

Юрген Тайхман • Тилло Крапп

В ЛИФТЕ С ЭЙНШТЕЙНОМ

УВЛЕКАТЕЛЬНАЯ НАУКА
ДЛЯ ДЕТЕЙ
И ВЗРОСЛЫХ



Юрген Тайхман

родился в 1941 году, более тридцати лет курировал отдел образования и повышения квалификации, в частности в области физики, в Немецком музее в Мюнхене. Большая экспозиция «Астрономия/астрофизика» также была создана под его руководством. В настоящее время он посвящает себя, прежде всего, написанию научно-популярных книг по истории и физике. Кроме того, он профессор Мюнхенского университета Людвига-Максимилиана. Его научно-популярная книга для юношества «Бесконечное царство звёзд» (издательство «Арена») была выдвинута на немецкую национальную премию по литературе для детей и юношества.



Тило Крапп

родился в 1975 году в Хердеке, а затем жил в Хагене. Рисует он с самого раннего детства, больше всего любит изображать животных. Он страстный рассказчик, и неважно, рассказывает он собственные истории или истории, сочинённые другими людьми. Ведь главное, чтобы история была интересной.

Тило Крапп учился у Вольфа Эрльбруха в Вуппертале. Вместе с кошкой он живёт в Берлине и работает в различных издательствах как независимый иллюстратор.

Юрген Тайхман
Иллюстрации Тило Краппа

В ЛИФТЕ С ЭЙНШТЕЙНОМ

УВЛЕКАТЕЛЬНАЯ НАУКА
ДЛЯ ДЕТЕЙ
И ВЗРОСЛЫХ



 **ПИТЕР®**

Санкт-Петербург • Москва • Екатеринбург • Воронеж
Нижний Новгород • Ростов-на-Дону
Самара • Минск

2018

Юрген Тайхман
В лифте с Эйнштейном
Серия «Вы и ваш ребёнок»

Заведующая редакцией
Ведущий редактор
Вёрстка
Корректоры

*А. Гришина
М. Погорелова
Д. Семёнова
Н. Сидорова,
Г. Шкатова*

ББК 74.911
УДК 37.01

Тайхман Юрген

Т30 В лифте с Эйнштейном. — СПб.: Питер, 2018. — 128 с.: ил. — (Серия «Вы и ваш ребёнок»).

ISBN 978-5-00116-044-1

Можно ли пролететь Землю насквозь? Как удержаться на велосипеде? Почему не падает Пизанская башня? И что покажут весы, если встать на них в движущемся лифте? Опыты, мысленные эксперименты и яркие образные объяснения Юргена Тайхмана, почётного профессора физики, помогут всем желающим разобраться в основных вопросах механики. И всё для того, чтобы затем с головой окунуться в захватывающее дух путешествие в компании с Альбертом Эйнштейном, объясняющее, как устроен наш удивительный мир! Помни, твоё воображение не имеет границ и всё относительно!

6+ (Для детей старше 6 лет. В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ISBN 978-3-401-06043-9 нем.

Author: Jürgen Teichmann

Original title: Mit Einstein im Fahrstuhl

With illustrations by Thilo Krapp

© 2008 by Arena Verlag GmbH, Würzburg, Germany.

www.arena-verlag.de

Picture on page 70: © Deutsches Museum.

ISBN 978-5-00116-044-1

© Перевод на русский язык
ООО Издательство «Питер», 2018

© Издание на русском языке, оформление
ООО Издательство «Питер», 2018

© Серия «Вы и ваш ребёнок», 2018

Права на издание получены по соглашению с Arena.

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Питер Класс».

Место нахождения и фактический адрес: 194044, Россия, город Санкт-Петербург,

Большой Сампсониевский проспект, дом 29, литер А. Тел.: +78127037373.

Дата изготовления: 10.2017. Наименование: детская литература. Срок годности: не ограничен.

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 034-2014, 58.11.13 — Книги печатные для детей.

Подписано в печать 19.10.17. Формат 70х100/16. Бумага офсетная. Усл. п. л. 10,320. Тираж 4000. Заказ А-2711.

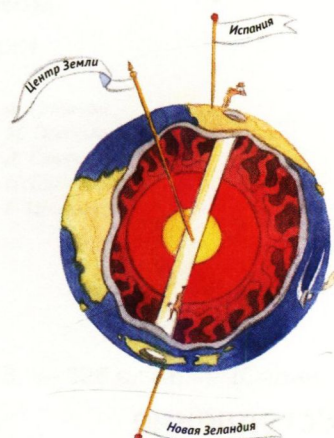
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного электронного оригинал-макета
в типографии филиала АО «ТАТМЕДИА» «ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2. E-mail: idelpress@mail.ru

Содержание



Вступление	4
1. О падении на ровном месте и с высоты	5
2. Ай да мы! Рассчитываем по Архимеду	18
3. О собаках, ракетах и геометрии	28
4. О роликах и велосипедах	39
5. Земля как карусель	46
6. На гоночной машине к суперзвезде Эйнштейну	57
7. А существует ли абсолютно пустое пространство?	93
Ответы	113
Справочник	114

Вступление



Можно ли ставить эксперименты в воображении? Поверь, можно, и часто самые что ни на есть гениальные! Тебе потребуются только фантазия и острота ума. И вот ты уже конструируешь всякие захватывающие штуковины: например, запускаешь лифт в космос, как Альберт Эйнштейн. Или прокладываешь фантастический туннель через весь земной шар...

Конечно, экспериментировать «по-настоящему» надёжнее. Всё-таки мы больше верим тому, что видим собственными глазами. Это касается и физики. Если ты опрокинешь модель башни или одновременно бросишь деревянный шарик и перышко, то сразу же увидишь результат. И сам сможешь сделать из этого выводы. Так же часто практический эксперимент следует за экспериментом в воображении. И в идеале подтверждает его. Но иногда и нет. Это значит, что в наши размышления закралась ошибка.

Итак, в физике важны эксперименты как реальные, так и мысленные. Поэтому наша книга предлагает тебе провести множество таких экспериментов с механическими системами. Почти всё, о чём здесь рассказывается, ты сможешь попробовать сделать своими руками.

А чтобы твой мозг при чтении как следует поработал, мы включили в книгу множество задачек. Решения ты сможешь найти в разделе «Ответы». Только, чур, не подглядывать! Ведь большинство из них ты, конечно же, и сам сможешь решить. А если захочешь узнать ещё больше, то в конце книги есть «Справочник», там наша физика фантастического туннеля рассматривается со всех сторон. После этого ты будешь понимать больше, чем Архимед, и, кто знает, может, даже станешь таким же умным, как Эйнштейн. Удачи!

Проф. Юрген Тайхман

1. О падении на ровном месте и с высоты

Почему накренившаяся Пизанская башня не падает, а продолжает стоять себе в таком положении уже много веков подряд? И почему не опрокидывается высоченная телевизионная башня? Ну, хорошо, допустим, она стоит прямо, но при очень сильных порывах ветра её верхушка может раскачиваться на несколько метров. Попробуй-ка вертикально установить на столе спичку. Даже если она стоит идеально ровно, от легчайшего выдоха спичка упадёт.

Упадёт не упадёт?

Конечно, телевизионная или Пизанская башня не просто стоят на столе, как спичка. В земле под ними находится прочный фундамент. Но есть тут ещё одна особенность, её мы сейчас и исследуем.

В каком случае упадёт предмет, стоящий сам по себе, безо всякой опоры? В случае если это очень узкий предмет! В каком месте узкий? Конечно, внизу! Если же он, наоборот, внизу широкий, а сверху узкий, то будет, напротив, особенно устойчивым: лучший пример тому — пирамиды в Египте, они стоят там уже больше трёх тысяч лет. Но «узкий внизу» — это не достаточное условие для падения предмета. Насколько он должен быть узок? В три раза уже внизу по отношению к его высоте? В десять раз уже?

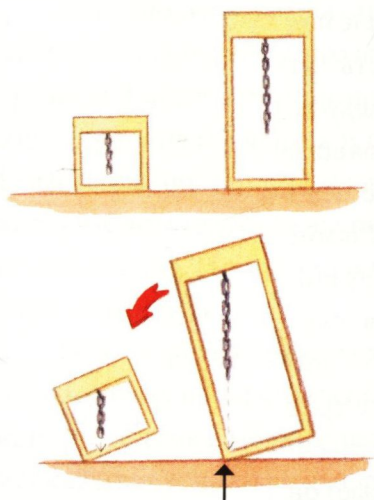
Есть такое правило: как только центр тяжести бруса, башни или ещё какого-нибудь строения выйдет за границу площади опоры, они упадут. **Что такое центр тяжести?** Если бы в него можно было забраться и хорошенько осмотреться по сторонам, то стало бы понятно, что **это точка, от которой вес бруса или башни во всех направлениях всегда одинаков.**

Центр тяжести



В МУЗЕЕ

В Немецком музее в экспозиции «Физика» есть экспонат — два полых бруса. Оба можно медленно наклонять. Конечно, тот, что выше, упадёт раньше. В обоих брусках есть отверстия, выполненные определённым образом. Видно, что там, внутри, болтается подвешенная на крючке цепочка. Подвешена она именно в центре тяжести бруса. Когда ты начинаешь наклонять брус, цепочка расположена отвесно. А потом кое-что происходит: когда цепочка хоть на миллиметр выходит за границу площади опоры бруса, сам он падает! Эта цепочка очень точно показывает тебе,



Граница площади опоры

в какую сторону сила земного притяжения собирается утащить брус: если цепочка отклоняется чуточку правее границы площади опоры, он упадёт вправо; если же она совсем чуть-чуть заходит за границу площади опоры влево, так незначительно, что невооружённым глазом и не увидишь, то брус всё равно обязательно упадёт влево.

Эта цепочка-контролёр, кстати, тоже имеет своё название: отвес.

Тем не менее, если внутри нашего более узкого полого бруса от места расположения его центра тяжести посмотреть вниз и вверх, то можно обнаружить, что до дна гораздо дальше, чем до свода (разумеется, проделать это можно только в воображении). Поэтому мы можем сказать, что центр тяжести у него находится наверху.



ГОЛОВОЛОМКА 1

Где находится центр тяжести у шара? Поскольку его вес распределён равномерно, то действует следующее правило: центр тяжести находится там, откуда одинаково далеко до любой точки поверхности и вес шара в любом направлении будет одинаков.

Ещё проще с прямоугольным листом картона. Где же у него центр тяжести?

Опыт

Этот эксперимент ты легко можешь провести дома: для начала постарайся удержать в равновесии лист картона на торце карандаша. Если лист не падает, значит, от этой точки во всех направлениях вес у него одинаковый. Ни одна из сторон не крепится, её удерживают в равновесии остальные. Таким образом, центр тяжести у листа картона находится точно в его геометрическом центре.



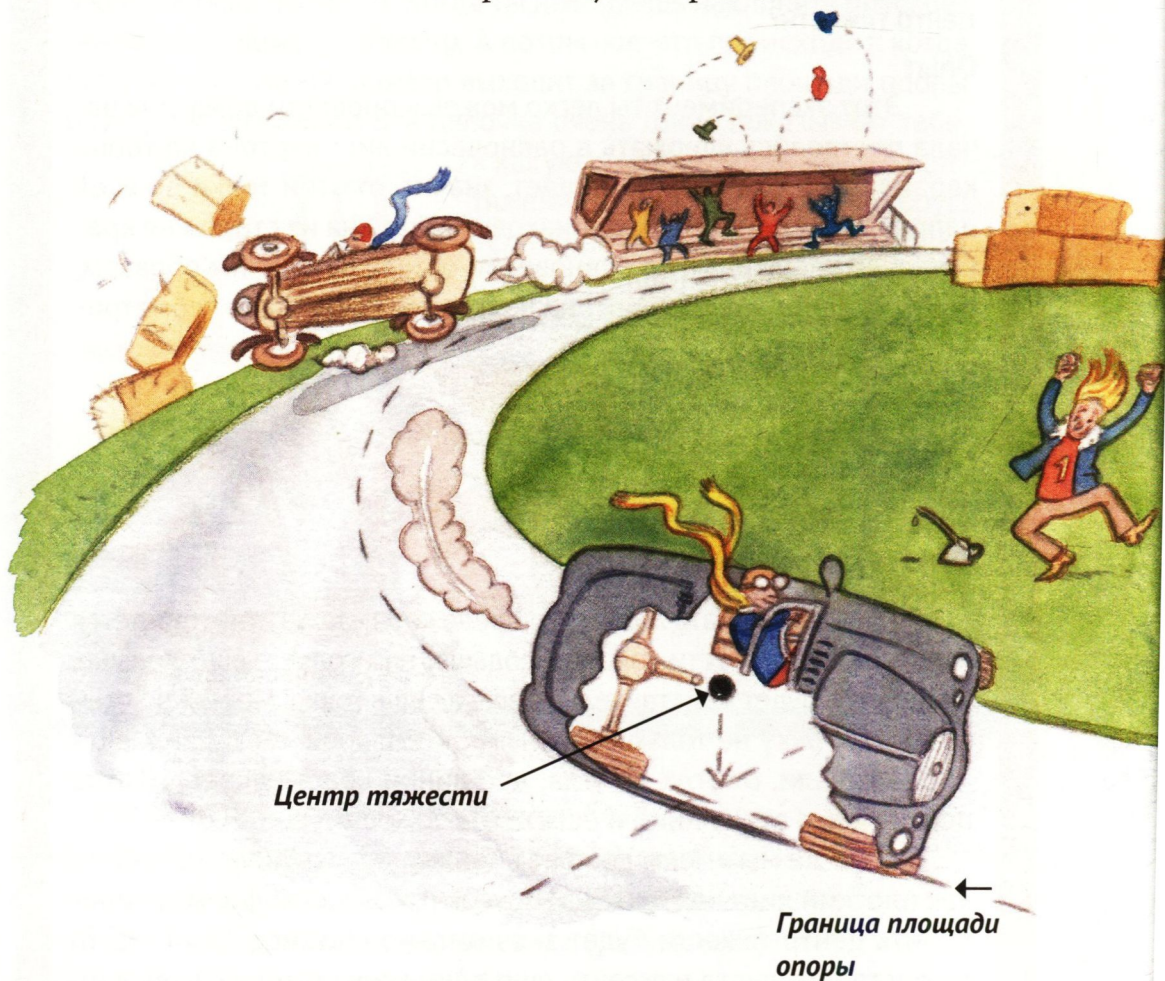
Чтобы удержать лист на грифеле карандаша, тебе придётся искать центр тяжести гораздо дольше, на иголке — ещё дольше. Теперь это будет действительно всего лишь точка. Но можно отыскать эту точку не только опытным путём: проведи карандашом по диагонали, от угла до угла, две линии крест-накрест. Точка пересечения этих линий и есть центр тяжести.

Если же мы имеем дело не с такими простыми предметами, как плоский лист картона или брусок правильной формы, определить центр тяжести будет значительно сложнее. Если где-то в углу твоего листа наклеить ещё один маленький кусочек картона, удерживать его в равновесии на кончике карандаша тебе придётся по-другому.

**Что опрокинется
быстрее — гоночная
машина, почтовая
карета или настольная
лампа?**

А где же находится центр тяжести у гоночной машины? Наверняка где-то в самом низу, не так высоко, как в нашем брусе, именно поэтому гоночные машины делают такими плоскими.

Попробуй-ка опрокинь свою модельку гоночной машины. Когда центр тяжести достигает границы площади опоры двух правых колёс, модель машины уже очень сильно наклонена. Но по-прежнему не опрокидывается.



*Даже под таким углом современная гоночная машина
ещё не переворачивается*



*Центр тяжести находится слишком высоко,
почтовая карета переворачивается*

А как обстоит дело со старой почтовой каретой на высоких колёсах? Там центр тяжести оказывается опасно высоко, ведь таким образом наверху сосредоточивается слишком большой вес (а на крыше, вероятно, ещё и чемоданы пассажиров!), который может потянуть всю конструкцию вниз при потере равновесия. Если лошади понесут, карета быстро перевернётся.

А настольная лампа с тяжёлым основанием? Она уже и более вытянутой формы, чем гоночная машина и модель почтовой кареты в Немецком музее, а опрокинуть её тем не менее гораздо сложнее. Почему же? Если мы проведём эксперимент и незадолго до того, как лампа опрокинется, нарисуем от точки опоры снизу вверх наш отвес, то центр тяжести наверняка окажется где-то у самого основания.



Чтобы центр тяжести находился так низко, основание лампы должно быть таким же тяжёлым, как оставшаяся часть лампы, находящаяся над ним. Именно в этом заключается фокус устойчивости любой лампы в комнате! Её основание должно быть, например металлическим, чтобы она сохраняла равновесие и не падала, едва её заденешь. На книжных полках самые тяжёлые книги тоже нужно ставить вниз, а не наверх. А как правильно собрать чемодан на колёсиках, который ты будешь катить за собой?

**Тяжёлые книги
нужно уклады-
вать вниз! Тогда
центр тяжести
будет глубоко
внизу**



Конечно же, самые тяжёлые вещи, например книги, нужно класть вниз, лучше всего прямо над колёсиками, а нижнее бельё, рубашки, носки и купальные принадлежности — наверх. Если положить книги сверху, они будут сильно тянуть чемодан вниз. Чтобы катить такой чемодан, придётся прилагать дополнительные усилия.

Ну вот, теперь более-менее понятно, почему не падает Пизанская башня! Если мы дорисуем ей внутри отвес, то увидим, что её центру тяжести ещё далеко до границы площади опоры. И это очень хорошо! Кроме того, за последние годы фундамент башни был укреплён, тем самым мощно усилена опорная поверхность.



А телевизионная башня? Здесь тот же принцип, что и у настольной лампы, только под землёй: бетоном заливают мощный противовес, который помогает удерживать равновесие. Наша настольная лампа тоже может сильно раскачиваться из стороны в сторону, если её толкнуть. Но упадёт она далеко не сразу.

Почему мы не падаем, катаясь на велосипеде? Ведь колёса такие узкие, а вся тяжесть, включая наш собственный вес, сосредоточена на самом верху! Центр тяжести расположен здесь очень высоко. Всё дело в том, что своим телом и движением руля мы постоянно создаём противовес. Мы делаем это совершенно не задумываясь. Тем не менее, чтобы научиться этому, нам приходится основательно попотеть. Кто кататься не учился, сразу падает. И уж совсем сложно удержаться на велосипеде почти без движения или на одноколёсном велосипеде — тут уже надо быть мастером.

Равновесие на велосипеде

Этот трюк иногда используют и артисты цирка: они переносят центр тяжести как можно ниже.

Равновесие на канате

Тебе приходилось когда-нибудь видеть канатоходцев с выгнутыми вниз перекладинами в руках? С перекладинами центр тяжести у них оказывается гораздо ниже. То есть это помогает сохранить равновесие, хотя со стороны кажется, что такой номер гораздо опаснее. Можно ли представить себе канатоходца, у которого в руках перекладина, выгнутая вверх? Я ещё ни одного не встречал. Вообразить себе такое, конечно, можно, но это очень рискованная затея — поскольку в этом случае значительно снижается устойчивость. Акробаты с перекладинами всегда

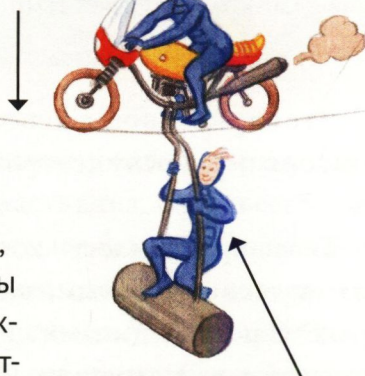
балансируют в **неустойчивом равновесии** — так называется состояние, в котором центр тяжести расположен выше точки опоры. Катаясь на велосипеде, мы тоже всегда находимся в неустойчивом равновесии. А что насчёт неваляшки, которая вообще не падает? Она пребывает в устойчивом равновесии. Когда какой-то предмет непременно возвращается в исходное положение, как бы мы его ни наклоняли, он находится в устойчивом равновесии, так как центр тяжести у него расположен ниже точки опоры.



В МУЗЕЕ

Что случится на проволочном канате с мотоциклистом, к мотоциклу которого снизу прикреплён эквилибрист? Выглядит этот номер очень опасным. Однако мотоциклист не упадёт, даже если вообще остановится! Он просто не сможет упасть!¹ Ведь центр тяжести находится под канатом, который играет здесь роль границы площади опоры. А опрокинуться можно, только если центр тяжести находится выше границы. Когда мотоциклист начинает пошатываться, центр тяжести под канатом сразу же поднимается чуть выше — вместе с подвешенным эквилибристом. Но за счёт его тяжести равновесие быстро восстанавливается.

Граница
площади опоры



Центр тяжести ниже
границы площади опоры

¹ Если только колёса не соскользнут с каната. Лучше всего сделать на колёсах насечки, они прекрасно удержат мотоцикл.

Если ты, порой играя в канатоходца, пытаешься сохранить равновесие на заборе или бордюре, это значит, что ты находишься в неустойчивом равновесии. При малейшем неверном движении центр тяжести у тебя сместится вниз. И можешь не сомневаться: он обязательно попытается! Понятно почему? Если ты понимаешь, почему так произойдёт, то вот тебе задачка. Для начала лёгкая.



ГОЛОВОЛОМКА 2

Сделай суперустойчивого канатоходца. Для этого тебе просто нужно смастерить такого картонного клоуна, как на картинке. Затем наклей ему на каждую ногу по одинаковой монетке, натяни верёвку и посади его сверху. Клоун будет сидеть на своём канате неподвижно, как скала.



**А где же у него центр тяжести? Отметь его на этой картинке.
(Свой рисунок ты можешь проверить по ответам в конце книги.)**

Итак, можно сказать: центр тяжести при нарушении равновесия всегда пытается оказать-ся как можно ниже! Там он и остаётся, ведь при этом устойчивость максимальна. Поэтому брус, почтовая карета и неумелый велосипедист падают на землю. А в случае с нашим картонным клоуном действует вот что: тут центр тяжести уже находится настолько низко, насколько возможно, то есть под канатом. Поэтому падать ему уже некуда.

Чем больше живот, тем ниже расположен центр тяжести

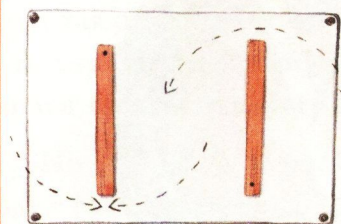


Насколько устойчивы борцы сумо?

А где же центр тяжести у человека? Разумеется, это зависит от того, большой ли у него живот — тогда, вероятно, в районе пупка. А если грудь и плечи у него широкие, как у атлета, — тогда немного выше. Японские борцы сумо с висящими животами и короткими ногами очень устойчивы. Для них это важно! Ведь тогда противнику будет труднее их повалить. Было бы ещё лучше, если бы ступни у них были плоскими, широкими и тяжёлыми, как основание настольной лампы.



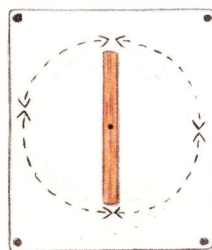
ГОЛОВОЛОМКИ 3 И 4



Возьмём две палочки. Левая закреплена сверху, а правая снизу так, что они легко могут вращаться. Как ты помнишь, равновесие может быть устойчивым и неустойчивым. Определи тип равновесия для каждой палочки.

А теперь задача посложнее:

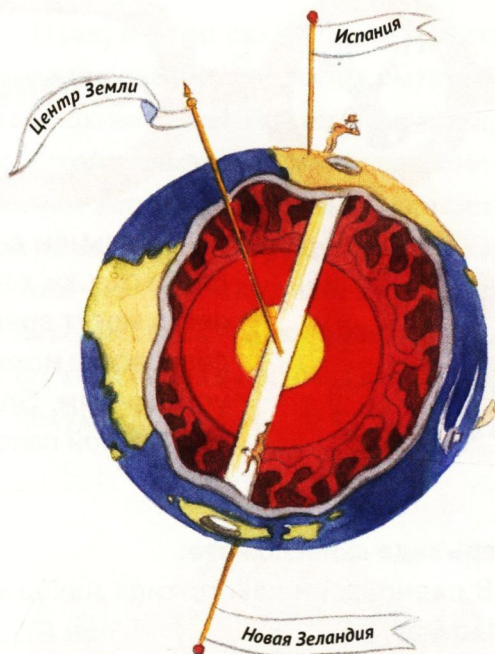
В равновесии какого типа находится эта палочка?



Теперь в голову приходит совершенно глупая, но увлекательная мысль: если бы не было земной поверхности, то куда бы падали брусья, почтовая карета и борцы сумо? Предположим, балансируя на стене, ты падаешь в глубокую яму, которую только что вырыли рабочие. Сила земного притяжения затягивает тебя всё глубже, всё быстрее — но, разумеется, падать ты будешь только до дна этой ямы. Там ты грохнешься и переломаешь себе все кости. А что, если бы у ямы не было дна, и она шла бы до центра Земли и дальше и выходила бы с другой стороны земного шара, скажем, в Новой Зеландии? Правда, чтобы оказаться в Новой Зеландии, придётся упасть сквозь землю в Испании — эти страны расположены на земном шаре примерно друг под другом.

Стремительное падение сквозь земной шар

**Фантастический
туннель сквозь
земной шар**



Как далеко ты пролетишь в такой яме? Ну, для начала ты достигнешь центра земного шара. Там (приблизительно) находится центр тяжести всей нашей планеты, он притягивает всё.

**Молниеносное
путешествие в Новую
Зеландию и обратно**

Но если, падая, ты доберёшься до центра тяжести (и не сваришься в раскалённой лаве внутри земного шара, к тому же мы здесь не учитывали сопротивление воздуха), то по пути ты разовьёшь такую сумасшедшую скорость, что тебе уже никак не остановиться. Ты будешь падать в эту яму до тех пор, пока не достигнешь центра земного шара. А потом снова начнёшь замедляться, лететь всё медленнее, потому что центр тяжести Земли захочет тебя вернуть. Наконец очень медленно ты появишься из ямы в Новой Зеландии, так же медленно, как падал со стены в Испании. Тут новозеландцы рты и пооткрывают. Но у тебя не будет времени даже поздороваться с ними. Если какой-нибудь находчивый островитянин быстро не бросит

тебе канат, чтобы было за что ухватиться, ты снова исчезнешь в дыре, словно тебя за невидимую резинку потянули обратно. Ты помчишься назад к центру Земли и дальше — всё медленнее — до твоей стены, там тебя опять затянет в яму; так это и будет продолжаться бесконечно. Вот такой классный банджи-джампинг получился бы безо всякого каната!

