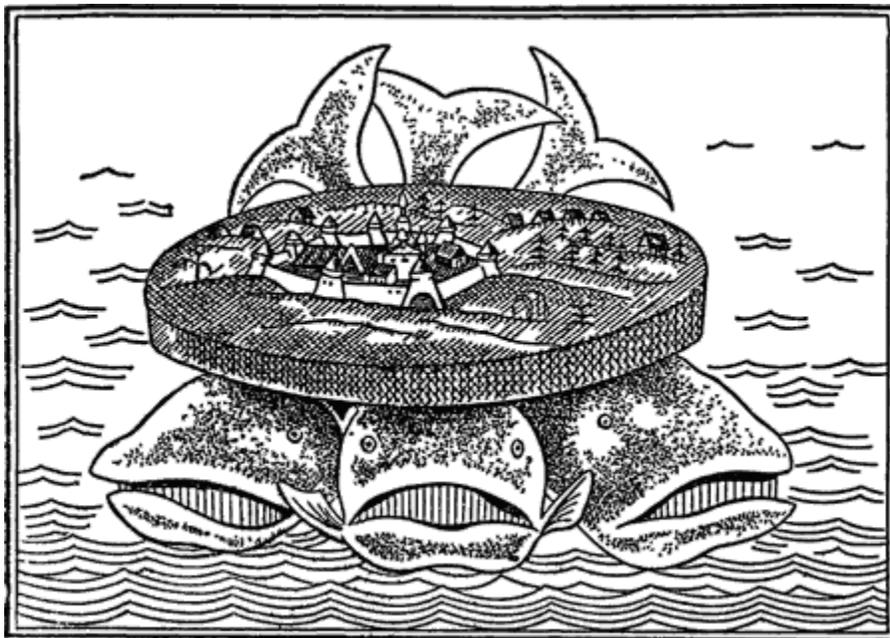


Рис. 2. Многие наши предки думали, что Земля держится на трёх китах, плавающих в океане (древний рисунок).

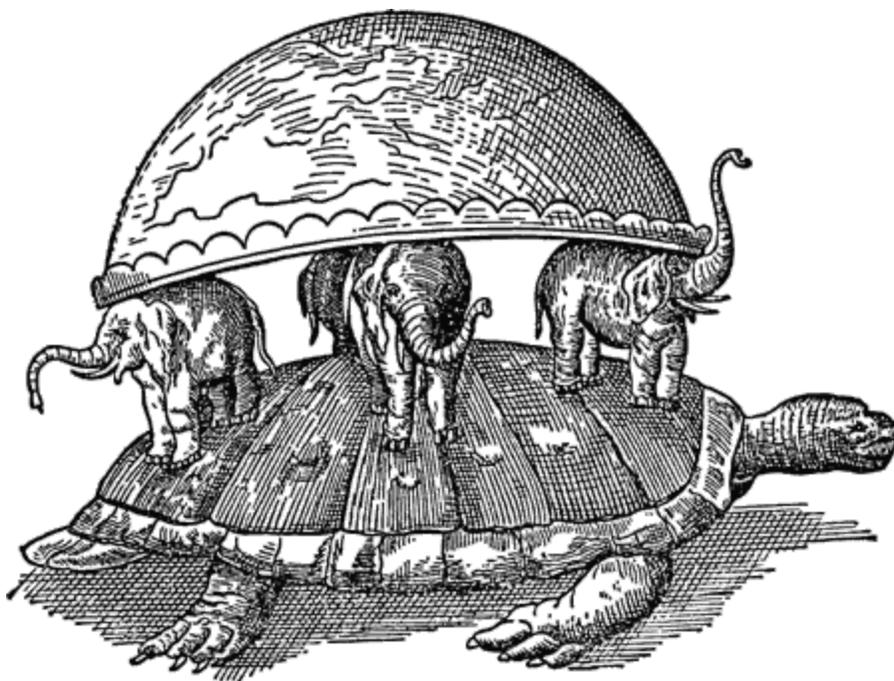


Рис. 3. Так изображали Землю древние индусы. Земля держится на четырёх слонах, которые стоят на спине плавающей черепахи.

Для современного человека ясно, что подобные взгляды представляют собой лишь суеверие, веру в сверхъестественные силы. В самом деле, разве могут существовать такие громадные киты или слоны, которые, по сказкам, держат на себе нашу Землю? Известно, что все животные должны питаться и размножаться. Кроме того, ни одно животное не живёт больше нескольких сот лет, оно стареет и умирает. Мы не говорим уже о том, что никакие животные не в состоянии выдержать на себе не только тяжести всей Земли, но даже тяжести небольшой горы. Таким образом, утверждать, что Земля держится на китах, слонах или каких угодно других животных — это всё равно, что верить в сверхъестественные силы. А верить в сверхъестественные силы — значит не верить в науку, которая строит все свои выводы на точном расчёте, основанном на опыте, практике и потому не оставляет места никаким суевериям, никаким сверхъестественным силам. Но как можно не верить в науку, когда всё развитие техники и человеческой культуры основывается исключительно на данных науки! Не развивай человек науку, не было бы у нас ни железных дорог, ни автомашин, ни самолётов, не было бы

никакой техники, и люди продолжали бы жить в полудиком состоянии в лесах и пещерах, как жили наши отдалённые предки.

Мысль вавилонян о том, что Земля плавает на поверхности океана, подобно куску дерева, также, конечно, ошибочна. Ведь Земля слишком тяжела для того, чтобы плавать на воде. Кроме того, если бы даже она и смогла плавать в каком-то океане, то вода этого океана тоже должна была бы на чём-нибудь держаться. Вавилонские мудрецы не подумали об этом. Это показывает, что развитие людей в то время было гораздо ниже, чем теперь.

Правда, мы должны здесь сказать, что уже в древней Греции, благодаря довольно высокому развитию астрономии и геометрии, учёные пришли к мысли о шарообразности Земли и вычислили примерную длину её окружности. Учёный Аристарх за 250 лет до нашей эры высказал предположение о вращении Земли вокруг Солнца, — вопреки принятому тогда мнению, что Земля — центр Вселенной. Но его учение не получило поддержки, а сам он был обвинён в безбожии.

