

АНДРЕЙ «DRONT» ИЛЬИН

ФИЗИКА
для
«ЧАЙНИКОВ»



Андрей «Dront» Ильин

Физика для «чайников».

Несерьезное пособие

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=28719573

ISBN 9785449020512

Аннотация

«Как уверяют физики, в сказку мы не попали», – примерно так прозвучали для многих первые слова учителя по важному и в то же время непростому школьному предмету. Книга «Физика для „чайников“» способна стать подспорьем для тех, кто не смог разобраться в «пресловутых формулах и вычислениях». Книгу можно использовать как «объяснялку» к любому существующему учебнику. Множество аналогий, приводимых автором, и непринуждённый стиль повествования делают её и запоминающимся литературным произведением!

Содержание

От автора	6
1 / 5: Механика	8
Кинематика	8
Материальная. И точка!	13
Траектория? Перемещение? Не, не слышал	17
И всё-таки: ну зачем нужны все эти упрощения?!	19
А в реальности всё по-другому...	24
Пони бегают по кругу. Ай, то есть, по окружности	30
Хватит уже об этой кинематике	37
Динамика?	40
Сила есть – ума не надо. Если б это было про физику...	53
Упругость. Если вы понимаете, о чём я.	60
Опора реагирует, тело трёт, вес давит	63
Космос! Долой динамику!	70
Статика	74
Шарики и гора посуды, или Хватит уже этой статики	79
Законы сохранения	84
Главное – многообещающе произнести это слово	89

Гидростатика и аэростатика	100
Конец ознакомительного фрагмента.	107

Физика для «чайников» Несерьезное пособие

Андрей "Dront" Ильин

Дизайнер обложки Екатерина Аникина

Иллюстратор Екатерина Аникина

© Андрей "Dront" Ильин, 2023

© Екатерина Аникина, дизайн обложки, 2023

© Екатерина Аникина, иллюстрации, 2023

ISBN 978-5-4490-2051-2

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

От автора

В школьные годы меня очень раздражало то, что учебники по всем предметам пишутся сухим академическим языком. По мне, читать такие учебники, не имея представления о предмете, – адская мука из серии «без пол-литра не разберёшь». Иногда мне даже казалось, что именно по этой причине особо тянущиеся к знаниям ученики (равно как и те, кто школьные знания жёстче всего отторгают) могут быстро начать пить.

Ладно, глупые шутки в сторону. Поскольку школьная и студенческая жизнь у меня остались позади вместе со всеми наивными надеждами на тему «есть ещё такие учебники или неофициальные издания, в которых объясняются все те же вещи, что и в школе, но как можно более простым языком», я решил написать собственный опус на эту тему.

Почему именно физика? Полагаю, потому, что у меня техническое образование, и сей предмет впредссывывали в мою голову тысячами часов и сотнями страниц (я серьёзно), как в школе, так и в университете. Однако, смотря на то, как мучаются другие люди в попытке понять, как, зачем и почему происходят все те природные явления (не побоюсь этого заумного выражения), факты о которых так скрупулезно и точно разъясняются в учебниках (или читаются на лекциях), возникло желание помочь всем страждущим. А поскольку

ку вся техника держится на физике, то волей-неволей приходилось разбираться во всех свалившихся на голову умных изречениях.

А вот дальше нужно написать большими красными буквами:

ВНИМАНИЕ! Это «собрание сочинений» нельзя использовать как учебник!

Книгу вполне можно считать за шпаргалку, «объяснялку», или даже использовать не по назначению (мало ли будет плохое настроение, да ещё вдобавок не поймёте очередную порцию умных мыслей... всякое бывает). Но если будет соблазн прийти на экзамен, держа в зубах только эту книгу, – не надо. Не поймут. Или поймут, но неправильно. Система образования (и – уж тем более – науки) терпеть не может, когда научные вещи объясняют простыми словами. Именно поэтому в конце каждого раздела я буду подсказывать, как можно рассказывать объяснённые вещи более сухим, но и более правильным языком.

1 / 5: Механика

Кинематика

Что это вообще такое, и зачем это нужно?

Раздел школьной механики про движение состоит из трёх основных частей: кинематики, динамики и статики.

Проще всего это объяснить так. Например, ты идёшь по улице, и вдруг на пути появляется яма. Не заметив её, ты падаешь. Говоря умным словом – движешься.

И все эти три раздела смотрят на это движение каждый со своей стороны.

Так вот. Кинематика – это:

Как ты движешься? (Вниз, ускоряясь.) Когда остановишься? (Когда долетишь до дна.) Через какое расстояние остановишься? (Ровнёхонько глубина ямы, ну и углубление, оставленное туловищем, если хорошо упадёшь.)

Динамика – это: почему ты начал двигаться, почему продолжаешь это делать и почему закончил (если закончил). Например: начал потому, что это сила притяжения Земли к тебе такая вредная, и продолжаешь лететь, потому что она по-прежнему действует.

А статика – это что надо делать, чтобы ты оставался в равновесии. То есть когда занёс одну ногу над ямой, надо было успеть сообразить, что делаешь, и убрать её обратно, и в то же время податься туловищем немного назад.



Говоря чуть более умным языком: кинематика как бы отвечает на вопрос «как тело движется?», динамика – «почему тело движется?», а статика – «при каких условиях тело будет в равновесии?».

Кругом умное слово: движение. Оказывается, и это тоже понятие! Причём оно настолько заумное, что означает всего-навсего изменение. Просто изменение, и всё. В широком смысле – то есть в физике вообще. Если брать более узко, то механическое движение – это когда что-то меняет своё положение.

Но есть один подкол. Вспомним детство: едем на машине, автобусе, электричке... это не так важно, – и смотрим в окно. И кажется, будто дома или деревья едут мимо тебя, а ты стоишь на месте. А вот если на тебя посмотрит кот из окна первого этажа дома (мимо которого проезжаешь) – ему будет казаться, что ты движешься.

Короче, суть всей этой маленькой шизофрении – движением можно считать что-то, только если это движется относительно чего-то.

Нет, это ещё не страшная теория относительности Эйнштейна, не надо пугаться. Обзывается сие хозяйство «системой отсчёта». Вот поставил на себе жирную белую точку мелом – всё, теперь считаешь себя точкой с координатами $(0;0;0)$. А тот момент, когда поставил точку – это считаешь, что пошло время (с 0 секунд и до бесконечности... плюс бес-

конечности – для особых умников). Всё, теперь ты – система отсчёта! Относительно тебя, например, крутятся Земля и другие планеты. Ну прямо центр Вселенной!

Вкратце и поумнее: для положения тела необходимо определить систему отсчёта (это «отправная» точка с координатами $(0;0;0)$ и начало отсчёта времени), относительно которой будет считаться всё, что связано с тем, как оно движется. Если относительно данной системы отсчёта тело меняет своё положение, то считаем, что оно двигается.

Материальная. И точка!

Вот не могут физики без упрощений, хоть убей. Что мешает взять, например, самолёт и посчитать, как он летит? Нет, это слишком сложно для умных мозгов местных учёных! Для этого, видите ли, надо считать, как движется чуть ли не каждая точка сего транспортного средства. А из скольких точек состоит самолёт? А пёс его знает. Даже что такое точка, те же умники учёные сказать не могут: это настолько простой термин, что его даже не определить. Поэтому тут в мозгах у них происходит что-то, похожее на деление на ноль в калькуляторе: точек настолько много, что их всех не посчитаешь. А значит, не посчитаешь и весь самолёт! Ну и что тогда делать?

А вот что. Мы встанем далеко-далеко от самолёта – говоря проще, вернёмся с неба на землю. Нет, совсем на землю. А самолёт поднимем ещё выше. Насколько высоко, чтобы он казался точечкой. Во, теперь получилась материальная точка.

Самолёт кажется отсюда настолько малым, что его размерами можно пренебречь: сколько он там метров в длину, и какой у него размах крыльев, уже не интересует. Летит себе одной точкой, и всё: одну эту точку теперь можно посчитать. Материальную точку, выражаясь умным языком. Но главное – не отрываться при этом от земли! Ну и, чтобы

всё совсем было хорошо, надо на земле поставить точку (0;0;0) и включить секундомер. Всё, поехали... то есть полетели. Считать.



Вкратце и поумнее: материальная точка – это модель тела, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи. Для простоты счёта все тела, которые можно рассматривать как материальные точки, рассматриваем именно так.

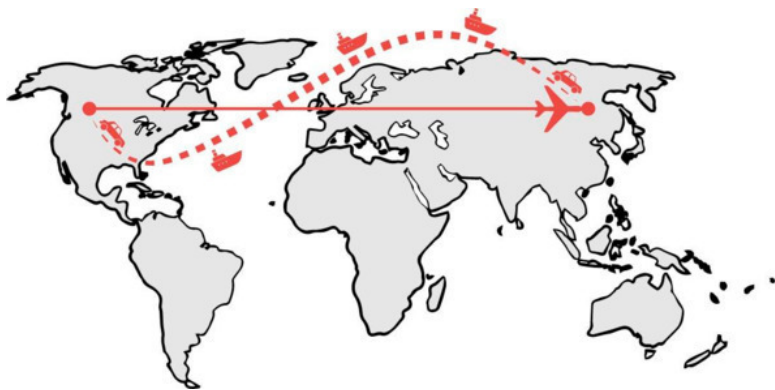
Траектория? Перемещение?

Не, не слышал

Ну хорошо, выбираем самолёт. Посмотрим, как он летит весь свой путь. Вот он разгоняется на взлётно-посадочной полосе в аэропорту, отрывается от земли, взмывает ввысь, летит... Затем снова снижается, тормозит и останавливается уже на месте назначения. Если бы он чертил за собой линию, то получилась бы дуга. (Напоминаю, мы смотрим по-прежнему настолько издали, что самолёт кажется точкой. Будь мы ближе – конечно, это была бы не дуга.) По-умному сия дуга называется траекторией. Если померить её длину, то получим путь. Тот самый, который в начальной школе считается, как скорость, умноженная на время. Но если бы всё было так просто... Помимо пути, есть ещё перемещение. Слово похожее, но значит другое. Перемещение – это если соединить начальную и конечную точки прямой линией. То есть, получается, самый короткий из всех возможных путей: обычный путь может быть изогнут хоть буквой Зю, а этот всегда только отрезок. Но здесь есть ещё один подвох. Перемещение – это ещё и *направленный* отрезок. Зачем такое умное нагромождение? Потому, что физика тесно сплетена с математикой. Мы же не просто так поставили точку (0;0;0) и включили время – теперь в тех координатах, которые мы создали, можно считать всё, что требуют от бедных

нас в тоннах задач. И считать нужно именно по перемещению, а не по пути. В конце концов, нам же выгоднее добраться до места назначения быстрее всего, то бишь кратчайшим путём? А стрелочка ставится затем, чтобы точно знать, откуда и куда держим наш путь... нет, наше перемещение.

Вкратце и поумнее: траектория – воображаемая линия, по которой движется материальная точка. Путь – длина траектории. Перемещение – направленный отрезок (или уж совсем по-умному – вектор), соединяющий точки, соответствующие начальному и конечному положению тела.



И всё-таки: ну зачем нужны все эти упрощения?!

Всё, наконец-то все приготовления закончили. Теперь, собственно, а зачем всё это было нужно. Считается, что полный венец любой решённой задачи механики, когда всё становится хорошо, – это когда мы можем знать:

а) в какой момент наше подопытное туловище где находится;

б) суметь предсказать его движение в дальнейшем,

или в) по нынешнему его движению показать, что было «до того». (Ну прямо как детектив.)

Вроде бы кажется страшно сложным, но строгая математика тут грозит пальцем: для неё ничего сложного здесь нет. Почему? Потому, что можно выделить всего три основных вида движения: равномерное прямолинейное, неравномерное и равномерное движение по окружности.

Равномерное прямолинейное – это как на шоссе. Втопил газу до круиз-контроля на 120 – и езжай хоть целый день, если дорога достаточно длинная. Всё время едешь постоянно 120 км/ч – значит, движешься равномерно. И прямолинейно, если без крутых поворотов. Если 120 вдарить на кольцевой дороге, получится движение по окружности. А если нажать на тормоз и держать педаль в одном положении, пока не остановишься – получится неравномерное движение. Ес-

ли совсем точно – равнозамедленное: тормозишь, едешь всё медленнее и медленнее, причём каждую секунду скорость понижается одинаково.