Но вернёмся к реальности: во-первых, воздух тебя тормозит. А во-вторых, Земля внутри раскалена. И, кроме того, в-третьих: такой ямы до самой Новой Зеландии не существует, ведь она была бы двенадцать тысяч километров глубиной — на всю толщину земного шара. А самые глубокие отверстия, сделанные до сих пор людьми, — это всего лишь уколы булавкой на поверхности Земли. Всего несколько километров. Если бы этих «во-первых», «во-вторых» и «в-третьих» не существовало, кругосветное путешествие в Новую Зеландию действительно можно было бы совершить фантастически быстро. За какие-то три четверти часа ты оказался бы на другом краю света.

Но, может быть, ты хочешь вовсе и не в Новую Зеландию, а, допустим, в Бразилию, в тропический лес. На здоровье, тогда пробури́м наш фантастический туннель отсюда в Бразилию — примерно сквозь половину земного шара. И можешь удивляться, сколько хочешь, но ты и на этот раз скатишься насквозь примерно за сорок пять минут, хотя этот путь намного короче. Тем не менее, нам нужно учесть ещё один важный фактор: этот туннель не только должен быть безвоздушным пространством, там вообще не должно быть никаких препятствий. Подробнее ты прочтёшь об этом в Справочнике.

В любом случае нам совершенно неважно, куда прокладывать туннель, длиться путешествие всё равно будет примерно три четверти часа — разумеется, если не будет тормозящего воздействия воздуха и раскалённой лавы. Странно, не правда ли? В Справочнике ты прочитаешь подробнее и об этом. А сейчас скажу только вот что: раз ты в этом туннеле не пролетаешь мимо центра Земли, то и скорости такой бешеной не разовьёшь. Зато путь будет короче. Отсюда и одинаковое время в пути.

2. Ай да мы! Рассчитываем по Архимеду

**Как правильно
качаться на качелях**

«Дайте мне точку опоры, и я переверну земной шар». Говорят, что больше двух тысяч лет назад так воскликнул философ, математик и физик Архимед. В самом законе рычага нет ничего особенного. Любой ребёнок, однажды уже качавшийся с другом на качелях в виде доски, уравновешенной в центре, знает, как близко к центру должен сидеть его самый тяжёлый друг, чтобы его вообще можно было оторвать от земли.

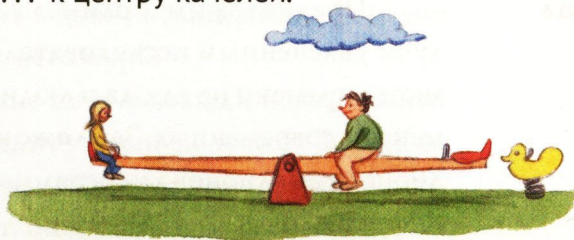


Но всё-таки именно Архимед выяснил, как это с точностью рассчитать! На какое расстояние нужно сесть упитанному другу? Решение Архимеда звучит так: **если твой друг в два раза тяжелее тебя, сидеть он должен в два раза ближе к центру (то есть к точке опоры) качелей.**



ГОЛОВОЛОМКА 5

Если ты весишь в три раза меньше друга, то сидеть он должен ... к центру качелей.



Кстати, если вы с другом сели на правильном расстоянии от центра, то качаться будет особенно легко, так как левая и правая половины качелей находятся в равновесии.



ГОЛОВОЛОМКА 6

А в каком, собственно, равновесии? Похожий пример для серьёзного размышления у нас уже был на стр. 15! Вспомни, какие типы равновесия бывают, и определи, какой реализуется на качелях.

Вот и весь закон рычага. Он действует везде и всегда, в природе и в технике — железный закон, так сказать, закон природы. В отличие от законов, придуманных людьми, обойти его невозможно.

Должно быть, Архимед просто представил себе гигантские качели во Вселенной, такие огромные, что он, сидя на одном конце, мог поднять весь земной шар на другом. Наверное, именно это он имел в виду, когда говорил, что «перевернёт земной шар». И с помощью его закона рычага мы можем рассчитать, где именно он должен сидеть на качелях, чтобы это удалось.

Качели Архимеда

Предположим, Архимед весил 60 кг — будучи увлечённым исследователем, он не тратил много времени на еду, да и люди в то время были меньше современных. Земля же весит шесть триллионов триллионов килограммов. Если записать цифрами, это выглядит так:

6 000 000 000 000 000 000 000 000

Двадцать четыре нуля после шестёрки, немыслимый вес! Таким образом, Земля в 100 миллиардов триллионов раз тяжелее Архимеда — это единица с двадцатью тремя нулями. (На самом деле в килограммах физики обозначают массу, а не вес, но мы пока оставим всё как есть, а более точно объясним в Справочнике.) Итак, где же должен усесться Архимед на своих фантастических качелях? Разумеется, это зависит от того, где на этих невозможных качелях займёт место Земля. Предположим, нам удалось бы усадить её очень близко от центра, скажем, всего в десяти километрах. Вообще-то это полная чепуха, ведь диаметр самой Земли больше двенадцати тысяч километров. Но ведь и весь наш мысленный

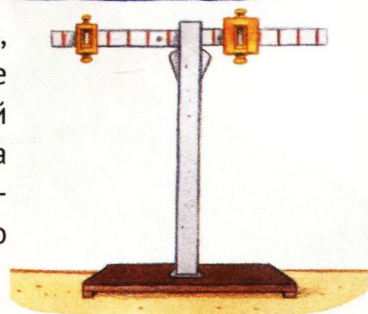
эксперимент совершенно абсурден, и Архимед благоразумно не сообщил нам об этом никаких подробностей. Тем не менее, мы сейчас просто всё посчитаем, используя закон рычага: Архимед должен был бы сидеть на расстоянии в десять километров, помноженные на единицу с двадцатью тремя нулями. Это больше, чем диаметр всей Вселенной, известной нам сегодня! А во времена Архимеда к тому же считали, что Вселенная гораздо меньше! Так или иначе, ничего не получается, так как нет ничего больше всей Вселенной. Если великий физик и сказал что-то подобное, то скорее всего в радостной эйфории, чем по здравому размышлению, — подобно тому, как мы в особо удачный день восклицаем: «Сегодня я готов покорить весь мир!»

Кстати, такие качели дважды невозможны: если Архимед сидит ужасно далеко от Земли, то на него больше не действует сила земного притяжения. Значит, он ничего и не весит. И Земля по своей орбите вокруг Солнца тоже движется в невесомости. Ну и как же качаться в таких условиях?



В МУЗЕЕ

Ты можешь поиграть в Архимеда, если найдёшь где-нибудь механические весы. Подвигай гири на одной и другой стороне. И просто представь, что гиря побольше — это Земля, а та, что поменьше, — ты. Такой же эксперимент можно провести в Немецком музее.



Качели — это двуплечий рычаг, потому что справа и слева от точки опоры расположены плечи рычага: **плечо приложения силы** и **плечо приложения нагрузки**. А закон рычага звучит вот так:

Основной принцип рычага

Произведение силы на плечо приложения этой силы равно произведению нагрузки на плечо приложения нагрузки.

Если плечо приложения силы намного длиннее, то поднять груз на другой стороне всегда легче. В три раза длиннее — значит, и поднять груз в три раза легче.

Таким образом, Архимед вычислил это математически, но люди использовали сам принцип задолго до него. Деревянный рычаг, возможно, был даже первым инструментом, которым пользовались первобытные люди сотни тысяч лет назад, ещё до рубила каменного века, примерно так, как мы сегодня пользуемся ломом: длинным металлическим стержнем можно приподнять какую-нибудь тяжесть, например мотор, если подсунуть под него стержень загнутым концом.



Длинный рычаг помогает сберечь силы

Кстати, наш чемодан на колёсиках — тоже рычаг. Так как от роликов отходит только одно плечо, его называют одноплечим. Вся нагрузка (которую мы можем себе представить собранной в центре тяжести чемодана) и твоя рука, поднимающая чемодан, действуют на одной и той же стороне от точки опоры. Точка опоры, конечно же, находится в колёсиках на земле. Если ты возьмёшься за чемодан в точке, которая находится в восемь раз дальше от точки опоры, чем центр тяжести, поднять тебе нужно будет только одну восьмую веса чемодана.

Где ещё можно найти рычаг

*Не стоит так огорчаться.
Ведь всё можно сделать
в восемь раз легче!*



Тачка — тоже одноплечий рычаг. Это значит, что браться за ручку нужно как можно дальше от центра. Но как сложить камни в эту тачку, чтобы поднять и катить её было легче всего? Тебе нужно положить одинаковое количество одинаково тяжёлых камней перед осью колеса и за ней. Тогда тачка будет похожа на качели в равновесии и покатится почти сама по себе, стоит её разок подтолкнуть.





Внимательно посмотри на рисунок. Где здесь рычаг, а где нет?

Подсказка: у рычага всегда должна быть точка опоры. А ещё он помогает экономить силы или уравновесить усилия.



Очень важен закон рычага для больших кранов. Представь себе, что на длинной стреле крана висит тяжёлая металлическая бочка с жидким бетоном, которую нужно поднять. Почему кран не падает? С другой стороны крана на платформу в его основании нагроутили много камней, которые уравнивают нашу бочку с бетоном.



ГОЛОВОЛОМКА 8

Если стрела крана в десять раз длиннее, чем эта платформа с камнями, а наша бочка с бетоном весит 200 кг, каков должен быть общий вес камней, чтобы кран не перевернулся?

Противовес ужасно тяжёлый! Для надёжности, кстати, камней должно быть ещё больше, чем в нашей задачке. Ведь кран ни в коем случае не должен раскачиваться.

Руки и ноги человека, а также его нижняя челюсть — это тоже рычаги, которыми мы ловко управляем с помощью мышечной силы так, чтобы произведение нагрузки на плечо приложения нагрузки было минимальным. Попробуй-ка поднять вверх на вытянутых руках что-нибудь тяжёлое, например три толстые книги. Поднимать будет намного сложнее, чем прижав руки к телу. Тяжелоатлеты тоже поднимают вес, прижав его вплотную к телу.

**История и легенда:
как не стало
Архимеда**

Знаменитый учёный Архимед жил в городе Сиракузы на острове Сицилия. В то время это была столица маленького, но богатого и сильного государства. Его основали выходцы из Греции. Всю Сицилию и всё Средиземноморье тогда населяли греки. Но звезда этих многочисленных маленьких греческих государств покатилась к закату. До той поры не столь мощное римское государство расширялось и поглощало одну область за другой. И как раз при жизни Архимеда, чуть более двухсот лет до нашей эры, наступила очередь Сиракуз. Римские войска осадили город. Не помогли никакие хитроумные бастионы и оборонительные приспособления, большинство из которых, кстати, разработал Архимед. Город был уничтожен с ужасающей жестокостью. Но Архимед должен был выжить. Римский полководец Марцелл строго-настрого приказал пощадить его. Такой гениальный учёный и инженер Риму тоже мог пригодиться. Но, бесчинствуя в городе, солдаты имён не спрашивали. Они увидели какого-то беспечного старика, который, сидя у своего дома, что-то рисовал палкой на песке.

Архимед и римский солдат



Никто не стал приглядываться, что он рисует. Жаждающих крови и трофеев солдат физика и математика нисколько не интересуют. К тому же, говорят, Архимед ещё и крикнул: «Осторожно, не сотрите мне круги!» И тут же был убит.

Рассказывают, что во времена своей славы Архимед уберёг правителя Сиракуз от крупного мошенничества. Пожелав себе новую корону, правитель дал придворному ювелиру большой слиток золота. Через какое-то время он получил прекрасную корону, сработанную необычайно искусно. Весила она ровно столько, сколько весил слиток. Казалось, всё было в порядке. «Но откуда нам знать, — думали недоверчивые министры правителя, — вдруг этот ювелир присвоил часть золота от слитка и тайком добавил в корону какой-нибудь более дешёвый лёгкий металл, разумеется, побольше, чтобы корона совпадала по весу со слитком?» Архимед знал ответ на этот вопрос: «Положите корону и слиток золота такого же веса на разные чаши весов (то есть на рычаг!), и весы, конечно же, останутся в равновесии. А теперь опустите обе чаши весов в воду. Если корона не из чистого золота, в воде она окажется выше, чем слиток».

Закон Архимеда и королевская корона

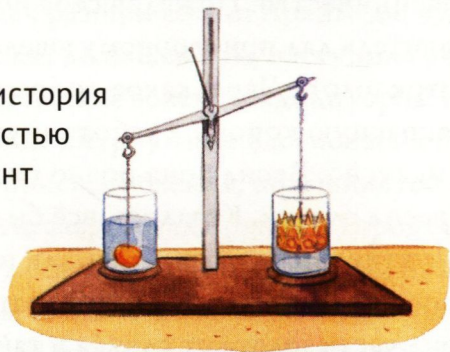
Мы называем это **силой Архимеда**: в воде все тела весят несколько меньше, чем в воздухе. И ты, плавая, тоже становишься легче. Почему? **Вода, выталкивая твоё тело, немного приподнимает тебя.** Но почему чаша весов с фальшивой короной в воде оказывается выше, чем чаша весов со слитком? Потому что материал короны, состоящий из сплава золота и обманным путём добавленного металла, становится менее плотным,

то есть приобретает больший объём при том же весе, чем слиток чистого золота, и поэтому вытесняет несколько больше воды, чем слиток. Это называют законом Архимеда.



В МУЗЕЕ

Неизвестно, правдива эта история или нет, но ты можешь с точностью воспроизвести этот эксперимент дома или в Немецком музее.



Финал этой истории таков: корона в воде действительно оказалась легче. Ювелиру отрубили голову.

3. О собаках, ракетах и геометрии

Мышечная сила и машины

Кроме силы земного притяжения, тянущей нас вниз, есть ещё и другие силы. Например, сила наших мышц. Силы можно складывать, но можно и раскладывать. Со сложением всё ясно: легче подтолкнуть машину с заглушим двигателем вчетвером или впятером, чем вдвоём. Легче будет в четыре-пять раз, потому что все будут толкать в одном и том же направлении. До появления современной техники требовалось одновременно много людей, чтобы

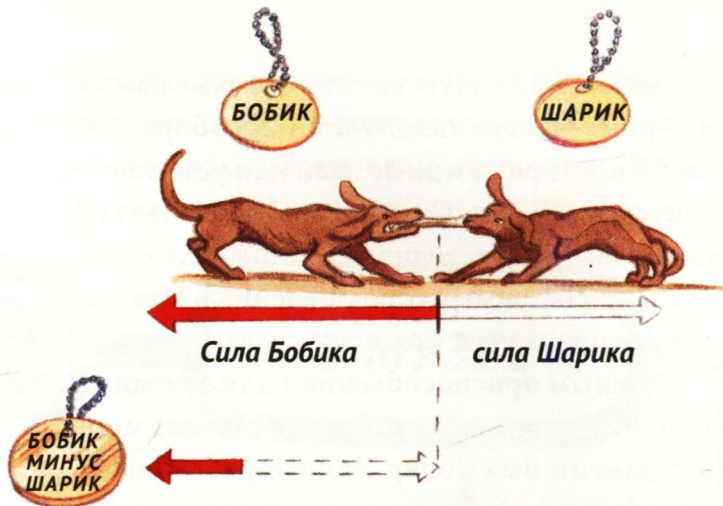
поднимать на большую высоту тяжёлые камни для строительства какого-нибудь собора или вбивать в землю длинные сваи для установки строительных лесов. Сваи нужны и в том случае, когда почва недостаточно устойчива для строительства. Например, город Венеция в Италии построен преимущественно на сваях.

Важным приспособлением для вбивания свай при строительных работах в течение многих столетий был копёр. Много работавших на стройке людей вместе тянули перекинутый через ролик трос, на котором была подвешена тяжёлая каменная глыба. По команде трос отпускали, глыба падала и била по свае — снова и снова, пока та не оказывалась достаточно глубоко в земле.

*Копёр Древнего мира: так
можно было складывать силы
многих людей*



В наше время копры, конечно, приводятся в действие двигателями. И чаще всего в землю вбивают уже не деревянные сваи, а стальные балки, например, для ограждения котлована.

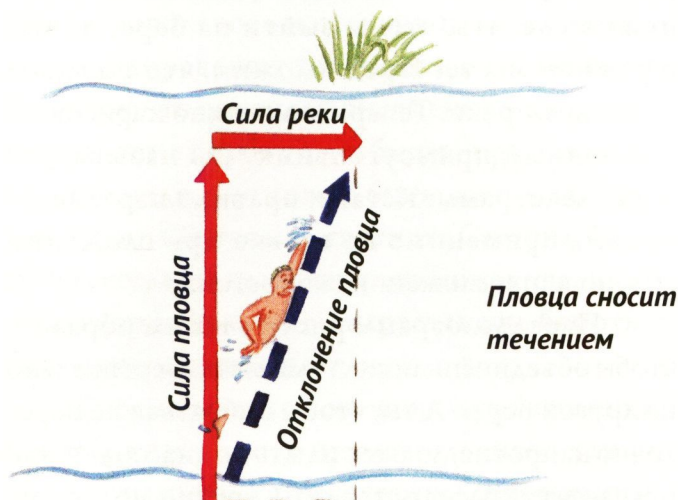


А что происходит, когда два пса, рыча, вцепились в одну косточку и тянут её, каждый в свою сторону? Если их силы равны, кость вообще не сдвинется с места. Сила, действующая слева, и сила, действующая справа, взаимно уничтожаются. А если один пёс сильнее? Тогда он перетянет косточку к себе вместе с висющим на ней соперником. Назовём более сильного Бобиком, а более слабого Шариком. Тогда косточку будет тянуть сила Бобика минус сила Шарика.

Параллелограмм сил

То же самое происходит, когда в речке ты пытаешься плыть против течения: если вы с рекой одинаково «сильны», ты не сдвинешься с места. Если ты «слабее», течение потихоньку утащит тебя за собой. И только если ты «сильнее», ты с трудом будешь продвигаться вверх по течению. А что произойдёт, если ты поплывёшь на другой берег по диагонали? Предположим, ты в два с половиной раза «сильнее» реки, а на том берегу, прямо напротив тебя, чудесный песчаный пляж. Удастся ли тебе подплыть точно к этому пляжу? Нет, потому что пока ты плывёшь, тебя будет немного сносить вниз по течению, и ты окажешься дальше нужного места — может быть, в зарослях камыша.

Две силы, твоя собственная и сила реки, складываются следующим образом:



Каждая стрелка изображает какую-то силу. Стрелка по диагонали демонстрирует сумму твоей силы с силой реки. Вот как просто изобразить эту результирующую силу: как диагональ прямоугольника. Если твоя сила намного меньше, тебя унесёт намного дальше.

Вернувшись к нашим собакам, мы увидим, что если в косточку вцепились две собаки, чьи силы не равны, как на нашей картинке, косточка — вместе с собакой — будет двигаться вперёд по диагонали.

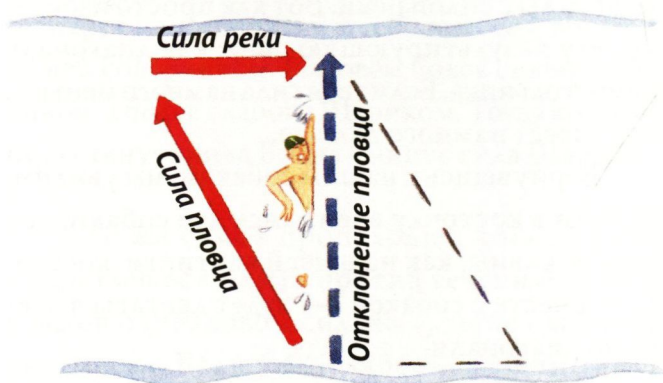


Так будут двигаться косточка и собаки

Теперь, зная, как действует правило параллелограмма, ты можешь предположить, что нужно сделать, чтобы выйти на берег точно в нужном месте? Предположим, что ты вдвое «сильнее» реки. Теперь нам нужно нарисовать скошенный прямоугольник. Он называется параллелограмм. Кстати, правило параллелограмма применимо не только при сложении сил, но и при сложении скоростей.

Параллелограмм рисуем таким образом, чтобы объединённая сила указывала вертикально на другой берег. А ты, чтобы выбраться на берег точно напротив, должен плыть по диагонали, как показывает красная стрелка. Странно, но это так. В реальной жизни ты, разумеется, не можешь точно знать, насколько река «слабее» тебя.

*Только если пловец
будет плыть
по диагонали,
он сможет пересечь
реку вертикально*



Ты просто проплывёшь какое-то время против течения, и порой, если не будет получаться, тебе придётся как следует постараться. При этом ты всё равно можешь порядочно ошибиться в расчётах и — вот тебе на — снова финишируешь в камышах.

Силы в космосе

В космических полётах такое сложение сил тоже играет большую роль. Ракету запускают с Земли, а земное притяжение старается вернуть её назад. Кроме того, она начинает испытывать

притяжение других небесных тел, таких, например, как Луна, Солнце и другие планеты. И это можно использовать в своих целях. Скажем, ракету направляют так близко к гигантскому Юпитеру, что его сила притяжения ускоряет её, искривляет её орбиту, чтобы она приземлилась там, где надо, — может быть, на посадочной площадке на Титане — спутнике Сатурна. Точно так же, когда ты плывёшь, река может увеличить твою скорость, если ты перестанешь бороться с ней и поплывёшь по течению.

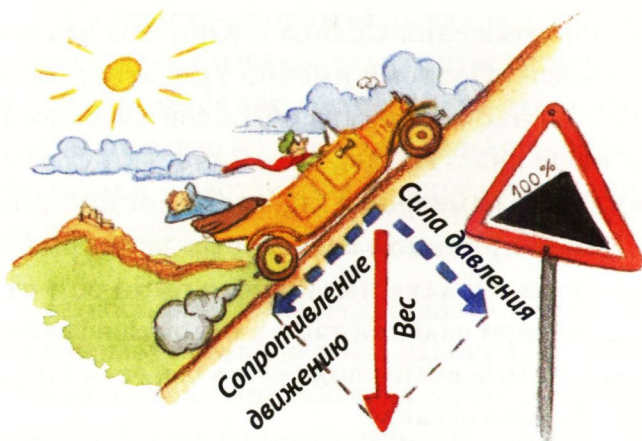
В космонавтике, конечно, такие вещи никто не изображает в виде прямоугольников или параллелограммов. Тут уже нужны суперкомпьютеры, чтобы рассчитывать параметры в каждой точке траектории полёта. Силы притяжения между Солнцем и планетами не распространяются сплошным потоком. Они, наподобие лучей, всегда воздействуют на одну точку — центр тяжести каждого небесного тела. Но это тебе уже известно.

Хорошо, кстати, что наша Земля легче Солнца или гигантской планеты Юпитера. Во-первых, нашим ракетам с Земли легче стартовать в космос, во-вторых, это защищает нас от частых непрошенных гостей — метеоритов: силы притяжения Солнца и Юпитера намного больше. Поэтому именно туда вторгается большинство гигантских обломков из космоса. На наше счастье. Ведь космический странник даже диаметром в километр мог бы стать на Земле причиной катастрофы всемирного масштаба. Облака пыли затмили бы всю атмосферу при падении такого обломка на сушу. Немыслимые волны поднялись бы, если бы он обрушился в океан.



Разложение силы ещё важнее, чем сложение сил, в частности, в технике. Может, его тоже можно описать с помощью прямоугольника и параллелограмма, только наоборот? Конечно! Но тут вначале стрелка только одна. Искать нужно стрелки слева и справа, на которые разделится первая, предположим, так:

Где можно встретить разложение силы? Например, когда машина едет в гору. Двигатель тащит не полный вес машины, а лишь ту его часть, которая тянет машину назад. Так называемое сопротивление движению на подъёме доставляет двигателю много хлопот. Его нужно преодолеть в первую очередь. Другая часть веса вертикально давит на дорогу. Если бы этой силы давления или сцепления не было, колёса не цеплялись бы за асфальт и прокручивались. Чем круче дорога, тем меньше сила сцепления и больше сопротивление движению на подъёме, стаскивающее машину вниз. Мы попробуем нарисовать здесь схему для очень крутого подъёма в гору:



А если к тому же на дороге лежит снег или насыпан щебень, колёса будут быстро прокручиваться именно потому, что сила, которая давит на дорогу, слишком мала.

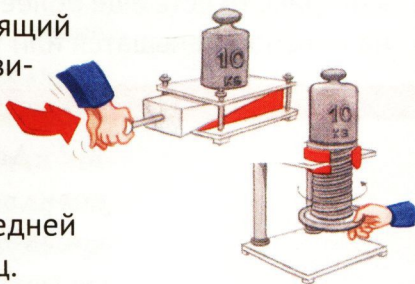
Между прочим, очень изысканно действует эта «сила сопротивления движению на подъёме» в хитро придуманной форме спирального штопора. Цилиндрическая головка штопора плотно насаживается на бутылку, его острый конец ввинчивается в пробку, а мы продолжаем крутить в том же направлении. И — о чудо — спираль штопора, наоборот, поднимается, вытаскивая за собой пробку. Спираль штопора — это подобие горного серпантина. Ты прикладываешь усилия, не равные силе сопротивления пробки, а гораздо меньшие.



В МУЗЕЕ

В Немецком музее на эту тему есть три простых опыта: на подставке с клином стоит тяжёлый груз, рядом стоит такой же груз без подставки. С помощью клина груз поднять намного легче, чем просто поднимать его вертикально безо всяких вспомогательных средств. Похожий опыт можно проделать с винтом, на котором стоит тот же самый груз. Получается легче лёгкого — точно так же, как со спиральным штопором.

Ещё в музее находится настоящий особо мощный пресс для отжима виноградного сока, которому двести лет. Благодаря очень толстому деревянному винту этим прессом выжимали из винограда сок до последней капли, используя только силу мышц.



А почему легко расколоть полено топором? Если ты с такой же силой ударишь по полену молотком, оно и не подумает расколоться. Сила молотка воздействует на прочное дерево только отвесно вниз. Здесь нарисован топор, а также сила, которую ты направляешь сверху вниз.

Сила, с которой топор воздействует на полено

Сила, с которой топор воздействует на полено



Но благодаря узкому и острому лезвию сила раскладывается на две составляющие, действующие влево и вправо, поэтому две части полена после удара действительно разлетаются влево и вправо. Если мы нарисуем наш параллелограмм, то сразу же увидим, какие мощные силы возникают слева и справа от лезвия топора при одном ударе.