История знает очень много таких примеров, когда передовые мыслители подвергались жестоким гонениям со стороны церкви. Ведь церковь всегда стояла на службе угнетателей, а им было выгодно сохранение существовавших порядков и существовавшего мировоззрения.

В мрачную пору средневековья церковь пользовалась огромной властью. Невежественные попы и монахи, в руках которых находилось дело образования, проповедовали под видом науки всяческие нелепости. Утверждали, например, что существует «край земли», где возвышается хрустальный купол, накрывающий всю землю: за этим куполом живёт бог и расположены машины, приводящие в движение Солнце и планеты.

Рассказами о «чудесах», которые якобы свидетельствуют о «всемогуществе и мудрости божией», попы и монахи пытались держать народ в темноте и повиновении угнетателям. Церковь яростно защищала старые, отжившие представления и боролась против новых, научных представлений о Вселенной, которые подрывали устои религии.

В течение многих веков церковь учила, что Земля — неподвижный центр мира, — так-де угодно было богу выделить

обиталище созданных им людей. Эту сказку разрушали передовые учёные, которые доказывали, что не Солнце вращается вокруг Земли, а наоборот, Земля вращается вокруг Солнца, что Вселенная бесконечна и существует множество других миров, подобных солнечной системе. Такие взгляды не оставляли места богу и вере в сверхъестественное.

Церковь жестоко мстила своим противникам, проклиная их как «еретиков». Их книги запрещались и сжигались. За защиту учения Коперника о том, что Земля вращается вокруг Солнца, был подвергнут пыткам великий итальянский учёный Галилео Галилей. 350 лет назад был сожжён на костре Джордано Бруно, — за то, что он учил о существовании множества миров и бесконечности Вселенной. Ещё в начале XIX века его сочинения были запрещены в ряде стран. Сильным нападкам церковников подвергался и великий русский учёный М. В. Ломоносов, защищавший учение о множественности миров.

На протяжении всей истории правильные научные воззрения пролагали себе дорогу в жестокой борьбе с отжившими и лженаучными воззрениями, с поповщиной и мракобесием.

С победой социализма перестаёт существовать эта помеха развитию научной мысли, а правильное, научное образование делается доступным миллионам трудящихся.

Как же отвечает современная наука на вопрос: на чём держится Земля и почему она не падает вниз? Прежде чем ответить на этот вопрос, нам придётся повнимательнее разобраться в некоторых привычных для нас понятиях, о которых мы совсем отвыкли размышлять.

3. Что значит слово «вниз»?

Когда мы нечаянно роняем из рук какую-нибудь стеклянную вещь и она, ударившись об пол, разбивается, то мы только браним себя за неосторожность. Само падение этой вещи нас, конечно, несколько не удивляет. Мы с младенческих лет привыкли к тому, что все тела, если они лишены поддержки, падают вниз, на землю. Почему же они падают?

Давайте подумаем над этим вопросом. Все мы знаем из повседневного опыта, что для того чтобы вывести какое-нибудь тело из неподвижного состояния, к нему нужно приложить силу. Если неподвижное тело не трогать, то оно будет продолжать оставаться неподвижным до тех пор, пока какая-нибудь сила не выведет его из состояния покоя. Мы знаем также, что если любой предмет на Земле лишит опоры, то он начнёт падать, т. е. двигаться. Это может означать только то, что на всякое тело, находящееся на Земле, действует какая-то сила, направленная вниз. Пока тело лежит на какой-нибудь опоре, оно не падает, но сила, тянущая его вниз, всё время продолжает существовать. Она в это время лишь заставляет тело давить на опору. Положите на стол какой-нибудь очень тяжёлый предмет — и вы заметите, с какой большой силой он давит на стол. Если ножки стола недостаточно крепкие, то они могут под тяжестью груза подломиться, и тогда ваш предмет, получив свободу движения, с грохотом упадёт на пол. Эту силу всякий очень хорошо знает. Она называется *весом*. Каждый может легко испытать этот вес, стоит только взять в руки любой тяжёлый предмет. Таким образом, мы можем сказать, что *вес тела — это сила, тянущая тело к Земле*. Но что это за сила? Почему она существует?

Правильный ответ на этот вопрос нашёл великий учёный Ньютон, открывший *закон всемирного тяготения*. Он первый понял, что причина веса тел лежит в Земле. Вес тел есть сила, и с этой силой Земля притягивает к себе все находящиеся на ней тела. Итак, вес тела есть не что иное, как сила земного притяжения.

Все земные тела падают вниз. Но что означает это столь привычное слово — «вниз»? Разберёмся в нём. На первый взгляд

кажется, что и спрашивать тут не о чем. «Вниз» — это значит прямо под ноги, так же, как «вверх» — значит прямо над головой. Это кажется настолько ясным и простым, что как будто не требует никаких дальнейших пояснений. Если же мы захотим поточнее узнать направление вниз, то и это легко сделать, достаточно лишь на верёвочке подвесить небольшой груз, он несколько секунд покачается и успокоится. Наша верёвочка будет тогда направлена по отвесной линии, и тогда её конец, на котором привязан груз, будет совершенно точно определять нужное нам направление, т. е. «вниз».

Но спросим теперь себя: одинаково ли направление вниз для всех людей на Земле, или нет? На первый взгляд опять-таки и здесь спрашивать не о чем, так как мы привыкли видеть, что все отвесные линии всюду, как будто, направлены в точности одинаково. Стоит только вспомнить, например, отвесные стены городских зданий, телеграфные или трамвайные столбы. Все они направлены не вкривь и вкось, а всегда отвесно и параллельно друг другу.

Однако ошибочно думать, что, например, телеграфные столбы по всей Земле направлены одинаково. Так было бы, если бы Земля наша была плоской. Тогда, конечно, все телеграфные столбы стояли бы параллельно друг другу. Но дело в том, что Земля наша не плоская, а круглая, как шар. И потому на ней направление вниз означает на самом деле направление к центру земного шара. А направления к центру шара из разных точек его поверхности совершенно неодинаковы. Например, если взять двух антиподов, т. е. людей находящихся на противоположных сторонах земного шара: одного, скажем, где-нибудь у нас в СССР, а другого — в Южной Америке, то направление «вниз» для одного будет таким же, как направление «вверх» для другого, и наоборот (рис. 4).