То есть, по-русски: равномерное – значит, за любой промежуток времени у тебя будет одно и то же перемещение. Если взять ту же машину, то за каждый час это будет 120 километров ровно, за каждую минуту – 20 км, ну и так далее. Неравномерное – это всё, что отличается от равномерного. За один час проехал 119 км, а за второй 120, – всё, если считать строго, это уже неравномерно. Движение по окружности стоит особняком: там перемещение получается всегда меньше, чем любой из путей (особенно если приезжаешь ровно в ту же точку, откуда уехал). Но если скорость по значению остаётся одна и та же, то оно будет равномерным.



Да. Скорость. К счастью, это та же самая скорость, с которой привыкли обычно иметь дело. Только в физике меряют её не в километрах в час, а в метрах в секунду. Это если говорить о её значении, или – по-умному – о модуле. Да-да, тот самый модуль с палочками из математики. К сожалению, он не полностью определяет скорость в физике. А полностью будем определять, если ещё и зададим ей направление. То есть – по-умному – получается вектор. Отрезок со стрелочкой: если знаешь, куда он направлен и сколько у него длина, только тогда всё хорошо. Тогда скорость известна.

А если рядом с нашей едущей машиной проедет другая? Тоже со скоростью 120 километров в час? Тогда получится,

что относительно нас она стоит на месте. Потому что скорости одинаковые. Если будет чуть быстрее (например, 121) – то очень медленно станет двигаться вперёд. Чуть медленнее (ну, скажем, 119) – так же медленно, но назад. То есть скорость нашей машины вычитается из той, второй. 121 минус 120 будет 1 – понятно, медленно ползёт вперёд. А 119 – 120 будет -1 (минус один). Что означает – она по-прежнему едет, но не вперёд, а в противоположную сторону, задом наперёд. Что нам и кажется – она как бы медленно даёт задний ход с той же скоростью 1 км/ч.



Вкратце и поумнее: при равномерном прямолинейном движении тело за один и тот же промежуток времени совершает одинаковые перемещения. Если хотя бы для одного

промежутка времени это не соблюдается, движение не считается равномерным. Скорость при равномерном движении – это перемещение, которое совершили, делить на время, за которое оно было совершено, т.е. тоже вектор, причём постоянный по модулю. Единица измерения – метр в секунду (м/с). При движении двух тел в некоторой системе отсчёта, чтобы посчитать скорость движения второго тела относительно первого, достаточно из скорости второго тела вычесть скорость первого.

А в реальности всё по-другому...

Ну, это всё был идеал. Равномерное движение – это то, чего хотят составители расписания автобусов, поездов метро и прочего транспорта. Которое, как мы видим, толком и не соблюдается (а даже если и соблюдается, то не секунда в секунду, а всё равно с отклонениями). Потому что движение там хоть и прямолинейное, но никак не равномерное. Трудно очень удержать одну и ту же скорость в наше нелёгкое время. Для этого физика предусмотрела более широкий вариант под названием «переменное движение».

При переменном движении тоже есть скорость, только она имеет немного другой характер. Это всё то же «перемещение поделить на время», но есть одно «но». Скорость-то, зараза такая, всё время меняется... если смотреть от того момента, как начал двигаться, до того, как закончил. То есть за большое время. А если посмотреть время поменьше – скорость будет меняться не так резко. Ну и, наконец, если совсем-совсем сузить обзор, то будет казаться, что скорость вообще постоянная (но за очень маленький промежуток времени). Вот за это и можно зацепиться!

Поэтому здесь получается так: очень маленькое перемещение делить на очень маленькое время. Они настолько маленькие, что первое стремится к точке, а второе – к мигу. То бишь, оба стремятся к нулю. В страшной математике (на ко-

тору, увы, физика опирается) такую дробь называют производной. Если совсем по-русски – то это скорость изменения по тому, по чему «производят». То есть получается, что наша многострадальная скорость – это скорость, с которой перемещение меняется во времени. Или, совсем по-простому, – как с течением времени меняется то самое разное расстояние, которое мы проезжаем на нашей машине.

И всё бы хорошо, да не помогает это избавиться от основной головной боли: скорость-то эта всё равно меняется всё время! И считать её получается совсем невыгодно: чтобы точно знать, как что движется, придётся считать эту скорость чёрт-те сколько раз. (Сколько? Ну, попробуйте посчитать, сколько бесконечно маленьких промежутков времени, например, в одной секунде.) Поэтому придумали ещё одну фишку.

Называется она ускорением. Это как бы вторая производная – оно показывает, как меняется скорость. Если смотреть так же: при очень маленьком времени это будет изменение нашей «типа постоянной» скорости (тоже может быть близким к нулю, хотя по факту точно не ноль) делить на наше очень маленькое время. То есть получается, что ускорение – скорость изменения скорости. Также получается всё тот же несчастный вектор (из-за того, что скорость векторная, а время – число, на которое вектору по барабану, умножат его или разделят). А в чём мерят ускорение, можно даже догадаться. Если скорость (метр в секунду) разделить на вре-

мя (секунду), получится метр на секунду в квадрате. Звучит странно, но именно в таких единицах и меряют. Хорошо ещё, что не обзывают никак дополнительно. А то в физике местами есть такие загоны – все величины называть именами кого-нибудь. (К счастью, в механике это ещё не так заметно.)

Ладно, отвлеклись. Зачем вообще нужны все эти заумные скорости, ускорения, скорости изменения скорости и ещё чёрт знает чего... А вот зачем. Переменное движение, вообще говоря, может быть либо ускоренным, либо замедленным. Когда едем на той же машине, мы либо потихоньку ускоряемся, либо потихоньку тормозим. И в большинстве случаев это движение бывает равноускоренным или равнозамедленным. Это означает, что *ускорение при нём постоянно!*



То есть, если посчитать ускорение, то можно размотать клубок в обратном направлении: посчитать скорость в тот

момент, который нам нужен, а из неё уже можно получить перемещение за общее время. Больше, как правило, не просят, так что дальше можно расслабиться. Более того, разница между ускоренным и замедленным движением состоит всего лишь в знаке ускорения. Когда ускоряемся – оно положительно (здравый смысл рулит), а когда замедляемся – оно отрицательно. Как это так? Отрицательное ускорение означает, что скорость со временем не увеличивается, а уменьшается. Чтобы узнать, насколько, надо то число, которое стоит после минуса, умножить на то время, за которое тормозим. Например, за две секунды машина равнозамедленно движется с ускорением -4 м/с^2 . Это значит, что за каждые 2 секунды скорость машины снижается на $2 \cdot 4 = 8$ метров в секунду. То есть ехала сначала 30 метров в секунду, через 2 секунды – 22 м/с, ещё через 2 – 14, ещё через 2 – 6, а до следующих двух дойти не успеем – она остановится.

Расстояние тут посчитать посложнее, но всё-таки возможно. Если посчитать, а сколько она метров проехала за эти 6 секунд, получится следующее. Надо умножить начальную скорость на общее время и сложить с этим следующее: ускорение, умноженное на квадрат общего времени, и всё это делённое пополам. Не спрашивайте, почему именно пополам – тут по-простому, без математики, к сожалению, не объяснишь. (А вот почему именно квадрат времени, могу кинуть подсказку: нам надо «метры, делённые на секунду в квадрате» умножить на что-то, чтобы получить метры. Логично,

хотя и непривычно, предположить, что это должны быть секунды в квадрате. Это одна из фишек всех формул физики: смотри, чтобы размерность того, что считаешь, сошлась! Потом это ещё увидим.)

В общем, получается такая штука:

$$30.6 = 180 \text{ метров.}$$

К этому надо ещё прибавить ту страшную дробь, а она получится так:

$-4.6^2/2 = -2.36 = -72$ метра. Именно с минусом, потому что ускорение отрицательное: не забываем, что мы тормозим!

И в итоге получим $180 + (-72) = 108$ метров.

То есть, получается, если ты шпаришь на машине со скоростью 30 м/с (это 108 км/ч) и будешь плавно тормозить по 8 м/с (это почти 29 км/ч) в секунду, то значительно замедлишься только почти через 100 метров, а остановишься ещё дальше. (Для любознательных – вредное домашнее задание: посчитать, в какой момент времени наша машина остановится.)

Вкратце и поумнее: скорость переменного движения – это отношение перемещения тела к промежутку времени, за которое оно было совершено, при условии, что промежуток времени бесконечно мал (стремится к нулю). Ускорение – это скорость изменения скорости: отношение изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло – опять-таки, при условии, что промежуток

времени бесконечно мал (иначе говоря – стремится к нулю). Это также векторная величина, в общем случае может меняться. Единица измерения – метр на секунду в квадрате (м/с^2). Частные случаи переменного движения – равноускоренное и равнозамедленное движение, по характеру отличаются лишь знаком ускорения, по модулю же оно будет постоянно в обоих случаях. Подсчёт скорости (v) при равноускоренном или равнозамедленном движении такой: $v = v_0 + a \cdot t$, где v_0 – начальная скорость (с которой двигались в начальный момент времени $t = 0$), a – ускорение, t – время. Перемещение считается следующим образом: $s = v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$.

Пони бегают по кругу. Ай, то есть, по окружности

Это всё было прямолинейное движение. То есть: когда беззаботно летим по шоссе, траектория наша является прямой линией, и всё хорошо. Но вот теперь мы въехали в город и едем по круглой площади. Это уже криволинейное движение – траектория не прямая. Если начать умничать, то перемещение здесь получится меньше пути, скорость будет менять своё направление и, более того, направления скорости и ускорения не будут совпадать. То есть если тут что-то надо будет считать – ребята, тушите свет. Если в общем случае...

Но здесь, опять-таки, есть случаи частные. Самый распространённый здесь – равномерное движение по окружности. При нём траектория – окружность, а скорость по модулю не меняется. Всего два уточнения, но от них становится легче. Почему?

Потому, что при этом гораздо проще посчитать путь (это просто длина окружности). Раз. Второе – гораздо проще посмотреть, куда направлено ускорение. Тут оно называется заумным словом «центростремительное» – типа, когда едешь по кругу, невольно стремишься к центру. Как следует из названия, его «стрелочка» направлена к центру окружности. Скорость же при этом направлена по касательной к окружности (едешь-то как будто прямо). Получается, что центро-

стремительное ускорение всегда перпендикулярно скорости. Повёрнуто под 90 градусов по отношению к ней, то бишь.

То есть, по-русски. Когда ты едешь по кругу, то получается, что как будто всё время стремишься к центру: каждый момент поворачиваешь на какой-то маленький уголок, и эти повороты заставляют тебя ехать дальше не «абсолютно прямо», а «чуть криво», чтобы постоянно держать одно и то же расстояние от центра. Тогда, собственно, и получается окружность. Это самое центростремительное ускорение и показывает, насколько сильно меняется направление твоего движения (по-умному – направление вектора скорости).



А считается оно как квадрат скорости, делённый на радиус окружности. Опять бредовая формула? А это потому, что скорость берём линейную (метры в секунду). Если же мысленно смотреть из центра и крутить головой, смотря на едущую по кругу машину, то за какое-то время голова повернётся на какой-то угол. Скорость, с которой она повернётся, будет угловой (радианы в секунду). Вот если через такую скорость считать, то будет... квадрат угловой скорости, умноженный на радиус. Опять не угодил?! Почему квадрат? Да пёс его знает, если честно. Одно из лучших оправданий фи-

зиков при вопросах «Почему формула такая бредовая?!» – размерность. Если посчитать размерность по формуле, и она получится равной размерности того, что хотим получить, то в 75% случаев формула правильная. (Число 75% беру с потолка. Кто уже точно рассчитал, что на самом деле не 75, а 76%, – смело кидайте тухлые помидоры.)

Смеха ради проверим это предположение про размерность. Если для формулы ускорения взять обычную скорость, то получится: метры в квадрате, делённые на секунду в квадрате, делить на метры. Итого получится – метр на секунду в квадрате – размерность ускорения. Не придерёшься. Если брать угловую, то тут похитрее: радианы в подсчёте размерности считаются безразмерными. (Это одна из причин, почему радианы стали использовать как единицу измерения. Не просто так же брать какую-то непонятную цифирь в 57.3 градуса с потолка.) Поэтому здесь выходит так: метры умножить на обратную секунду в квадрате ($1/c^2$). То есть – опять m/c^2 .