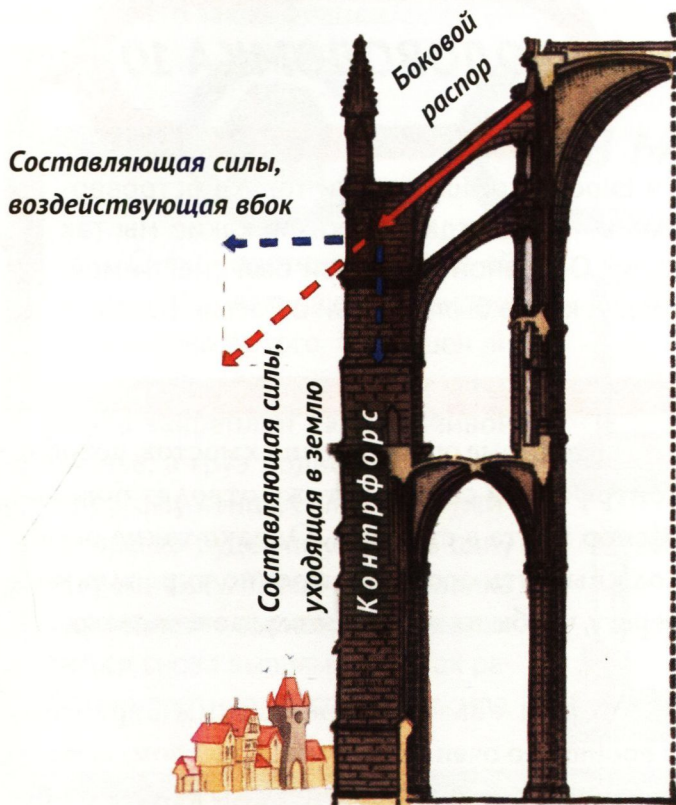


ГОЛОВОЛОМКА 9

Что будет, если выковать топор ещё больше сужающимся к острию, то есть ещё более острым? Силы воздействия топора на полено уменьшатся или увеличатся?

До какой же степени можно сужать клиновидное лезвие топора? Конечно, не до бесконечности, иначе оно погнётся при первом же мощном ударе. Такие клинья были известны уже первобытным людям, которые ничего

не знали о нашем параллелограмме сил. Правда, клинья эти были каменными (как-никак, дело было в каменном веке, и лишь спустя какое-то время изобрели топоры из бронзы, и только много позже — железные).



Средневековый собор: контрфорсы берут на себя часть бокового распора сводов, которые давят на несущие стены

При проектировании зданий также применяется разложение сил. Например, скаты крыши давят своим весом вниз по диагонали. Только часть их веса приходится на стены, другая составляющая направлена просто вовне. Семьсот-девятьсот лет назад при строительстве высоких соборов главной проблемой были большие оконные проёмы. Поверхность стен никогда не смогла бы выдержать давление крыш, направленное вовне. Они просто разъехались бы в стороны. Чтобы этого не произошло, были изобретены контрфорсы готических соборов.

Какие крыши лучше

Эти контрфорсы подпирают стены снаружи и таким образом выводят нагрузку опасного бокового распора от крыши в землю. К тому же они ещё и красивые.



ГОЛОВОЛОМКА 10

Почему раньше в Европе крыши делали только островерхими — часто даже очень — и никогда плоскими, какие мы так часто видим в наши дни? Основной причиной был снег зимой. Как ты думаешь, почему? А какие были крыши в России раньше? И какие теперь?

Концевые опоры арочных мостов, подобно контрфорсам соборов, тоже отводят боковой распор моста в стороны. Однако такие опоры должны быть особенно прочно укреплены на берегу, чтобы их ни в коем случае не повело.

Сила и противодействующая сила

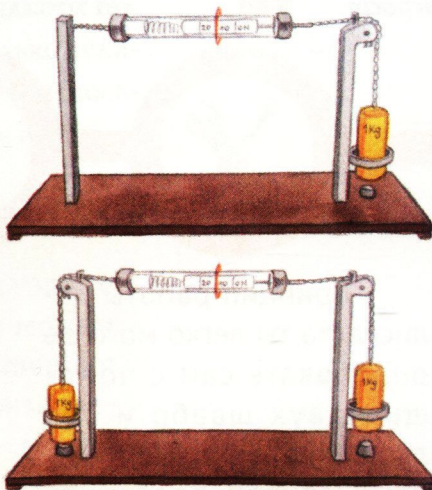
Силы обладают ещё одним странным и вообще-то очень простым свойством: если ты соревнуешься в перетягивании каната с противником, равным тебе по силе, — назовём его Коля, — никто с места не сдвинется. Коля создаёт противодействие твоей силе, когда тянет в противоположном направлении. Это ты уже знаешь. Но предположим, вы перетягиваете канат, заворачивающий за угол дома, то есть Колю ты совсем не видишь. Самым возмутительным образом он за углом привязывает канат к крюку, торчащему из стены. Ты можешь теперь до упаду тянуть канат и по-прежнему считать, что он с тобой соревнуется. Ведь ты думаешь, что тут работает ещё одна сила, которая тянет

в противоположном направлении! И она действительно есть! Эту силу создают крепкая стена и прочно ввинченный в неё крюк. Её называют противодействующей силой. **«Любая действующая на тело сила создаёт противодействующую силу»** — это закон физики.



В МУЗЕЕ

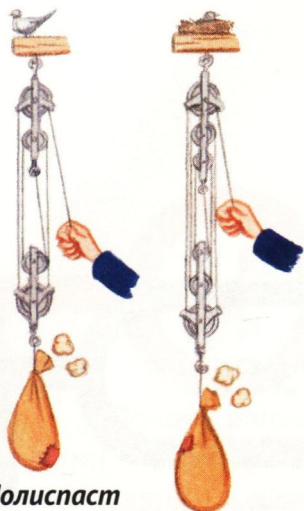
Силу и противодействие ей можно наблюдать на динамометре. Независимо от того, подвешен ли груз слева и справа или же один конец закреплён на устойчивой планке, а груз подвешен только к другому концу, силовая пружина всегда будет показывать одну и ту же силу. Устойчивая планка едва заметно выгнется и будет пытаться снова выпрямиться. Так работает противодействующая сила.



4. О роликах и велосипедах

В прошлом самым гениальным изобретением, позволяющим решать, казалось бы, невыполнимые задачи, был полиспаст. Он и сегодня существует. Но большой роли уже не играет, так как появились мощные двигатели, которые обеспечивают работу кранов. В этих двигателях полиспаст заменяется гидравлическим приводом или зубчатой передачей. Что же означает это странное слово «полиспаст»?

Ролики в помощь



Полиспаст

Полиспаст — это грузоподъёмное устройство, состоящее из четырёх, шести, восьми или большего количества блоков, через которые пропущен трос. Блоки разделены попарно на две «команды», то есть два и два, три и три и так далее. При кратности два на два требуется применить лишь одну четверть усилия, чтобы поднять, например, тяжёлый мешок муки.

Полиспаст изобрели древние греки более двух тысяч лет назад. Египтянам, строившим свои гигантские пирамиды более четырёх тысяч лет назад, он был ещё не известен.



ОПЫТ

Принцип работы полиспаста ты легко можешь опробовать сам с помощью двух швабр и бельевой верёвки. Попроси двух друзей поставить швабры на пол и крепко удерживать обеими руками по одной швабре. Затем попробуй крепко надавить на палки с двух сторон, чтобы они соприкоснулись. Друзья при этом должны препятствовать давлению. Скорее всего, у тебя ничего не получится. А теперь привяжи к одной из палок бельевую верёвку и несколько раз обмотай её вокруг обеих палок, подобно устройству полиспаста. Если ты теперь потянешь за свободный конец верёвки, то играючи соединишь швабры, как бы друзья ни сопротивлялись.



По какому принципу работает полиспасть? Возьмём наш пример со швабрами: если ты обмотал верёвку шесть раз (это соответствует полиспасту с блоками три на три), тебе нужно приложить всего одну шестую от усилия друзей. Однако для того, чтобы притянуть швабры друг к другу, потребуется в шесть раз больше времени. Или можно сказать по-другому: расстояние стало в шесть раз больше. Поэтому и шнурки в ботинках стягиваются легко. Дырочки, сквозь которые они продеты, работают как блоки в полиспасте. Но трение шнурков о края дырочек, о язычок ботинка и в местах их пересечений настолько велико, что в этом случае о четырёх-, шести- или восьмикратном уменьшении усилия речи не идёт.

Золотое правило механики

Произведение силы на расстояние всегда остаётся неизменным. Мы можем уменьшить усилие, но при этом увеличится расстояние, таким образом их произведение — оно называется работой — всегда будет одинаковым.

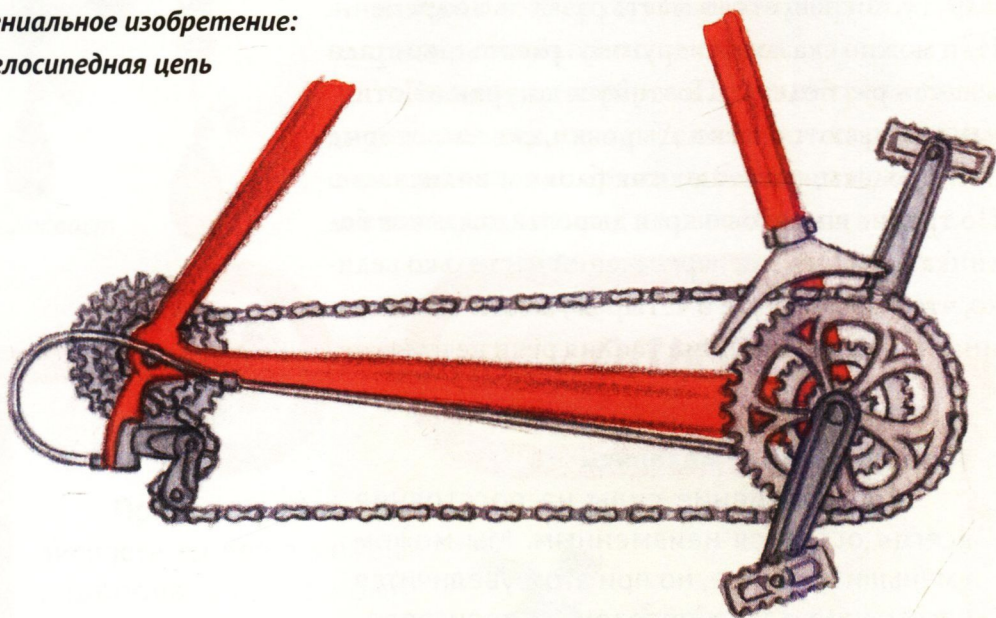
Древние греки, кстати, этого ещё не знали, хотя сейчас это кажется очевидным. В Средние века формулу «произведение силы на расстояние всегда остаётся неизменным» называли золотым правилом механики.

Как я уже сказал, место полиспаста сегодня заняли шестерёнки. Один привод с зубчатыми колёсами тебе уж точно хорошо известен, и, возможно, ты пользуешься им каждый день: это велосипед. У велосипеда есть педали,

Цепи и рычаги

по меньшей мере, два зубчатых колеса и цепь от переднего к заднему. На самом деле велосипедная цепь — это тоже гениальное изобретение, сделанное более ста лет назад, такое же потрясающее, как и полиспасть древних греков.

*Гениальное изобретение:
велосипедная цепь*



Раньше на педали нажимали непосредственно на переднем колесе. За один оборот педалей ты продвигался вперёд на длину окружности колеса. В горку удобно, а на ровной поверхности не разгонишься. Что сделали, чтобы решить проблему? Очень просто: нужно было увеличить переднее колесо. Так изобрели пенни-фартинг — велосипед, переднее колесо которого намного больше заднего. Раз прокрутив педали, что означало один оборот колеса, ты проезжал уже значительно большее расстояние. Но такой высокий велосипед — дело ненадёжное, езда на нём — это почти цирковой номер.

И тут произошла революция: изобрели велосипедную цепь, связывающую большое переднее колесо и педали с маленьким колесом сзади при помощи зубчатых колес. Если у твоего велосипеда диаметр переднего зубчатого колеса, скажем, шестнадцать сантиметров, а заднего — четыре, то за один полный оборот педалей маленькое зубчатое колесо вместе с задним колесом велосипеда прокрутится четыре раза. То есть, один раз прокрутив педали, ты уедешь на своём велосипеде в четыре раза дальше, чем уехал бы на велосипеде столетней давности. Но зато тебе нужно в четыре раза сильнее давить на педали. Сколько выигрываешь в расстоянии, столько же проигрываешь в силе. Величина произведения силы и расстояния всегда неизменна. Это мы уже знаем. Если ты выберешь на заднем переключателе скоростей шестерёнку большего диаметра, скажем, для крутого подъёма, а именно — восемь сантиметров, то при полном обороте педалей заднее колесо прокрутится только два раза. Чтобы проехать такое же расстояние, тебе потребуется прилагать в два раза меньше силы, но крутить педали в два раза быстрее.

В общем, цепь — это самая хитроумная деталь велосипеда. Кстати, если на своём переднем переключателе скоростей ты выберешь шестерёнку большего диаметра, она будет работать точно так же, как шестерёнка меньшего диаметра сзади.

**В пути без велосипедной
цепи**



«Педаальный велосипед» (1860-е годы)

Пьер Мишо

Пьер Лалман

Но мы не учли ещё одну вещь! Что там у нас с педалями на переднем зубчатом колесе? Педали длиннее, чем диаметр ведущего колеса цепной передачи. Нет никаких сомнений, что это рычаг. И здесь мы тоже экономим силы!



*Очень шаткое
положение*

Пенни-фартинг (с 1870-го года)
Джеймс Старли
Уильям Хилман
модель
«Ариэль»

5. Земля как карусель



Целый день

Все мы знаем, что Земля вертится: за двадцать четыре часа, то есть за один день и одну ночь, она делает один оборот вокруг своей оси. Это быстро? Сколько километров мы накрутим вместе с Землёй, пока не вернёмся на то же самое место? Разумеется, на Земле мы всё время остаёмся на одном месте, скажем, в течение двадцати четырёх часов не покидая своей квартиры. Но, поскольку Земля вертится, мы вместе с квартирой несёмся по кругу.

Пока читаешь это предложение, ты вместе с земной поверхностью прокрутился уже больше чем на один километр. Просто ты ничего не заметил, потому что всё вокруг крутится вместе с тобой: квартира, улица, воздух.

Конечно, так в голову могут прийти и ошибочные мысли. Пьяный человек стоит под фонарём и пытается вставить ключ в замок. Но рядом никакой двери и никакого дома нет. Удивлённый прохожий спрашивает его: «Что это вы такое делаете?» А в ответ слышит: «Земля же вертится, значит, когда-нибудь и мой дом прое-

дет мимо меня. Тогда я быстренько засуну ключ в замок, и всё, я дома». Тут, конечно, логическая ошибка, но всё-таки с его стороны исключительного разумно полагать, что Земля вертится.

Проведи-ка тест: поспрашивай совершенно незнакомых людей на улице: «Здравствуйте, простите, как вы думаете, Земля вращается или она неподвижна и вокруг нас вращается Солнце?» Ты будешь поражён, что ещё есть люди, которые ответят: «Конечно, вращается Солнце, оно восходит и заходит, ведь мы видим это каждый день».

А откуда нам, собственно, известно, что Земля вертится? На экваторе каждый корабль, каждое облако, каждая капля воды несутся вместе с поверхностью Земли со скоростью свыше 1600 км/ч — быстрее, чем звук, и никто ничего не замечает. И это не всё, дальше будет ещё сложнее: Земля вращается не только вокруг собственной оси.

Всё вращается



Вдобавок она за год проносится со скоростью свыше 100 000 км/ч — правда-правда! — по большой орбите вокруг Солнца. Но и это ещё не всё. Вместе с Солнцем вся наша система планет со скоростью около 72 000 км/ч стремится в направлении созвездия Геркулес. А наш Млечный Путь? Но тут я умолкаю. Может быть, у учёных всего лишь разыгралось воображение?

Вернёмся к вращению Земли. На самом деле его доказать не так-то просто. Самые хитроумные, может быть, скажут: ведь астронавты со своей космической станции, или ещё лучше — с Луны, должны видеть, как Земля вращается у них на глазах. Это же лучшее доказательство. Как бы не так! Ведь космическая станция тоже вращается, как и Луна. Проблема куда более заковыристая.

Почему мы не замечаем никакого вращения? На карусели ты, конечно же, сразу почувствуешь, когда она начнёт вращаться, потому что всё остальное останется неподвижным. Но если ты закроешь глаза, ты ничего не увидишь и всё же поймёшь, что кружишься. Почему? Ну ладно, потому, что ветер дует тебе в лицо, потому, что люди вокруг визжат. Но если ты, катаясь на карусели, сидишь в очень тесной кабине, заметишь ли ты что-нибудь? Да! Точно так же, как в машине тебя прижимает к стенке, когда машина круто поворачивает, в этой тесной кабинке карусели тебя прижмёт к наружной стенке, и ты догадаешься: ага, карусель и кабинка кружатся!

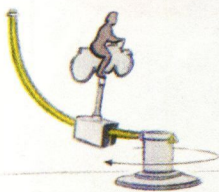
**Центробежная
сила**

Силу, которая прижимает тебя к наружной стенке, мы называем центробежной (это вовсе не настоящая сила, но мы всё объясним в Справочнике). Если бы карусель не удерживалась цепью,

то эта сила выбросила бы нас наружу. Машину, которая слишком быстро вписывается в поворот, на самом деле может выбросить с дороги, например, в дерево. Центробежная сила действует от центра кругового движения наружу. В спорте этот принцип используют метатели молота: они несколько раз в очень быстром темпе крутятся вокруг своей оси и затем бросают молот в нужном направлении (вообще-то никакой это не молот, а просто очень тяжёлый шар на прочной проволоке). И вот он, словно пущенный рукой какого-то великана, уже летит прочь, метров этак на шестьдесят.



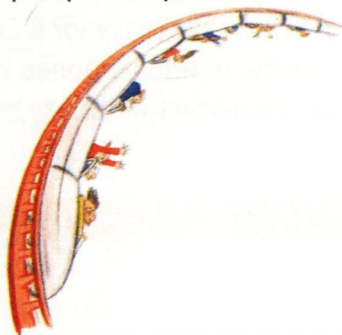
В МУЗЕЕ



В цирке ты можешь увидеть интересный опыт: мотоциклисты мчатся по кругу с такой бешеной скоростью, что не падают даже с отвесной стены, словно приклеенные.

В Немецком музее центробежную силу представляет один опыт с моделью: мотоциклист молнией мчится по кругу, и его уже начинает заносить в сторону по выгнутой вверх траектории.

На американских горках тоже можно висеть вниз головой. И ты не падаешь, тебя, несмотря ни на что, снова прижимает к рельсам под воздействием всё той же центробежной силы.

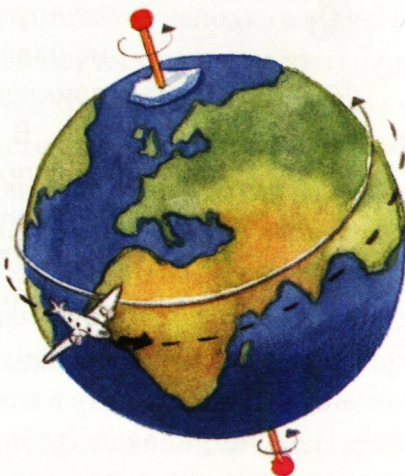


Но с Землёй всё-таки получается странная вещь. Если поверхность Земли у экватора проносятся со скоростью даже больше 1600 км/ч, почему тогда с Земли ничего не сносит? Ведь в таком случае там не могут существовать ни люди, ни корабли, ни капли воды. Центробежной силой их тут же должно было бы выбросить в небо. Но этого не происходит. Потому что сила земного притяжения намного больше. Даже у экватора, где мы с земной поверхностью вращаемся быстрее всего, она примерно в триста раз больше центробежной силы. На нашей планете о центробежной силе мы спокойно можем забыть.



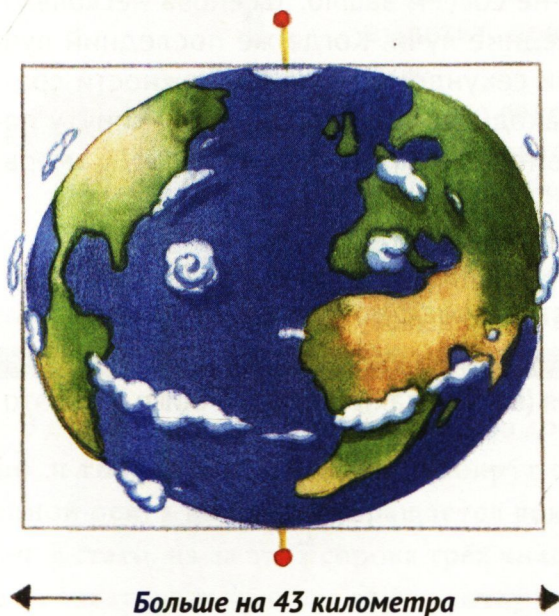
ГОЛОВОЛОМКА 11

Вот тебе непростой вопрос; но теперь ты, может быть, на него и ответишь: в полёте из Южной Америки в Африку ты становишься чуточку легче, чем когда летишь в обратном направлении. Почему? То же самое происходит в полёте из Канады в Россию и наоборот. С чем это связано? В Справочнике ты найдёшь более подробные разъяснения на эту тему.



Итак, центробежной силы Земли мы не замечаем. Но сама Земля ещё как замечает! Масса нашей планеты огромна, а центробежная сила уже миллиарды лет растягивает её у экватора так, что кое-что, конечно, произошло. Когда впервые удалось точно измерить толщину земного шара у экватора и расстояние от Северного полюса до Южного, результат всех ошеломил. Диаметр Земли от одного полюса до другого составляет 12 714 километров. Но у экватора он на 43 километра больше. Это значит, что центробежная сила растянула Землю; хотя при диаметре в более чем 12 тысяч километров растяжение на 43 километра — это, конечно, сущий пустяк.

Земля не совсем круглая



*У экватора Земля шире
(хотя наша иллюстрация
слегка преувеличивает
ситуацию)*

А откуда вообще нам известен диаметр Земли? Это тоже выяснили древние греки более двух тысяч лет назад. Каким образом? Это мы разъясним в Справочнике.

Но есть потрясающе простой эксперимент, с помощью которого ты сам можешь измерить диаметр Земли, — до такого даже древние греки не додумались.



ОПЫТ

Когда в следующий раз ты будешь проводить каникулы на море, понаблюдай как-нибудь на пляже закат. Тебе понадобятся только секундомер и рулетка. Ляг на песок и жди, пока не скроется последний луч. Тут же включи секундомер и быстро встань (результат будет точнее, если ты что есть духу помчишься на второй этаж вашей гостиницы). Теперь ты стоишь выше, и, значит, солнце ещё всё-таки не совсем зашло. Ты снова несколько секунд видишь его последние лучи. Когда же последний луч угаснет и здесь, останови секундомер — по возможности сразу же. Насколько выше находился твой взгляд в эту минуту по сравнению с началом опыта, когда ты лежал на песке? Замерь рулеткой высоту.

А теперь используй следующую формулу:

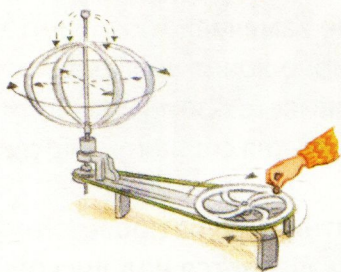
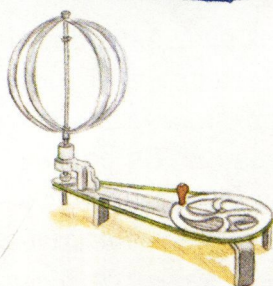
Чтобы найти диаметр Земли (в километрах), нужно 760 000 умножить на измеренную тобой высоту (в метрах), затем разделить на измеренное секундомером время (в секундах) и ещё раз разделить на это же время (в секундах). В Справочнике я всё это объясню подробнее.



А теперь всё-таки вернёмся к экватору, где Земля на 43 километра шире. Когда этот факт обнаружили более пятисот лет назад, у многих мудрых учёных словно пелена с глаз упала. Это стало первым доказательством того, что Земля вращается.



В МУЗЕЕ



Ты сможешь своими глазами наблюдать действие центробежной силы, если раскроешь зонтик, перевернёшь его ручкой вверх и положишь в зонтик небольшой лист бумаги. Теперь начни крутить зонтик, и бумага вылетит, повинаясь центробежной силе.

Это явление тоже представлено в музее опытом с моделью.

Если очень быстро покрутить два круга из стальных прутьев, их сплюсчивает сверху вниз и растягивает в горизонтальном направлении.

В общем, сорока трёх километров достаточно, и точка: Земля вертится вокруг собственной оси, а не Солнце вращается вокруг Земли. Кстати, из-за этих сорока трёх километров на экваторе ты весишь ещё чуточку меньше — в придачу к тем граммам, которые у тебя утягивает центробежная сила. Поскольку ты на двадцать один с половиной километр дальше от центра земного шара, сила притяжения там немного меньше. Но всего этого, конечно, даже мышь не заметит.

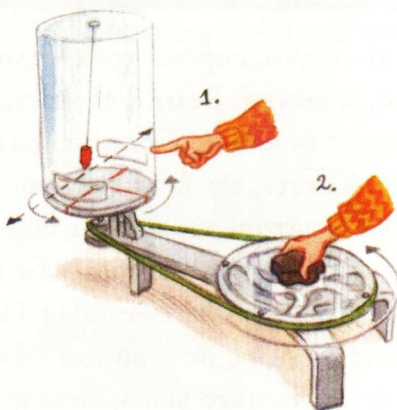
Постой-ка, я чуть не забыл привести совершенно потрясающее доказательство вращения земного шара. Но его обнаружили всего каких-то 160 лет назад: это маятник Фуко (был такой физик во Франции).



В МУЗЕЕ

Один из таких маятников, доказывающих вращение Земли, находится в башне Немецкого музея. Он подвешен очень высоко, в пятидесяти метрах над землёй, длиной почти на всю высоту башни. Маятник совершает медленные колебания. Он раскачивается по прямой, всегда только по прямой, туда-обратно, над нарисованным на полу кругом, по которому расставлены несколько брусочков. Но пока он так целый день знай себе качается, Земля под ним поворачивается. Мы все этого не замечаем, потому что вращаемся вместе с ней. Но маятник упорно хочет двигаться по прямой. А круг под ним поворачивается — вместе с земным шаром и с нами. И тяжёлый шар маятника в течение дня сбивает на круге один брусоч за другим.