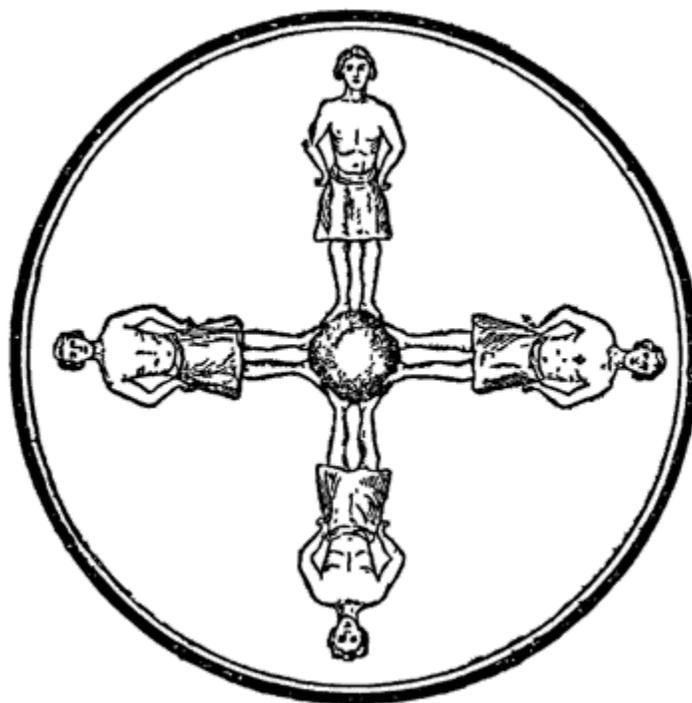


Рис. 4. Древний рисунок, изображающий Землю с антиподами.

Лет четыреста тому назад, когда шаровидная форма Земли ещё не была так хорошо известна, как теперь, вопрос об антиподах приводился иногда в качестве доказательства против шаровидности Земли. Тогда многие думали, что на противоположной стороне Земли люди не могли бы жить, так как они должны упасть с Земли.

Сейчас шаровидность Земли не может вызвать ни у кого никаких сомнений. Что Земля имеет форму шара, следует хотя бы из того, что мы совершаем вокруг Земли кругосветные путешествия. Ясное дело, что, будь Земля плоская, такие путешествия были бы невозможны. В наше время почти вся земная поверхность тщательно измерена, изготовлены сотни и тысячи всевозможных географических карт; размеры и форма земной поверхности известны теперь с очень большой точностью. Теперь никто не может сомневаться в том, что антиподы на Земле существуют. Мы, обитатели Европейской части СССР, являемся антиподами по отношению к жителям Южной Америки и тем не менее никуда с Земли не падаем.

Ошибка противников шаровидности Земли теперь для нас ясна. Они просто не учли того факта, что направление «вниз» в различных частях земного шара различное и всегда означает направление к центру Земли (рис. 5). В обычной жизни мы этого не замечаем только потому, что человеческий кругозор слишком мал по сравнению с размерами Земли. Радиус земного шара достигает почти шести с половиной тысяч километров, и для того чтобы заметить разницу в направлениях отвесных линий, необходимо передвинуться по Земле на несколько сот километров. А тогда мы из одного места не будем видеть другого. Впрочем, учёные могут обнаружить эту разницу уже на расстоянии нескольких метров, но только с помощью особых приборов.



Рис. 5. В различных частях земного шара направление «вниз» будет различное.

Таким образом, по отношению ко всей Земле в целом, никакого направления «вниз» не существует. Тем самым становится ясным бессмысленность предположения, что вся наша Земля может упасть куда-то «вниз». Ведь наше обыденное направление «вниз» есть, как мы

видели, направление к земному центру. Так что, если бы Земля падала «вниз», то это означало бы только, что она падает по направлению к своему же собственному центру. А это уже полная нелепость.

Однако из того, что Земля наша не может падать куда-то «вниз», совсем ещё не следует, что она остаётся неподвижной. В следующей главе мы как раз узнаем, что Земля не только движется, но даже падает. Только падает она не «вниз», а по направлению к Солнцу. И падает так, что никогда на него не упадёт.

4. Можно ли падать так, чтобы никогда не упасть?

Мы уже видели, что даже такие простые понятия, как *вес* и направление *вниз*, если в них вдуматься, позволяют сделать ряд интересных выводов. Теперь мы разберёмся в том, что означает слово «падать». Казалось бы и здесь всё ясно и просто. Мы привыкли говорить, что какое-нибудь тело падает, когда оно под влиянием силы собственной тяжести летит вниз, на Землю. И мы, конечно, всегда уверены в том, что раз тело начало своё падение, то оно, рано или поздно, обязательно упадёт на поверхность Земли. Вопрос только во времени. Если тело падает с небольшой высоты, то оно упадёт быстро, а если с большой, то оно будет падать немного дольше. Вот и всё.

Но на самом деле и здесь всё происходит совсем не так просто, как кажется сначала, когда мы, не продумав явление до конца, полагаемся только на наш маленький житейский опыт. Житейский опыт, который сплошь и рядом нам помогает в жизни, здесь оказывается несостоятельным. Мы в этом убедимся, как только станем рассматривать явление падения тел так, как это делает наука, т. е. со всей строгостью и не упуская из внимания никаких «мелочей», которые часто приводят учёных к величайшим открытиям.

Изучением падения тел на Землю занимается наука о движении — *механика*. Наш повседневный опыт часто отступает назад перед неоспоримыми доводами этой науки. Пример этому и даёт явление падения тел.

Что говорит нам житейский опыт? Он говорит, что всякое тело, если оно падает, обязательно упадёт вниз, на Землю. А вот механика учит, что падающее тело может никогда не упасть на Землю и даже при некоторых условиях вовсе улететь прочь от Земли.

Для того чтобы разобраться как следует в явлении падения тел, нам нужно познакомиться с двумя законами движения тел: *с законом инерции и с законом сложения движений*.

С проявлением закона инерции нам приходится сталкиваться на каждом шагу. Когда вагоновожатый трамвая резко тормозит вагон, все

пассажиры испытывают обычно сильный толчок вперёд. Кто из нас не знает этого?