Достаточно всех этих прибабасов для того, чтобы посчитать, как же наше несчастное тело движется по окружности? Ну, хоть в той же машине? Почти. Остаётся последнее «но». В какое-то время мы проедем один круг и вернёмся в точности в то же положение, с которого начинали. Через такое же время (так как движение равномерное, то оно будет точно таким же) – опять вернёмся, и так до бесконечности. При таком раскладе путь считать становится накладным (мо-

жет кто-нибудь навскидку сказать, как посчитать длину кус-ка окружности?), а перемещение и вовсе теряет смысл. Что-бы внести ясность, через какое время мы будем в какой точке, придумали ещё одну величину: период. Это минимальное время, за которое мы вернёмся в первоначальное положение (которое было тогда, когда запустили тот самый во-ображаемый секундомер, и время побежало прочь от нуля). Измеряется в секундах, как обычное время. Но на случай, если период очень маленький, придумали вторую, родствен-ную ему, штуку: частоту. Это число оборотов в единицу вре-мени (читай: секунду). Соответственно, она обратна периоду и измеряется в обратных секундах ($1/c$). В простонародье... э-э, простите, в физике, это обозначается «Гц». По фамилии учёного Генриха Герца. У той же машины есть прибор под названием тахометр – он показывает количество оборотов в минуту или секунду, которые делает вал внутри двигателя. На них обычно пишут циферки от 1 до 10, но с припиской «умножить на тысячу». То есть количество этих оборотов измеряется тысячами! А что будет, если вместо частоты ста-нет период? Некрасивые цифры в виде 0.005 и тому подоб-ные. Как-то проще, когда имеешь дело с тысячами, а не с ты-сячными.



Вкратце и поумнее: равномерное движение по окружности – это движение тела с постоянной по модулю скоростью, при этом траекторией движения является окружность. Центробежное ускорение показывает, как меняется направление вектора скорости, оно всегда направлено к центру. Может быть посчитано как v^2/R или $\omega^2 \cdot R$ (v – линейная скорость, ω – угловая, R – радиус окружности). Угловая скорость – это отношение угла поворота радиуса, на котором находится наша движущаяся точка, ко времени, за которое произошёл этот поворот. Период обращения – минимальное время, за которое тело вернётся в первоначальное положение. Частота – величина, обратная периоду: количество оборотов, совершаемым телом, в единицу времени (се-

кунду). Частота измеряется в герцах (Гц).

Хватит уже об этой кинематике

Ну и последнее, что можно заметить в кинематике. При этом достаточно лёгкое. К чёрту машину, к чёрту землю. Даёшь самолёт и затяжной прыжок с парашютом! Когда прыгаешь с самолёта и летишь, а парашют ещё не раскрылся, то находишься в свободном падении. Это означает, что ты движешься потому, что на тебя действует только сила собственной тяжести. И с каждой секундой твоя скорость растёт! Как она растёт, посчитали уже давным-давно во многих местах (во всех смыслах этого слова) и пришли к выводу: ускорение, с которым падаешь, всегда практически одно и то же. Оно равно 9.8 м/с^2 – то есть с каждой секундой твоя скорость растёт почти на 10 метров в секунду! Эта штуkenция называется «ускорение свободного падения» и даже обозначается специальной буквой – g .

ПАДАЮ!



ПЕССИМИСТ

ЛЕЧУ!



ОПТИМИСТ

УСКОРЯЮСЬ
НА 30 КМ/Ч
КАЖДУЮ СЕКУНДУ.



РЕАЛИСТ

Забегаая вперёд, почему парашют в таком случае спасает: когда он раскрывается, силе тяжести препятствует сила сопротивления воздуха о парашют. И рассчитывается спасательный купол так, чтобы ты падал с очень маленьким ускорением (ясное дело, уже отличающимся от g), при котором столкновение с итоговой скоростью, с которой шмякнешься о землю, не принесёт тебе повреждений. Но сила сопротивления воздуха тоже зависит от твоей скорости: медленно падаешь – сопротивления почти не будет, быстро падаешь – сопротивление будет хорошим. Именно поэтому парашют надо раскрывать не сразу после прыжка, а через определённое время. Вот такие пироги.

Вкратце и поумнее: свободное падение – это модель, при которой тело падает на поверхность Земли исключительно под действием силы собственной тяжести. Имеет свои ограничения, но для тел большой плотности и падающих со скоростью, меньшей скорости звука, годится. Ускорение свободного падения показывает, насколько меняется скорость при свободном падении. Строго говоря, не всегда постоянно: незначительно меняется на разных широтах и при разных высотах. Но вблизи поверхности Земли в среднем получается 9.8 м/с^2 , обозначается g .

Динамика?

Э-э-э... это вон тот здоровый сабвуфер, только «она»?

Всё, покончили с кинематикой. Часть вторая – динамика. Как можно вспомнить (после всего вороха подробностей выше это трудно, но ещё возможно), она объясняет, *почему* тело движется (а не *как*). Или – если совсем в общем случае – а с чего это вообще скорость тела вдруг меняется. Если тело пьяное, то только одному ему это известно. А если тело физическое, то это вполне можно объяснить очередным количеством математики.

«Лучше бы тебе это яблоко память отшибло, блин»

Без всякой радости представляю: ответственный за всю бодягу дальше товарищ по имени-фамилии Исаак Ньютон. Да, тот самый, которому яблоко на голову упало. Хотя поговаривают, что это могло быть не яблоко, а просто птицы постарались... В любом случае, эффект один. Но о нём попозже.

Ньютон собрал всю динамику в охапку и сказал: чуваки, да здесь всё, в общем-то, объяснимо. Все изменения движения можно описать всего лишь тремя закономерностями. Впоследствии их обозвали его фамилией – законами Ньютона. Если совсем по-простому, то они сводятся к следующе-

му:

- 1) Пока не пнёшь – не полетит.
- 2) Как пнёшь – так и полетит.
- 3) Как пнёшь – так и получишь.

А теперь поподробнее.

- 1) Пока не пнёшь – не полетит.

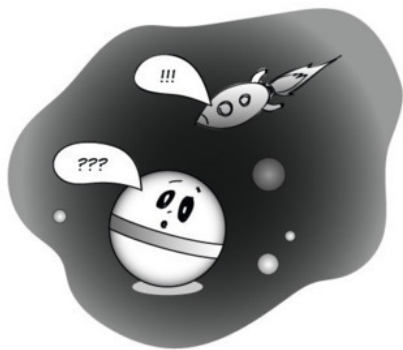
«Не полетит» в простом смысле значит – не будет двигаться. То бишь, пока не подействуешь своим туловищем на тележку, она не сдвинется. Разве что если у тебя очень сильные лёгкие, и ты сумеешь сдуть её с места. Но даже в этом случае она поедет не сама по себе, а потому, что её подхватит потоком воздуха (то есть вместо твоего туловища на неё подействует ветер – движение воздуха). А так, относительно тебя или относительно той же многострадальной Земли она стоит себе тихонько, никого не трогает. То есть, ускорение у тележки равно нулю, поскольку она стоит на месте и никуда не поедет.



И всё бы хорошо, да здесь есть маленький подводный камень. Ньютон, зараза этакая, подумал даже о космосе и обобщил свой закон даже для него. В космосе же на тебя, по-хорошему, ничего не действует! Значит, если там что-то начнёт лететь, оно так и будет так же лететь даже после отключения двигателей, то есть двигаться равномерно и прямолинейно. В таком случае первый закон Ньютона смело предсказывает, что этот космический корабль так и будет лететь себе дальше, никого не трогая, пока его кто-нибудь не тронет. При равномерном движении ускорение равно нулю, потому что скорость постоянная. То есть, опять-таки, без дополнительных пинков в космосе будем двигаться без ускорения. Здесь фразу можно изменить на такую: «пока не пнёшь – не полетит по-другому».

Вот теперь точно полная формулировка. Заумно, да.

Но зато описывает практически всё.



Почему этому несчастному движению без ускорения вдруг так много внимания? Да потому, что мы все наши тела по-прежнему рассматриваем в системе отсчёта! В кинематике она большой роли не играла: мы просто вставали на далёкое расстояние от туловища и запускали секундомер, не заморачиваясь. В динамике системы отсчёта немного важнее. Почему? Потому, что выгоднее всего считать в такой системе, относительно которой тело движется именно без ускорения. Иначе вместо более-менее простецких расчётов и рисуночков придётся фигачить целые ряды уравнений (чего, к счастью, в школе не касаются).

Так вот, такие системы отсчёта, относительно которых наше тело движется без ускорения, называются заумным словом «инерциальные». Почему такое умное слово? Потому что слово «инертность» означает эту самую способность тела сохранять свою скорость постоянной, если на него ничего не действует.

«Стоп, ведь только что же говорили: если на тело ничего не действует, оно будет ехать равномерно!» – скажут самые умные. Так-то оно так, да не совсем. Наш мир неидеален, и даже в космосе на самом деле есть очень-очень маленькое, но отрицательное ускорение. И через какое-то пусть очень-очень большое время, но наш корабль рано или поздно станет лететь медленнее. Просто мы не можем сказать, насколько оно (ускорение) мало, оттого и считаем, что его нет.

Но просто «инертность» – это тупой набор букв, физика такое не оправдывает. Надо, чтоб были цифры. А чтоб были цифры, ввели меру инертности. За этим заумным словосочетанием скрывается не что иное, как самая обыкновенная масса. Чем больше масса, тем меньше будет ускорение, которое получит тело при одном и том же воздействии на него (то бишь тем более инертным будет тело). И наоборот: чем больше масса, тем медленнее тело будет тормозить при одном и том же отрицательном ускорении. Ну и, наконец, самое очевидное: чем больше масса тела, тем оно сильнее притягивается к земле.

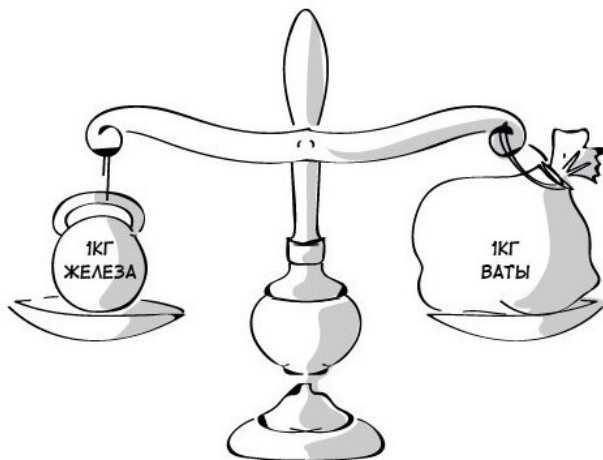
Измеряется масса, как ни странно, не в граммах, а в ки-

лограммах. Тут придется сделать небольшое лирическое отступление. Есть такая система СИ (нет, это не нота, пишется именно большими буквами). Она связывает друг с другом все величины, в которых мы что-то мерим в физике: длину, массу, скорость, время, ну и так далее. И всё бы хорошо, да есть небольшой подвох. Вот у нас есть скорость, скажем, 60 км/ч. Как по ней посчитать, какое расстояние пройдем за секунду? Тупо делить 60 на 1 не прокатит! Потому, что при умножении и делении размерности тоже умножаются и делятся! В нашем случае получится, что мы час поделим на секунду. Грозная математика вот-вот даст по пятой точке за такое хулиганство. Чтобы этого избежать, приходится все подсчитываемые величины переводить в СИ-шные. То есть километры надо перевести в метры, а часы – в секунды. Тогда получится, что 60 надо умножить на тысячу и разделить на 3600. Получится 16. (6) м/с. И вот только после этого уже делим на 1, получая наконец 16. (6) метров.

Так вот, к чему я этот разговор завёл. Логично было бы предположить, что и с массой такая же история: типа, основной единицей массы должен бы быть грамм (без приставки «кило»). Но почему-то повелось, что при всех подсчётах массу обязательно нужно приводить к килограммам. Похоже, это единственная величина в СИ, которая зачем-то притащила с собой ещё и приставку «кило». Такие дела.

А из массы появляется вторая важная черта тела – плотность. Она показывает, насколько большая масса содержит-

ся в объёме. То есть, плотность – это масса делить на объём. Так она и мерится – килограмм на метр кубический. Как в старой задачке – что тяжелее: килограмм ваты или килограмм железа? Правильный ответ – ничего, они оба одинаковы. Потому что и там 1 кг, и там. Хотя воображение пугается: это ж насколько много должно быть ваты, чтоб её набрать целый килограмм?.. Ясен пень, что у железа плотность гораздо больше, чем у ваты, поэтому, чтобы получить килограмм железа, его нужно гораздо меньше по объёму. Плотность железа – 7874 кг/м^3 , то бишь для получения 1 кг его нужно будет $1/7874 = 1.27 \cdot 10^{-4}$ кубических метра, то есть 0.13 кубических дециметров (проще говоря, литров – примерно треть 0.33-л баночки из-под пива). Какая плотность у ваты, сказать сложнее: зависит от материала ваты. У самой плотной, которой я находил, была плотность 225 кг/м^3 . Итого 1 кг такой ваты должен быть в объёме $1/225 = 0.004$ кубических метра, или 4 литра. (А у самой «воздушной» плотность была 25 кг/м^3 . Вредное домашнее задание: посчитать, какой объём должен занимать 1 кг такой ваты.)



