

ЯКОВ ПЕРЕЛЬМАН

НАУКА ДЛЯ ТЕХ, КТО ВСЕ ЗАБЫЛ

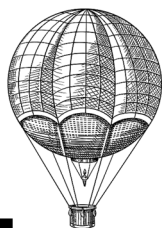


И ТЕХ, КТО ЕЩЕ НЕ ПРОХОДИЛ

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ



ФИ



ЗИ



КА



 **БОМБОРА**
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва 2022

УДК 53
ББК 22.3
П27

Во внутреннем оформлении использованы иллюстрации:
A__N, aksol, Alexander_P, AlinArt, alongzo, alyona-sergiy, art of line,
Artex67, ArtMari, B.illustrations, byvalet, Canicula, Cristina Romero
Palma, Danussa, DifferR, Drawlab19, Elala, Evgeniy Yatskov, galacticus,
George J, heroestudio, KUCO, lisima, Lukasik-Fisch, lynea, Marzufello,
MaxNadya, mdlne, miniwide, Morphart Creation, Mr_Bachinsky, NataLima,
Nicku, NikomMaelao Production, restyler, RomanYa, Sahara Prince,
SAHAS2015, sar14ev, Sentavio, song_mi, StocKNick, studiostoks, sword_sf,
Vector_Artist_69, VectorArtFactory, Vectorcarrot, xamyak, yuRomanovich
/ Shutterstock.com

Используется по лицензии от Shutterstock.com

Перельман, Яков Исидорович.

П27 Занимательная физика / Яков Перельман. — Москва :
Эксмо, 2022. — 464 с. — (Перельмания. Классика нашей нау-
ки).

ISBN 978-5-04-161037-1

Физика — это необязательно формулы, задачи и учебники. По крайней мере, когда о ней рассказывает Яков Перельман. С помощью увлекательных опытов он объясняет, как устроен наш мир с точки зрения науки.

Книга выдающегося отечественного популяризатора поможет вспомнить физику тем, кто ее уже забыл, и увлечет этой наукой тех, кто ее еще не изучал.

УДК 53
ББК 22.3

ISBN 978-5-04-161037-1

© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2022

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА К ТРИНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

В этой книге автор стремится не столько сообщить читателю новые знания, сколько помочь ему «узнать то, что он знает», т. е. углубить и оживить уже имеющиеся у него основные сведения из физики, научить сознательно ими распоряжаться и побудить к разностороннему их применению. Достигается это рассмотрением пестрого ряда головоломок, замысловатых вопросов, занимательных рассказов, забавных задач, парадоксов и неожиданных сопоставлений из области физики, относящихся к кругу повседневных явлений или черпаемых из общеизвестных произведений научно-фантастической беллетристики. Материалом последнего рода составитель пользовался особенно широко, считая его наиболее соответствующим целям сборника: приведены отрывки из романов и рассказов Жюль Верна, Уэллса, Марка Твена и др. Описываемые в них фантастические опыты, помимо их заманчивости, могут и при преподавании играть немаловажную роль в качестве живых иллюстраций.

Составитель старался, насколько мог, придавать изложению внешне интересную форму, сообщать привлекательность предмету. Он руководился той психологической аксиомой, что интерес к предмету повышает внимание, облегчает понимание и, следовательно, способствует более сознательному и прочному усвоению.

Вопреки обычаю, установившемуся для подобного рода сборников, в «Занимательной физике» весьма мало места отводится описанию забавных и эффектных физических опытов. Эта книга имеет иное назначение, нежели сборники, предлагающие материал для экспериментирования. Главная цель «Занимательной физики» — возбудить деятельность научного воображения, приучить читателя мыслить в духе физической науки и создать в его памяти многочис-

ленные ассоциации физических знаний с самыми разнородными явлениями жизни, со всем тем, с чем он обычно входит в соприкосновение. Установка, которой составитель старался придерживаться при переработке книги, была дана В. И. Лениным в следующих словах: «Популярный писатель подводит читателя к глубокой мысли, к глубокому учению, исходя из самых простых и общеизвестных данных, указывая при помощи несложных рассуждений или удачно выбранных примеров главные *выводы* из этих данных, наталкивая думающего читателя на дальнейшие и дальнейшие вопросы. Популярный писатель не предполагает не думающего, не желающего или не умеющего думать читателя, — напротив, он предполагает в неразвитом читателе серьезное намерение работать головой и *помогает* ему делать эту серьезную и трудную работу, ведет его, помогая ему делать первые шаги и *уча* идти дальше самостоятельно» [В. И. Ленин. Собр. соч., изд. 4, т. 5, стр. 285.].

Ввиду интереса, проявляемого читателями к истории этой книги, приводим некоторые библиографические данные о ней.

«Занимательная физика» «родилась» четверть века назад и была первенцем в многочисленной книжной семье ее автора, насчитывающей сейчас несколько десятков членов.