В экспозиции «Физика» на тему маятника Фуко проводится опыт с моделью: маленький маятник раскачивается над диском, который можно вращать. Если мы медленно повернём диск, маятник и не подумает вращаться вместе с ним, он продолжит качаться всё в том же направлении. Можно представить себе стоящих на диске крошечных человечков, которые крутятся вместе с ним, конечно, никакого вращения не замечая, и удивляются, что маятник у них на глазах медленно меняет направление.





Примерно 160 лет назад маятник Фуко висел и в Кёльнском соборе

Давай ещё раз вернёмся к расплющенной Земле. Если бы её поверхность (и под океанами тоже) состояла не из твёрдых горных пород, а из одних только газов и жидкостей, как, например, планета-гигант Юпитер, она ещё больше расплющивалась бы на полюсах и растягивалась бы на экваторе. На Юпитере это можно наблюдать даже в любительский телескоп.

*Юпитер расплюсчен
намного больше,
чем Земля*



**Мы живём в полом
мире?**

Напоследок почти невероятная, но реальная история: примерно во времена первых полётов на Луну, лет сорок назад, я спорил с людьми, которые не желали верить тому, что мы разгуливаем по наружной поверхности нашего земного шара. Они были убеждены, что мы живём на внутренней поверхности, так сказать, на периферии огромного футбольного мяча. В центре мяча находятся Солнце и всё звёздное небо. А мы всё время движемся по внутренней поверхности, глядя на небо в центре. Лучи света достигают нас, конечно, не по прямой, они искривляются, так что мы этой иллюзии не замечаем. Силой тяжести всех нас притягивает огромная оболочка футбольного мяча под нашими ногами. Между прочим, оболочка не тонкая, она бесконечно толстая. Если бы мы стали бурить её, мы погружались бы в неё всё дальше, никогда не достигая другого конца Земли.

Это похоже на игру воображения, но, если изменить разные физические представления и допустить значительное искривление световых лучей, даже суперумные физики не смогут это-

го оспорить. Вот забавное доказательство этой странной теории: если идти очень долго, подошвы ботинок на самом деле всегда выгибаются вверх, а не вниз, как должно быть в случае, если Земля — действительно шар. Но происходит это, конечно же, по совершенно другой причине: потому что при каждом шаге подошвы наших ног движутся вместе с ботинками. И, кроме того, Земля настолько велика, что нашим маленьким ногам кажется плоской. Для ног и ботинок земной выпуклости не существует.



*Мы живём
на внутренней
поверхности
полой Земли?*

6. На гоночной машине к суперзвезде Эйнштейну

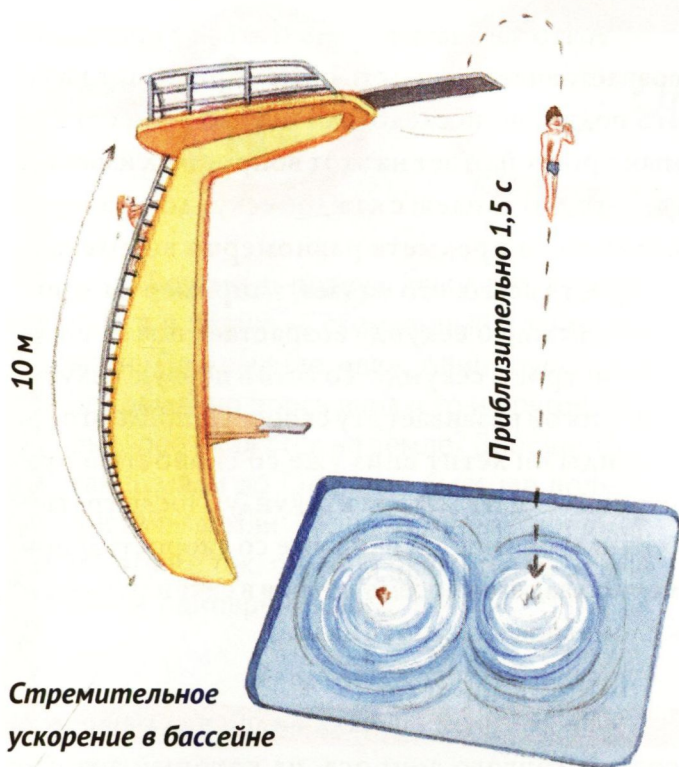
С нуля до ста километров в час за десять или, может, даже за шесть секунд — для фанатов автомобилей ничего не может быть лучше, когда силой инерции тебя вжимает в сиденье

Мощные двигатели

и живот втягивается, а потом рывком возвращается на место. Мощный спортивный автомобиль разгоняется с нуля до ста километров в час за шесть секунд. Гоночные автомобили бывают ещё быстрее. Чем мощнее двигатель, тем быстрее он достигает этой скорости, тем больше его ускорение, если колёса ещё раньше не станут с визгом прокручиваться, потеряв контакт с землёй.

С ракетой такого никогда не случится. Если она достаточно быстро выбросит из двигателей позади себя горячие газы, она сможет классно разогнаться, в двадцать раз лучше любого гоночного автомобиля.

Кто назовёт «двигатель», который разгоняется быстрее любого спортивного автомобиля и к тому же всегда у всех под рукой? К сожалению, действие его направлено только вниз: это сила притяжения Земли, или гравитация. Просто спрыгни со стула на пол, и ты сможешь утверждать, что стартовал быстрее любого спортивного автомобиля. К сожалению, только на треть секунды. Дольше продлится ускорение, если бросить что-нибудь с десятого этажа высотного дома. Только вот торможение в этом случае разобьёт предмет вдребезги, поэтому ничего бросать я тебе не советую. Если привязать предмет к резинке и бросить его со шкафа, торможение смягчит резинка (но беда, если она порвётся или ты не рассчитал длину). Если ты умеешь плавать, то проще всего наблюдать стремительное ускорение, прыгнув с десятиметровой вышки в бассейне. В этом случае ускорение будет длиться почти полторы секунды.



Стремительное ускорение в бассейне

Ускорение свободного падения, вызванное силой земного притяжения, примерно в два раза выше, чем у нашего спортивного автомобиля. Без малого через три секунды можно развить скорость в 100 км/ч. С десятиметровой вышки ты рассечёшь воду в бассейне на скорости 50 км/ч! Парашютисты, которые сначала тоже находятся в свободном падении, разгоняются так же стремительно, однако их скорость никогда не превышает двухсот километров в час, хотя летят они намного дольше, чем ты в прыжке с десятиметровой вышки. Почему же? Потому что их тормозит трение о воздух. Уже после четырёхсот метров падения с ускорением покончено. Но настоящее торможение начинается, конечно, только с открытием парашюта. И слава богу, потому что, врезавшись в землю на скорости 200 километров в час, никто бы не выжил.

Всё быстрее

А что же значит — двигаться с постоянно возрастающей скоростью? Четыреста лет назад это подробно исследовал Галилео Галилей. Самый простой ответ на этот вопрос был известен задолго до Галилея: **с каждой секундой скорость падающего предмета равномерно возрастает.** Скорость всего, что падает, например парашютиста, каждую секунду возрастает почти на десять метров в секунду. То есть в первую секунду падения он развивает эту скорость, после второй секунды он летит вниз уже со скоростью примерно двадцать метров в секунду. После третьей секунды он несётся вниз уже со скоростью примерно двадцать восемь метров в секунду, или сто километров в час, и так далее.

От падения к падению

Но Галилей сначала бился над решением совсем другого вопроса, на который вот уже в течение двух тысяч лет давали неправильный ответ: тяжёлый обломок скалы обрушивается, как считалось, намного быстрее, чем маленький камешек.

Или: если с падающей Пизанской башни одновременно бросить вниз тяжёлый слиток свинца и лёгкий кусок дерева, свинец упадёт значительно быстрее. Но быстрее он не падает, в лучшем случае — на пару секунд. Почему? Потому что тяжёлый и неповоротливый кусок свинца настолько же сильно сопротивляется ускорению, насколько его притягивает Земля. А это ещё почему? Эту задачу, и в придачу много других, решал Альберт Эйнштейн. Но сначала ты сам легко разберёшься в опытах со свободным падением, даже безо всякой Пизанской башни.





ОПЫТ

Возьми в правую руку связку ключей, а в левую — скомканный клочок бумаги. По команде «два, один, пуск!» одновременно брось вниз и то и другое. Что быстрее окажется на земле? Вообще-то — так думали до Галилея — быстрее должен достичь земли более тяжёлый предмет. Но это не так: они оба окажутся на земле почти одновременно.



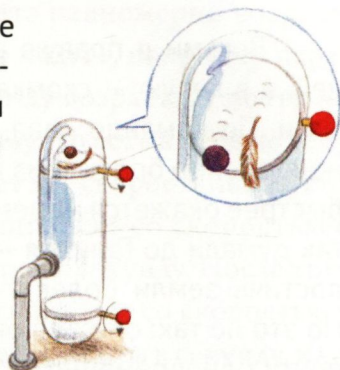
Таким образом, железо и бумага тоже долетят до земли одинаково быстро. Однако, если мы не станем комкать бумагу, а аккуратно разгладим её и попробуем бросить ещё раз, связка ключей теперь упадёт быстрее. Почему? Именно это и объяснил Галилей: решающее значение имеет воздух вокруг бумаги! Он тормозит расправленный лист гораздо больше, чем скомканный, а огромный раскрытый парашют — намного больше несущегося в свободном падении человека.

Если бы не существовало воздуха, тогда да, почему бы обломку скалы или локомотиву не падать с той же скоростью, что и пушинке. И у парашютиста, несмотря на его парашют, не было бы никаких шансов выжить — с такой безумной скоростью врезался бы он в землю.



В МУЗЕЕ

К сожалению, у Галилея не было возможности провести все необходимые эксперименты, а в Немецком музее мы создали замечательную экспозицию: внутри стеклянной колбы падают деревянный шарик и пушинка. Конечно, пушинка, плавно покачиваясь, опускается на дно гораздо дольше. Но если ты выкачаешь из колбы воздух и снова их бросишь, оба предмета достигнут дна практически одновременно.



Как падают камни?

Кстати, Галилей безо всякого эксперимента предположил, что утверждение про огромный обломок скалы и более медленный маленький камешек верным быть не может. Похожие рассуждения называют мысленным экспериментом. Он рассуждал примерно так: если маленький камешек я засуну в дырку в огромном обломке скалы и брошу их вниз вместе, что тогда? Обломок скалы ведь стал теперь чуть

тяжелее, значит, по старой теории, он должен падать теперь немного быстрее. С другой стороны, маленький камешек сам по себе должен падать медленнее! Вложенный в большой обломок скалы, он должен этот обломок слегка притормаживать. Итак, с одной стороны, соединённые вместе обломок и камешек должны падать быстрее, а с другой стороны — медленнее. Так какое же утверждение будет в этом



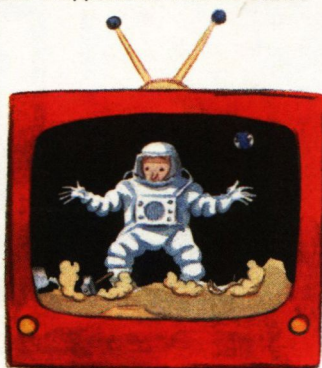
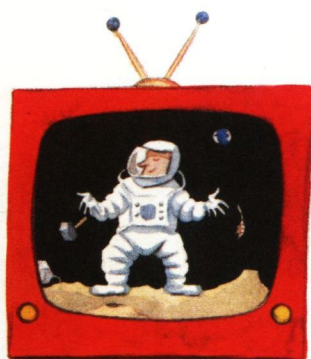
случае верным? Самое простое решение: оба изначально падают с одинаковой скоростью. И никакой путаницы в мыслях. Прекрасно! Значит, такого рода проблему можно решить даже мысленно, не проводя никаких реальных экспериментов.

Астронавты Дэвид Скотт и Джеймс Ирвин, совершив в 1971 году на лунном модуле «Аполлон-15» посадку на Луне, тоже провели эксперимент со свободным падением, чтобы все телезрители на Земле наконец поверили Галилею. Дэвид Скотт выронил из одной руки тяжёлый молоток, а из другой в то же самое время — соколиное перо. И оба они, конечно же, оказались на поверхности Луны одновременно. Этот фильм ты можешь найти в интернете.

Но насколько падающий камень всегда оказывается быстрее, Галилей выяснил уже в ходе практических экспериментов.

Например, он скатывал шарики по наклонной плоскости и с помощью водяных часов измерял, сколько времени им потребуется. Вот его знаменитый закон свободного падения тел:

Эксперименты со свободным падением на Луне



Закон свободного падения тел, открытый Галилеем

Все тела падают при отсутствии сопротивления воздуха с одинаковым ускорением. Через секунду они проходят расстояние, равное $5 \times 1 \times 1$ метр, через две секунды — $5 \times 2 \times 2$ метра, через три секунды — $5 \times 3 \times 3$ метра и так далее. При этом каждую секунду их скорость увеличивается почти на 10 метров в секунду.

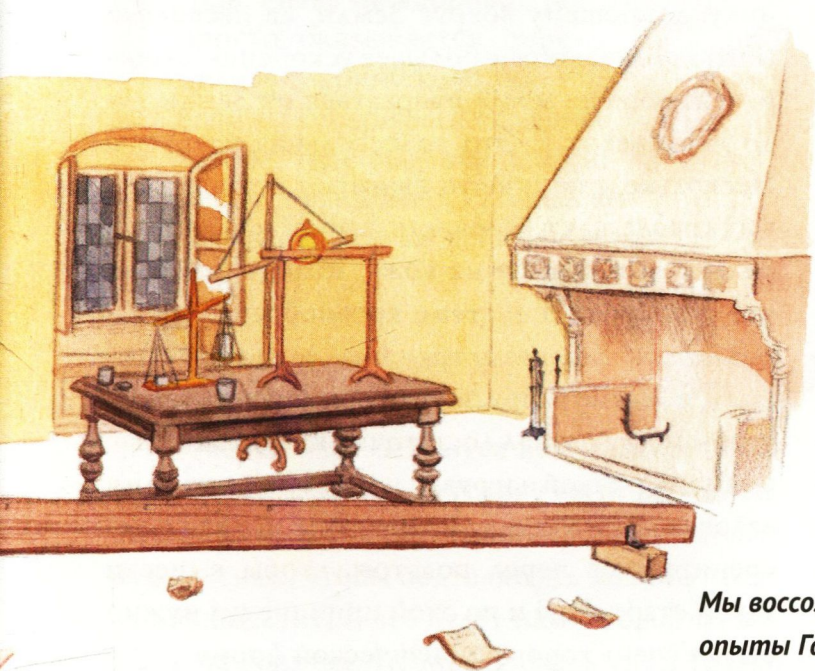
Ещё раз о туннеле фантазии сквозь земной шар

Давай-ка ещё разок вернёмся в наш туннель до Новой Зеландии. На этот раз мы выкачаем из него весь воздух (каким-нибудь гигантским насосом), а потом, переодевшись в костюм для подводного плавания и прихватив с собой баллоны с кислородом, прыгнем туда. Как сильно вырастет наша скорость за счёт земного притяжения? Сначала, разумеется, почти за три секунды до 100 километров в час, а потом всё больше, до центра земного шара.



Какая скорость была бы у нас в конце пути? Ведь всё, что находится в свободном падении, ускоряется примерно на 10 метров в секунду — примерно в два раза быстрее, чем наш спортивный автомобиль. Такое же стремительное ускорение получишь ты и в фантастическом туннеле. Через три секунды ты уже будешь мчаться сквозь земной шар со скоростью больше ста километров в час, и это ещё не предел. Но есть одна проблема, которую мы не объяснили во время нашего первого путешествия по туннелю: ты всё ближе к центру Земли. Это означает, что ускорение становится всё меньше — пусть даже скорость продолжает расти, — потому что Земля под тобой продолжает тянуть тебя вниз. Но та часть, через которую ты уже пролетел, тянет тебя назад.

Наконец, в центре земного шара, в центре тяжести Земли, все силы притяжения перестают воздействовать на тебя. Всего на одно мгновение



Мы воссоздали в Немецком музее опыты Галилея и его кабинет. Примерно так всё и выглядело

ничто больше тебя не тащит и не притягивает. Ты достиг предельной скорости в 28 500 километров в час.

Сколько g может выдержать человек?

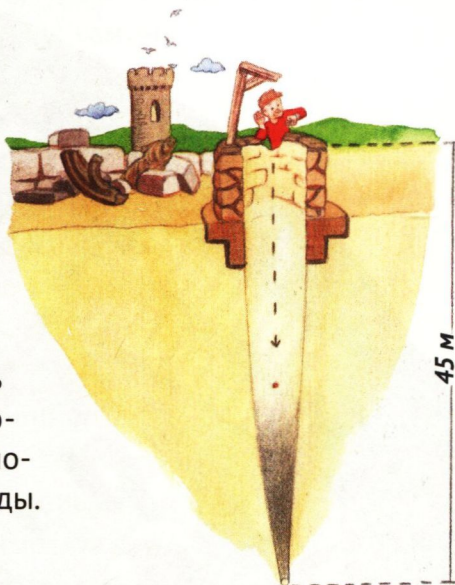
Кстати, этот показатель — «каждую секунду на 10 метров в секунду быстрее» называют ускорением свободного падения. Это благодаря ему мы примерно через три секунды уже выходим на скорость в 100 километров в час. Оно имеет такое значение только на поверхности Земли и становится всё меньше, чем глубже мы погружаемся в наш туннель (или чем выше поднимаемся над Землёй). Его обозначают буквой g . И сколько g у нашего спортивного автомобиля, который за шесть секунд разгоняется до 100 километров в час? Правильно, всего лишь где-то половина g .

Астронавты в космическом корабле, который мчится к Луне или какому-нибудь спутнику, летающему вокруг Земли, на несколько минут получают ещё большее ускорение, чтобы ракета вообще могла оторваться от Земли, — до нескольких g . Это колоссальная нагрузка. Несколько g не просто вжимают астронавтов в их кресла, как в гоночном автомобиле, они так сильно сдавливают их кожу, мышцы и кости, что ток крови в системе кровообращения замедляется. Бедные астронавты едва могут дышать, и лёгкие работают с огромной нагрузкой, чтобы мозг получал достаточно кислорода. Ещё немного, и такой нагрузки не выдержит ни один человек. Разумеется, астронавты напряжённо тренируются перед полётом, чтобы вынести такой старт. Ещё и по этой причине им нужно быть в очень хорошей физической форме.



ОПЫТ

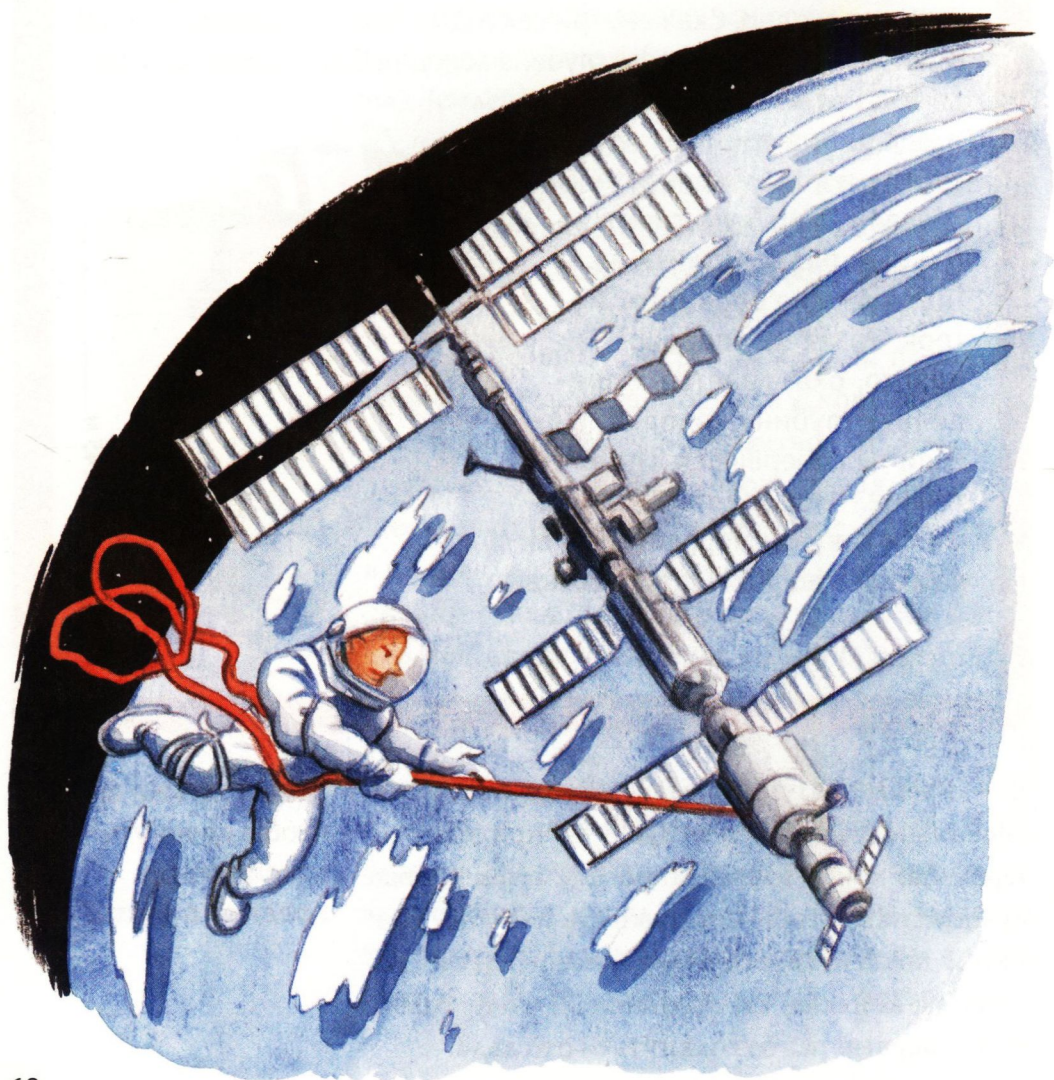
К сожалению, мы не можем всё время играть в астронавтов или в полёты по фантастическому туннелю. Но если где-то недалеко от дома или в путешествии ты обнаружишь глубокий колодец, например в старой крепости, ты сможешь провести простой эксперимент: брось в колодец камень и с помощью часов замерь, сколько времени пройдёт, пока ты услышишь, как он стукнулся о дно. Скажем, три секунды. Тогда по закону Галилея о свободном падении тел глубина колодца будет равна произведению $\frac{1}{2} g$ на время падения и ещё раз на время падения, то есть в нашем конкретном случае нужно 5 умножить на 3 и ещё раз умножить на 3. Получается сорок пять метров. Разве не здорово? Так просто, оказывается, определить глубину колодца. Но если ты соберёшься измерить точнее, тебе всё-таки понадобится секундомер, который показывает десятые доли секунды.



Учёные задумываются над самыми обыкновенными вещами, и в голову им приходят совершенно новые идеи. Например: зачем вообще нужны силы, чтобы подтолкнуть машину? Когда она покатится, всё будет намного легче. Катаясь на коньках, ты применяешь силу, только чтобы первый раз оттолкнуться ото льда.

Нужна ли мне сила, чтобы сдвинуть какой-нибудь предмет с места?

Дальше ты уже катишь на своих коньках почти без усилий. Почему? То, что тебе нужно преодолеть в самом начале, называется инерцией. Всё тяжёлое (то есть обладающее массой): машина, конькобежец или ракета — вообще-то стремится оставаться в покое. Чтобы привести это тело в движение, тебе нужно преодолеть его инерцию. Нам это знакомо и в обычной жизни: если кто-то ленив и не хочет что-либо делать, сначала его приходится подгонять. В отличие от нас инерция камня, машины или ракеты всегда

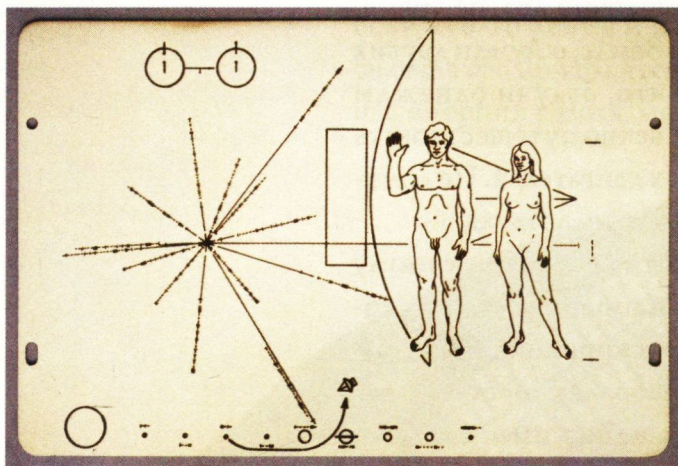


неизменна — тем больше, чем больше масса. Значит, все тела хотели бы по возможности оставаться в состоянии покоя и сопротивляются движению? Нет, это не совсем так. Ведь по льду, как я уже сказал, ты можешь скользить довольно долго, не прилагая дополнительных усилий. Усилия требует только первый толчок. Бильярдный шар, когда его уже запустишь, легко будет катиться по гладкой поверхности достаточно долгое время. О ракетах в космосе или о Земле, о Луне и других планетах нам известно, что, будучи однажды запущенными, они могут вечно путешествовать во Вселенной без ракетных двигателей. Не должно быть только тормозящего их воздуха.

В общем, тела сопротивляются не самому движению, а изменению направления или скорости движения, то есть ускорению. Для того чтобы ракета взлетела и набрала скорость, тоже нужны двигатели. Но дальше она, именно благодаря своей инерции, полетит сама по себе. Опасность может возникнуть для астронавтов, которые снаружи будут ремонтировать что-нибудь на своей космической станции и вдруг случайно оттолкнутся от стенки. Они медленно полетят прочь. Никто и ничто не затормозит их и не вернёт назад. Они будут медленно, но непрерывно удаляться, как бы ни упирались и ни барахтались. Ведь им же не за что зацепиться в пустом космическом пространстве. Им нужно иметь при себе маленький ракетный двигатель, с помощью которого они могут вернуться, а лучше всего дополнительно подстраховаться: привязать себя к станции тросом, как делали в шторм матросы на палубе корабля.