2) Как пнёшь – так и полетит.

Здесь всё попроще. Вот мы толкнули тележку, она поехала. С каким-то ускорением. Чтобы посчитать, чему оно равно, надо нашу прилагаемую силу всего лишь разделить на массу тележки. То есть: ускорение – это сила делить на массу. Осталось только понять, нет ли в слове «сила» каких-нибудь подвохов. А то слова простые, да товарищи физики временами таких свиней подкладывают, что диву даёшься, как всё непросто.



На первый взгляд, ничего сложного. Сила характеризует действие на тело. Но определяется она этой самой формулой «масса умножить на ускорение» только в инерциальных системах отсчёта. Почему так? Потому, что если на наше туловище уже действуют какие-то силы, то ускорение (которое получим от нашей считаемой силы) может быть искажено. Если взять, например, машину и систему отсчёта «столб у дороги» – машина едет, не справляется с управлением и врезается в этот столб. Это не инерциальная система отсчёта – машина ехала с каким-то ускорением относительно нашего столба. Когда она стукнулась, то на столб подействовала сила от машины. Но с каким ускорением он полетит сам относительно себя, чёрт ногу сломит считать. Не знаю, до ка-

кого маразма нужно дойти, чтобы считать ускорение столба относительно самого себя, так что эту оговорку (про инерциальную систему) многие спокойно забывают. Но физика здесь намертво сцеплена с математикой, а последняя всегда строго грозит пальцем: так нельзя, это не по понятиям, ахинею насчитаешь.

Ладно, все эти заумные предположения про ускорения оставим теоретикам в бакалаврских (или магистерских?) шапках. Последнее, что хотел сказать о силе, – её единица измерения. И здесь не обошлось без товарища Ньютона – она названа его именем (ну хорошо, фамилией). 1 ньютон (Н) – это сила, которая телу массой в 1 кг даст ускорение 1 м/с^2 . Если совсем наглядно (но для школьной физики формулировка уже будет неправильная): это сила, которую нужно приложить, чтобы удерживать тело массой 100 г на одной высоте. То есть ньютон можно выразить в более простых единицах так: $\text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2$.

3) Как пнёшь – так и получишь.

Самый простой закон из этих трёх. Если машина врежется в столб, то не только машина подействует силой на столб, но и наоборот: столб подействует на машину с такой же силой. Только противоположной по направлению. Собственно, поэтому при сильных столкновениях авто складывается в гармошку именно спереди. И столб, и машина действуют друг на друга с силами, одинаковыми по величине, но на-

правленными противоположно друг другу. По той же причине становится больно при падении с высоты: не только ты своей силой тяжести действуешь ногами на поверхность земли, но и земля отвечает тебе точно такой же любезностью. А именно – ровно с той же силой отвечает твоим ногам. (Больно становится оттого, что подобная механическая нагрузка на организм уже выходит за рамки спокойного существования, и он «сигналист» тебе: эй, ты так можешь сломать то, на что я указываю тебе болью! Аккуратнее, мол!)



Как видно, вся соль динамики – в этих самых силах. То есть: зная, какие силы и от чего действуют на многострадальное подвергнутое подсчётам туловище, можно точно сказать, будет оно двигаться или нет. Только сила – это тоже векторная штука. Более того, одна действующая сила никак не зависит от всех остальных. Поэтому способ считать такой: векторно складывать все силы и смотреть, что из них получится. Да-да, векторное сложение – это когда надо рисовать стрелочки из начала первого отрезка в конец второго. Если в итоге получится ноль (случайно получится так, что в сумме будут два вектора, чётко равные друг другу по длине и так же чётко противоположно направленные) – значит, изменений с телом не будет. Если в итоге такого сложения будет не ноль – то все изменения «пойдут» в ту сторону, в которую получается направлен результат.

Вкратце и поумнее: основные законы динамики – законы Ньютона. Первый: существуют инерциальные системы отсчёта, относительно которых тело движется с нулевым ускорением или покоится, если сумма сил, действующих на него, равна нулю. Второй: ускорение, сообщаемое телу при действии на него силой, прямо пропорционально силе и обратно пропорционально массе. Масса – мера инертности тела, инертность – способность тела сохранять движение с нулевым ускорением (или состояние покоя). Единица измерения массы – килограмм. Плотность – мера распределения мас-

сы в объёме: отношение массы тела к объёму, в котором эта масса сосредоточена. Единица измерения плотности – килограмм на метр кубический. Сила – мера, характеризующая воздействие на тело. Единица измерения – ньютон (Н). $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$. Третий закон Ньютона: тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, равными по модулю и противоположными по направлению. Результат действия всех сил – равнодействующая сил – получается в виде векторного сложения всех сил, действующих на тело.

Сила есть – ума не надо. Если б это было про физику...

Дальше начинается, наверное, самая скучная и нудная часть динамики. Есть несколько основных сил, которые могут действовать на тело. Они все были давно посчитаны и проверены, после чего ими начали грузить на уроках физики в школе для решения очередных тонн задач. Вот эти силы:

- 1) Сила всемирного тяготения. (Эпичное название, однако.) Частный случай – сила тяжести.
- 2) Сила упругости.
- 3) Сила реакции опоры.
- 4) Сила трения.
- 5) Вес. Да, это тоже сила. В физике масса и вес – это не одно и то же.

Теперь поподробнее (и постараюсь как можно более понятно) о каждой.

- 1) Всемирное тяготение.

Эта штука обязана своему появлению всё тому же Ньютону. Он предположил, что все тела в той или иной степени притягиваются друг к другу. И делают это просто потому, что у них есть массы. Чтобы подкрепить это предположение математикой, пришлось копать аж вплоть до космоса, где

планеты и звёзды тоже притягиваются друг к другу. В итоге получилась заумная формула, полученная чисто из наблюдений, без всяких страшных математических выкладок:

$$F = G.m_1.m_2 / R^2.$$

Буквы расшифровываются так: F – сила, G – цифирь под названием «гравитационная постоянная», составляет $6.67.10^{-11}$ Н.м²/кг², m_1 – масса первого тела, m_2 – масса второго тела, R – расстояние между ними. Что? Что означает шесть шестьдесят семь на десять в минус одиннадцатой, и зачем это так написано? А попробуйте это число написать! Получится что-то вроде 0.000000000000667. Поди не сбейся со счёту, сколько там нулей... Вот чтобы каждый раз так их лихорадочно не пересчитывать, стали записывать подобные громоздкие числа в виде «смешанное число умножить на десять в степени». Смешанное число при этом всегда от 1 до 10, а степень десятки приходится считать вручную – это как раз и есть число нулей.

И сразу возникает куча непоняток и вопросов. Почему тогда я прямо сейчас не притягиваюсь мордой лица к экрану монитора? Почему тогда вообще вся аппаратура и мебель в комнате не хочет притягиваться друг к другу в один клубок? Почему еда вместе с ложкой сами не притягиваются к голове и рту? И, наконец, вопрос от умных людей в очках, ставящих оценки учащимся: а можно ли эту формулу применять для тех случаев, что я описал?

Пока не успели закидать тухлыми помидорами и прочими шарообразными предметами, сразу же поясняю. Строго говоря, для тел и туловищ заумных форм этот закон не подходит. Не подходит именно из-за упомянутого возражения умных товарищей: неточность в расстоянии. С другой стороны, здесь на помощь может прийти одно из самых первых понятий: материальная точка. Вот если смотреть на лицо и монитор совсем-совсем издалека, так, что они будут казаться точками, тогда и расстояние между ними будет однозначно определено. И, кстати, для помидоров закон тоже сгодится – они шарообразной формы и равномерно заполнены. В этом случае расстояние между ними – это расстояние между их центрами. (Строгая геометрия позволяет определить центр шара, так что даже с точки зрения математики не докопаться.) Планеты и звёзды тоже с натяжкой можно считать равномерно заполненными шарами, так что и для них основная формула тоже годится.

А как тогда считать, например, расстояние между мордой лица и монитором? Откуда и докуда? Они же тоже размеры имеют, и из-за этого расстояние может быть разным!

Вопрос на засыпку: какое именно из указанных ниже расстояний брать для расчёта?

- а) От кончика носа до экрана
- б) От макушки до шарнира экрана
- в) Откуда-нибудь из центра головы (можно ли посчитать, где он находится?..) до центра экрана (тот же вопрос)?..

Минута на размышление прошла. А теперь, внимание, правильный ответ: ни одно из них не подходит. Да, наша формула бессильна. Увы. (В сторону: ура, хотя бы это считать не надо!)



Хорошо, с расстоянием разобрались. Но вот вопрос, возникающий по здравому смыслу: почему тогда всё подряд друг к другу не липнет? Ответ простой. Сила притяжения есть, только она настолько маленькая, что не ощущается. Для примера: два бильярдных шара для игры в пул. Масса шара – 170 г (0.17 кг). Пускай они стоят совсем вплотную. Диаметр шара составляет 5.175 см, и если шарики сто-

ят впритык, то расстояние между их центрами будет как раз два радиуса, что равно диаметру. $5.175 \text{ см} - \text{это } 5.175 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Получаем:

$0.17 \cdot 0.17 / (5.175 \cdot 10^{-2})^2 = 0.289.267806.25$. Примерно будет равно $7.7396 \cdot 10^4 \text{ кг}^2/\text{м}^2$. Это не в ньютонах! Потому что нужно ещё домножить на G . Немного выше я писал, что она составляет вот сколько: $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$. Итого получается, сила составляет $51.623 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$, то есть примерно $5.2 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$. В минус шестой степени. Это примерно полумиллионная доля!

Чтобы более наглядно: миллиметр в тысячу раз меньше метра. Есть такая единица длины – микрон, она в тысячу раз меньше миллиметра. Получается, что микрон – это и есть миллионная доля метра. Так вот, сила притяжения получится настолько же слабее одного ньютона, насколько половинка микрона меньше метра. Проще говоря, её действие просто незаметно. А если расстояние повесить ещё хотя бы на те же 5 сантиметров, то сила станет ещё в 4 раза слабее! (Расстояние получится примерно 10 см – то есть, оно больше наших бывших 5 в 2 раза. Но оно находится в знаменателе дроби, да ещё и в квадрате. Значит, если шарики отодвинуть, то сила станет меньше (из-за того, что на расстояние делят) – и меньше аж в 4 раза (потому что 2 в квадрате – 4).

Собственно, вся слабость силы на обычных предметах именно из-за этого маленького значения G . Зато если взять

хотя бы одно тело с действительно большой массой, а второе поставить на маленьком расстоянии от его поверхности, то сила уже будет ощутима. Собственно, если это «одно тело» – наша планета Земля, а второе – мы, то это и будет та самая сила тяжести, в сторону которой начал копать Ньютон, когда ему на голову упало это несчастное яблоко. И именно из этой формулы получилось то самое g (маленькое) – ускорение свободного падения. Если подставить массу Земли ($5.9742 \cdot 10^{24}$ кг) и расстояние от центра Земли до центра тела (при маленьких высотах это будет примерно равно радиусу Земли – 6378.1 км, или $6.3781 \cdot 10^6$ м), домножить на G , а вторую массу оставить как букву « m маленькое», то и получится $F = m \cdot g$. (Да, я специально пересчитываю расстояние в метры, а массу – в килограммы. Потому что если подставлять в других единицах, то мало того что посчитаешь неправильно, так ещё и размерность не сойдётся; это будет всё равно что умножить котлету на муху, а потом разделить на кота.)

Автоматически следует и очевидный факт: сила тяжести направлена всегда к центру Земли – в простонародии, вниз.

Забегая далеко-далеко вперёд (практически в самый конец), гравитационное взаимодействие – самое слабое из всех известных взаимодействий в физике. И забегая уже едва ли не за пределы всей физики в целом: в каждом из других взаимодействий есть похожая сила, которая может и притягивать, и отталкивать. А в гравитации мы видим, что есть толь-

ко притяжение. А куда делось отталкивание, есть ли оно вообще, и как его добиться? Этот вопрос остаётся разве что в мыслях учёных да научных фантастов, и называют сие загадочное отталкивание «антигравитацией».

Вкратце и поумнее: сила всемирного тяготения обусловлена взаимным притяжением всех тел друг к другу за счет массы. Сила этого притяжения рассчитывается по формуле $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / R^2$, где F – сила, G – гравитационная постоянная ($6.67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг²), m_1 и m_2 – массы первого и второго тел соответственно, R – расстояние между телами (если их можно рассматривать как материальные точки) или расстояние между их центрами (если тела – равномерно заполненные шары). Для остальных форм тел эта формула не применяется. В случае, если в виде первого тела выступает Земля, а второе тело гораздо меньше по размерам и находится близко к поверхности, формула превращается в $F = m \cdot g$, где g – ускорение свободного падения у поверхности Земли (те самые 9.8 м/с²), и сила называется силой тяжести. Направлена к центру Земли.