«Занимательной физике» посчастливилось проникнуть — как свидетельствуют письма читателей — в самые глухие уголки Союза.

Значительное распространение книги, свидетельствующее о живом интересе широких кругов к физическим знаниям, налагает на автора серьезную ответственность за качество ее материала. Сознанием этой ответственности объясняются многочисленные изменения и дополнения в тексте «Занимательной физики» при повторных изданиях. Книга, можно сказать, писалась в течение всех 25 лет ее существования. В последнем издании от текста первого сохранена едва половина, а от иллюстраций — почти ни одной.

К автору поступали от иных читателей просьбы воздерживаться от переработки текста, чтобы не вынуждать их «из-за десятка новых страниц приобретать каждое повторное издание». Едва ли подобные соображения могут освободить автора от обязанности всемерно улучшать свой труд. «Занимательная физика» не художественное произведение, а сочинение научное, хотя и популярное. Ее предмет — физика — даже в начальных своих основаниях непрестанно обогащается свежим материалом, и книга должна периодически включать его в свой текст.

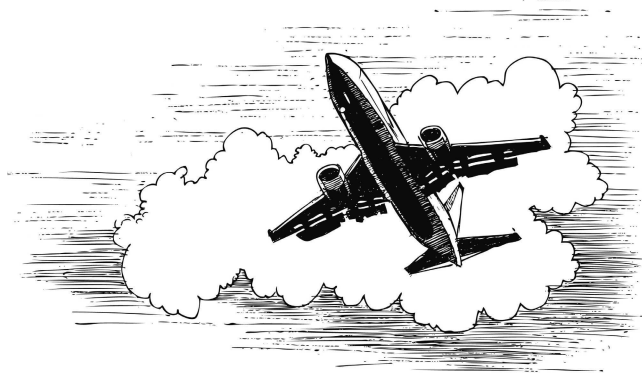
С другой стороны, приходится нередко слышать упреки в том, что «Занимательная физика» не уделяет места таким темам, как новейшие успехи радиотехники, расщепление атомного ядра, современные физические теории и т. п. Упреки такого рода — плод недоразумения. «Занимательная физика» имеет вполне определенную целевую установку; рассмотрение же этих вопросов — задача иных сочинений.

К «Занимательной физике», помимо второй ее книги, примыкает и несколько других сочинений того же автора. Одно предназначено для сравнительно мало подготовленного читателя, еще не приступавшего к систематическому изучению физики, и озаглавлено «Физика на каждом шагу» (издание «Детиздата»). Два других, напротив, имеют в виду тех, кто уже закончил изучение среднешкольного курса физики. Это — «Занимательная механика» и «Знаете ли вы физику?». Последняя книга является как бы завершением «Занимательной физики».

1936 г.

Я. Перельман

СКОРОСТЬ. СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ



КАК БЫСТРО МЫ ДВИЖЕМСЯ?

Спортивную дистанцию 1,5 км хороший бегун пробегает примерно за 3 мин 50 сек (мировой рекорд 1958 г. — 3 мин 36,8 сек). Для сравнения с обычной скоростью пешехода — 1,5 м в секунду — надо сделать маленькое вычисление; тогда окажется, что спортсмен пробегает в секунду 7 м. Впрочем, скорости эти не вполне сравнимы: пешеход может ходить долго, целые часы, делая по 5 км в час, спортсмен же способен поддерживать значительную скорость своего бега только короткое время. Пехотная воинская часть перемещается бегом втрое медленнее рекордсмена; она делает 2 м в секунду, или 7 с лишком километров в час, но имеет перед спортсменом то преимущество, что может совершать гораздо большие переходы.

Интересно сравнить нормальную поступь человека со скоростью таких — вошедших в поговорку — медлительных животных, как улитка или черепаха. Улитка вполне оправдывает репутацию, приписываемую ей поговоркой: она проходит 1,5 мм в секунду, или 5,4 м в час — ровно в тысячу раз меньше человека! Другое классически медленное животное, черепаха, не намного перегоняет улитку: ее обычная скорость — 70 м в час.

Проворный рядом с улиткой и черепахой, человек предстанет перед нами в ином свете, если сопоставить его движение с другими, даже не очень быстрыми движениями в окружающей природе. Правда, он легко перегоняет течение воды в большинстве равнинных рек и не намного отстает от умеренного ветра. Но с мухой, пролетающей 5 м в секунду, человек может успешно состязаться разве только на лыжах. Зайца или охотничью собаку человек не перегонит даже на лошади карьером. Состязаться в скорости с орлом человек может лишь на самолете.

Машины, изобретенные человеком, делают его самым быстрым существом мира.

Сравнительно недавно в СССР был построен пассажирский теплоход с подводными крыльями, развивающий скорость 60–70 км/час. На суше человек может двигаться быстрее, чем на воде. На некоторых участках пути скорость движения пассажирских поездов в СССР доходит до 100 км/час. Новая легковая автомашин ЗИЛ-111 (рис. 1) может развивать скорость до 170 км/час, семиместный легковой автомобиль «Чайка» — до 160 км/час.