Такой толчок и происходит как раз вследствие закона инерции. Пока вагоновожатый не тормозит, мы, находясь в вагоне, катимся вперёд с некоторой скоростью. Когда же благодаря торможению вагон сразу останавливается, то тело каждого пассажира в первое мгновение по закону инерции продолжает своё движение с прежней скоростью. В результате пассажиры наклоняются или падают вперёд. И наоборот, если вожатый сразу даёт большую скорость, то пассажиры наклоняются или падают назад, так как они имели до включения мотора меньшую скорость и стремятся по закону инерции её сохранить.

Закон инерции тел формулируется так:

«Если какое-нибудь тело движется по прямой линии с постоянной скоростью (т. е. проходит в равные промежутки времени одинаковые расстояния), то оно будет сохранять такое движение до тех пор, пока какая-нибудь сила это движение не изменит».

Второй закон — закон сложения движений — применяется в тех случаях, когда какое-либо тело участвует одновременно в двух разных движениях. Возьмём, например, человека в лодке, гребущего поперёк реки с быстрым течением. В этом случае лодка имеет два различных движения. С одной стороны, сила гребца заставляет лодку двигаться поперёк реки, а с другой, — течение воды в то же самое время увлекает её вдоль реки. В результате лодка никогда не придёт на другой берег прямо против того места, откуда она отчалила, течением её снесёт вниз, и чем сильнее это течение, тем дальше снесёт лодку.

Чтобы лучше понять это, посмотрите на рисунок 6. Здесь буква *A* обозначает то место, откуда отчалила лодка. Если бы течения реки не было, и лодка плыла лишь благодаря силе гребца, то она пристала бы к месту, обозначенному буквой *B*, находящемуся на другом берегу прямо против места *A*. Но вода в реке всё время течёт в одну сторону и лодку относит вниз по течению. Если бы гребец совсем не грёб, а пустил лодку плыть по течению, то лодка приплыла бы к месту, обозначенному буквой *Г*. На самом деле лодка участвует одновременно в обоих этих движениях и потому придёт не к месту *B* и не к месту *Г*, а к месту *B*, которое находится на конце диагонали *BA* прямоугольника *ABBГ* (рис. 6).

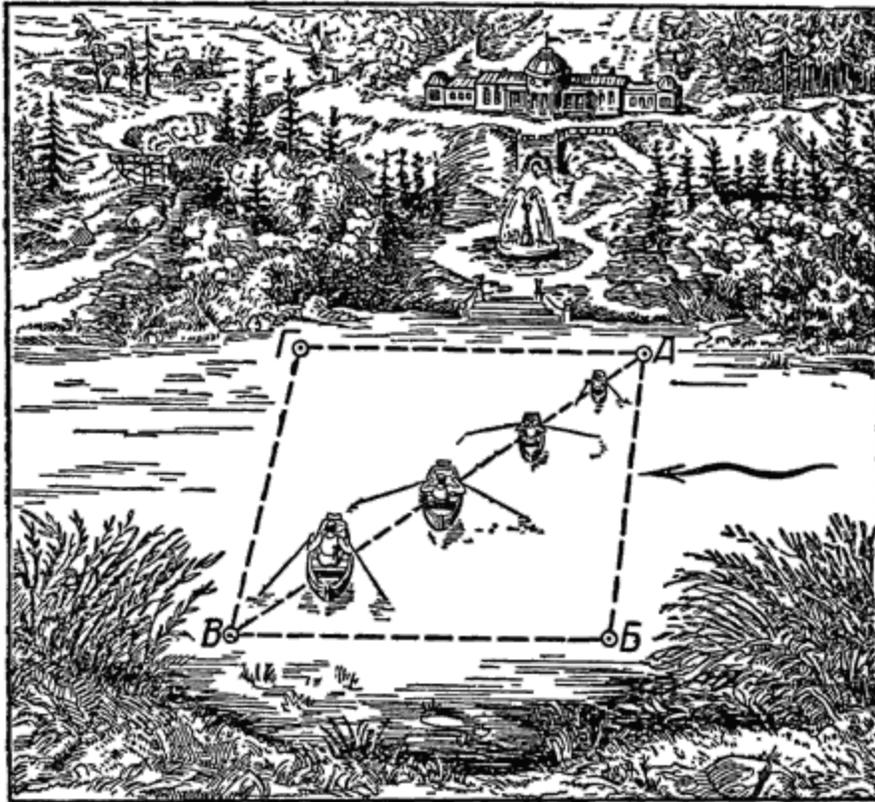


Рис. 6. Прибор сложения движений.

То что мы сказали о движении лодки, можно применить и к любому другому телу (предмету). Это и есть закон сложения движений; формулируется он так:

«Если какое-нибудь тело имеет одновременно два движения, направленных перпендикулярно друг другу, то действительное его движение будет направлено по диагонали прямоугольника, образованного этими движениями».

Рассмотрим теперь, помня эти два закона движения, явление падения тел.

Допустим, что мы, стоя на балконе какого-нибудь здания, бросаем вниз камень. Если мы выпустим этот камень из рук, не сообщив ему никакого толчка, то он упадёт прямо вниз. Отметим на земле место его падения.

Если мы теперь повторим опыт, но на этот раз не просто выпустим камень из рук, а бросим его вперёд, прочь от здания, то он

упадёт уже не на прежнее место, а дальше от здания. И чем с большей силой мы бросим этот камень, тем дальше от основания здания он упадёт.

Мы можем также выстрелить из винтовки; и в этом случае пуля, подобно камню, также упадёт на Землю, но упадёт на расстоянии нескольких километров от нас.

Причину всего этого нетрудно понять. Если бы Земля не притягивала камень, то по закону инерции камень после полученного им толчка должен был бы продолжать лететь по тому же самому направлению и с той же самой скоростью, которые мы ему сообщили с толчком. Но в действительности на камень действует ещё сила тяжести, всегда направленная отвесно вниз. И если бы нашего толчка не было, то камень падал бы вертикально, по закону земного тяготения. При толчке же камень получает одновременно два движения: он летит от нашего толчка вперёд, — параллельно земной поверхности, а от действия силы тяжести летит вниз. В результате происходит сложение этих двух движений, и действительное движение камня будет направлено по диагонали. Это сложение показано на рисунке 7. Для простоты на рисунке взято расстояние, пролетаемое телом за одну секунду времени; это расстояние в механике называется *скоростью*. Тогда у нас вместо сложения движений получается сложение скоростей. Остальное ясно из чертежа и не требует дальнейших пояснений.