Упругость. Если вы понимаете, о чём я.

С силой упругости гораздо проще: не надо представлять себе никакие планеты, чёрные дыры, Вселенные и тому подобные непонятные субстанции. Достаточно взять простую пружину и согнуть её, а потом отпустить. Оба свободных конца заставят руки разжаться. Это и есть сила упругости. Она возникает при деформации тела – проще говоря, при нарушении его естественной формы. Это вносит своеобразный дискомфорт, и тело (пружина) стремится вернуться в первоначальное, «удобное для себя» положение, попутно задевая всё, что находится рядом. Если объяснять, а с чего вообще пружине вдруг распрямляться, – может, ей и так, в согнутом состоянии, хорошо, – придётся забежать немного вперёд, поэтому я к этому вернусь несколько позже (здесь же, в механике).



А пока – простая формула, как эту силу посчитать. Вывел её товарищ по фамилии Гук, отчего решили его именем сие выражение и обозвать.

$F = -k \cdot x$. F – это сила, k – это жёсткость пружины (того, что деформируют), x – изменение размера (на сколько миллиметров, сантиметров и т. д. – по-прежнему пересчитанных в метры! – сжимаем пружину). Ах да, и минус. Он тут вовсе не по ошибке. Если вспомнить, то сила – это векторная вели-

чина. То есть для неё минус означает всего лишь то, что она направлена «в противоположную сторону». Противоположно чему? Тому направлению, в котором идёт деформация. Сжимаешь пружину сверху вниз – а сила идёт снизу вверх. То есть тело как будто сопротивляется сжатию, и чем сильнее сжимаешь, тем сильнее сопротивление.

Самый простой пример, когда используется сила упругости, – простенькие ручные пружинные весы («безмен»). Сила упругости пружины уравнивает силу тяжести груза, а пружина (естественно, с известной жёсткостью, которую заранее посчитали и померили) удлиняется на несколько миллиметров или сантиметров, в зависимости от массы груза. Зная удлинение и жёсткость, мы знаем силу упругости пружины – значит, знаем силу тяжести груза – значит, знаем массу груза.

Вкратце и поумнее: сила упругости обусловлена возвращением тела в исходное состояние после деформации. Рассчитывается по закону Гука: $F = -k \cdot x$, k – жёсткость тела, x – изменение размера деформируемого тела. Минус показывает, что сила упругости действует в направлении, противоположном тому, в котором идёт деформация.

Опора реагирует, тело трёт, вес давит

Где-то уже далеко вверху остался перечень из пяти сил...

Так вот, если вернуться к нему, то пункты 3) и 4) (трения и реакция опоры) а также 4) и 5) (реакция опоры и вес) связаны между собой. Сила реакции опоры и вес – это две силы, которые действуют по третьему закону Ньютона между телом и опорой. А именно: вес – это сила, с которой тело давит на опору (или вертикальный подвес, если висит). А сила реакции опоры – это противоположная (по направлению) весу сила, с которой опора действует на то, что на неё давит. То есть: туловище давит на стул, на котором сидит, а стул в ответ давит вверх, на туловище, не давая тому провалиться ещё ниже.



Отсюда можно сделать простой вывод: если нет никаких специально выдуманных условий, то и вес, и реакция опоры (слово «сила» можно опустить) будут равны $m \cdot g$, только направлены в противоположные стороны. Вес действует на опору и направлен вниз (если задача про тело, а не про опору, то на вес просто забивают), а сила реакции опоры дей-

ствуется на тело и направлена вверх. Разница между силой тяжести и весом в том, что сила тяжести действует на *само тело*, а вес – на *опору*, которая под ним. И это не единственное различие: в то время как сила тяжести всегда равна $m \cdot g$, вес может быть и больше $m \cdot g$ (это называется перегрузкой), и меньше, и даже быть равным нулю (а это уже невесомость). Вообще говоря, вес считается так:

$P = m \cdot (g - a)$. P – это вес, m – масса давящего тела, g – ускорение свободного падения, a – ускорение, с которым движется опора. То есть, если опора неподвижна, то всё хорошо. А вот если она начнёт подниматься или опускаться, вот тогда придётся считать... Самый простой пример – лифт. Если он резко пойдёт вверх, то ускорение будет тоже направлено вверх, то есть противоположно g (которое всегда смотрит вниз). Итого получаем, что минус ускорения на минус в выражении даёт плюс: ускорения надо складывать – получается перегрузка. Если же лифт пойдёт вниз, то ускорение a вычитаем и получаем пониженный вес. Наконец, самый печальный и фантастический случай: если лифт срывается и свободно падает, то ускорение, с которым он падает, равно g . И получается, что несчастный пассажир последние секунды своей жизни проведёт в состоянии невесомости – его вес станет равным нулю. В таком же состоянии будет и свободно падающая пружина с грузиком: если бросить её грузиком вниз, то в падении пружина не будет разжата, а вернётся в «спокойное» состояние, как будто на ней ничего не висит.

Ладно, невесомость оставим научным фантастам. О весе я сказал достаточно, а вот про его вечного противника и союзника – силу реакции опоры – не всё. Эта сила сама по себе мало что значит, но имеет прямое отношение к такой до боли известной вещи, как трение.

Сила трения имеет какое-то сходство с силой реакции опоры. Вообще говоря, трение существует трёх видов. Первое – это когда одно тело скользит по поверхности другого: например, при спуске с горы на санках или при беге на коньках (обычных, которые тоже по льду), оно же трение скольжения. Второе – когда одно тело катится по поверхности другого (любое колесо или шарообразное тело – по земле), оно же трение качения. И третье – трение покоя, когда одно тело (уже неважно, какое именно) находится в таком состоянии, когда оно в принципе может сдвинуться с места, но что-то ему мешает. Это «что-то» и есть трение. То есть, например, если человек стоит на достаточно крутой горке и не двигается, то он не будет падать: мешает сила трения покоя, которая возникает между подошвами ботинок и землёй, не позволяя ногам соскальзывать вниз. Точно так же трение покоя мешает, например, сдвинуть тяжёлый предмет с места: пока сила рук не превысит силу трения покоя шкафа, шкаф не подвинется.



Для всех трений получается одно и то же: сила трения направлена в сторону, противоположную направлению движения (или возможного движения, если это трение покоя), причём направлена вдоль поверхности, по которой тела соприкасаются. В школе, как правило, замораживаются трением скольжения и трением покоя. Считаются они так:

$F = -\mu \cdot N$. Буква μ – это коэффициент трения, он зависит от поверхностей, которые скользят друг по другу. Для льда этот коэффициент всегда меньше, чем для асфальта или грунта, поэтому на льду лучше отталкиваться и хуже тормозить. Минус напоминает, что сила трения направлена против движения: тело снова как будто сопротивляется. Трение качения в школе обычно не считают, оно несколько сложнее остальных. Про него стоит отметить только одно важное наблюдение: трение качения всегда слабее трения скольжения, если брать одни и те же материалы, трущиеся друг о друга. Собственно, поэтому все на колёсах и ездим.

Вкратце и поумнее: вес – это сила, с которой тело давит на опору или подвес. Считается по формуле $P = m \cdot (g - a)$, где P – вес, m – масса давящего тела, g – ускорение свободного падения, a – ускорение, с которым движется опора. При нулевом ускорении вес равен силе тяжести давящего тела, при противоположно направленном a и g возникает перегрузка, при свободном падении опоры с телом ($a = g$) имеем невесомость. Вес действует на опору, а не на тело, поэтому при

решении задач о телах обычно его не рассматривают. Сила реакции опоры действует на тело со стороны опоры и равна минус силе тяжести ($-m \cdot g$). Сила трения – это сила, возникающая в результате перемещения одного тела по поверхности другого. Различают силы трения скольжения, качения и покоя. Трение скольжения и трение покоя считаются как $F = -\mu \cdot N$, где μ (мю) – коэффициент трения, N – сила реакции опоры. Направлена сила трения в сторону, противоположную направлению движения (или возможного движения, если это сила трения покоя).

Космос! Долой динамику!

В общем-то, на этом и приближается к концу вся динамика. Остаётся кусочек, который снова заносит в космос. А именно – космические скорости. Сложно сказать, почему их запихнули в динамику. Может быть потому, что каждая из этих скоростей означает рубеж, при котором преодолеваешь силу чьего-нибудь притяжения. А может быть потому, что космос – это тоже такая инерциальная система отсчёта, где космический корабль бороздит просторы Вселенной в гордом одиночестве, никто ему не мешает, он никуда не поворачивает, не тормозит и так далее.

Так вот, первый «рубеж», при котором такое возможно, – это если вывести корабль на орбиту Земли так, чтобы он стал спутником Земли (то бишь так, чтобы он не летел дальше, а «остановился» где-то недалеко от планеты). В итоге сила притяжения Земли вместе с космической «атмосферой» (которой почти нет – значит, ничего не должно мешать движению) заставят его крутиться вокруг нашей планетки. Соответственно, чтобы какой-то предмет смог так летать вокруг, надо ему дать такую скорость, чтобы он преодолел земное притяжение ровно настолько, чтобы оно же «остановило» его ровнёхонько на орбите планеты. Для особо любопытных: я специально пишу «остановиться» в кавычках: оказавшись на орбите, спутник не останавливается, а продолжает лететь.

Но летит он с постоянной скоростью всё время в одну и ту же сторону – и с одной стороны, не может улететь дальше (мешает ещё действующее притяжение Земли), а с другой стороны, не может упасть (скорость достаточно большая, чтобы ещё преодолевать это притяжение). А главная её фишка в том, что для всех предметов она одинаковая! Более того, её даже можно посчитать, используя всего лишь второй закон Ньютона, немного кинематики и собственные мозги.

Чтобы понять, как можно посчитать первую космическую скорость, достаточно представить, как будет выглядеть весь запуск: со страшной скоростью подопытное туловище стартует с поверхности. В полёте гравитация и воздух тщетно пытаются его затормозить. Наконец, на орбите он должен «остановиться». Ничего не напоминает? Правильно – это будет замедленное движение. Чтобы совсем не заморачиваться на тему подсчётов – равнозамедленное. Расстояние, на которое летит туловище: радиус Земли. Ускорение, противостоящее нам: g . Расстояние, пройденное при торможении, будет равно: $v^2 \cdot t$ (как было в кинематике). А нам отсюда нужна скорость. Итого: это будет корень квадратный из произведения g на радиус Земли. Поскольку и то, и другое – числа известные и постоянные, то и скорость будет для всех одинаковая. Если посчитать, то первая космическая скорость получится примерно 7.9 км/с. Вторая космическая скорость – летим ещё дальше, её хватит на то, чтобы вообще преодолеть притяжение Земли и улететь бороздить просторы Солнеч-

ной системы. Для Земли она составляет 11.2 км/с . Считается она уже из закона, которым наверняка уже прожужжали все уши, – из закона сохранения энергии. (О нём – ближе к концу механики, сейчас пока не грузимся.) Третья космическая скорость позволяет ухнуть ещё дальше – вылететь вообще за пределы Солнечной системы, то есть преодолеть притяжение Солнца. Она может меняться, потому что космический корабль должен будет уворачиваться от вертящихся планет и тому подобных посторонних предметов, пролетающих мимо в космосе. В среднем она составляет где-то около 42 км/с , но вообще может быть от 16.6 до почти 73 км/с . Наконец, есть ещё четвёртая космическая скорость. Она нужна тогда, когда захочется вышибить наш предмет с Земли настолько сильно, чтобы он преодолел притяжение самой нашей галактики Млечный путь. (Если фантазия разыграется до таких вселенских масштабов...) Её подсчёты ведут уже в какие-то заумные дебри современной физики; говорят, что она непостоянна и зависит от положения тела в галактике. Известно только, что в районе Солнечной системы нужно разогнаться аж до 550 км/с , чтобы иметь хоть какую-то надежду на полный улёт. Улёт в настолько открытый космос, что и представить трудно.



Вкратце и поумнее: космические скорости – это скорости, которые нужно сообщить телу для того, чтобы оно:

- 1) стало спутником Земли – это 7.9 км/с;
- 2) преодолело гравитационное притяжение Земли и улетело в пространство Солнечной системы – 11.2 км/с;
- 3) преодолело гравитационное притяжение Солнца и улетело за пределы Солнечной системы – от 16.6 до 73 км/с, средняя считается около 42 км/с;
- 4) преодолело гравитационное притяжение галактики «Млечный путь» и улетело чёрт-те куда – приблизительно 550 км/с в районе Солнечной системы.