Космические зонды вечно в пути

Больше сорока лет назад мы, люди, запустили космические зонды. Они назывались «Пионер» и «Вояджер». Разумеется, их ракетные двигатели сгорели уже через несколько минут. Но сами зонды, достигнув космоса, летают и по сей день. Они давно уже покинули нашу систему планет. Если бы мы отправились с ними, то видели бы теперь Солнце всего лишь



Послание Земли на борту космического зонда «Пионер-10» — внизу изображена наша Солнечная система

как особенно яркую звезду среди многих других. Эти космические зонды — своего рода «письмо в бутылке», ведь они содержат информацию о нас, людях, населяющих Землю. Есть надежда, что в далёком будущем они наткнутся на другие населённые

планеты, вращающиеся вокруг своих солнц. Хотя вероятность обнаружить их ещё меньше, чем вероятность найти письмо в бутылке. Самая ближайшая к нам звезда — Проксима Центавра — находится на расстоянии в 40 триллионов километров от нас. Одиноким зондам понадобятся ещё тысячи лет, чтобы добраться до таких соседних звёзд. А там, насколько нам сегодня известно, вообще нет никаких планет.

Парить в свободном падении

Земля тоже «замечает», что падающий камень сопротивляется ускорению. Он вовсе не хочет падать, ведь он инертен. И Земле всё-таки требуется какое-то время, чтобы его разогнать. При этом есть и ещё кое-что странное.

Если мы встанем на весы, они покажут наш вес; у меня, например, семьдесят килограммов. Если бы теперь под моими весами земля вдруг разверзлась, как это бывает, например, при землетрясении (надеюсь, что этого никогда не случится!), и я вместе с весами полетел бы вниз, что тогда показали бы весы?



**Что показывают
весы в свободном
падении?**

Да вообще ничего! На самом деле вообще ничего. Потому что я больше не давяю на весы, ведь они под моими ногами летят в тар-тарары вместе со мной. Пока я нахожусь в свободном падении, я, очевидно, ничего не вешу, и сами весы тоже. Подобно астронавтам со всеми их приборами на межпланетной станции.



ОПЫТ

Что-то подобное ты можешь попробовать проделать на весах в ванной комнате, если найдёшь весы со стрелкой. С электронными такой опыт, к сожалению, не провести, потому что они реагируют с некоторой задержкой. Стоя на весах, внезапно опустись на колени, будто падаешь. Весы тотчас же покажут меньший вес. Но достичь состояния невесомости тебе всё же не удастся. Для этого тебе пришлось бы опускаться на колени с ускорением большим, чем у спортивного автомобиля. Кроме того, на корточках ты снова затормозишь, и стрелка, конечно, опять пойдёт в сторону увеличения веса.



Во всех больших парках аттракционов есть башни свободного падения, где ты, надёжно пристегнувшись, падаешь с сорокаметровой высоты. При этом внезапно ты действительно немного приподнимаешься над сиденьем. Ты оказался в состоянии невесомости. Если за спиной у тебя рюкзак, ты перестаёшь его ощущать. Он тоже окажется в состоянии невесомости. И тяжёлый камень в кармане, кажется, тоже вдруг исчез.

Все массы притягивают друг друга

А вообще «тяжёлый» — это какой? Ведь вес — это сила земного притяжения. Более трёхсот лет назад великий английский физик Исаак Ньютон (см. Справочник) открыл закон, который гласит: **всё, что имеет массу, притягивает все другие массы.** То есть два железных шарика притягивают друг друга, и два человека тоже (даже если они знают друг о друге не желают). Но почему же мы этого не замечаем? Потому что эта сила (она называется гравитацией) безумно мала и, более того, становится всё меньше с увеличением расстояния между этими людьми, шариками или какими-либо другими телами. Если же одна из этих масс огромна, как, например, масса Земли, то мы тут же почувствуем эту силу: именно она всегда притягивает нас к земле. А если у нас две огромные массы, например масса Земли и Луны, то сила притяжения ещё заметнее: Луна примерно раз в тридцать дней оборачивается вокруг Земли, снова и снова. Но упасть на неё она не может.

Луна возникла миллиарды лет назад. Возможно, это произошло при столкновении небольшой планеты с нашей, когда куски, отколовшиеся от обеих планет, по касательной отбросило от Земли. Благодаря их собственной силе притяжения они слились в единый ком, а улететь не смогли, потому что Земля их притягивала. Но окончательно притянуть быстро летящий ком она тоже уже не могла. Так сила притяжения Земли заставила его летать вокруг нас почти по кругу.

Но Луна тоже притягивает: например, воду океанов. Именно из-за этого возникают приливы и отливы. Солнце тоже притягивает, заставляя вращаться вокруг себя Землю (и все планеты). Эта сила притяжения была открыта Исааком Ньютоном.



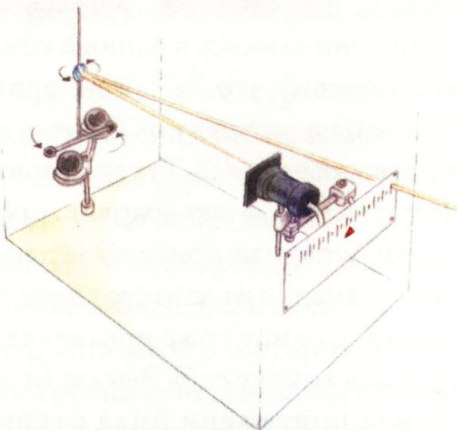
ГОЛОВОЛОМКА 12

Астронавты на межпланетной станции на орбите Земли, очевидно, находятся в состоянии невесомости. Они со всеми своими приборами практически постоянно падают за земной шар и поэтому не имеют веса, как мы на башне свободного падения в парке аттракционов. Они тоже не могут взвесить ни себя, ни что-нибудь ещё на весах в ванной комнате. Вопрос: а Луна тоже находится в состоянии невесомости?



В МУЗЕЕ

В отделе «Физика» Немецкого музея представлен опыт, с помощью которого можно увидеть даже крошечное притяжение свинцовых шариков. Попроси провести его для тебя. На тонком шнуре подвешено коромысло весов с двумя свинцовыми шариками на концах. Перед каждым из шариков расположено по большому шару. Если эти большие шары резким движением продвинуть в другую сторону от шариков, световой индикатор на шнуре покажет, что коромысло действительно приближается к шарам большего размера. То есть два маленьких свинцовых шарика притягиваются большими, приводя коромысло весов в движение.



**Сквозь земной шар
в лифте
с Эйнштейном**

Давай теперь поговорим об Альберте Эйнштейне. Он — самый знаменитый из всех физиков, да простят нас Архимед и Ньютон. Есть одна странность, о которой никто до Эйнштейна по-настоящему не задумывался: если ты у себя в комнате без всякой спешки встанешь на весы, ты измеришь свой вес — скажем, пятьдесят килограммов. Когда ты на катке катаешься на коньках и кто-то хочет добиться, чтобы ты мчался быстрее, этот кто-то измеряет твою инерцию, которая сопротивляется ускорению. Предположим, он тащит тебя на пружинном динамометре, на который обычно подвешивают чемодан, чтобы узнать его вес. Если бы он смог разогнать тебя с ускорением свободного падения, то есть с $1g$, пружинный динамометр показал бы те же пятьдесят килограммов, если он вообще рассчитан на такой вес. «Но это же странно», — сказал Эйнштейн. В первом случае я измеряю то, что связано с гравитацией. Во втором случае я измеряю то, что связано с ускорением. Почему результат один и тот же? Он придумал наш эксперимент со свободным падением сто лет назад, когда ещё не было ни аттракционов свободного падения, ни межпланетных станций:



«Если бы я, Альберт Эйнштейн, стоял в лифте на сотом этаже небоскрёба, а трос лифта внезапно оборвался бы, и я камнем ринулся вниз, я перестал бы ощущать собственный вес. Если бы я в этом лифте стоял на весах, они тоже ничего не показали бы. Весы больше не стояли бы на полу. Всё в лифте парило бы в воздухе: носовой платок, который я вытащил из кармана, жевательная резинка, которую я выплюнул, и вообще всё».

*В свободном падении
на Земле или в полёте
во Вселенной: в своём
лифте Эйнштейн
в невесомости*

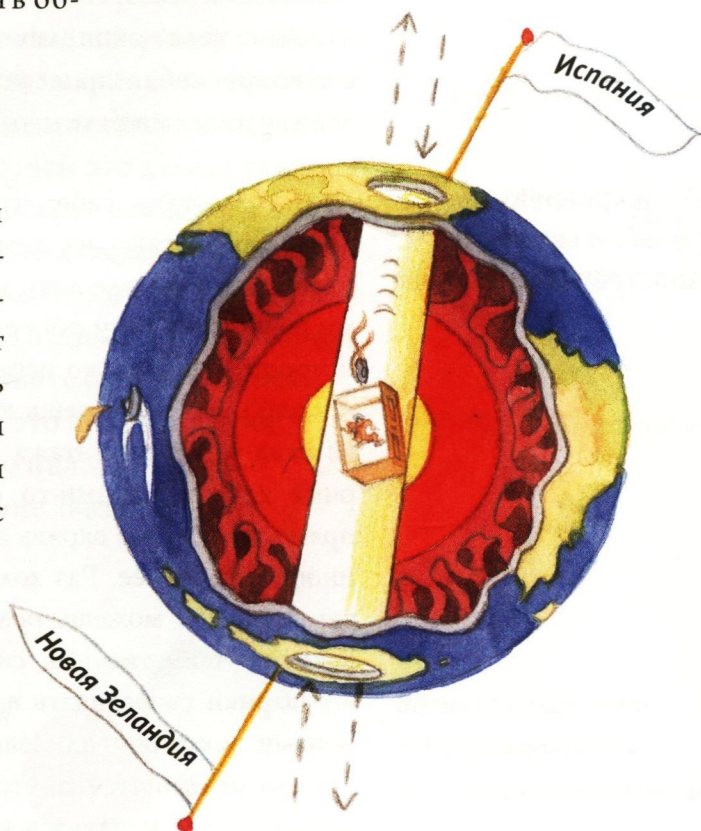


В этом эксперименте у него в любом случае времени было бы мало, потому что примерно через семь секунд лифт со всей силы грохнулся бы об землю. Но этого эксперимента в воображении Эйнштейну хватило для гениального озарения: раз в лифте нет окон, то нельзя с точностью утверждать, действительно ли он летит с сотого этажа. Может, просто кто-то совершенно внезапно взял и похитил Землю. Значит, никакой трос не оборвался, лифт не падает, никакой Земли больше нет, а лифт в невесомости парит где-то в космосе. В обоих случаях происходит совершенно одно и то же: все тела в лифте вообще ничего не весят.

Теперь мы ещё раз пророем наш туннель через весь земной шар в Новую Зеландию, выкачаем оттуда воздух и на этот раз упадём в туннель в лифте. Лифт должен быть плотно закрыт и иметь теплоизоляцию, тогда можно обойтись без скафандра. Лифт падает до центра Земли, как мы уже знаем, постоянно увеличивая скорость, проскакивает дальше до Новой Зеландии, падает обратно и продолжает курсировать туда-сюда между Европой и Новой Зеландией. Что мы почувствуем, сидя в лифте? «Абсолютно ничего!» — утверждает Эйнштейн. Мы, всё время оставаясь в невесомости, не замечаем, что движемся всё быстрее, что проскакиваем через центр земного шара со скоростью 28 500 км/ч, не замечаем, что в Новой Зеландии разворачиваемся и отправляемся в об-

ратный путь, мчимся назад и так далее. Всё равно как если бы мы в нашем лифте болтались в невесомости где-нибудь в космической пустоте (см. Справочник). Если у нас нет окон, чтобы посмотреть наружу, мы не можем понять, есть ли рядом Земля или вокруг нас нет вообще ничего.

**Что ощущаешь
в лифте, падая сквозь
весь земной шар?**



Спрут Ньютона, или искривлённые пространство и время

Эйнштейн выдвинул действительно гениальную идею, он осмелился утверждать: так называемая **инертная масса**, которую я всегда измеряю, измеряя ускорение, и **гравитационная масса**, которую я измеряю на весах в ванной комнате, **это в принципе одно и то же**. Неизвестно почему, но это так. Ускорение и гравитацию даже можно перепутать друг с другом, если нет возможности присмотреться получше. Это показывает эксперимент с лифтом.

И если их так легко перепутать, считает Эйнштейн, то можно сказать: никакой силы гравитации в том виде, как её представлял себе Ньютон — что-то вроде спрута, который сидит в каждой звезде или планете и всё к себе притягивает, — вовсе не существует. А происходит на самом деле вот что: звёзды, планеты, вообще все тяжёлые тела искривляют пространство (и время) вокруг себя. А нам со стороны кажется, будто всё движется по каким-то невидимым рельсам.

По искривлённым рельсам сквозь пространство и время

Представь себе, что смотришь из окна четвёртого этажа на детскую площадку рядом с твоим домом, где дети играют с разноцветными шариками. Они построили из песка холмики и прорыли несколько неглубоких каналов. Холмы и каналы ты не можешь как следует рассмотреть из окна четвёртого этажа. Но ты видишь, что шарики катятся какими-то странными путями, не прямо, а зачастую вкривь и вкось, иногда быстрее, иногда медленнее. Раз холмы и каналы тебе видны плохо, ты можешь подумать, что существуют какие-то таинственные силы, которые вынуждают шарики сворачивать вправо или влево, а временами ускоряют или замедляют их движение. По мысли Эйнштейна, это касается как шариков на песке, так и ракет в космосе. Когда ракеты

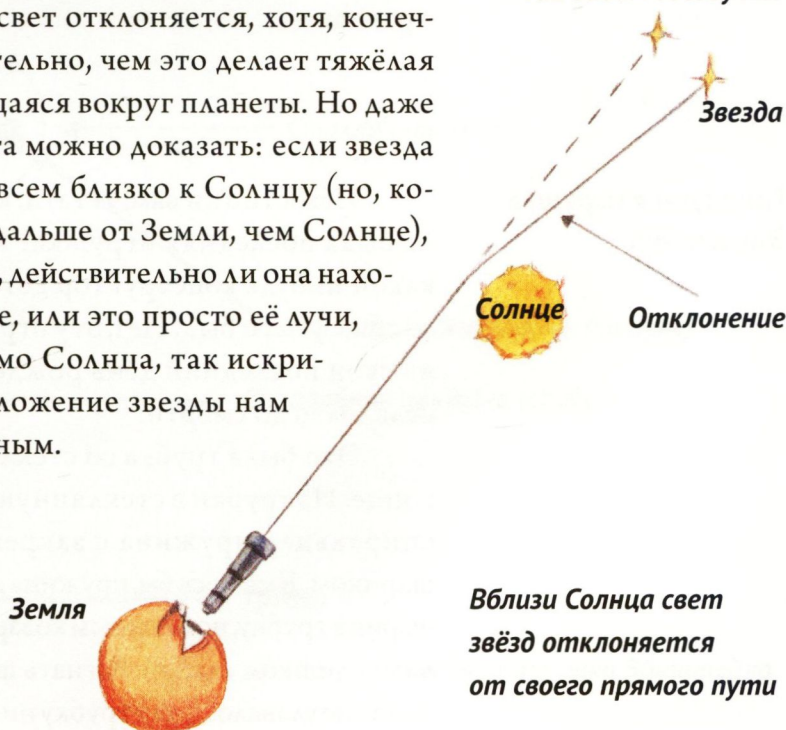
приближаются к какой-нибудь планете, они вынуждены встать на невидимые рельсы и двигаться в её сторону. Вот это мы и называем гравитацией. Только потому, что мы видим движение планет и Солнца, мы верим, что эта признанная всеми с давних времён гравитация в принципе существует. Хотя на самом деле столь тяжёлые массы просто искривляют пространство и время.

Давай снова пойдём на аттракционы! На американских горках мы несёмся стремительней всего именно там, где рельсы особенно сильно искривлены. Если бы мы не видели эти рельсы и ничего о них не знали, мы тоже бы подумали, что нас тянут какие-то таинственные силы.

Даже свет распространяется в пространстве по таким невидимым рельсам. Рядом с очень тяжёлыми телами, например с нашим Солнцем, такие рельсы искривлены особенно сильно. Здесь и свет отклоняется, хотя, конечно, менее значительно, чем это делает тяжёлая ракета, вращающаяся вокруг планеты. Но даже отклонение света можно доказать: если звезда расположена совсем близко к Солнцу (но, конечно, намного дальше от Земли, чем Солнце), можно измерить, действительно ли она находится в том месте, или это просто её лучи, проходящие мимо Солнца, так искривляются, что положение звезды нам кажется смещённым.

Искривление световых лучей

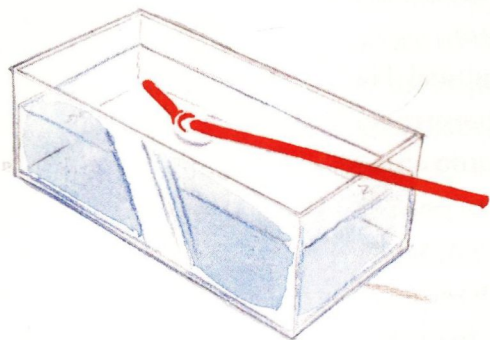
Так видим звезду мы



Вблизи Солнца свет звёзд отклоняется от своего прямого пути

Однако такое подтверждение можно получить лишь в случае, если слепящий солнечный диск полностью закрыт, иначе слабый свет звезды просто не различить. Это возможно во время солнечного затмения.

Оптический обман



Ты можешь представить себе, как выглядит такой оптический обман, окунув зубную щётку в раковину, наполненную водой. Кажется, будто под водой она переломилась, потому что все лучи, идущие от воды, преломляются. Такой эксперимент, конечно, можно поставить не только с водой (а, например, с растительным маслом).

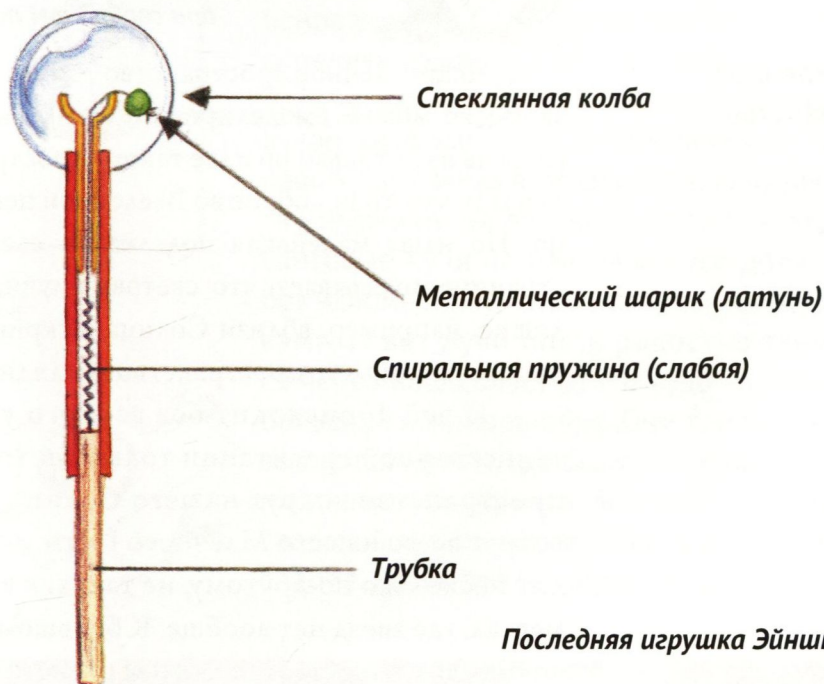
Лучи звёзд, проходящие возле Солнца, отклоняются всё же за счёт искривления пространства, а не среды. И это совсем уж странно. Ведь это пространство довольно пустое, в нём нет, например, воды, как в раковине.

Последняя игрушка Эйнштейна

Известно ли вам, кстати, какая у Эйнштейна была последняя игрушка? Я не имею в виду какой-нибудь конструктор детских лет, если он вообще у него был. Нет, эту игрушку он получил на свой последний день рождения в 1955 году, незадолго до смерти.

Это была трубка со стеклянной колбой на конце. Из трубки в стеклянную колбу выходила спиральная пружина с закреплённым на ней шариком. Казалось бы, пружина должна затягивать шарик в трубку, но её самым коварным образом сделали слишком слабой. Загнать шарик в отверстие никак не удавалось, как трубку ни тряс и ни двигай.

Тяжёлый шарик всё время подпрыгивал рядом с отверстием, куда его требовалось втянуть. Но стоило трубку с шариком и слабой пружиной, держа её строго вертикально, поднять повыше, а затем ненадолго выпустить из рук, как пружина затягивала шарик. Почему? Вспомните наш лифт, летящий к центру земного шара! Трубка находится в свободном падении, значит, все детали становятся невесомыми. И шарик, который до этого никак не хотел падать в отверстие, теперь тоже ничего не весит, и, словно по волшебству, немощная пружина втягивает этот недовесок прямиком в трубку. Эйнштейн забавлялся вовсю: его идея падающего лифта воплотилась в виде хитроумной игрушки. Наверное, игра всегда и везде должна приносить радость, с чем бы ты ни играл, — ведь именно так и совершаются самые волнующие открытия!



Последняя игрушка Эйнштейна



ОПЫТ

Попробуй-ка воспроизвести последнюю «игрушку» Эйнштейна. Для этого тебе понадобятся стаканчик из-под йогурта, длинная трубка, канцелярская резинка вместо спиральной пружины и тяжёлая гайка вместо шарика. Если у тебя всё получится, пришли нам в редакцию фотографию этого эксперимента.



*Успеха можно
добиться только
при свободном падении*

Искривлённое пространство

Искривлённое пространство Эйнштейна мы запросто можем смоделировать сами. Разумеется, речь идёт только об идее такого пространства. Увидеть что-то подобное во Вселенной невозможно. Но наша маленькая поделка на следующей странице показывает, что световые лучи, проходящие, например, вблизи Солнца, искривляются просто потому, что пространство выглядит иначе.

И всё происходит без всякого участия таинственной гравитации только потому, что пространство вокруг нашего Солнца — или вокруг всего нашего Млечного Пути — выглядит несколько по-другому, не так, как в других местах, где звёзд нет вообще. К большому сожалению, всё это остаётся для нас невидимым.



ОПЫТ

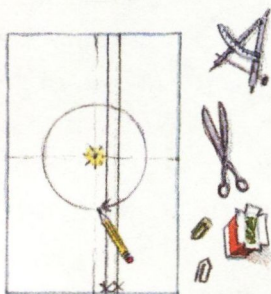


Рис. 1

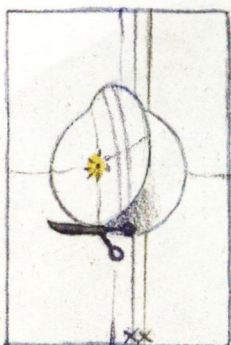


Рис. 2

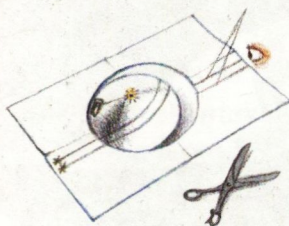


Рис. 3

1. Нарисуй на листе бумаги круг диаметром приблизительно 12 сантиметров, например, обведи небольшое блюдце. В центре круга нарисуй Солнце, а за пределами круга – звезду Вега или Альфа Центавра и прочерти их световые лучи в виде двух прямых линий через круг, одну ближе к Солнцу, другую подальше от него. Сейчас лучи, не искривляясь, послушно проходят прямо насквозь. Ведь пространство вокруг Солнца – это совершенно плоский лист бумаги.

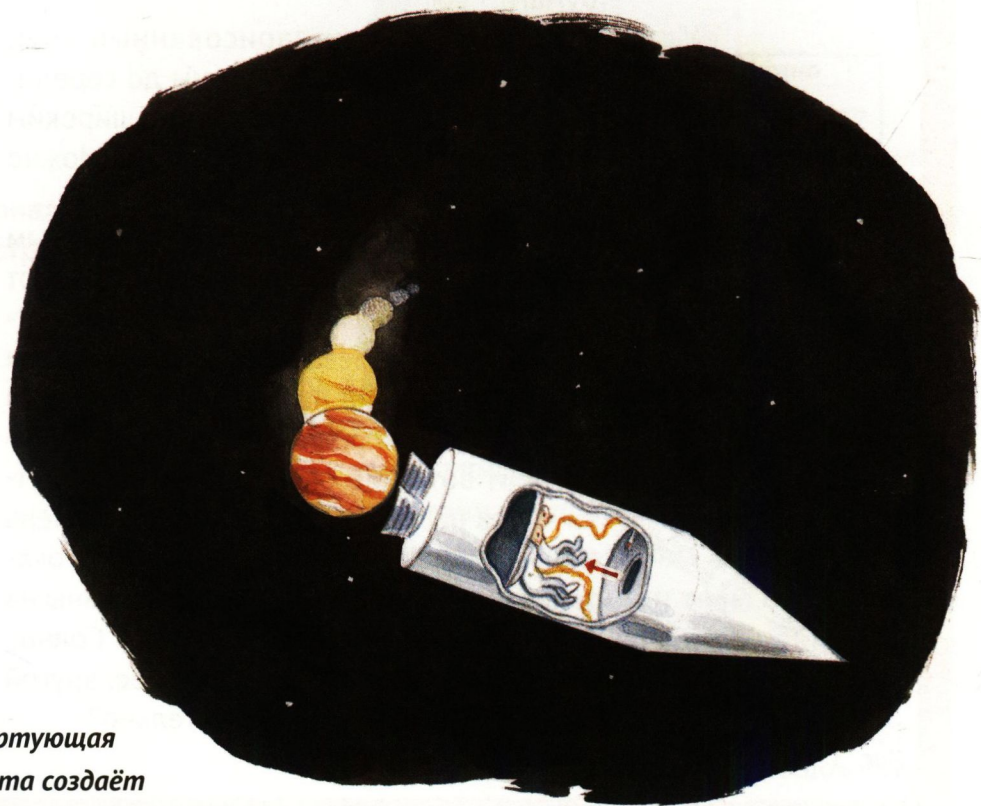
2. Теперь вырежи нарисованный круг, надрежь его с одной стороны до середины и сложи в невысокий конус с широким основанием и Солнцем на острие. Можно скрепить конструкцию скрепкой.