Рис. 7. Сложение движений при падении горизонтально брошенного тела.

Нетрудно сообразить, что чем больше будет горизонтальная скорость (по направлению вперёд), тем более пологим будет действительное движение тела. Наоборот, чем больше будет скорость падения, тем действительное движение тела будет направлено более круто по отношению к поверхности Земли.

Когда мы говорили о законе сложения движений, мы предполагали, что скорости обоих движений, в которых участвует тело, остаются постоянными в течение всего времени движения тела. В этом случае траектория (так называют линию, по которой движется тело) тела будет прямолинейная, как это и было показано на рисунке 9. Но практически мы знаем, что траектория горизонтально брошенного тела всегда постепенно загибается и становится всё круче и круче к поверхности Земли. Объясняется это тем, что когда тело падает, то скорость его падения с течением времени увеличивается. Это делается особенно ощутительным, когда падение тела происходит с большой высоты и проходит значительное время, пока оно упадёт на Землю. В течение этого времени скорость горизонтального полета тела изменится очень незначительно (только из-за сопротивления воздуха). Но зато скорость его падения сильно возрастет. Поэтому если вначале траектория тела идёт полого, то в дальнейшем она будет становиться всё более и более крутой. Рисунок 8 поясняет это. В месте A тело получило толчок и в то же время начало падать. Вначале скорость падения была мала. Поэтому, пролетев в течение одной секунды в горизонтальном направлении расстояние AB , тело в вертикальном направлении пролетело сравнительно небольшое расстояние AB . В результате сложения движений тело пришло в место G . На рисунке видно, что тело двигалось в первый момент броска полого по отношению к поверхности Земли. Посмотрим теперь движение этого же тела в конце его падения, также в течение одной секунды. В этом случае горизонтальная скорость движения тела осталась почти без изменения, но зато скорость его падения сильно возросла. Благодаря этому за одну секунду тело успело пролететь вниз значительно большее расстояние A_1B_1 . В результате сложения движений можно видеть, что тело прилетит в место G_1 . Рисунок 8 ясно показывает, что в конце своего падения тело летит значительно более круто по отношению к поверхности Земли, чем вначале.

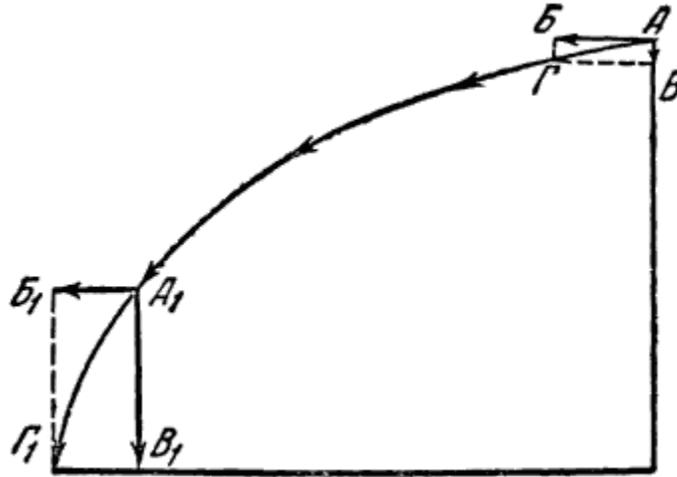


Рис. 8. Траектория горизонтально брошенного тела при длительном его падении.

Покажем теперь, что стоит только сообщить камню достаточно большую начальную скорость, как он, хотя и будет всё время падать, никогда не упадёт на Землю! Нам придётся при этом учесть также то обстоятельство, что Земля — шар, а не плоскость.

Пусть (рис. 9) буква A обозначает выбранное нами место на земной поверхности, а буква O — земной центр. Мы бросаем камень из места B , находящегося на некоторой высоте над местом A . Если мы просто отпустим камень без всякого толчка, то он упадёт вниз — в место A . Но если мы, бросая камень, толкнём его, то он упадёт уже в другое место — A_1 , лежащее в стороне от места A . Чем сильнее мы будем толкать камень, тем дальше он будет падать. Места A_2 , A_3 и A_4 обозначают места падения камня при различных (по силе) толчках камня. При этом мы замечаем, что все траектории падения камня — не прямые линии, а кривые; сначала они идут полóго, а затем, по мере приближения к Земле, всё круче и круче. Происходит это, как мы уже знаем, потому, что скорость падения камня в полёте постепенно возрастает под действием силы тяжести.

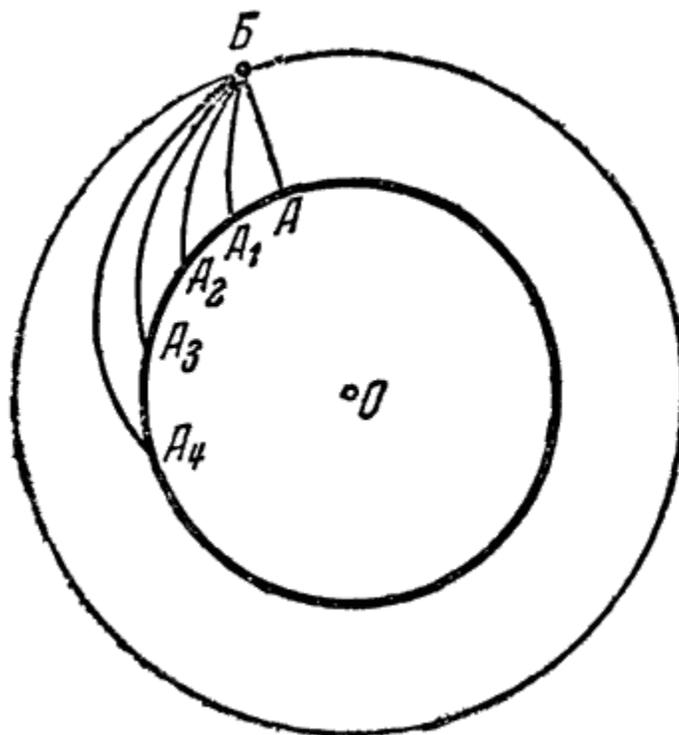


Рис. 9. Падение камня при разных начальных скоростях.