Статика

Момент равновесия

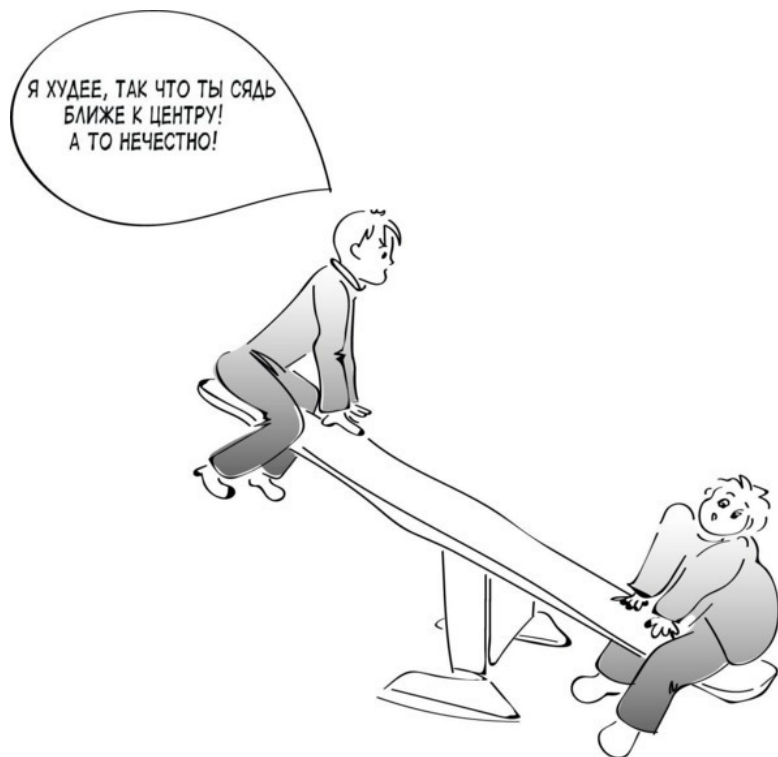
Наконец, последняя часть из трёх основных составляющих, наименее мучительная. Статика. Которая отвечает на вопрос, при каких условиях тело будет в равновесии. Или в состоянии покоя. Увы и ах, но здесь нельзя использовать всё ту же материальную точку, которая спасала в кинематике и динамике. Потому что наше тело, выходя из равновесия, скорее всего, будет описывать дугу – то бишь вращаться. Грубо говоря, если теряешь равновесие и падаешь, то как бы вращаешься вокруг оси, находящейся прямо под ногами – ну, до тех пор, пока земля не помешает. А материальная точка исключает всякое вращение – как она вокруг себя вращаться-то будет? Нет того, около чего вращаться. Поэтому здесь делают так: просто твёрдое тело каких-то размеров (неважно, каких), его деформациями при внешних воздействиях можно пренебречь. Чтобы не получилось, что оно при малейшем дуновении ветерка разваливается на несколько частей или сплющивается в лепёшку – тогда уже считать будет нечего.

Дальше опять следует куча предположений, которые проще всего себе представить так. Вот у нас есть детские качели, на которых садятся два человека – доска на подставке с двумя сидениями на краях. Подставка намертво закреплена –

не отдерёшь, – а к ней прикреплена палка, которая может подниматься-опускаться, как рычаг. Или, по-умному, это получается всё то же вращение. И на сиденьях сидят дети. Ради прикола прикинем, что они идеальные близнецы – полностью одинаковые по массе, силе и т. д. и т. п. Тогда, если всё это перевести в заумные физические понятия, получается так: подставка, она же точка опоры – это ось вращения. Вокруг неё вращается наш «рычаг». Дети – это твёрдые тела. Господа знатоки, внимание, вопрос: так при каких же условиях дети будут находиться в равновесии? За такую формулировку на экзамене по физике могут заколоть заживо. В равновесии должно находиться то, что может вращаться! То есть, в данном случае это наша палка качелей, которая закреплена на подставке. Именно её придётся теревить.

Первое, что идёт прямо из динамики: сумма сил, действующих на тело, должна быть равна нулю. И это действительно так, но это ещё не всё. Здесь есть ещё второе условие, посложнее. Если наших двух одинаковых детей посадить нормально – так, что они будут сидеть каждый на сиденье, – то «палка» действительно будет в равновесии. А если один из них подсядет ближе, качели тут же наклонит в сторону его товарища. Силы-то остались те же! Но поменялись их моменты. Момент силы – это модуль (только значение, без вектора!) силы, умноженный на её плечо (то есть расстояние от оси вращения до линии, по которой действует сила). При этом расстояние выбирается кратчайшее – а как подсказыва-

ет заумная геометрия, в таком случае нужно брать длину отрезка, перпендикулярного линии силы. По-русски (и более наглядно) это значит, что надо просто брать длину той части качели, которая идёт от точки опоры до человека. Она всегда будет одна и та же, хоть ты перевернись.



Маленькое замечание к моментам: поскольку крутить он может в две разные стороны – «вверх» и «вниз» (именно в кавычках, потому что строго говоря – это «по часовой стрелке» и «против часовой стрелки»), – то договорились, что момент, крутящий против часовой стрелки, будет больше нуля, а по часовой – меньше. По-чесноку, не знаю, как это лучше запомнить и не перепутать, если только не знать алгебру на уровне синусов-косинусов. (Там тоже углы на единичной окружности отсчитываются таким же образом: против часовой стрелки идёт увеличение (+), по – уменьшение (-).)

Короче говоря, из всех этих страшных слов следует простая вещь: если у тела есть закреплённая ось вращения, и сумма моментов сил, действующих на это тело, равна нулю, то тело будет в равновесии. На этом правиле основана работа весов: если неизвестную массу измеряемого туловища уравнивают вместе поставленные гирьки, то момент силы тяжести гирек будет равен моменту силы тяжести туловища. Отсюда, поскольку плечи обеих сил равны (а если даже и не равны, то они всё равно известны – хотя так считать было бы гораздо неудобнее), то известны сами силы. А дальше как в ручных весах: сила тяжести гирек равна силе тяжести туловища, откуда при известной массе гирек находим, что масса туловища будет такая же.

Вкратце и поумнее: статика – раздел механики, изучающий условия равновесия взаимодействующих тел (в об-

щем случае). Используется модель твёрдого тела, поскольку при нарушении равновесия оно будет вращаться вокруг некой оси, а материальная точка исключает вращение. Твёрдое тело – модель тела, деформацией которого под действием внешних сил можно пренебречь. Ось вращения – воображаемая прямая, на которой находятся центры всех траекторий точек вращающегося относительно неё твёрдого тела. Плечо силы – расстояние от оси вращения до линии, вдоль которой действует эта сила. Момент силы – произведение модуля силы на её плечо. Единица измерения – ньютон, умноженный на метр. Момент, вращающий тело по часовой стрелке, считается отрицательным, а против часовой стрелки – положительным. Итого условий равновесия твёрдого тела два: тело находится в равновесии, если сумма сил, действующих на это тело, равна нулю, и если сумма моментов сил, действующих на тело относительно произвольно выбранной оси, тоже равна нулю. В том числе отсюда следует правило моментов: тело, имеющее закреплённую ось вращения, будет находиться в равновесии, если сумма моментов сил относительно этой оси будет равна нулю.

Шарики и гора посуды, или Хватит уже этой статики

Кое-как проехали страшную математику статики. Остались только слова. А именно: заумные рассуждения на тему, как лучше держать тело, чтобы оно не упало, и какие вообще могут быть равновесия. Да, у равновесий тоже есть виды, оказывается! Отвлечёмся от качелей и весов, проще всего эти виды равновесия понять так: взять шарик и кинуть его в канаву-кювет U-образной формы. Шарик поболтается туда-сюда, после чего остановится на дне в середине (если смотреть вдоль, по канавке). Попытаешься толкнуть шарик – он снова покатается вправо-влево, но, в конце концов, всё равно вернётся в центр. Это устойчивое равновесие – если вывести шарик из равновесия, он со временем вернётся в него. Считается, что девушки любят парней, находящихся в устойчивом эмоциональном равновесии (то есть если человека «задеть», то он со временем всё равно успокоится и будет, как ни в чём не бывало). Эмоции, конечно, не шарик, расчётам не поддаются. Но суть та же самая – это тоже устойчивое равновесие. Хуже, когда оно неустойчивое: это значит, что невероятными усилиями мы добиваемся равновесия, а потом что-то выводит из него – и всё. Обратно просто так, сам собой, уже не вернёшься. Как таких товарищей называют? Правильно, нытиками. Если не обижать людей и по-

казать на том же шарике – его можно положить, например, на компьютерную мышку (конечно, так, чтоб не двигался). Если его задеть, то он упадёт и, конечно же, обратно не запрыгнет. А вот когда шарик оказался на ровной поверхности стола – он в безразличном равновесии. Тронешь его – он поедет, но потом остановится, как ни в чём не бывало и по-прежнему останется в равновесии. Разница между этими тремя равновесиями – в силе, возникающей при отклонении. Когда равновесие устойчивое, при выведении из него возникает сила, стремящаяся вернуть в положение равновесия (в примере с шариком – сила тяжести). Когда неустойчивое – сила тоже возникает, но она при этом стремится вывести тело из равновесия ещё сильнее (в примере – тоже сила тяжести). Когда безразличное – никакой силы, стремящейся поддержать или подавить равновесие, не возникает. Умники могут возразить: а как же сила трения? Шарик-то трётся о поверхность! На что у меня припрятан туз в рукаве: соль здесь не только в силе, а ещё и в энергии. Об этом – буквально через пару разделов. В двух словах, в чём различие по ней: потенциальная (не пугаться и не смеяться!) энергия тела при выведении из устойчивого равновесия возрастает, при выведении из неустойчивого – уменьшается, а при безразличном – не меняется вообще.

Я БУДУ УСТОЙЧИВ,
ДАЖЕ ЕСЛИ МЕНЯ
ЗАДЕНУТ!



АААА, БОЖЕ,
ТОЛЬКО БЫ
НЕ УПАСТЬ!



ЧЕГО-ТО ВЫ
ТАМ ВСЕ
НА ЭМОЦИЯХ...



Последнее, о чём разговор здесь, – центр тяжести и центр масс. Если всё хорошо, то эти две точки совпадают и находятся в центре тела – например, центр шара (яблока) или центр параллелепипеда (бруска, какого-нибудь простого бытового предмета вроде губки). Но, вообще говоря, эти две вещи различаются.

Центр масс – это точка, которая как бы является представителем всего тела в целом: если всю массу сосредоточить в этой одной точке, то она будет двигаться ровно так же, как движется само тело. То есть, если взять центр масс какого-нибудь тела и запихнуть туда всю массу, то получится как раз материальная точка, над которой уже можно законно проводить все расчёты кинематики и динамики. А центр тяжести – это такая точка, в которой просто суммарный момент всех сил тяжести, которые действуют на все места тела, равен нулю. К движению она особо не относится. Разве что если держать тело, грубо говоря, за его центр тяжести, то оно не будет падать – так официант таскает поднос одной рукой, не роняя его. К счастью, в той же статике эти две точки практически всегда совпадают друг с другом, поэтому обычно говорят просто «центр тяжести» и не парятся. Чтобы они не совпадали, нужно, чтобы рассматриваемый предмет находился в неоднородном гравитационном поле (например, если рассматривать его вместе с планетой) – а такими вещами даже физики-шизики замораживаются достаточно редко.

Вкратце и поумнее: при выведении из устойчивого равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть тело в первоначальное положение (равновесия), потенциальная энергия возрастает. При выведении из неустойчивого равновесия возникает сила, стремящаяся ещё сильнее отклонить тело от первоначального положения, потенциальная энергия падает. При выведении из безразличного равновесия никаких «стремящихся» сил не возникает, потенциальная энергия тела неизменна. Центр масс – точка, характеризующая движение тела или системы тел как единого целого. Центр тяжести – точка, относительно которой суммарный момент сил тяжести, действующих на систему, равен нулю. На практике оба этих центра практически всегда совпадают, исключение составляют случаи, когда тело находится в неоднородном гравитационном поле.

Законы сохранения

А ты импульсный человек?