3. Приложи конус к отрезанным световым лучам, которые на листе бумаги исходят от наших двух звёзд и печально заканчиваются у дырки от вырезанного круга. При этом световые лучи на нашем конусе должны без излома прилегать к «печальным остаткам». И вот лучи опять радостно тянутся через наш конус, но – о чудо – с очень большим искривлением. Они теперь оказываются не там, где были нарисованы на плоском листе бумаги. Ближний к Солнцу световой луч отклоняется сильнее, другой слабее. Разве это не поразительно?

**Ускорение создаёт
иллюзию силы
тяжести**

Итак, гравитацию мы можем заменить ускоренным движением по рельсам в пространстве и времени. И наоборот: любое ускоренное движение может создать нам иллюзию силы тяжести.

Предположим, большой космический корабль, парящий в невесомости во Вселенной, с плавающими в невесомости астронавтами на борту, включает двигатели — сначала медленно, затем всё мощнее. Большинство астронавтов ничего не замечают (и непростительным образом не смотрят на свои приборы), но их всё сильнее и сильнее прижимает к задней стенке корабля. Не подумают ли они, что совершенно неожиданно прямо за кораблём возник большой обломок какого-то небесного тела и притягивает их?



*Стартующая
ракета создаёт
иллюзию силы тяжести*

*Космические
шалопайи создают
ускорение*



Или, наоборот, компания каких-то инопланетян-шалопаяв со всей силы толкает сзади их космический корабль?

Когда при резком старте машины у светофора тебя вжимает в сиденье, можешь ли ты в соответствии с теорией Эйнштейна подумать, что это планета тянет тебя назад, а не машина вперёд? Разумеется, это ерунда какая-то! И всё же такое может быть! Гравитация и ускоренное движение для Эйнштейна одно и то же, даже если пример с машиной и планетой звучит абсурдно. А сейчас другой пример, не такой безумный, но и тут можно подумать о гравитации, хотя это всего лишь ускорение под действием центробежной силы.



ОПЫТ

Возьми пластиковую бутылку, брось в неё монетку. Пусть она сначала лежит у самого горлышка. Покрутись, держа в руке бутылку за горлышко. Крутиться надо не слишком быстро. Что произойдёт? Монетка под действием центробежной силы послушно сместится как можно дальше от тебя, ко дну бутылки.



Искусственно созданная сила тяжести на межпланетной станции

Представь, что бутылка — это межпланетная станция, которая вращается вокруг своей оси. Это движение совершается не по прямой, а постоянно меняет направление. И это тоже называют движением с ускорением. Пусть это будет огромная межпланетная станция, крутящееся суперколесо диаметром в 500 метров. В камере этого колеса, конечно же, наполненной воздухом, живут астронавты. Всё там, подобно нашей монетке, будет прижиматься к наружной стенке. Таким образом, все астронавты, перестав свободно парить во внутреннем пространстве, будут «ощущать» эту стенку как «пол». Они смогут проходить $500 \times 3,14$ (так рассчитывают длину любой окружности по её диаметру), то есть 1570 метров, с прекрасным ощущением, что там, внизу, их что-то притягивает, это их земля (см. Справочник). И вот что интересно:

через 1570 метров они вернутся туда, откуда начали движение. Так они могут совершать поистине бесконечную пробежку: больше трёх километров, больше шести и так далее.

Конструкторы космической техники действительно разрабатывали такие станции. Ведь находиться в состоянии невесомости долгое время совсем не так удобно. При малейшем толчке всё от тебя уплывает. Очень непросто утолить жажду: каждая капля, пронесённая мимо рта, тут же улетит в воздух. Да и в туалет сходить — целая проблема. А ещё невесомость крайне опасна для наших мышц и костей: без постоянных занятий спортом быстро наступают атрофия мышц и размягчение костей. Поэтому при длительном пребывании в космосе всегда лучше создавать гравитацию искусственно.

*Бег трусцой
на межпланетной
станции*



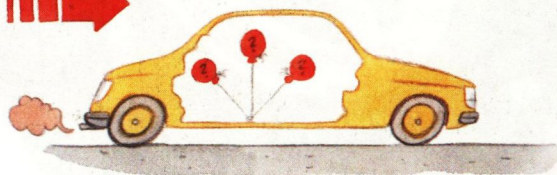
И очень кстати пришлось бы на крутящейся межпланетной станции такие центробежные силы, направленные вовне.

Кстати, что случится на этой межпланетной станции, если в руках у тебя будет шарик, наполненный не воздухом, а гелием? **Гелий** — это редко встречающийся газ, намного легче воздуха. Поэтому на Земле шарик, надутый гелием, прекрасно взлетает. А на межпланетной станции? Подумай-ка, а я пока продолжу свой рассказ.



ГОЛОВОЛОМКА 13

Как поведёт себя наполненный гелием шарик, если ты привяжешь его у пола машины перед задними сиденьями и попросишь папу резко стартовать? Пока машина не поехала, шарик, конечно, будет спо-



койно висеть строго вертикально относительно потолка. Но что будет с шариком при резком старте?



ОПЫТ

Эксперимент по разгадке головоломки 13 мы можем провести и менее опасным способом – опять используя нашу пластиковую бутылку. Большой шарик, надутый гелием, в маленькую бутылку мы вряд ли сможем поместить, поэтому применим другую уловку.

1. Наполни бутылку доверху водой, по возможности без пузырей, и положи внутрь тонкую пластину, отрезанную от пробки, и монетку. Пробка легче воды, как гелий легче воздуха. Она будет плавать наверху. Поставь бутылку вверх дном (конечно, перед этим тщательно закрыв), после чего пробковая пластинка всплывёт ко дну, а монетка останется лежать у горлышка. Она ведь тяжелее воды.



2. Возьми бутылку за горлышко, осторожно приведи её в горизонтальное положение. Теперь снова покружись. Что произойдёт? Центробежная сила, конечно, тут же отпихнёт монетку к наружному краю вращения, но пробка – что поразительно – не останется у дна бутылки, а приплывёт в твоём направлении, к горлышку. Странно, не правда ли? Нет, не странно. Потому что ведь Эйнштейн уже доказал, что ускорение эквивалентно гравитации. Пробка, разумеется, тоже не отличает одно от другого. И вот, когда центробежная сила начинает действовать и тяжёлая монетка тянется ко дну бутылки, пробка «ду-мает»:

«Стоп, какая-то сила тащит монетку и даже немного воду вовне. Это может быть силой тяготения. Но я легче воды, значит, должна двигаться в воде в противоположном направлении, то есть внутрь. Так, как я всегда делаю в стакане воды: если меня прижимают ко дну, я, конечно, тут же снова всплываю на поверхность».



Если ты станешь проводить этот эксперимент с бутылкой, пробкой и монеткой на борту вращающейся межпланетной станции, тебе даже не нужно крутиться. Просто нужно держать бутылку дном в ту сторону, где твои ноги «ощущают» низ, и сразу же пробка в воде всплывёт вверх, а монетка упадёт, потому что обе «подумают», что центробежная сила на станции — это действующая на неё сила тяготения, как же иначе? И дома будет то же самое: просто поддержи бутылку, не крутись, донышком вниз. Пробка, разумеется, поднимется к тебе, монетка утонет. Так воздействует гравитация. Неважно, на Земле или на межпланетной станции: результат один и тот же. И если закроешь глаза, можешь прямо сейчас почувствовать себя астронавтом. В Справочнике я рассчитаю для тебя, с какой скоростью должна вращаться межпланетная станция, чтобы твой вес был в точности такой же, как на Земле.

Так что же будет делать шарик, наполненный гелием, привязанный на межпланетной станции? Теперь ты наверняка ответишь: он ведёт себя как наша пробка в воде, он движется в направлении, противоположном полу, то есть к центру крутящегося колеса межпланетной станции.

Теперь вернёмся и к нашему эксперименту в машине: как поведёт себя шарик с гелием при стремительном старте? Тебя при этом прижмёт назад к сиденью, ведь ты намного тяжелее воздуха. Значит, шарик, поскольку он легче воздуха, должен на самом деле сдвинуться вперёд! Потому что и тут он не отличит гравитацию от ускорения. И если какая-то сила всё тяжёлое толкает назад, шарик, как суперлегковес, должен отправиться вперёд. «Вперёд» сейчас для него наверху. Согласись, довольно необычно!

Но всё так и есть. Просто ускорение притворяется гравитацией, а никто этого не замечает, если закрывает глаза или если глаз у него нет, как у пробки, монетки или шарика, наполненного гелием.

Этой игрой с переодеванием между гравитацией и ускорением также можно объяснить, почему искривляются лучи света. Для этого зайдёшь ещё раз в знаменитый лифт Эйнштейна — теперь твёрдо стоя на ногах — и достань лазерный карманный фонарик (такого у Эйнштейна, конечно, ещё не было). Когда ты его включишь, свет упадёт на противоположную стенку. Точно напротив фонарика он образует световую точку. Действительно ли точно напротив? Нет, говорит Эйнштейн. Представь себе, что лифт не стоит на Земле. Какие-то неизвестные шалопайи во Вселенной рванули его вверх с ускорением свободного падения, то есть $1g$. Он чуточку приподнимется за то время, пока световой луч долетит от одной стенки до другой. Таким образом, световая точка, пройдя по значительно искривлённой траектории, теперь окажется чуть ниже, чем была прежде (когда лифт находился в покое). Это движение в лифте я смогу измерить, если у меня будут очень точные инструменты для такого мельчайшего отклонения. Тогда я бы сказал: «Это доказывает, что мой лифт находился в движении». Но, как считает Эйнштейн, это не может служить доказательством. Ведь невозможно отличить ускорение, «влекущее наверх», от силы тяготения, «тянущей вниз». Следовательно, неподвижно стоя вместе с лифтом на Земле, световой луч точно так же пойдёт

**Гравитация,
ускорение и свет**

по искривлённой траектории вниз, потому что тут действует сила тяготения, а это ведь означает то же самое, что и «быстро рвануться вверх». Именно это и есть отклонение луча света в искривлённом возле Земли пространстве. Подробнее об этом написано в Справочнике. Так просто Эйнштейн проводил мысленные эксперименты. Но поверили его рассуждениям только после того, как смогли измерить искривление световых лучей звёзд, проходящих вблизи края Солнца. Это случилось в 1919 году. Между прочим, сама Земля столь незначительно отклоняет световые лучи, что измерить это на самом деле практически невозможно. С Солнцем всё проще, ведь его масса в триста тысяч раз больше.

Ты тоже запросто можешь экспериментировать в мыслях. Например, чтобы решить головоломку ниже.



ГОЛОВОЛОМКА 14

Мы снова в лифте Эйнштейна. В первом случае лифт парит в космосе, и никакая сила тяготения его не притягивает. Только озорники-инопланетяне дёрнули его вверх с ускорением в $1g$, и наш световой луч движется с очевидным искривлением. В другом случае лифт неподвижно стоит на Земле, и световой луч искривляется под воздействием силы тяготения. Измерения в обоих случаях совпадают! Но что произойдёт, если лифт стоит себе на Земле, и тут эти шалопаи с ускорением в $1g$ дёрнут его вверх?



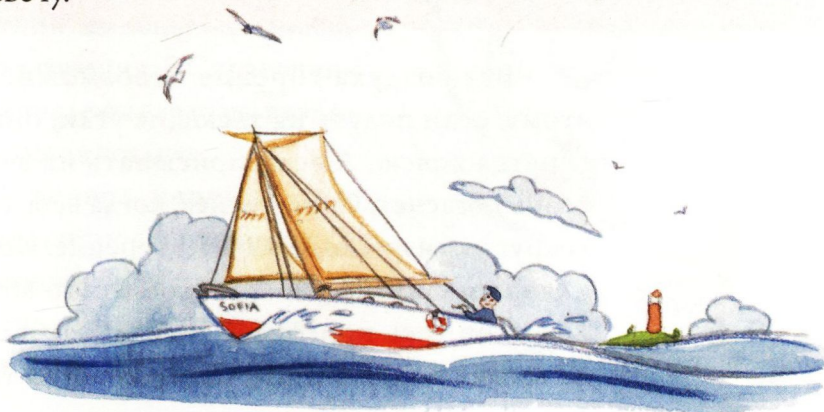
Впрочем, в Справочнике я расскажу ещё кое-что об искривлённой траектории светового луча в лифте. Потому что мой пример больше подходит для лифта с постоянной скоростью. А движение с постоянной скоростью — это совсем не то же самое, что движение с ускорением или гравитация!

7. А существует ли абсолютно пустое пространство?

Собственно, что такое воздух? Это какой-то предмет? Его ведь даже нельзя пощупать. Когда кто-то строил планы, а из этого ничего не вышло, говорят, что человек строил воздушные замки. В них, так сказать, ничего не было, по крайней мере, ничего толкового. Однако ещё до возникновения физики как науки никто не сомневался, что воздух всё-таки что-то из себя представляет. По каким признакам это заметно?

**Пугает ли природу
«ничто»?**

Проще всего это обнаружить, когда дует ветер: воздух обтекает нас, тербит одежду, может даже вырвать из рук зонтик или сорвать с головы шляпу. А ещё мы можем набрать воздуха в рот и дунуть изо всей силы. Например, чтобы погасить свечу.

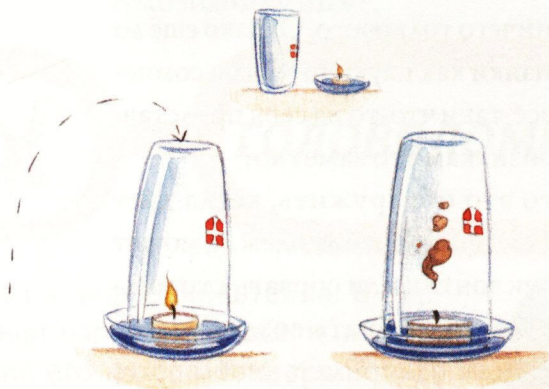


А когда ещё мы замечаем воздух? Когда накачиваем насосом колесо, когда надуваем шарик, когда достаём надувной матрас, когда дышим, когда видим в воде пузыри. Предложи свои варианты.



ОПЫТ

Проведи такой хитроумный эксперимент. Зажги восковую свечу, которая стоит в плошке с водой, и накрой её стаканом так, чтобы он стоял в воде. Свеча ещё какое-то время погорит, а потом поразительно быстро погаснет. Вода более чем на один сантиметр поднимется в стакан, словно её закачали туда какие-то таинственные силы. Почему?



Без воздуха горение невозможно. Поэтому, если подуть на тлеющие угли, они разгорятся вовсю. А если присыпать их землёй, огонь погаснет. Свеча гаснет, когда весь воздух вокруг неё израсходовался на горение. Под стеклянным стаканом не слишком много воздуха. Когда он весь прогорает, вода внутри стакана может подниматься, место воздуха теперь

свободно. Хотя не полностью. Вода же поднимется лишь чуть-чуть. А почему? Почему она вообще поднимается, а не оставляет стакан пустым, без воздуха? Ведь так было бы проще, чем там, внутри, карабкаться наверх!

Первый вопрос уже достаточно каверзный. Если вода не поднялась до самого верха, значит, горящая свеча израсходовала не весь воздух. Но если этот оставшийся воздух больше не годится для горения, то, вероятно, это уже неправильный воздух! Есть ли, кроме воздуха, что-то ещё, что кажется прозрачным и незаметным, но всё-таки существует, хотя и не пригодно для горения, как воздух? Да, есть. Есть даже много разных видов таких веществ, их называют газами. **Газ, необходимый для горения, называется кислород.** А после того как свеча погасла, в стакане остаётся прежде всего другой газ — азот.

Таким образом, ветер вокруг нас всегда состоит из кислорода и азота — даже больше из азота, чем из кислорода. В каждой литровой банке воздуха содержатся чуть меньше трёх четвертей азота и только одна четверть кислорода. Кроме них в крошечных объёмах присутствуют и другие газы, например углекислый газ, всегда возникающий как дополнительный продукт горения. В Справочнике перечислены все газы, входящие в состав воздуха.

А теперь перейдём ко второму вопросу: почему вода в стакане вообще поднималась? Ведь она тяжёлая и притягивается Землёй и поэтому куда



охотнее лежала бы внизу. Тогда азоту было бы по-настоящему просторно, и он прекрасно бы распространился по банке в отсутствие кислорода. Но он этого не делает.



**Так раньше насосом
выкачивали грунтовые
воды из шахты:
приводимый в движение
мельничным колесом
насос поднимал воду
на много метров**

Ещё четыреста лет назад у людей на это был простой ответ: природа боится пустоты, её пугает жуткое «ничто», пугает разрежённый воздух (об азоте тогда ещё ничего не знали). Стакан пустеет, но поскольку природа этого боится, она втягивает в стакан воду, пока он не опустел полностью. Ещё две тысячи лет назад так говорил великий древнегреческий философ Аристотель.

Что-то похожее представляли собой и насосы, сохранившиеся примерно в том же виде до наших дней: герметично закрытый кожей поршень поднимают внутри

трубы, торчащей из воды. При этом вода поднимается по трубе вслед за поршнем. Так, например, выкачивали воду из глубокого рудника, чтобы добывать медь или серебро в сухой шахте.

Объяснение для этого было таким же простым: между поршнем и водой вообще-то должно образоваться пустое пространство, потому что вода тяжёлая и с большей охотой осталась бы в руднике. Но природа боится этого и толкает воду за поршнем.

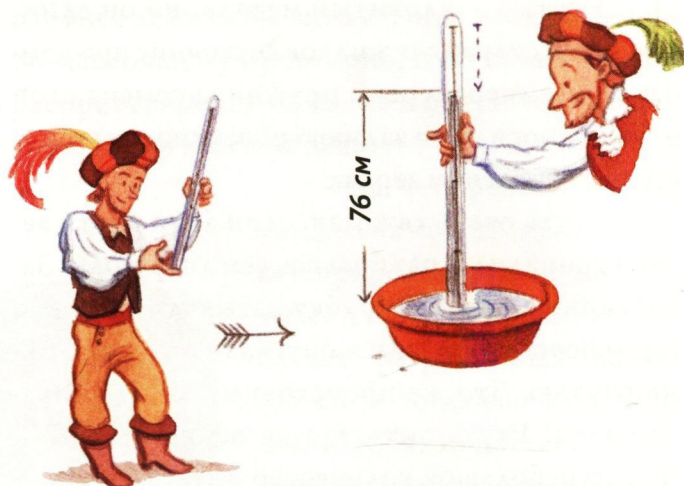
Лет триста пятьдесят назад это явление исследовали при помощи стеклянных трубок около метра длиной, заполненных ртутью.

Ртуть — ядовитый металл, но он единственный сохраняет жидкое состояние при комнатной температуре. В прежние времена слой ртути наносили на заднюю поверхность стекла при изготовлении зеркал.

Ртуть очень тяжёлая, один литр ртути весит в тринадцать раз больше, чем литр воды. Заполненную ртутью трубку затыкали пальцем, затем переворачивали и опускали в чашку с той же ртутью. Что же происходило, когда убирали палец? Ртуть вытекала не полностью. Нет, только небольшое количество вытекало в чашку, оставшаяся ртуть лишь немного опускалась вниз по трубке — с одного метра до семидесяти шести сантиметров над краем чашки — и оставалась.

Почему? Потому что металл стекал вниз, и в верхней части запаянной трубки образовывалось пустое пространство. Считалось, что природа пугалась, что это пространство станет слишком большим и, чтобы этого не произошло, удерживала столбик тяжёлой ртути точно на высоте семидесяти шести сантиметров. Во всяком случае, так думали люди в те времена. Как бы то ни было, в метровой трубке возникало пустое пространство длиной в двадцать четыре сантиметра. Но в трубке длиной два метра ртуть точно так же опускалась до семидесяти шести сантиметров, оставив уже целых сто двадцать четыре сантиметра пустого пространства. Это было странно! Почему природа меньше боялась пустоты в длинной трубке, чем в короткой, независимо от их толщины?

При «нормальном»
давлении воздуха ртуть
в любой трубке
опускается
до семидесяти шести
сантиметров



Кстати, мы называем это свободное пространство Торричеллиевой пустотой по имени итальянского физика, который первым его исследовал. Ещё **свободное от вещества пространство называется вакуумом**. Это слово происходит из латыни и означает «ничто».

Давление воздуха

В 1658 году французский философ, математик и естествоиспытатель Блез Паскаль попросил своего родственника подняться с такой наполненной ртутью трубкой на вершину расположенной неподалёку горы Пюи-де-Дом. У Паскаля была совершенно другая теория относительно того, почему ртуть в любой трубке опускалась до семидесяти шести сантиметров. Но пока мы ничего о ней не скажем.

Для упрощения процедуры вместо двух трубок уже давно использовали одну U-образную, один конец которой был запаян: в этой части трубки ртуть неуклонно поднималась на семьдесят шесть сантиметров над уровнем ртути в другой, открытой.

И родственник в один прекрасный для прогулок день поднялся на вершину. А перепад высот между долиной и вершиной горы составлял



как-никак тысячу метров. И вот, оказавшись на вершине, он увидел, что предположение Паскаля было верным: «страх природы перед пустотой» на вершине горы был значительно меньше, чем внизу, в долине.



*Измерение
давления воздуха
на вершине горы*

Столбик ртути стоял теперь на отметке в шестьдесят семь сантиметров, то есть свободное пространство увеличилось. На вершине горы высотой 2962 метра над уровнем моря родственник Паскаля намерил бы всего 53 сантиметра ртутного столба, а на Эвересте высотой 8844 метра, самой высокой вершине в мире, — лишь двадцать три сантиметра.



ОПЫТ

С ядовитой ртутью экспериментировать нельзя! Но ты можешь согнуть себе такую подковообразную трубку из прозрачной медицинской трубки или куска шланга. Сначала заткни один конец прямого участка трубки пальцем и наполни её водой.

Теперь, не убирая палец, поднимай заткнутый конец трубки всё выше и выше. Открытый конец крепко держи в другой руке, пока кусок шланга не станет похож на подковообразную трубку с ртутью.

Вода из открытого конца шланга вытекать не будет, как бы высоко ты ни поднимал закрытый конец. Но ни в коем случае не разжимай палец. Бóльшая часть воды тотчас вытечет из отверстия вниз.



ГОЛОВОЛОМКА 15

Как ты думаешь, на какую высоту над уровнем воды в открытом конце трубки можно поднять воду в заткнутом конце? Примерно на 76 сантиметров, как в трубке с ртутью, или, может, больше чем на метр? Вода легче ртути. Прочти об этом на следующих двух страницах.

А ты знаешь, почему высота ртутного столбика менялась в зависимости от высоты местности? Разумеется, Паскаль понимал это и раньше: ну не может же такого быть, чтобы у природы в долине было больше страхов,

чем в горах. Но что ещё может меняться от долины к вершине?

Сегодня по путешествиям в горах или полётам в самолёте нам известно: воздух становится более разрежённым. Уже на вершине свыше трёх тысяч метров нужно дышать глубже, чтобы в лёгкие поступало достаточно воздуха. В самолётах на высоте десять тысяч метров над землёй необходимо искусственно поддерживать давление воздуха на борту, иначе люди вообще не смогут дышать и мгновенно потеряют сознание. А километрах в девяноста от земной поверхности начинается космос (безвоздушное пространство).

Воздух становится более разрежённым, потому что на большой высоте он уже не сдавливается так, как в долине. Ведь сам воздух тоже притягивается Землёй, как любая другая масса, правда, значительно меньше, чем мы, потому что он лёгкий. И всё же своим весом он действует, как поршень в насосе.



Чем выше поднимаешься, тем более разрежённым становится воздух вокруг Земли



ГОЛОВОЛОМКА 16

Если когда-нибудь у тебя появится возможность вскарабкаться на какую-нибудь высокую гору, сделай следующее: достань пустую, легко сдавливаемую пластиковую бутылку, отвинти крышку, потом снова туго завинти и отнеси в долину. Как ты думаешь, что произойдёт с бутылкой?

У поверхности Земли в каждой точке давит такой воздушный поршень высотой девять километров. На вершине в три тысячи метров его высота уже только восемьдесят семь километров, на десяти тысячах метров — уже только восемьдесят. Но это восемьдесят километров намного более разрежённого воздуха, потому что вблизи земной поверхности воздух за счёт своего веса очень сильно сжат, на высоте три тысячи километров сжат не так сильно, а на десяти тысячах это давление крайне мало. Поэтому в долине давление воздуха на всё: на людей, на растения и ртуть — больше, чем на горной вершине.

Вот и всё! И поэтому один конец трубки с ртутью нужно было оставить открытым: туда давил воздух, да с такой силой (поразительно сильно, потому-то никто прежде и не хотел в это поверить), чтобы семьдесят шесть сантиметров ртути на другом конце трубки, сопротивляясь давлению воздуха, не падали ниже. А на вершине Пюи-де-Дом во Франции это были только шестьдесят семь сантиметров. Значит, такой прибор можно использовать для измерения давления воздуха, как ртутный барометр.

Семьдесят шесть сантиметров ртутного столба раньше называли нормальным давлением.

Теперь Паскаль также мог объяснить, почему много столетий подряд трубы в насосах делали не более десяти метров длиной. Выше воду поршнем было не поднять. На высоте около десяти метров вода оставалась в насосе. Поршень шёл наверх впустую, как бы его ни тянули. На самом деле вода в тринадцать раз легче ртути. Поэтому давление воздуха уравновешивает в тринадцать раз больше воды, чем ртути (13×76 см равно примерно 10 метрам).

А насколько пуста Торричеллиева пустота в стакане над ртутью? Уж более пустой, чем воздух, она должна быть в любом случае. Потому что ведь ртуть немного опустилась, а воздух на это место проникнуть не смог.

Но перед тем, как исследовать это явление, я представляю один очень известный эксперимент, настоящее шоу. Провёл его современник господина Паскаля. Он был бургомистром города Магдебурга, и звали его Отто фон Герике.

Он защищал свой город во время ужасной Тридцатилетней войны более трехсот пятидесяти лет назад. Несмотря на это город был истреблён. Почти камня на камне не осталось. Но в отличие от Архимеда Герике повезло: он остался в живых. Только после войны у него появилось время для исследований темы, которая его — а для бургомистра это очень необычно — безумно увлекала: существует ли пустое пространство? Сам он в это твёрдо верил. Но прежде всего он верил Копернику, который за сто лет до него утверждал, что все планеты,

**Бургомистр
Магдебурга
с насосом
в руках**

и Земля тоже, вращаются вокруг Солнца. И, так как они это проделывали уже много тысячелетий подряд, Вселенная, вероятно, пуста. Там не может быть воздуха или чего-то подобного, потому что в этом случае он тормозил бы движение планет, и в конце концов они вообще остановились бы, как шарик, который мы катаем по полу. Он катится всё медленнее и, наконец, останавливается, потому что пол тормозит его движение.