Теперь уже нетрудно сообразить, глядя на рисунок 9, что при достаточно большой начальной скорости камня его траектория должна превратиться в окружность, и тогда произойдёт то, о чём говорит заголовок этой главы. Камень будет падать и вместе с тем оставаться всё время на одном и том же расстоянии от земной поверхности.

Величину начальной скорости, которая превращает траекторию брошенного камня в окружность, можно вычислить, пользуясь законами механики. Она оказывается равной примерно восьми километрам в секунду. Эту скорость обычно называют *круговой скоростью*.

Если начальная скорость тела меньше круговой, то тело рано или поздно упадёт на Землю. Если она равняется круговой скорости, то тело будет двигаться по окружности вокруг Земли. При скорости от восьми до одиннадцати километров в секунду тело будет двигаться по замкнутой кривой, напоминающей вытянутый круг и называемой эллипсом (рис. 10). Но если горизонтальная скорость брошенного тела сделается больше одиннадцати километров в секунду, то это тело улетит совсем от Земли (рис. 11).

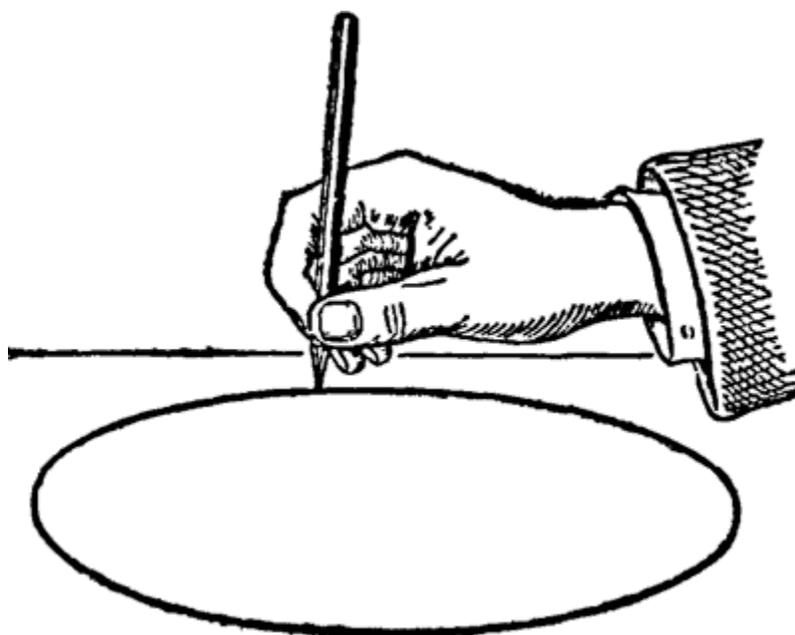


Рис. 10. Замкнутая кривая — эллипс.

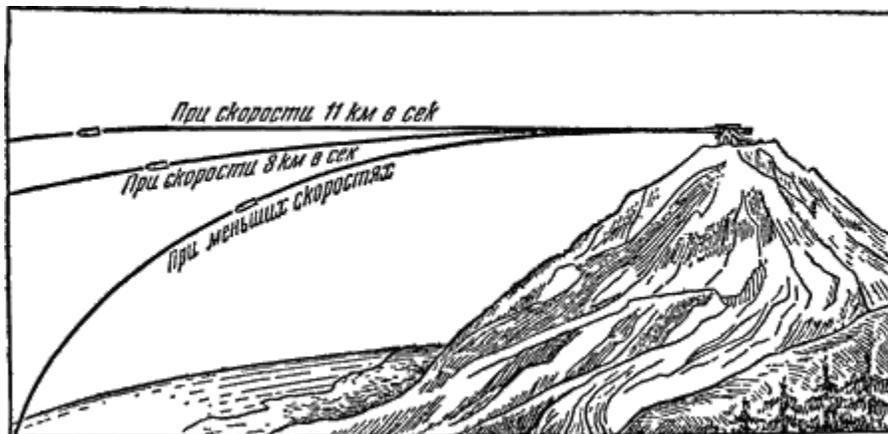


Рис. 11. Воображаемая стрельба из пушки, установленной на горе, снарядами, летящими с огромной скоростью. При скорости восемь километров в секунду снаряд не падает на Землю, двигаясь по круговому пути. При скорости одиннадцать километров в секунду снаряд улетает прочь от Земли.

Этот факт не раз был использован в художественной литературе для изображения полётов на Луну и на другие планеты. Так, в фантастическом романе писателя Жюль Верна «Из пушки на Луну» описывается полёт нескольких человек на Луну в пушечном ядре. Хотя многое из того, что написано в этой книге, представляет лишь смелую выдумку автора, сама возможность оторваться от Земли и улететь на другие планеты не выдумана, а основана на правильном расчёте.

Нужно, однако, заметить, что такую скорость, как восемь — одиннадцать километров в секунду очень трудно получить при современных технических средствах. Самые лучшие артиллерийские дальнобойные орудия дают начальную скорость не больше чем два километра в секунду, т. е. в четыре раза меньше, чем круговая скорость. К тому же, при таких больших скоростях необходимо учитывать и сопротивление воздуха, которое в этом случае сильно возрастает. Уже при тех скоростях, которые имеют современные самолёты, приходится принимать все меры, чтобы по возможности уменьшить сопротивление воздуха; частям самолётов придают так называемую «обтекаемую» форму — гладкую, без малейших выступов. А ведь круговая скорость раз в пятьдесят больше скорости боевого самолёта. Вот почему до сих пор ещё не удалось построить пушку, которая могла бы выстрелить снаряд на Луну.

Кстати здесь же заметим, что для нашей темы вопрос о сопротивлении воздуха не представляет значительного интереса, так как нас интересуют движения Луны и Земли, т. е. небесных тел, которые двигаются не в воздухе, а в межпланетном пространстве, где воздуха нет и, следовательно, нет никакого сопротивления движению, но где действуют те же самые законы механики, что и на Земле.