Три страшных кита механики позади. Теперь выполняю обещание, которое дал в предыдущем разделе. Но не прямо сразу. Чтобы объяснить, что такое энергия, начну издалека. Конечно же, в ушах уже звенит многострадальное словосочетание «закон сохранения энергии». Но сохраняется не только она! А ещё и импульс. Всего лишь две величины, но про них рассказать придётся достаточно подробно. Потому что и одно, и другое – едва ли не самые важные понятия не только в механике, но и в физике вообще.

Значится, импульс. В жизни это что-то вроде рывка. В физике это скорее способность тела или силы делать рывок, причём это я очень условно. Импульс тела – это произведение массы тела на его скорость. Единица измерения – кг. м/с. Грубо говоря, чем массивнее тело и чем быстрее оно движется, тем большее воздействие оно окажет на то, с чем столкнётся. Самый дубовый пример: первый удар в пуле, разбивка пирамиды шаров. Ударом кия по белому шару мы даём шару импульс. Он передаёт его первому шару, с которым столкнётся, тот покатится в какую-то сторону (в какую именно, можно посчитать), передаст свой импульс шарам на своём пути, те – другим. И так далее до тех пор, пока импульсы

не раздадутся всем ударившимся друг о друга шарам, и все не остановятся из-за трения.



В примере выше первый «толчок» пошёл от кия. А кто дал кию импульс? Сила рук игрока, вестимо. У силы тоже есть импульс. Это произведение силы на время, за которое она действует. То есть: можно дать один и тот же импульс, давая слабо, но долго, или сильно, но быстро. В случае удара кием наша сила будет большой, и действовать достаточно

короткое время. Импульс силы мерится в тех же величинах (кг. м/с). Интуитивно так и хочется сказать: значит, импульс силы будет равен тому импульсу, который она передаст телу! Да, оно почти так и есть. В учебниках это доказывается математически – во втором законе Ньютона умножаем обе части уравнения на время. Тогда получаем, что *изменение* импульса тела равно импульсу силы, подействовавшей на это тело. Может, у нас шарик уже двигался, а мы по нему ударили. По здравому смыслу и правилам бильярда это фол, но физики обожают предсказывать едва ли не всё возможное. Если ударить по шарiku в движении чётко «навстречу» ему и ухитриться передать такой же импульс, какой был у него, то шарик должен тут же остановиться.



Ну и, наконец, сам закон сохранения импульса, который тоже можно понять по тому же здравому смыслу. Звучит он так: суммарный импульс системы тел постоянен, если сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю. Оговорку про сумму сил специально сделали: если хоть на одного участника подействует какая-нибудь посторонняя сила, то она внесёт свой импульс – и этим испортит всю малину. Собственно, наглядно это видно на тех же бильярдных шариках: если ударить по шару с нужной силой и под правильным углом, он ударится о второй шар, который (при нужном

расчёте «на глаз») улетит под углом, который можно рассчитать, и со скоростью, которую можно рассчитать, точно в лузу. Собственно, искусство хорошей игры в бильярд заключается в том числе в том, чтобы прикидывать в голове такую возможность и правильно её использовать.

Последнее, что хотел сказать про импульс. Шарики – это, конечно, круто, но если бы он использовался только в бильярдных расчётах, физики бы быстро махнули на него рукой. А так – импульсы есть чуть ли не у всего, что движется. Начиная от тех же тел живых и неживых и заканчивая какими-то трудно представляемыми мелкими частичками типа электронов, фотонов и тому подобных «он» -ов.

Вкратце и поумнее: импульс тела – величина, равная произведению скорости тела на его массу. Это векторная величина, размерность – кг. м/с. Импульс силы – это произведение силы на время, за которое она действует. Измеряется так же, тоже вектор. Если сформулировать второй закон Ньютона с точки зрения импульса, то он будет гласить: изменение импульса тела равно импульсу силы, подействовавшей на это тело. Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы тел (сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю) постоянен.

Главное – многообещающе произнести это слово

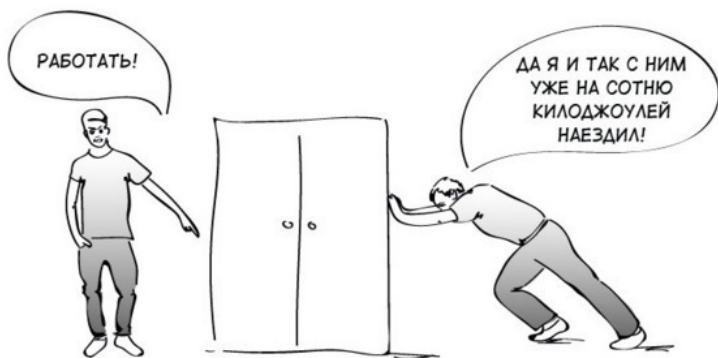
Наконец потихоньку подбираемся к этой непонятной энергии (которую тоже чёрт-те как представишь). Объяснить это замысловатое словечко можно так. Если какое-то тело (или группа тел) может (могут) совершить работу, то говорят, что оно (они) обладает (обладают) энергией. Слово «работа» здесь не просто так. Это в жизни что-то абстрактное, что не волк и в лес не убежит. А в физике это число. Да, работу можно посчитать. Звучит странно, но оно так и есть. Вообще говоря, у работ существует целая куча разновидностей. Но поскольку мы всё ещё в механике, то не буду грузить уймной умных слов, а расскажу только про механическую работу. Тем более, в школьной физике других работ, тьфу-тьфу, на контрольных и прочих работах по механике не дают.

Всё, заканчиваю свои глупые шутки. Механическая работа считается способом, который в математике называется «скалярное произведение векторов». Надо как бы перемножить два вектора, впихнув в произведение косинус угла между ними. Почему такая страшная форма формулы – это спрашивайте у математиков, это они притащили такой способ вычисления. Но, к сожалению, считать придётся именно так, и это будет правильно. Два вектора, которые мы как бы перемножаем, – это вектора силы и перемещения. Понят-

ное дело, стрелочку на стрелочку не умножишь, поэтому считаем «модуль силы умножить на модуль перемещения». А угол идёт типа как компенсация за стрелочки. Потому, что если сила направлена против перемещения, то работа будет отрицательной: угол между силой и перемещением будет 180 градусов, его косинус – -1. Если сила направлена в ту же сторону, что и перемещение, – угол 0, косинус его +1. Если же сила направлена перпендикулярно перемещению, то получается, что она вообще от работы нагло отлынивает: косинус 90 градусов – это ноль, и все модули обращаются в баранку. У остальных углов надо смотреть косинусы и не забывать про знак «минус», если угол получится тупым (от 90 до 180 градусов).

Если посчитать единицу измерения работы, получится Н. м. Но, видимо, так писать не понтово, поэтому решили эту вещь обозвать фамилией ещё одного учёного – Джоуля – и писать Дж. Итого: 1 Дж – это работа, которую совершает сила в 1 ньютон при перемещении тела на 1 метр, при условии, что сила сонаправлена с вектором перемещения. Кошмар, какая мутная формулировка. Попробую по-русски: берёшь 100-граммовую гирьку, прицепляешь к ней безмен (ручные весы). И поднимаешь этот снаряд при помощи весов так, чтобы он отодвинулся ровно на 1 метр от пола, а указатель весов держался на отметке 0.1 кг (что будет соответствовать твоей силе в 1 Н). Как только поднимешь до конца, ты совершишь работу в 1 Дж. (Вообще говоря, я лукавлю,

потому что у безмена тоже есть своя масса – то бишь поднимаешь не 100 г ровно, а чуть побольше. Но надеюсь, что общую суть передал понятно.)



Со словом «работа» как-то сложно работать. В жизни вместо непонятных «работа» или «энергия» используют другое, родственное, понятие. Мощность. Это скорость изменения работы – A/t (A – работа, t – время, за которое она была совершена). Единица измерения – Дж/с, которую тоже обозвали именем учёного Уатта. Правда, когда обзывали, то было принято говорить Ватт. Так и повелось – $\text{Дж/с} = \text{Вт}$. Мощность, к примеру, чайника в 150 Вт означает, что за секунду такой чайник совершит работу в 150 Дж, за минуту – 9000 Дж, за час выйдет 54000 Дж, ну и так далее. Если брать непрерывную работу, конечно (но зачастую так и есть).



Ну, вот и наконец подоברались к самой энергии. Очень скользкое понятие, если попытаться объяснить её в общем случае. У этой энергии видов чуть ли не больше, чем у работы. Поэтому, опять-таки, ограничиваюсь механикой и несколькими словами на тему того, что вне нее. В механике энергия – это мера, характеризующая движение и взаимодействие тел. Она тоже может быть отрицательной. Когда тело совершает работу, его энергия понижается. Когда над телом совершают работу, его энергия повышается. (Хоть что-то очевидное.) То есть, в общем случае: энергия – это какая-то нематериальная штука, имея которую, тело может

раздавать люлей в виде работы всем, кто встретится. А если тело не имеет энергии (или она мала по сравнению с энергией остальных), то у него высокий шанс получить люлей от тех, у кого этой энергии больше. Но при этом, получив пенделя, «бедное» тело получит ту энергию, которую ей передали, и со временем сможет дать сдачи. А тот, кто устраивал раздачу, сам окажется под ударом. Но при таких дальнейших расправах над причинившим ему вред злом бывший «бедный» будет энергию терять, передавая её другому... Вот это и есть в совсем-совсем простом и топорном варианте закон сохранения энергии: энергия замкнутой системы тел постоянна.

Но... опять «но». Закон сохранения энергии действует, только если внутри системы тел действуют только так называемые «консервативные силы» – силы, работа которых не зависит от траектории движения тела. Это, например, сила тяжести или сила упругости. А вот сила трения – она не консервативная. И что же делать, если это чёртово трение постоянно мешает под ногами? Очень просто. Энергия по-прежнему будет сохраняться, просто часть её уйдёт как работа силы трения (которая отрицательна).

Чтобы мозги закипели окончательно, расскажу ещё про виды механической энергии. Всего их выделяют две штуки, но вторую ещё можно условно разделить на две части.

Первая – это кинетическая энергия. Ей тело обладает, если просто движется. Можно ли её посчитать? Да, и вот как:

$E = m \cdot v^2 / 2$. E – энергия, m – масса тела, v – его скорость. Как видно, эта энергия не может быть отрицательной – на крайняк ноль, если «туловище» стоит на месте (скорость равна нулю, и вся дробь превращается в дырку от бублика). Меняется эта энергия под воздействием внешних сил, а именно от какой-то работы, ими совершённой. Какой именно – это надо копать, зависит от задачи.

Второй вид, делящийся ещё на два подвида, – потенциальная энергия. Да-да, она образована от того же латинского «*potentia*», что и то слово, которое засело сейчас в голове. Только означает оно всего-навсего «возможность». Вообще говоря, эта не совсем понятная штука характеризует взаимодействие между телами. А именно: любое тело у поверхности Земли обладает потенциальной энергией из-за собственной силы тяжести. По-русски: притяжение Земли уже само собой означает возможное взаимодействие между телом и поверхностью Земли. Она может быть тоже как положительной, так и отрицательной (в зависимости от того, какой уровень принять за ноль). Часто за ноль считают уровень моря. Тогда тело, просто находящееся над поверхностью, будет иметь потенциальную энергию $E = m \cdot g \cdot h$, где E – энергия, m – масса тела, g – ускорение свободного падения, h – высота над «нулём». А если её опустить на поверхность Мёртвого моря, которое ниже уровня моря, то это тоже получится $m \cdot g \cdot h$, только h будет отрицательной. Какое тут может быть взаимодействие? Да хотя бы удар от падения. Печальные слу-

чай с падением обломков, отваливающихся от старых зданий, на прохожих – это тоже проделки в том числе и энергии, в том числе и потенциальной.



Другой подвид, потенциальной энергии немного более безобидный – это потенциальная энергия упруго деформированного тела вроде той же пружины. Если такая деформация подчиняется закону Гука, то энергия такой деформации будет равна $k \cdot x^2 / 2$. Почти как тот же закон Гука, только икс в квадрате и ещё пополам делить. Буквы все означают то же самое: жёсткость и изменение размера. Самый дубовый пример такой энергии: пуск шарика в пинболе или детском бильярде. Толкатель – пружину – сжимаем усилием руки, он при отпуске толкает шарик – потенциальная энер-

гия толкателя превращается в кинетическую энергию шарика. Она при залетании на верх игрового поля полностью переходит в потенциальную энергию уже шарика. Потом он начинает падать – потенциальная энергия переходит в кинетическую, – и, наконец, при падении кинетическая энергия частично передается той фишке на поле, куда шарик ударился. Короче говоря, потенциальная энергия – это что-то вроде того же импульса в неподвижном состоянии: имея её, то или иное туловище способно надавать люлей в виде энергии всем близлежащим, даже не двигаясь. Почему тогда такое разделение на импульс и энергию, если и одно, и другое можно передать друг другу, и оба сохраняются? У них несколько разное происхождение. Импульс может иметь как тело, так и сила, и он характеризует только движение (когда тело неподвижно, его импульс ВСЕГДА ноль). А энергия имеет более широкий смысл: она может быть и у неподвижного тела, и охватывает не только то, что туловище с энергией может тоже задвинуть кому-нибудь, но и то, что может вообще произойти с тем, кому задвигают. Потому что от избыточной энергии тот, на кого действовали, может: нагреться, испускать какие-нибудь лучи во все стороны, зарядиться электрически, или вообще начать разрушаться. В общем смысле любая энергия, будь то механическая, тепловая, химическая, электрическая, какая угодно – меряется тоже в джоулях, как работа. Грубо говоря, импульс – больше величина механическая, чем физическая вообще. Энергия же используется

во всей физике, в равной степени практически во всех её отраслях.