Но с планетами всё было бы намного хуже: они не могут просто остановиться. Тогда на них больше не действовала бы центробежная сила, которая является противовесом солнечному притяжению. Солнце просто поглотило бы их.

Отто фон Герике подумал, что раз во Вселенной, видимо, существует пустое пространство, значит, его можно создать и на Земле. Не только такими маленькими порциями, как

в стеклянной трубке господина Торричелли, а, например, в винной бочке. И вот он изобрёл воздушный насос (примерно такой же, как водяные насосы того времени) и выкачал воздух из своих бочек.

Но очень скоро все бочки со страшным треском развалились. Бочарные клёпки так и вдавило внутрь. Отто фон Герике недолго удивлялся раздавленным бочкам. Надеюсь, и ты не будешь долго удивляться: просто, когда из бочек откачали воздух, давление воздуха снаружи оказалось таким сильным, что раздавило бочку, словно коробок спичек (которых тогда ещё не было).



*Примерно триста
пятьдесят лет назад:
воздушный насос
и магдебургские
полушария*

Тогда он сконструировал — и это был его самый знаменитый опыт — полый металлический шар, состоящий из двух полушарий. Этот шар и насос Герики ты и сегодня можешь увидеть в Немецком музее. Это самые настоящие оригинальные приборы, а не какие-то музейные копии!

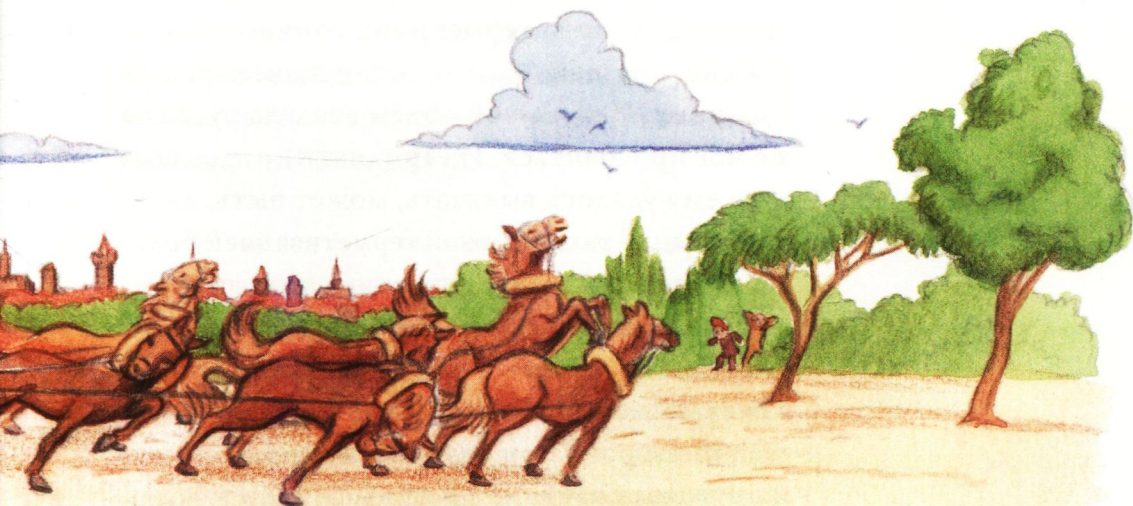
Два полушария он плотно прижал друг к другу, проложив между ними кожаное кольцо для надёжной герметизации. Затем из собранного шара он через боковой клапан выкачал воздух. Металлический шар действительно выдержал давление воздуха и не развалился.



Да, но по каким признакам можно было определить, что в нём ничего не было, никакого воздуха? У Отто фон Герике родилась грандиозная идея. Будучи бургомистром, он знал, как произвести впечатление на публику. С обеих сторон от шара он впряг лошадей. И все зрители просто рты пооткрывали: эти лошади, как их ни понукали криками, не смогли разомкнуть полушария. Лишь теперь все поверили в невероятное: за это в ответе воздух вокруг нас, кажущийся таким невесомым.

Это он с безумной силой прижимает два полушария друг к другу.

Когда всем это стало ясно как день, Отто фон Герике небрежным жестом, почти как чародей, покрутил клапан, и в шар с шипением потёк воздух. В то же мгновение два полушария распались, абсолютно сами по себе!

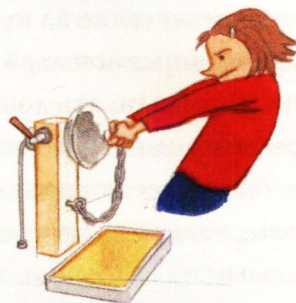


Даже так много лошадей не могли разомкнуть магдебургские полушария



В МУЗЕЕ

В Немецком музее в нескольких метрах от оригинального шара Отто фон Герике ты сам сможешь провести опыт: два полушария размером с гандбольный мяч никак не разъединить после того, как ты, опустив рычаг, выкачаешь из них воздух.



Таинственный вакуум

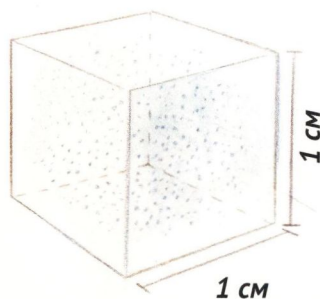
Опыт выглядел — да и сейчас выглядит — потрясающе эффектно. Но в одном Отто фон Герике всё-таки сильно ошибался: никакого пустое пространство он не создал, а значит, и никакого космоса в лаборатории, как он думал. Один только закупоренный конец стеклянной трубки Торричелли был в миллион раз более пустым! Почему? Отто фон Герике изобрёл своего рода велосипедный насос: он двигал по трубке поршень, герметично закупоренный кожей и смазкой. Но это не слишком хорошая изоляция. Небольшой объём воздуха туда всё же мог просочиться. Из тридцати литров воздуха ему удалось выкачать, может быть, двадцать семь. С такой плохой герметизацией больше было не выкачать. Трубочки с ртутью были по сравнению с насосом намного эффективнее. Семьдесят шесть сантиметров жидкого металла в стеклянной трубке были плотно сжаты без всяких зазоров. Тут воздуху никакими хитростями в уголок с вакуумом не пролезть. Хотя после наполнения в трубке могли остаться пузырьки воздуха. Но при очень тщательном проведении

опыта этот воздух был в миллион раз более разрежённым. Значит, вакуум получался всё-таки первоклассный! А почему воздух не раздавил эти стеклянные трубки, как бочки фон Герике? Рабочее давление было, пожалуй, не намного больше, хотя вакуум намного качественнее. Решающую роль сыграл размер стеклянных трубок. Они были тонкими. Если бы Герике экспериментировал с маленькими моделями бочек, их бы тоже не раздавило.

Сила равна давлению, помноженному на площадь поверхности. Если площадь в сто раз больше, то и разрушительная сила давления воздуха будет больше в сто раз.

В наше время самыми лучшими насосами создают вакуум в миллиарды раз лучше, чем в трубках с ртутью. А остаётся ли в нём хоть ничтожное количество воздуха? Вы не поверите, но молекулы воздуха такие крохотные, что их там всё ещё довольно много, скажем, в кубическом сантиметре такого современного вакуума летают 1000 молекул.

И всё же, если бы можно было напёрстком такого размера зачерпнуть вещество межзвёздного пространства нашего Млечного Пути, то там со свистом носилась бы, может, всего лишь одна-единственная частица, с большой вероятностью атом водорода, а возможно, и вообще не было бы ни одной. Кстати, напёрсток пространства вокруг нашей Земли, где-нибудь вблизи Луны, был бы далеко не так пуст.



**Даже в «самом лучшем»
вакууме плавают
1000 молекул воздуха**

Отто фон Герике, проводя свои опыты, впал бы в отчаяние, если бы узнал всё это. А может, его самолюбие и не пострадало бы. Как-никак он первый попытался поймать в металлический шар пустой космос.

**И напоследок:
тёмная материя
и тёмная энергия**

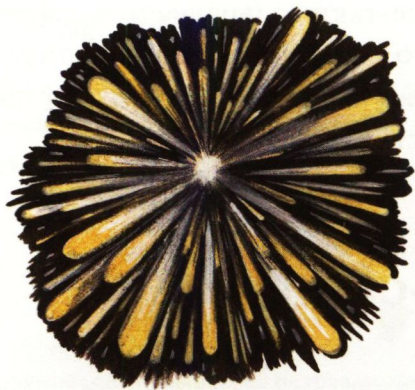


Кроме того, если бы Отто фон Герике читал современные статьи по астрофизике, он мог бы нам возразить: что там говорить о какой-то частице в напёрстке объёмом в один кубический сантиметр? Вот вы уже не в первый раз пишете, что существует «тёмная материя», о которой никто не знает, что это такое, и которая в шесть раз чаще проносится по всей Вселенной, чем все ваши известные атомы и частицы. Значит, и в маленьком напёрстке космического пространства этой тёмной материи должно прятаться в шесть раз больше.

На самом деле он прав. Очень вероятно, что такая тёмная материя существует. Так, во Вселенной вокруг своей оси вращаются бесчисленные галактики, подобные нашей, с их сотнями миллиардов звёзд. Похоже на латте, который помешивают в чашке. Но галактики вращаются слишком уж быстро. Можно строить предположения сколько угодно, но одной только силой притяжения миллиардов солнц быстрое вращение не объяснишь.

*Млечный Путь со спиральными рукавами:
более ста миллиардов солнц, и ещё
в шесть раз больше тёмной материи*



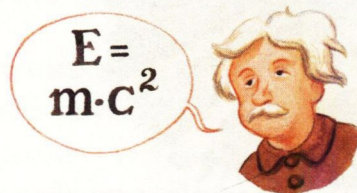


*Большой взрыв
четырнадцать
миллиардов
лет назад*

Точнее говоря, звёзды во внешних рукавах спирали несутся слишком быстро (в таком внешнем рукаве спирали находится и наше Солнце, и оно тоже захвачено общим движением). Поэтому где-то у этих спиральных рукавов, должно быть, прячется скрытая от наших глаз материя, которая, тем не менее, влечёт за собой много-много солнц. И не просто материя, а в шесть раз больше материи, чем содержат все миллиарды звёзд, вместе взятые! И поскольку до сих пор никто не знает, что это такое, эту материю называют тёмной.

И более того: наша Вселенная родилась четырнадцать миллиардов лет назад в результате Большого взрыва. С тех пор она расширяется всё дальше, причём звёзды и галактики образовались лишь во время этого долгого пути после взрыва. Тем не менее недавно стало известно, что Вселенная расширяется сегодня намного быстрее, чем во времена своей «юности», около восьми миллиардов лет назад. Считается, что тому виной тёмная энергия. Она действует как сила, заставляющая все тела отталкиваться друг от друга и, таким образом, двигаться всё быстрее. Но что конкретно она из себя представляет, мы не знаем.

И тут мы всё-таки возвращаемся к Эйнштейну, а именно к его знаменитой формуле $E = mc^2$ — энергия равна массе, умноженной на квадрат скорости света.



Исходя из этого, энергия — это тоже своего рода масса. Так вот, оказывается, что тёмной энергии во Вселенной намного больше, чем всей обычной материи вокруг нас и тёмной материи вместе взятых. Наши дома-коробки, машины, телевизионные башни, планеты и звёзды вместе с их излучением составляют лишь крошечную долю массы нашей Вселенной, всего одну двадцать пятую часть. Представь себе, твоя комната — только маленькая часть огромной квартиры, где есть ещё двадцать четыре комнаты, которые тебе даже не видны. Все они, кроме твоей, полностью погружены во тьму. Но они есть!

Таким образом, настоящего вакуума, в котором абсолютно ничего нет, вообще быть не может.

Наверное, для того чтобы всё это объяснить более основательно, нам нужен новый Эйнштейн. Потому-то ни в одном музее мира нет экспериментов по этой теме. И поэтому мы оставляем в темноте будущего ответ на вопрос, что же на самом деле такое — пустое пространство. Может быть, тем, кто даст на это ответ, станешь ты. Кто знает!

Конец

Через несколько миллиардов лет наступит конец всех времён, во время которого Солнце превратится в красного гиганта и поглотит Землю. Всей земной науке и знаниям придёт конец



Ответы

Ответ 1: В центре шара. На плоском прямоугольном листе картона центр тяжести расположен точно в центре листа.

Ответ 2:



равновесие называется безразличным. В этом случае точка опрокидывания, или лучше назовём её точкой вращения, находится в центре тяжести.

Ответ 5: Более тяжёлый друг должен сидеть в три раза ближе к центру качелей, чем ты.

Ответ 6: В этом случае речь идёт о безразличном равновесии.

Ответ 7: Рычагом не являются очки, змей, офисная скрепка, карандаш, компьютерная мышка.

Ответ 8: Каменное основание подъёмного крана должно весить 2000 кг.

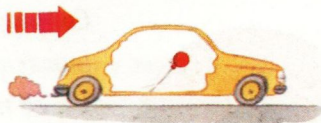
Ответ 9: Силы воздействия топора на полено возрастут.

Ответ 10: Основная масса снега на двухскатных крышах давит по диагонали вниз. Здесь работает сопротивление движению на подъём, как у машины на горной дороге. Чем больше у крыши угол наклона, тем больше это сопротивление и меньше сила прилипания снега, которая давит на крышу. Значит, снег быстрее свалится. Сегодня умеют строить прочные пологие крыши, на которых снег может лежать сколь угодно долго. Тем не менее я вспоминаю зиму 2005–2006 года в Баварии. Тогда люди были вынуждены сбрасывать снег со своих крыш, так много выпало этой белой роскоши! Некоторые крыши не выдержали нагрузки и были повреждены.

Ответ 11: При перелёте с запада на восток скорость полёта суммируется со скоростью вращения Земли. Центробежная сила больше, и, следовательно, твой вес меньше, чем в полёте с востока на запад, когда скорость полёта нужно вычитать из скорости вращения Земли.

Ответ 12: Луна тоже находится в состоянии невесомости. Вес тела, обусловленный силой притяжения Земли, обнуляется (так же, как и в ситуации свободного падения), но при этом, разумеется, Луна притягивает к себе все тела, находящиеся на её поверхности.

Ответ 13:



шалопаев, то есть в том же, в каком воздействует на него гравитация.

Ответ 15: На самом деле ты можешь также наполнить водой и поднять десятиметровый шланг, и вода всё равно не прольётся, потому что она в тринадцать раз легче ртути!

Ответ 3: Левая палочка находится в устойчивом равновесии, правая — в неустойчивом.

Ответ 4: Великолепно, если ты выяснил, что здесь не может быть ни устойчивого, ни неустойчивого равновесия, так как палочка в любом положении остаётся неподвижной. Такое

Ответ 14: В действительности световой луч вдвойне искривлён, потому что к его весу, придавливающему к Земле, добавляется ещё сила инерции, которая действует в направлении, противоположном движению космических

76 см умножить на 13 равно примерно 10 метрам. Именно поэтому такие длинные водяные насосы, как на картинке со страницы 96, качали воду.

Ответ 16: Пластиковая бутылка немного сомнётся в долине под воздействием более высокого давления воздуха.

Справочник

Архимед (ок. 287–212 до нашей эры)

Как он погиб при захвате города Сиракузы, мы точно не знаем. Древнегреческий писатель Плутарх рассказывает, что какой-то солдат приказал ему отправиться к римскому военачальнику Марцелу. Но Архимед хотел сперва закончить свои расчёты. Это разозлило солдата, и он заколол Архимеда.

Закон рычага был, кстати, геометрически исследован за сто лет до него. Но именно Архимед привёл точное математическое доказательство.

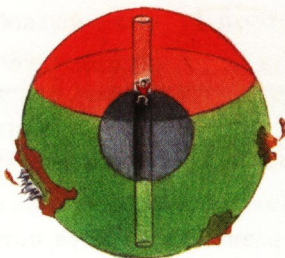
Альберт Эйнштейн (1879–1955)

Эйнштейн в своей специальной теории относительности объясняет движение с постоянной скоростью. Если скорость увеличится почти до скорости света — 300 000 километров в секунду, последствия будут поразительными: например, время будет идти гораздо медленнее.

В своей общей теории относительности Эйнштейн уже описывает все виды движения, в том числе и такие, при которых скорость изменяется, то есть увеличивается, или уменьшается, или меняет направление. Для этого ему пришлось внести изменения в классическую теорию гравитации Ньютона. Эйнштейн, без сомнения, самый известный физик после Ньютона.

Притяжение внутри земного шара

Предположим, мы отправляемся на планету — назовём её Земля-2. С помощью гигантской техники жители выдолбили её изнутри. Эта планета вращается вокруг своего Солнца так далеко от него, что на её поверхности ужасно холодно. А внутри — тепло и уютно. Вот жители и решили обустроиться там. Такой огненно-жидкой, как наша, планета, вероятно, всё-таки не была, тогда люди с Земли-2 не смогли бы там, конечно, жить. Всю выкопанную грязь они побросали в космос. Если люди Земли-2 не очень-то сильны в физике (впрочем, при такой сложной технике это маловероятно), они крайне удивятся, когда окажется, что в своей прекрасной, вырытой в центре планеты пещере они находятся полностью в невесомости. Всё вокруг летает, утратив свой вес. С чего бы это?



Сила притяжения зелёного поля перед нами и сила торможения красного поля при падении взаимно уничтожаются

Давай ещё разок вернёмся в наш фантастический туннель. Пока мы всё глубже и всё быстрее падаем внутрь земного шара, нас продолжает притягивать только та часть, которую мы ещё не пролетели. Часть, оставшаяся позади, тянет нас обратно. Она нас тормозит. Мы закрасили эту часть на рисунке красным цветом. А теперь из всей оставшейся части мы удалим центр в форме шара, закрашенный на рисунке серым. Всё, что осталось, раскрашено в зелёный цвет. Можно высчитать, что «притяжение зелёного» равно «торможению красного». Ты можешь представить себе это так: красная часть меньше, чем зелёная, но она ближе к нам, поэтому действует правило: красное и зелёное взаимоуничтожаются. И так будет всегда, неважно, в какой части туннеля мы находимся. Значит, создавать силу притяжения может ещё только шарообразная (обозначенная здесь серым цветом) часть Земли вокруг самого центра, которая в нашей стремительной поездке лежит непосредственно перед нами. Да, но если наши люди с планеты Земля-2 планомерно выкапывают её, то в образовавшейся таким образом шарообразной пещере больше не будет никакого притяжения!

В нашем туннеле такого, разумеется, не случится. Мы ведь не так много выкопали. Выделенный серым цветом участок до центра земного шара всё уменьшается по мере нашего продвижения к центру. Значит, и ускоряющее нас притяжение воздействует на нас всё слабее. И только в самом центре Земли с нами происходит то же самое, что с людьми Земли-2 в их полой пространстве. Мы становимся невесомыми. Ускорения свободного падения g больше не существует.

Если бы мы не неслись с такой головокружительной скоростью — 28 500 км/час — и какой-нибудь гигантский кулак придержал бы нас, мы неподвижно зависли бы в невесомости (если бы не сгорели в пекле в 4000 градусов, свирепствующем в центре Земли).

Правда, Земля в своём ядре сжата гораздо сильнее, чем прямо под нашими ногами, — в четыре раза больше. Поэтому сила её притяжения, а вместе с ней и ускорение в туннеле, убывают неравномерно. Но «результаты наших фантазий» всё же остаются без изменений.

Ускорение свободного падения

Для простоты мы всегда брали значение 10 м/с^2 . Более точное значение на поверхности нашей Земли составляет $9,81 \text{ м/с}^2$.

Земля и Луна

Диаметр Земли у экватора — 12 757 км.

Диаметр от Северного полюса до Южного составляет 12 714 км.

Средний диаметр Земли — 12 742 км.

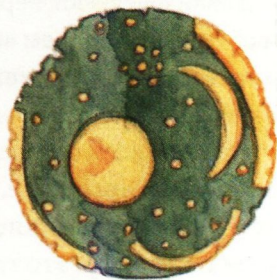
Средний радиус составляет половину этой величины, то есть 6371 км.

Масса Земли немыслимо велика, примерно 6000 000 000 000 000 000 000 000 кг. Шестёрка с двадцатью четырьмя нулями! Для простоты обычно пишут $6 \times 10^{24} \text{ кг}$ (а говорят — десять в двадцать четвёртой степени). В калькуляторе обычно просто опускают все нули, а в конце снова включают их в расчёты.

Диаметр Луны — 3476 км.

Её масса примерно в восемьдесят один раз меньше массы Земли, но всё же это 74000000000000000000000 кг. Двадцать один ноль. Значит, пишут 74×10^{21} .

Земля и Луна находятся в среднем в 384400 километрах друг от друга. Иногда они немного сближаются, иногда отдаляются. Таким образом, Луна вращается вокруг Земли не чётко по кругу, как и Земля вокруг Солнца.



Окружность Земли и диаметр Земли

Древнегреческий географ и астроном Эратосфен первым придумал изящный и очень простой метод, как измерить столь гигантский размер земного шара.

По своему путешествию на юг Египта он знал, что там, в Сиене под Асуаном, двадцать первого июня в полдень солнце стоит прямо над глубоким колодцем. Но в тот же день и час колонна в Александрии на Средиземном море отбрасывала тень под определённым углом, который можно было измерить. Этот угол должен быть равен центральному углу земного шара (вершина этого угла — центр Земли, а сторонами являются радиусы, проведённые в Александрию и Сиену), так как все солнечные лучи ложатся на землю параллельно друг другу. Центральный угол относится к расстоянию от Сиены до Александрии точно так же, как полный угол, 360° , относится к длине всей окружности Земли. Следовательно:

$$\text{Длина окружности земного шара} = \frac{360^\circ \times \text{расстояние от Сиены до Александрии}}{\text{угол тени}}$$

Эратосфен знал расстояние от Сиены до Александрии (790 км) и очень точно измерил угол отбрасываемой колонной тени ($7,2^\circ$). Исходя из этого, он действительно довольно точно высчитал, что длина окружности Земли равна 40 000 км. Тогда диаметр составляет:

$$\frac{\text{длина окружности Земли}}{\text{число } \pi} = \frac{40\,000}{3,14} \approx 12\,740 \text{ км.}$$

Наш метод измерения на пляже объяснить немного сложнее. Тем не менее и в нём используется простая геометрия. Высоту на уровне глаз мы обозначим буквой h , время, которое ты измеряешь, — буквой t , а радиус Земли — буквой R . Когда солнечные лучи доходят до тебя точно по прямой, расстояние от тебя до горизонта равно примерно $R \times a$, где a — это центральный угол земного шара,



Небесный диск из Небры (возраст 3500 лет). Вероятно, примерно так представляли себе 3500 лет назад Землю и небо

одной стороной которого является радиус, проведённый в точку, где стоишь ты, а другой стороной — радиус, проведённый к горизонту (поскольку по сравнению с Землёй ты — крошечный гном, мы сделаем вид, будто Земля от тебя до горизонта плоская). По теореме Пифагора в прямоугольном треугольнике сумма квадратов катетов равна квадрату гипотенузы (а квадрат на письме мы обозначаем как «²»):

$$R^2 + (R \times a)^2 = (h + R)^2.$$

Когда мы всё это перемножим, R^2 в обеих частях уравнения сократится. Значение h^2 очень мало по сравнению с R , так что его тоже можно опустить. Тогда остаётся:

$$R^2 \times a^2 = 2R \times h.$$

В левой и правой частях уравнения сокращаем R и получаем:

$$R \times a^2 = 2h, \text{ из чего выводим:}$$

$$R = 2 \frac{h}{a^2}.$$

Угол a нужно перевести в замеренное тобой время t . Ведь на этот угол Земля повернулась, пока ты вставал:

$$a = \frac{2 \times \pi \times t}{24 \times 3600}.$$

(удвоенное число π соответствует углу в 360° , на который Земля повернулась за 24 часа; умножая 24 на 3600, мы пересчитываем сутки (24 часа) в секунды).

Отсюда получаем радиус земного шара в метрах:

$$R \approx \frac{380\,000\,000 \times h}{t^2}.$$

Диаметр Земли в два раза больше, мы вычислим его сразу в километрах:

$$D = \frac{2 \times 380\,000 \times h}{t^2} = \frac{760\,000 \times h}{t^2}.$$

Если высота на уровне глаз у тебя получилась 1,52 м, а время 9,5 с, ты получишь диаметр Земли 12 800 км.

Но особо точными твои измерения всё-таки не будут. Самое сложное — точно поймать последний луч солнца. Кроме того, по вечерам солнечные лучи отклоняются от своего прямого пути наиболее сильно, так как прошли долгий путь сквозь атмосферу Земли. Поэтому и само закатное солнце выглядит немного сплюснутым, а вовсе не полным кругом. Световые лучи у нижнего края солнца искривлены сильнее всего, потому что их дорога сквозь воздушную оболочку была самой длинной.

А почему Солнце на закате совсем красное, а не бело-желтое, как днём? Это явление тоже связано с тем, что путь лучей утром и вечером длиннее. По дороге солнечный свет больше всего рассеивает во все стороны голубой цвет. Жёлто-красных цветов спектра остаётся больше, и мы видим Солнце красным. Часть голубого цвета солнечный свет в течение дня рассеивает и в атмосферу, окрашивая небо! Представь себе, что всё было бы наоборот: тогда большую часть времени небо у нас над головой было бы красным!

Центробежная сила

Вообще-то в отличие от нашей мышечной силы это не сила в прямом смысле слова. Это ещё почему? Чтобы разобраться, давай ещё раз взглянем на модель мотоциклиста в музее. Никакой предмет не станет двигаться по кругу добровольно. Он хотел бы или оставаться в покое, или постоянно двигаться по прямой. Первым это обнаружил Ньютон. Вот и мотоциклист, которого мы внезапно запустили по кругу, вообще-то хотел бы ехать прямо и соскочить с нашего вращающегося диска.

Но ему не соскочить. Если бы мог, он тотчас сделал бы это, как, например, искры, которые разлетаются от вращающегося оселка, когда на нём что-нибудь точат. Искры не кружатся вместе с оселком, а сразу же по прямой линии улетают прочь. А теперь наступает важный момент: если бы мы сидели прямо на оселке и наблюдали за искрами оттуда, то мы увидели бы, что поначалу они летят от нас и оселка отвесно вверх, словно туда уходят рельсы, увлекающие искры из круга прочь, в точности как рельсы музейного мотоциклиста.