5. Луна, как пушечное ядро

Когда мы заговорили об открытии закона всемирного тяготения, мы рассказали только часть дела. Мы указали лишь на то, что Ньютон понял, в чём причина падения тел: она заключается в Земле, которая своим притяжением заставляет тела падать вниз. Мы установили также, что падение тела ещё не означает, что тело непременно должно упасть; при известных условиях тело может быть брошено так, что будет удаляться от Земли.

Но Ньютон на этом не остановился. Изучая падение тел, он сделал вывод, что с удалением от Земли величина круговой скорости должна уменьшаться. Если расстояние увеличивается в четыре раза, то круговая скорость уменьшается в два раза, если расстояние в девять раз больше, то круговая скорость будет в три раза меньше и так далее (рис. 12). Таким образом, для того чтобы узнать, во сколько раз уменьшится круговая скорость на данном расстоянии, нужно найти то число, которое, будучи умножено само на себя, даёт это расстояние. Кроме того, исследуя движение планет вокруг Солнца, Ньютон пришёл к ряду новых выводов. Один из них состоит в том, что планеты движутся под влиянием притяжения Солнца, и что сила притяжения Солнца уменьшается пропорционально квадрату расстояния от него. Иными словами, если какая-нибудь планета находится в два раза дальше от Солнца, чем другая, то солнечное притяжение, действующее на неё, будет в четыре раза ($2 \times 2 = 4$) слабее, чем на первую. Если она в три раза дальше, то притяжение, действующее на неё, будет в девять раз ($3 \times 3 = 9$) слабее и так далее.

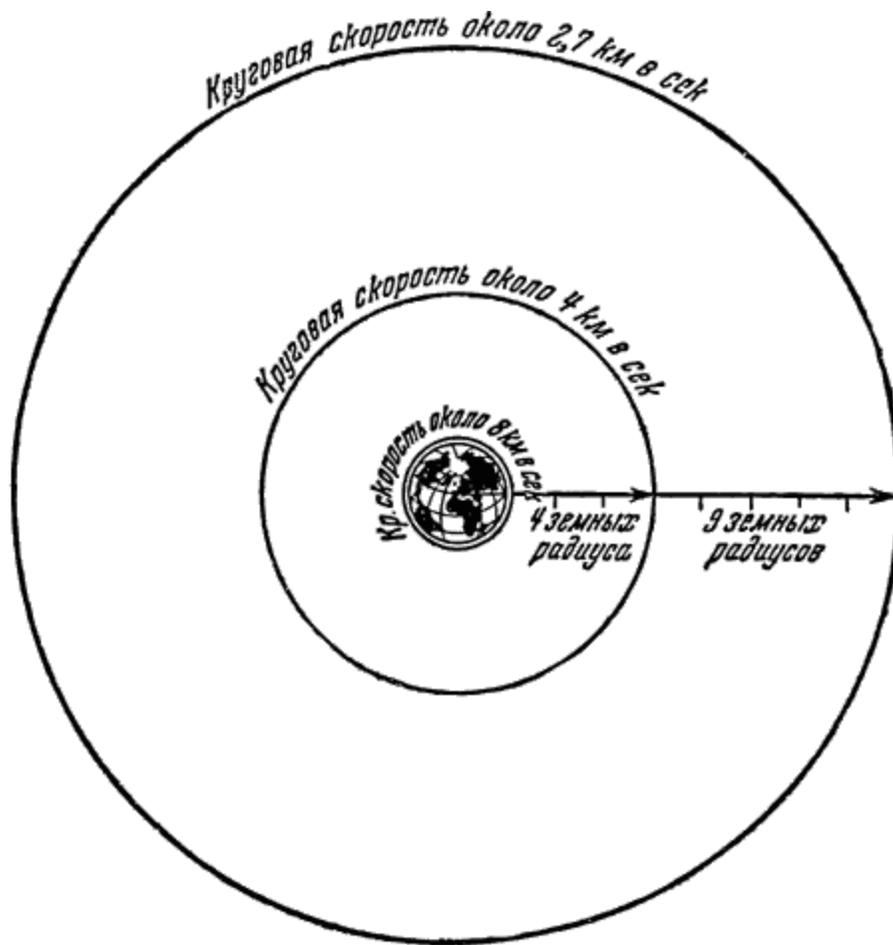


Рис. 12. С удалением от Земли круговая скорость уменьшается.

Придя к этому выводу и зная уже, что падение тел на Землю происходит также под влиянием её притяжения, Ньютон задал себе такой вопрос: а не действует ли и на Луну та же самая сила тяжести, которая заставляет падать на Землю тела, т. е. не является ли сила тяжести тем же самым, что и сила притяжения между небесными телами?

Луна является спутником Земли. Она движется вокруг Земли подобно тому, как сама Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца. Так как путь или, как говорят, *орбита*, описываемая Луной вокруг Земли, лишь очень мало отличается от окружности, то вопрос, не действует ли та же сила тяжести, которая заставляет падать на Землю тела, равносильен вопросу: а не движется ли Луна вокруг Земли

совершенно так же, как стал бы двигаться вокруг неё пушечный снаряд, выпущенный из орудия с круговой скоростью?

Небольшой расчёт, который Ньютон проделал, убедительно показал, что это именно так и есть. Вот как он примерно рассуждал: Луна находится от Земли на расстоянии шестидесяти земных радиусов. Значит, если около самой Земли круговая скорость, как мы знаем, равняется восьми километрам в секунду, то на расстоянии в шестьдесят раз большем она будет примерно в восемь раз меньше (точнее в 7,8 раза). Таким образом круговая скорость Луны должна равняться приблизительно одному километру в секунду.

Нетрудно проверить другим расчётом, такова ли действительная скорость движения Луны вокруг Земли. Вот этот расчёт: окружность земного шара составляет сорок тысяч километров. Но радиус окружности, по которой движется Луна, в шестьдесят раз больше земного радиуса. Следовательно, и длина этой окружности будет в шестьдесят раз больше окружности земного шара, т. е. будет составлять два миллиона четыреста тысяч километров.