Один маленький момент, который ещё хочется отметить про потенциальную энергию. Народ приметил принцип, который называли «минимум потенциальной энергии». Он означает, что любое тело стремится занять такое положение, при котором его потенциальная энергия будет минимальна. Поэтому пружина разжимается. В том числе и поэтому тела падают. Поэтому при устойчивом равновесии тот шарик в канавке возвращался обратно в самую глубокую её точку. Чтобы легче это понять, можно вспомнить лирику типа «природа не терпит возмущений», «природа стремится к равновесию», «со временем всё устаканится», «и это пройдет»... Кому что больше нравится.

В заключение, ещё чуть-чуть о законе сохранения. Он говорит: если система тел вся такая из себя идеальная, что внутри нет никаких «сопротивляющихся» сил, да и над самой системой никакие силы работу не совершают – вот только тогда общая механическая энергия будет постоянной. На деле это не совсем так (как я уже сказал). Если под ногами мешается «сопротивляющаяся» сила, то она совершает отрицательную работу, и её нужно просто добавить к общей энергии – то есть вычесть. Если над нашими телами кто-то ещё совершает работу, тогда эта посторонняя работа положительна, и к общей энергии её добавляем – приплюсовываем.

ваем.

Вкратце и поумнее: механическая энергия – величина, характеризующая движение тел и взаимодействие между ними, характеризующая способность тела совершить работу. Механическая работа – это скалярное произведение векторов силы и перемещения ($A = F s \cos\alpha$, где A – работа, F – модуль силы, s – модуль перемещения, $\cos\alpha$ – косинус угла между векторами силы и перемещения). Работа – величина скалярная (не векторная, это число), измеряется в джоулях (Дж). Мощность – скорость изменения работы, $P = A/t$ (также обозначается буквой N). P – мощность, A – работа, t – время, за которое она была совершена. Единица измерения – ватт (Вт). Механическая энергия бывает кинетической и потенциальной.

Кинетическая – энергия движения, её тело имеет, когда движется. $E = m \cdot v^2/2$, m – масса, v – скорость. Потенциальная энергия – энергия взаимодействия. Для тела, поднятого на высоту h над условным «нулевым» уровнем высоты (уровнем моря, уровнем пола, уровнем первого этажа и т.п.) Вычисляется: $E = m \cdot g \cdot h$, где m – масса тела, g – ускорение свободного падения, h – высота над уровнем «нуля» (тогда она положительна) или глубина под уровнем «нуля» (тогда она отрицательна). У упруго деформированной пружины также есть потенциальная энергия; если деформация соответствует закону Гука, то энергия такой пружины будет равна: $E = k \cdot x^2/2$, k – жёсткость пружины, x – изменение разме-

ра. Принцип минимума потенциальной энергии – тело стремится занять такое положение, при котором его потенциальная энергия будет минимальна. Единица измерения любой энергии – тоже джоуль (Дж). Закон сохранения механической энергии: механическая энергия изолированной системы (работа внешних сил по отношению к которой равна нулю и внутри которой действуют только консервативные силы) остаётся постоянной. В случае, если работа внешних сил или неконсервативные силы всё-таки есть, в закон сохранения нужно добавить работу внешних сил со знаком «+» и/или работу неконсервативных сил со знаком «-».

Гидростатика и аэростатика

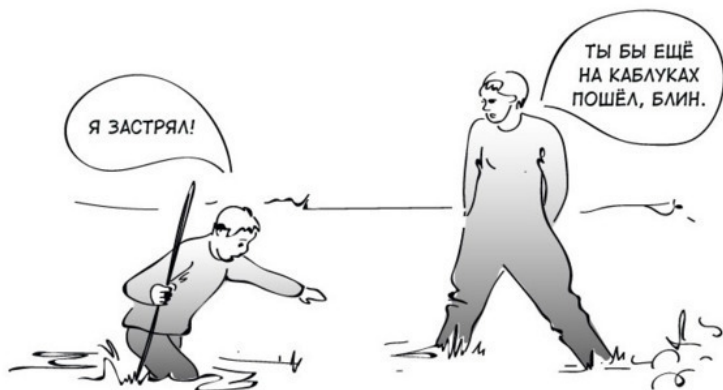
Солнце, воздух и вода.

Нет, солнце лишнее.

Покончили наконец с энергиями и импульсами. Остались два ещё более-менее важных блока механики, которыми компостируют мозги в школе. Первый блок – гидростатика и аэростатика. Эти два раздела отвечают за равновесные состояния жидкостей и газов (соответственно). (Твёрдые тела не трогаем, потому что только жидкости и газы принимают форму сосудов, в которых их поместили – именно на основе этого всё строится дальше.) Казалось бы, подумаешь – нали в стакан воду (или наполнили баллон газом) – и всё. Всё-то всё, только и у тех, и у других есть параметры «спокойного» состояния, с которыми тоже можно что-то делать.

Например, давление. Это штука означает, что жидкость или газ давит на стенки сосуда (тех же стакана или баллона), в котором находится. Обычно стенки рассчитываются так, что держат это давление, но если перестараться, то они разорвутся. Так, воздушный шарик, если его надуть слишком сильно, просто-напросто лопнет, и от него останется только «хвостик», через который надуваешь. Остальная – шаровая – часть разорвётся на мелкие кусочки и улетит во все стороны. Что, кстати, тоже объясняется той же физикой. Во-

общее, давление – это сила (с которой что-то давит), делённая на площадь (на которую это «что-то» давит). В том числе поэтому по рыхлому снегу удобнее ехать на лыжах, чем ходить в ботинках: у лыж площадь больше, и при той же нашей силе тяжести давление на снег будет меньше – значит, проваливаться будем не так сильно.



Несмотря на то, что сила вроде бы вектор, здесь надо смотреть только её значение, поэтому давление – не вектор, а число. Меряется оно в... Н/м^2 ? Так-то оно так, только и эту размерность обозвали именем учёного Паскаля и стали обозначать Па. Этот же товарищ вывел закон, который обозвали его же именем: давление на жидкость или газ распространяется во всех направлениях одинаково. Собственно, поэто-

му лопнувший шарик разбрасывает клочки резины именно во все стороны. На эту же тему может попасться забавный вопросец: что будет, если выстрелить из пневматической винтовки в сырое яйцо. Правильный ответ – оно так же лопнет и разлетится, потому что на жидкость (которая внутри сырого яйца) закон Паскаля тоже действует. А вот на твёрдое – нет: если выстрелить в сваренное вкрутую яйцо, то там просто останется дырочка.

Помимо паскаля, который используют в общей физике, есть ещё одна единица измерения давления, которую любят метеорологи и синоптики, предсказывающие погоду: миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) Это давление, которое создаёт столбик ртути высотой в 1 мм. Почему именно миллиметр и почему именно ртуть? Как любят отвечать те же физики, так исторически сложилось. Был другой умный чувак, по фамилии Торричелли, который мерил давление при помощи столбика ртути. Поскольку ртуть – штука тяжёлая и давит сильно, то решили взять миллиметр как 1 условную единицу. И понеслось. Сейчас в этих «мм рт. ст.» пишут атмосферное давление в прогнозах погоды. 1 мм рт. ст. примерно равен 133.3 Па. А атмосферное давление – это давление, которое создаёт воздух силой своей тяжести. Нормальное атмосферное давление на уровне моря считается равным 760 мм рт. ст., что примерно равно 101300 Па. Почему нас не продавливает, ведь это же достаточно много? А это ужеделки матери-природы. Наше тело само по себе устроено

так, что оно изнутри даёт примерно такое же давление, итог получается эдакое равновесие. Более того, оно даже может переносить перепады давления – правда, не слишком большие, миллиметров 30 в обе стороны. Есть люди, у которых такая способность слабо выражена, их называют метеозависимыми: при значительном изменении давления им уже становится дурно. Поскольку с высотой воздух становится менее плотным, то и давление его постепенно падает – примерно на тот же 1 мм рт. ст. с каждым 1 м высоты. В космосе давление настолько низкое, что почти ноль. И если человек, не надев скафандр, попытается войти в открытый космос, его, должно быть, разорвёт изнутри. Неприятность.

Ну ладно, что-то опять в космос улетели. Обратю на землю, где особо пытливые умы уже дёргают за рукав: а почему миллиметр ртутного столба считается по высоте? Давление – это же сила на площадь! Отвечаю: так-то оно так, но если для жидкости в сосуде посчитать это давление, то получится, что оно от площади не зависит:

$p = m \cdot g / S = \rho \cdot g \cdot V / S = \rho \cdot g \cdot h$. Проще говоря: вспоминаем, что масса – это плотность на объём, а объём – это площадь на высоту. Площадь сокращается, остаётся одна высота. Итого: p – давление жидкости, ρ – её же плотность, g – ускорение свободного падения, h – высота уровня жидкости. Лично я запоминал это так: роже – х. Или роже – аш, как удобнее.

И жидкость, и газ – субстанции, которые не любят, когда в них оказывается что-то постороннее. И вода, и воздух

стремятся вытолкнуть из себя это постороннее. Правда, вода это делает гораздо сильнее, чем воздух: если спокойно лечь на воду, то она ещё будет держать туловище на поверхности. В воздухе, увы, так же «летать» не получится. Полёт вообще основан на других принципах, и их в школьной механике, кстати, не проходят. Зато вот про плавание (как в воде, так и в воздухе) говорят.

Чтобы тело держалось на поверхности, надо, чтобы та сила, с которой вода выталкивает из себя, была хотя бы равна силе тяжести плавающего тела. Да, это всё то же вездесущее состояние покоя – две одинаковые по значению и противоположные по направлению силы при сложении дадут 0, или равновесие, или умиротворённость, или дзен...

Короче. Выталкивающую силу почему-то очень любят называть именем древнего товарища Архимеда. Мужик сел в наполненную до краёв ванну, отчего из неё вытек такой же объём воды, какой занимал товарищ. Говорят, после этого и родилась та формула, о которой пойдёт речь дальше.

В общем, чтобы посчитать эту архимедову силу, надо умножить g на плотность жидкости и на объём той части тела, которая погружена в жидкость. Отсюда можно вытащить такое следствие: всё зависит от плотности тела. Почему? Если считать, что тело погрузилось в воду как раз на весь свой объём (плавает, точь-в-точь соприкасаясь своей верхушкой с поверхностью), то в равенстве $m \cdot g = \rho \cdot g \cdot V$ «сократятся» обе g . К тому же, m в левой части равно $V \cdot \rho_{\text{тела}}$ – так что

и обе V можно тоже убрать. Получается, если плотность тела равна или меньше плотности жидкости, то такое тело будет плавать (или всплывать, выталкиваться до тех пор, пока погружённая часть не станет настолько мала, чтобы архимедова сила воды уравнивала силу тяжести). Если плотность тела больше плотности воды – оно утонет.



На этом принципе основаны в том числе плавание судов и воздухоплавание лёгких аппаратов типа воздушных шаров. Корабль, хоть и сделан из стали (которая почти в 8 раз плотнее воды), погружается таким образом, что под ватерлинией (уровнем воды) оказывается не только стальной корпус, но и трюм – с воздухом. А воздух менее плотный, чем вода. При правильном соотношении воздух-сталь получится, что общая плотность погружённой в воду части судна уравнивает его силу тяжести, и корабль будет держаться на по-

верхности. Понятно, что если образуется пробоина, и в трюм хлынет вода, то корабль утонет – архимедова сила воды уже не сможет противостоять силе тяжести стали и воды, вместе взятых. Примерно такой же принцип и у воздушных шаров: он наполняется газом, более лёгким, чем воздух (например, гелием), который как бы компенсирует собой большую плотность материалов, из которых сделан шар, и человека (по сравнению с воздухом).

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.