Но такую картину мы увидим, только если продолжим вращаться вместе с оселком (или мысленно поставим себя на место мотоциклиста). Поэтому мы говорим, что должна быть какая-то сила, увлекающая их вертикально вверх, а именно центробежная сила. На самом деле искры просто хотят лететь по прямой от того места, где они только что возникли от трения. Таким образом, центробежная сила — это иллюзия. Физики называют её псевдосилой. Мы считаем, что она есть только в том случае, если сами как-то участвуем во вращении! (А Эйнштейн даже силу тяжести считал иллюзией.)

Кстати, наш рисунок показывает только начало вращения, пока искры ещё увлекаемы диском. Позже они совершенно независимо разлетаются дальше по прямой.

Формулы для центробежной силы вывел голландский физик Христиан Гюйгенс примерно во времена Ньютона, более трёхсот лет назад:

$F = \frac{M \times v^2}{R}$, где F — центробежная сила, M — масса тела, v — его скорость и R — радиус вращения.

Для краткости скорость, помноженную на скорость, записывают v^2 , а говорят «квадрат скорости».

По Ньютону, сила F равна массе M , умноженной на ускорение a :

$$F = M \times a.$$

Если мы подставим это уравнение в формулу центробежной силы, масса сократится, и получим следующую формулу:

$$a = \frac{v^2}{R}, \text{ где } a \text{ — центробежное ускорение, } v \text{ — скорость и } R \text{ — радиус вращения.}$$

Пример: каково центробежное ускорение на экваторе?

Скорость экватора мы получим, разделив 40 000 километров на 24 часа. Она составляет 1670 км/ч, или 463 м/с.

Эту скорость и радиус Земли подставляем в уравнение и получаем следующее значение для центробежного ускорения на экваторе:

$$a_{\text{экватора}} = \frac{463 \text{ м/с} \times 463 \text{ м/с}}{6\,371\,000 \text{ м}} = 0,034 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение свободного падения g , определяющее наш вес, равно 9,81 м/с², то есть почти в триста раз больше, чем центробежное ускорение на экваторе.

На сколько меньше твой вес в полёте из Южной Америки в Африку, чем в обратном направлении?

Центробежное ускорение на экваторе мы уже вычислили. Оно равно 0,034 м/с².

Оно примерно в триста (а точнее — в двести девяносто) раз меньше, чем ускорение свободного падения. Таким образом, на юге Африки мы на одну трёхсотую легче, чем на Северном полюсе, только потому, что Земля вращается (мы даже ещё капельку легче, потому что у экватора Земля чуть толще, чем между полюсами). Если теперь мы предположим, что скорость самолёта в половину меньше, чем скорость вращения экватора, то есть приблизительно 835 км/час, то можно высчитать, что в полёте с запада на восток ты вешишь на две трёхсотых меньше, чем в противоположном направлении. Если дома ты вешишь 50 кг, то эта разница составит всё-таки чуть больше, чем 330 г.

Галилео Галилей (1564–1642)

Итальянский физик и астроном прославился тем, что открыл закон, по которому шарики и камни, падая на землю, в полёте ускоряются. Также ему принёс известность его конфликт с папой римским. Он опубликовал одну книгу, которую сочли по тем временам еретической. Этой книгой он надеялся доказать

утверждение Коперника, что Земля совершает двойное вращение: за двадцать четыре часа вокруг собственной оси и за год вокруг Солнца. В конце концов ему пришлось отречься от своих утверждений, и его приговорили к пожизненному домашнему аресту. И это ему ещё очень повезло!

Вес и масса

Вставая на самые обычные весы в ванной комнате, ты измеряешь воздействие силы земного притяжения. Это и есть твой вес. Например, весы показывают 50 кг. Но вообще-то всё не совсем так. Ведь эти 50 кг обозначают, по сути, не твой вес, а твою массу, а твоя масса неизменна в любой точке Вселенной, хоть на Луне. Но на Луне твои весы из ванной комнаты показали бы лишь одну шестую, то есть чуть больше, чем 8 кг. На самом деле такие весы показывают не килограммы массы, а что-то другое, а именно — совершенно особую силу притяжения со стороны небесного тела, на котором ты находишься.

Воздействие на тебя силы притяжения любого небесного тела, то есть твой вес на поверхности этого небесного тела, ты можешь вычислить по следующей формуле:

$F = M \times a$ (сила F равна массе M , умноженной на ускорение a).

Для Земли это будет:

Сила тяжести $F = 50 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 500$ ньютонов.

Так в честь Исаака Ньютона обозначается единица измерения силы. Итак, на Земле ты вешишь 500 ньютонов. И вообще-то весы должны показывать именно это. Тогда на Луне они бы показали немного больше, чем 80 ньютонов.

Но так как мы крайне редко взвешиваемся на Луне сами и ничуть не чаще взвешиваем на Луне или на Марсе килограмм картошки или морковки, то на наших весах всё решили оставить в килограммах (или в фунтах, как, например, в Англии). И, в конце концов, съедаем-то мы на самом деле определённое количество атомов в нашем земном килограмме моркови, а не воздействующую на неё силу притяжения Земли.

Световые лучи в лифте Эйнштейна

Когда инопланетные озорники с постоянной скоростью тащат лифт вверх, световой луч нашего лазерного фонарика скользит по противоположной стенке отвесно вниз. Только если шалопаи тянут лифт всё быстрее, то есть ускоряют его, луч пойдёт по искривлённой траектории, что будет обманчиво похоже на искривление, вызываемое воздействием планеты под неподвижно стоящим лифтом. Кроме того, необходимо сделать ещё одно допущение, иначе световой луч не сможет по-настоящему участвовать в нашем эксперименте. Эйнштейн учёл это в самом начале своей специальной теории относительности: в пустом пространстве свет всегда и везде перемещается с одной и той же скоростью в 300 000 км/с.



Астролябия, астрономический измерительный прибор времён Галилея

Значит, он не принимает дополнительно скорость лифта или ещё какого-нибудь объекта. Ведь, в конце концов, можно подумать, что раз фонарик поднимают вместе с лифтом, то и свет на самом деле тоже будет в этом участвовать, то есть подниматься, и никогда и ни за что по противоположной стенке не опустится. Но, как утверждает Эйнштейн, свет-то как раз в этом не участвует. Он остаётся при своих 300 000 км/с (и так ведь уже безумная скорость! Ничего быстрее во всей Вселенной двигаться не может). И поэтому он совсем на чуть-чуть сдвинется вниз, если, конечно, озорники-инопланетяне разовьют достаточную скорость.

Световые лучи и спутниковая навигация

В 1915 году Эйнштейн предсказал в своей теории гравитации, в общей теории относительности, что световые лучи, проходящие очень близко от Солнца, искривляются сильнее, чем те, которые удалены от него на большее расстояние. А ещё он предсказал, что световые лучи, исходящие прямо от Солнца, совсем чуть-чуть изменяют цвет. Вместо слова «цвет» говорят ещё «длина волны», так как именно от длины световой волны зависит, какой цвет ты увидишь. А поскольку радиоволны имеют сходную природу, то с ними происходит то же самое. Солнце действительно посылает и радиоволны. Радиоволны, исходящие от нашей Земли или с треском падающие на неё с искусственных спутников, по Эйнштейну, тоже изменяются, только намного слабее.

Спутниковые радиоволны мы используем, например, когда едем в машине по незнакомому городу, ориентируясь при помощи GPS-навигатора. Мы просто вводим нужный нам адрес, а навигатор уже сверяет по радиоволнам со спутника, где мы сейчас находимся и куда нужно ехать. Спутниковые радиоволны приходят на Землю с высоты в 20 000 км и за счёт разного искривления пространства там, наверху, и здесь, у нас, слегка изменяются. Поэтому их нужно корректировать, иначе они заведут нас не туда. Если их не корректировать, любое измерение через час будет давать погрешность в 500 метров. Эйнштейновская общая теория относительности добралась, таким образом, и до нашей машины.

Кстати, нам нужно принимать во внимание и специальную теорию относительности, которая имеет дело с постоянными скоростями (ведь у спутников-то скорости далеко не маленькие).

Из чего состоит воздух?

В сухом воздухе содержится: 78 % азота, 21 % кислорода, 0,9 % аргона (это инертный газ), 0,03 % углекислого газа, а также следы других газов, таких как водород и озон, и инертных газов: гелия и неона.

Музей

Немецкий музей в Мюнхене входит в пятёрку крупнейших научно-технических музеев мира. Каждый день с 9.00 до 17.00 ты можешь проводить тут сотни экспериментов и воочию увидеть более двадцати тысяч разных инструментов,

станков, машин, поездов и самолётов. Почти все эксперименты, упомянутые в этой книге, ты найдёшь в экспозиции «Физика». Там ты сможешь больше трёхсот раз подавить на всякие кнопки и рычаги, крутить педали, перемещать линзы, двигать магниты, нажимать на кнопки коммутационного аппарата и многое другое.

Исаак Ньютон (1643–1727)

Английский физик. Особенно знаменито его предположение о том, что в любом теле, камень это или планета, заключена сила: сила тяжести, или гравитация. Поэтому все тела притягивают друг друга.

Открытый Ньютоном закон всемирного тяготения

Все тела взаимодействуют друг с другом с силой F , прямо пропорциональной произведению масс этих тел M и обратно пропорциональной квадрату расстояния R между ними,

$$\text{или } F = G \times \frac{M_1 \times M_2}{R^2}.$$

Если задать массы в килограммах, а расстояние в метрах, получишь силу в ньютонах. Так как гравитационная постоянная G очень мала (6,67 нужно разделить на 100 миллиардов), гравитационное взаимодействие столь незначительно, что если двух человек весом, скажем, по 100 кг каждый разделяет один метр, они не ощущают, что тоже притягивают друг друга. Мы это легко рассчитаем:

$$F = G \times \frac{100 \times 100}{1 \times 1} = \frac{6,7}{10 \text{ миллионов}} \text{ ньютонов.}$$

Сила эта супермала.

Но если хотя бы одна из масс огромна, как, например, у Земли или Луны (см. пункт «Земля и Луна»), всё выглядит по-другому. Тогда для человека весом в 100 кг на поверхности Земли получается:

$$F = G \times \frac{100 \times 6 \times 10^{24} \text{ кг}}{(6\,371\,000 \text{ м})^2} \approx 1000 \text{ ньютонов.}$$

Мы уже высчитали это более простым способом (см. пункт «Вес и масса»). Ведь сила земного притяжения — это и есть в точности его вес. Это означает:

Сила тяжести = масса $\times$ ускорение свободного падения = $100 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 1000 \text{ ньютонов.}$

Если ты находишься не на Земле, а на поверхности какого-нибудь другого небесного тела, например Луны или другой планеты, закон будет действовать и там:

Сила тяжести на поверхности любого небесного тела = масса $\times$ на ускорение этого тела, или (если мы выбираем Луну)

$$F = M \times a_{\text{Луны}}.$$

Но также будет действовать и уже известный нам закон всемирного тяготения:

$$F = G \times \frac{M_1 \times M_2}{R^2}.$$

Обозначив твою массу как M_1 , мы можем записать:

$$M_1 \times a_{\text{Луны}} = G \times \frac{M_1 \times M_{\text{Луны}}}{R^2}.$$

Твоя масса M_1 сокращается (именно поэтому все тела падают с одинаковым ускорением, их масса при этом никакой роли не играет), и остаётся только масса Луны — $M_{\text{Луны}}$:

$$a_{\text{Луны}} = G \times \frac{M_{\text{Луны}}}{R^2}.$$

Масса Луны — 74 (с двадцать одним нулём) кг, радиус — 1 738 000 м. Таким образом, ускорение свободного падения Луны:

$$a_{\text{Луны}} = \frac{6,7}{10^{11}} \times \frac{74 \times 10^{21}}{(1\,738\,000)^2} \text{ м/с}^2.$$

Чтобы сократить большое количество нулей — иначе твой калькулятор объявит забастовку, — мы немного перестроим уравнение:

$$a_{\text{Луны}} = \frac{6,7 \times 74 \times 10^{21}}{10^{11} \times 17,38^2 \times 10^{10}} \text{ м/с}^2.$$

В числителе и знаменателе у нас получается одинаковое количество нулей, значит, мы можем их сократить. Для твоего вздохнувшего с облегчением калькулятора остаётся:

$$a_{\text{Луны}} = \frac{6,7 \times 74}{17,38^2} \approx 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Теперь ты знаешь, например, насколько выше сможешь прыгнуть на Луне. 1,6 м/с² — это примерно в шесть раз меньше, чем ускорение свободного падения на Земле (9,81 м/с²).

Значит, ты на Луне в шесть раз легче, чем на Земле, и сможешь прыгнуть, скажем, не на полтора метра, как на Земле, а в шесть раз выше. На целых 9 метров!

Марс примерно в одиннадцать раз легче Земли и в половину меньше. Получается, что ускорение свободного падения на Марсе равно $2 \times 2/11$ Земли, то есть чуть больше, чем 3,6 м/с².

Итак, на Марсе ты сможешь прыгнуть в высоту или длину почти в три раза больше, чем на Земле.

Гравитация = Ускорение

Эйнштейн вспоминал о том, как к нему пришла эта гениальная идея:

«Самая счастливая мысль в моей жизни пришла мне в голову в 1907 году. Я сидел на своём стуле в бюро патентов в Берне, и вдруг меня осенило: в свободном падении человек не будет ощущать собственного веса. Я был ошеломлён. Этот мысленный эксперимент произвёл на меня глубокое впечатление. Он привёл меня к моей теории гравитации».

Примерно так вспоминал Эйнштейн об этой замечательной идее через несколько лет после того, как выстроил свою знаменитую общую теорию относительности.

Писал он и о том, как с ускорением поднимали ящики, в которых сидели физики. Инопланетных шалопаев он не упоминал, их я придумал сам.

Живи Эйнштейн в наши дни, он наверняка получил бы большое удовольствие от башни свободного падения в парке аттракционов.

Лифт и фантастический туннель: почему мы ничего не ощущаем?

Как только мы в нашем лифте упадём в туннель, произойдёт то же самое, что и на башне свободного падения в парке аттракционов. Наша инерция, которая сопротивляется ускорению, компенсирует действие ускорения свободного падения, которое тянет нас вниз. Это произойдёт и с рюкзаком, который, возможно, будет у нас за плечами, и с камешком в кармане брюк. По-видимому, всё окажется в невесомости. В центре земного шара уже не будет никакого ускорения, и земного притяжения тоже не будет, там мы в любом случае будем в невесомости. Сразу за центром Земля снова будет пытаться нас вернуть, но мы развили такую скорость, что благодаря инерции сможем сопротивляться этой тяге. Все воздействующие на нас силы компенсируют друг друга, мы ничего не ощущаем. А что произойдёт, когда в конце туннеля в Новой Зеландии мы повернём обратно? Должны же мы там что-то почувствовать! Не будет ли какого-нибудь рывка? Нет! Мы будем двигаться всё медленнее и медленнее. В самом конце туннеля мы на секунду остановимся, только на секунду, и, поначалу так же медленно, нас снова начнёт затягивать в туннель. Мы ничего этого не заметим, если у нас не будет окошек и мы не сможем выглянуть наружу. Постой, но то же самое будет происходить только в одном туннеле — между Северным и Южным полюсами. Подробнее об этом в пункте «Почему в полёте по фантастическому туннелю ты наталкиваешься на стены?»

Почему в полёте по фантастическому туннелю ты наталкиваешься на стены?

Если мы пробурируем наш туннель сквозь земной шар, например, у экватора, к твоей безумными темпами растущей скорости падения прибавится ещё скорость вращения самого экватора, то есть приблизительно 1670 км/ч. На первых метрах ты ничего не заметишь, ведь в туннеле вся Земля вращается вместе с тобой. Но чем глубже ты проникаешь в туннель, тем меньше там скорость вращения Земли. Если, допустим, ты пролетел уже три километра, окружность внутреннего пространства составит там приблизительно 40 068 км, а не 40 077, как на экваторе (это абсолютно точное значение). Значит, скорость вращения во внутреннем пространстве составит 40 068, делённые на 24 часа, то есть 1669,5 км/ч. Но сам ты сохранил скорость экватора — без малого 1670 км/ч. Эта разница будет в туннеле относить тебя в сторону и на достаточно большой скорости шлёпать

о стены. Во всяком случае, через несколько километров ты будешь уже довольно побитым (в самом прямом смысле слова). Этот вид псевдосилы, заставляющий тебя биться о стены, называется силой Кориолиса.

Но есть туннель сквозь Землю, в котором такого не произойдёт. Что же это за туннель? Если ты провалишься в прямой туннель от Северного полюса к Южному или наоборот, то будешь лететь очень элегантно, не наскакывая на стены. Дело в том, что на полюсах ты вместе с соответствующим полюсом обворачиваешься только один раз в сутки вокруг себя самого.

Какую скорость ты разовьёшь в полёте через фантастический туннель к Новой Зеландии?

Чем ближе ты будешь к центру земного шара, тем меньше будет ускорение свободного падения g . А в самом центре оно вообще нулевое. Но обобщённо можно сказать, что ту же высокую предельную скорость, которую ты набираешь ближе к центру, ты разовьёшь и постоянно мчась по нашему туннелю с ускорением, равным половине ускорения свободного падения. Для этого случая есть другая формула Галилея:

Скорость v $\times$ скорость $v = 2 \times$ ускорение свободного падения $g \times$ путь s :

$$v^2 = 2 \times g \times h.$$

Теперь мы подставим в эту формулу только половину значения ускорения свободного падения, а в качестве пути — радиус Земли в метрах. Тогда мы получим:

$$v^2 = 9,81 \times 6\,371\,000 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

Мы ищем значение скорости, которое, помноженное само на себя, даст $9,81 \times 6\,371\,000 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

Это действие называется извлечением квадратного корня и записывается вот так:

$$\text{Скорость } v = \sqrt{(9,81 \times 6\,371\,000 \text{ м/с})}.$$

Твой калькулятор, если ты нажмёшь на клавишу квадратного корня $\sqrt{}$, сообщит, что скорость составляет ровно 7900 м/с. Это 28 500 км/ч.

Кстати, эта скорость совершенно исключительная. Если бы мы могли установить на поверхности Земли пушку или стартовую площадку для запуска ракет строго горизонтально и выпустить снаряд или ракету со скоростью 28 500 км/ч, они всё время летели бы, не меняя скорости, по круговой орбите вблизи поверхности Земли. Разумеется, если бы не было трения о воздух и гор, в которые можно врезаться. Так что это ещё одна идея из области фантазий. Скорость, при которой снаряд может облететь весь земной шар, называют первой космической. При меньшей скорости он (даже без воздуха и гор на пути) когда-нибудь протаранил бы Землю или шлёпнулся в океан. Если есть первая космическая скорость, то должна быть, по меньшей мере, и вторая. И она есть. Вторая космическая скорость составляет 40 300 км/ч. Только при такой скорости наш снаряд или ракета навсегда оторвались бы от Земли.

А как обстоит дело со спутником Земли Луной? По одной из теорий её возникновения часть её откололась от Земли в результате мощного столкновения в космосе. Если это так, то скорость при отделении должна была быть больше, чем первая, но меньше, чем вторая космическая.

Сколько времени займёт твой полёт в Новую Зеландию по фантастическому туннелю?

А почему, собственно, твоя максимальная скорость в фантастическом туннеле должна быть первой космической, как, например, у спутника, который прямо над нашими головами кружится вокруг Земли?

Ведь твоё падение сквозь Землю похоже на банджи-аттракцион, только без каната. Ты летаешь от Испании до Новой Зеландии и назад, и снова в Новую Зеландию, и так без конца.

А теперь привяжи к карманному фонарику верёвку и покружи его в тёмной комнате. Подружке, которая (что очень важно!) наблюдает за этим со стороны, будет казаться, что это световой зайчик прыгает вниз-вверх, словно его дёргают за резинку.

А точно в центре этого кажущегося колебания, и только там, твоя подружка воспринимает скорость световой точки именно такой, с какой твой фонарик на самом деле кружится вокруг тебя. Раскачивание вверх-вниз, которое она видит, и кружение тобой фонарика — это явно одно и то же движение. Разница только в том, откуда за ним наблюдаешь. Физики называют это гармоническим колебанием, или — по-латыни — гармоническим осциллятором. Когда я трогаю гитарную струну, она точно так же колеблется из стороны в сторону. Это колебание мы ощущаем как звук. Колебания маятника в часах или подпрыгивающий на пружинных весах грузик — такой же осциллятор. То есть все эти движения можно объяснить как движение по кругу. Всё движется точно так же, как световая точка от фонарика, который ты вращаешь по кругу, а подружка только наблюдает со стороны.

Поэтому в центре земного шара — и только там — у тебя такая же скорость, словно ты вместе со спутником мчишься по кругу вплотную к поверхности Земли.

А теперь мы запросто можем вычислить время, которое тебе потребуется для путешествия по фантастическому туннелю. Спутник пролетает половину земного шара (от места старта ровно до точки на другой стороне Земли) за то же время, за которое ты пролетаешь весь земной шар насквозь, если наши теории и эксперимент с фонариком верны.

Скорость спутника v равна пути s , делённому на время t , или

$$v = \frac{s}{t}.$$

Эту формулу мы можем использовать только в тех случаях, когда скорость всё время остаётся постоянной.

Отсюда следует:

Время t равно расстоянию s вокруг половины земного шара, делённому на скорость спутника v :

$$t = \frac{1/2 \times 40\,000}{28\,500} \text{ ч} = 0,7 \text{ ч, или } 42 \text{ мин.}$$

Кстати: в твоём воображаемом спутнике, который мчится по кругу вплотную к Земле, ты тоже будешь в невесомости, как и вообще на любом спутнике и в нашем фантастическом туннеле тоже, по крайней мере, в туннеле от полюса к полюсу.

И ещё кое-что потрясающее: если мы нафантазируем себе маятник длиной в радиус Земли, то есть больше, чем 6300 км, то он будет продолжать колебаться из стороны в сторону ровно 42 минуты, даже если мы качнём его только, скажем, на ширину ладони.

А почему время в туннеле из Испании в Бразилию или из Германии в Норвегию остаётся таким же, хотя эти туннели короче? Первым это тоже рассчитал Галилей.

В музее

В Немецком музее есть даже такой эксперимент, прямо рядом с реконструированным кабинетом Галилея. В три прозрачные трубки разной длины, проходящие вдоль диска, можно забрасывать шарики, чтобы они падали с разной высоты. И каждый раз они падают с одинаковой скоростью. Проще всего это проверить на двух шариках. Забросив одновременно по одному шарiku в пунктах 1 и 2, слышишь стук от падения в пунктах 3 и 4 в одно и то же время. То же самое происходит, когда забрасываешь шарики в пунктах 3 и 1. При вертикальном падении ускорение самое большое, а именно равно g , но зато и путь самый длинный. Путь из пункта 3 в пункт 4 самый короткий, зато уклон настолько мал, что шарик получает намного меньшее ускорение.

То же самое происходит и в падении по нашему фантастическому туннелю в Новую Зеландию или Бразилию. Мы же можем представить себе Землю в разрезе как гигантский диск из эксперимента в Немецком музее. А наши туннели мы можем вообразить себе в виде совершенно гладких трубок, по которым, почти не испытывая трения, катятся элегантные поезда.

Почему в физике используются буквы v , t , a , f и другие?

В большинстве своём это начальные буквы терминов на английском: *force* = сила, *acceleration* = ускорение, *velocity* = скорость, *time* = время, *hours* = часы. Однако для буквы s , обозначающей расстояние или путь, это объяснение не подходит.

С какой скоростью должна оборачиваться вращающаяся межпланетная станция, чтобы создать иллюзию твоего веса?

Межпланетной станции диаметром, скажем, 500 м и радиусом, соответственно, 250 м пришлось бы вращаться так быстро, чтобы центробежная сила была

равна твоему весу на Земле. Или, говоря другими словами, центробежное ускорение, выдавливающее тебя вовне, должно по величине равняться ускорению свободного падения. Формула этого центробежного ускорения, выведенная Христианом Гюйгенсом, нам уже знакома:

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Оно должно равняться ускорению свободного падения, следовательно:

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

Запишем это уравнение немного по-другому:

$$v^2 = g \times R$$

$$v^2 = 9,81 \text{ м/с} \times 250 \text{ м.}$$

Значит, чтобы узнать скорость, нам нужно извлечь квадратный корень:

$$v = \sqrt{2500 \text{ м}^2/\text{с}^2} = 50 \text{ м/с} = 180 \text{ км/ч.}$$

Итак, большой обод межпланетной станции должен вращаться со скоростью около 180 км/ч, то есть чуть меньше, чем два оборота в минуту. Тогда ты смог бы разгуливать по станции с таким же весом, как на Земле. К сожалению, пока такое бывает только в фантастических фильмах. В одном из фильмов про Джеймса Бонда жутко богатый злодей построил для себя подобную космическую станцию. Но что касается скорости вращения — авторы фильма всё-таки приврали. Теперь ты это сразу заметишь!

Юрген Тайхман — детский писатель и учёный, профессор физики и естественных наук Университета Гётебурга и Университета Людвига-Максимилиана в Мюнхене. Под его руководством создавались крупнейшие выставки и инсталляции по физике и астрономии в Немецком музее достижений естественных наук и техники.



Опыты, мысленные эксперименты и яркие образные объяснения профессора Юргена Тайхмана помогут вам с лёгкостью разобраться в основных вопросах механики. Отправляйтесь в захватывающее дух путешествие вместе с ним и Альбертом Эйнштейном, чтобы понять, как устроен наш удивительный мир! Помните, воображение не имеет границ, и всё относительно!



«Возможно, вам нужна всего лишь весёлая, увлекательная физика и захватывающие эксперименты, объясняющие, как работает наша Вселенная, и тогда вы сможете совершать настоящие открытия! Мой вердикт: Эйнштейн не смог бы объяснить это лучше».

LOVELYBOOKS.DE

ПИТЕР®

Заказ книг:
тел.: (812) 703-73-74
books@piter.com

WWW.PITER.COM
каталог книг
и интернет-магазин

- vk.com/piterdetstvo
- instagram.com/piterdetstvo
- facebook.com/piterbooks
- youtube.com/ThePiterBooks

ЕАС

ISBN 978-5-00116-044-1



9 785001 160441

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Питер Класс».

Место нахождения и фактический адрес: 194044, Россия, город Санкт-Петербург

Большой Сампсониевский проспект, дом 29, литер А. Тел.: +7812703737

Дата изготовления: 10.2017. Наименование: детская литература.

Срок годности: не ограничен