С другой стороны, из астрономических наблюдений известно, что полный оборот вокруг Земли Луна делает за $27 \frac{1}{3}$ суток. Разделив одно число на другое, мы получим, что в сутки Луна пролетает 87 820 километров, а так как в сутках содержится 86 400 секунд, то и выходит, что в одну секунду Луна пролетает приблизительно один километр, что как раз равняется высчитанной Ньютоном круговой скорости.

Таким образом, Луна летит как раз с той самой скоростью, с которой следовало бы пустить пушечный снаряд, чтобы он, находясь на таком же расстоянии от Земли, как и Луна, никогда не упал на Землю.

Это было очень важное открытие, так как оно доказало, что сила земного притяжения есть проявление более всеобщего закона всемирного притяжения, которому подчиняются все небесные тела.

Выходит, что мы были правы, сравнив Луну с пушечным снарядом. Она летит совсем так, как летел бы такой снаряд, если бы мы сумели им выстрелить, поднявшись над Землёй на высоту 60 земных радиусов.

6. На чём же держится Земля?

Теперь мы подошли к концу наших рассуждений и можем ответить вполне ясно и точно на поставленный нами с самого начала вопрос: на чём же, всё-таки, держится наша Земля?

Пример с движением Луны нам показал, что Луна ни на чём не держится. Если вы спросите: «падает ли Луна на Землю?», то мы должны ответить: «да, падает, как падало бы любое другое тело — камень, пушечный снаряд или что-нибудь другое, и падает потому, что её тянет к Земле сила земного притяжения». Но тогда почему же Луна не упала до сих пор на Землю? А потому, что, падая, Луна вместе с тем всё время остаётся на одном и том же расстоянии от Земли. Происходит это оттого, что Луна не падает прямо вниз, а огибает Землю по окружности.

То же самое можно сказать и про нашу Землю. По закону всемирного тяготения Солнце притягивает Землю. И поэтому мы вправе сказать, что Земля падает на Солнце. Но почему же Земля до настоящего времени не только не упала на Солнце, но и (как показывают самые точные измерения) совсем не приближается к нему? Да потому, что она движется с той самой круговой скоростью, которая как бы обезвреживает солнечное притяжение и заставляет Землю обращаться вокруг Солнца по окружности так же, как движется Луна вокруг Земли.

Несложный расчёт, очень похожий на тот, который мы проделали для Луны, показывает, что дело и здесь обстоит именно так.

Солнце гораздо больше Земли. Поэтому и притяжение его больше. Если на земной поверхности круговая скорость составляет около восьми километров в секунду, то на поверхности Солнца она почти в 55 раз больше и составляет 435 километров в секунду! С такой скоростью нужно было бы выпустить с Солнца пушечный снаряд, чтобы он обогнул его по окружности.

Земля находится от Солнца на расстоянии двухсот пятнадцати солнечных радиусов. Но ведь 215 равняется $14,7 \times 14,7$. Поэтому круговая скорость для Земли должна быть в 14,7 раза меньше, чем на поверхности Солнца, т. е. равняться 29,8 километра в секунду. Именно

с такой скоростью Земля и летит вокруг Солнца, благодаря чему она не может ни приблизиться к Солнцу, ни, тем более, упасть на него.

Но и улететь совсем прочь от Солнца Земля тоже не может, так как для этого скорость её движения должна быть почти в полтора раза больше, т. е. равняться, по крайней мере, 42 километрам в секунду.

Итак, мы видим, что на вопрос: «*На чём Земля держится?*» мы должны ответить: «*Ни на чём!*» и можем лишь добавить, что наша Земля всё время удерживается на одном и том же расстоянии от Солнца благодаря своему быстрому движению вокруг него. Это и будет вполне грамотное, научное объяснение вопроса «на чём держится наша Земля».

А то, что для поддержания кругового движения нужно применять силу, очень легко доказать с помощью простого всем известного опыта. Для этого достаточно привязать верёвку к небольшому камню и, держа один конец её в руке, начать крутить камень в воздухе; мы тотчас же почувствуем, что камень тянет за верёвку и притом тем сильнее, чем с большей скоростью мы его крутим. Для того чтобы камень не улетел прочь, мы должны удерживать его с заметной силой. Значит, то усилие, которое мы чувствуем при вращении камня, нужно для того, чтобы свернуть камень с прямолинейного пути. Выходит, что сила нашей руки в данном случае заменяет силу притяжения. Стоит только уничтожить эту силу (порвётся верёвка), как камень улетит по прямой в сторону.

Если бы исчезла сила притяжения у Земли и Луны, то и они, подобно оторвавшемуся камню, полетели бы прямолинейно и улетели бы прочь: Луна от Земли, а Земля от Солнца. Но сила притяжения не позволяет им этого сделать. Она сворачивает их с прямолинейного пути и заставляет двигаться по окружности. Но только на это и хватает силы притяжения. Она не может заставить упасть Луну на Землю, а Землю на Солнце, так как оба эти небесные тела обладают слишком большой скоростью.

В заключение скажем, что и все другие планеты нашей солнечной системы также двигаются по орбитам вокруг Солнца, также стараются упасть на Солнце и также никогда не упадут на него.

Заключение

Читатели не посетуют на нас за то, что мы начали нашу беседу с опровержений старых и давным-давно забытых сказок о китах и слонах, будто бы поддерживающих Землю.

Начав с этих сказок, мы смогли постепенно проникнуть в сущность многих, казалось бы, совсем простых и привычных понятий. И вот оказалось, что в целом ряде случаев нам ещё немало есть над чем подумать. Мы узнали, что иногда совсем старые понятия приобретают совершенно новый смысл, наполняются новым содержанием, если их подвергнуть тщательному исследованию.

И если вам не наскучило наше с вами небольшое мысленное путешествие в глубь привычных понятий, если вам хочется теперь узнать побольше о Земле, о Солнце и о законах их движений, то цель наша — заинтересовать читателя, пробудить в нём любовь к знанию — достигнута. А для человека, желающего приобрести знания, в нашей стране, как нигде в мире, предоставлены все возможности учиться.



Содержание

1. Земля — прочная опора... 3
2. «Земля на трёх китах»... 5
3. Что значит слово «вниз»?... 10
4. Можно ли падать так, чтобы никогда не упасть?... 14
5. Луна, как пушечное ядро... 24

6. На чём же держится Земля?... 27
Заключение... 31