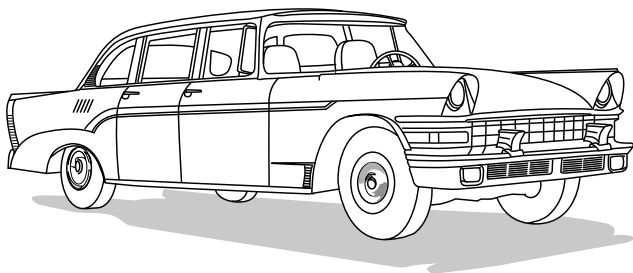


Рис. 1. Автомобиль ЗИЛ-111.

Эти скорости далеко превзошла современная авиация. На многих линиях Гражданского воздушного флота СССР работают многоместные лайнеры ТУ-104 и ТУ-114 (рис. 2). Средняя скорость их полета составляет около 800 км/час. Еще не так давно перед авиаконструкторами ставилась задача перешагнуть «звуковой барьер», превысить скорость звука (330 м/сек, т. е. 1200 км/час). Сейчас эта задача решена. Скорости небольших самолетов с мощными реактивными двигателями приближаются к 2000 км/час.

Аппараты, создаваемые человеком, могут достигать еще больших скоростей. Искусственные спутники Земли, летающие вблизи границы плотных слоев атмосферы, движутся со скоро-

стью около 8 км/сек. Космические аппараты, направляющиеся к планетам Солнечной системы, получают начальную скорость, превышающую вторую космическую скорость (11,2 км/сек, у поверхности Земли).

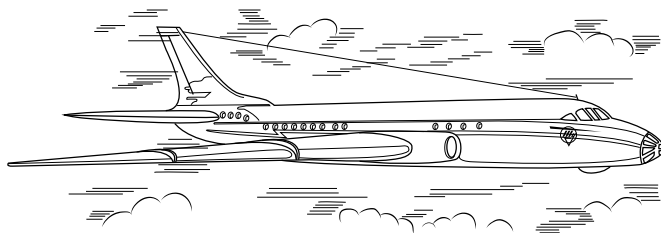


Рис. 2. Пассажирский реактивный самолет ТУ-104.

Читатель может просмотреть следующую таблицу скоростей:

Улитка	1,5	мм/ сек	5,4	м/ч
Черепаша	20		70	
Рыба	1	м/сек	3,6	км/ч
Пешеход	1,4		5	
Конница шагом	1,7		6	
Конница рысью	3,5		12,6	
Муха	5		18	
Лыжник	5		18	
Конница карьером	8,5		30	
Теплоход с подводными крыльями	16		58	
Заяц	18		65	
Орел	24		86	
Охотничья собака	25		90	
Поезд	28		100	
Автомобиль ЗИЛ-111	50		170	
Гоночный автомобиль	174		633	
ТУ-104	220		800	
Звук в воздухе	330		1200	
Легкий реактивный самолет	550		2000	
Земля по орбите	30000		108000	

В ПОГОНЕ ЗА ВРЕМЕНЕМ

Можно ли в 8 часов утра вылететь из Владивостока и в 8 часов утра того же дня прилететь в Москву? Вопрос этот вовсе не лишен смысла. Да, можно. Чтобы понять этот ответ, нужно только вспомнить, что разница между поясным временем Владивостока и Москвы составляет девять часов. И если самолет сможет пройти расстояние между Владивостоком и Москвой за это время, то он прибудет в Москву в час своего вылета из Владивостока.

Расстояние Владивосток — Москва составляет примерно 9000 км. Значит, скорость самолета должна быть равна $9000 : 9 = 1000$ км/час. Это вполне достижимая в современных условиях скорость.

Чтобы «перегнать Солнце» (или, точнее, Землю) в полярных широтах, нужна значительно меньшая скорость. На 77-й параллели (Новая Земля) самолет, обладающий скоростью около 450 км/час, пролетает столько же, сколько успевает за тот же промежуток времени пройти точка земной поверхности при вращении Земли вокруг оси. Для пассажира такого самолета Солнце остановится и будет неподвижно висеть на небе, не приближаясь к закату (при этом, конечно, самолет должен двигаться в подходящем направлении).

Еще легче «перегнать Луну» в ее собственном обращении вокруг Земли. Луна движется вокруг Земли в 29 раз медленнее, чем Земля вокруг своей оси (сравниваются, конечно, так называемые «угловые», а не линейные скорости). Поэтому обыкновенный пароход, делающий 25–30 км в час, может уже в средних широтах «перегнать Луну».

О таком явлении упоминает Марк Твен в своих очерках «Простакки за границей». Во время переезда по Атлантическому океану от Нью-Йорка к Азорским островам «стояла прекрасная летняя погода, а ночи были даже лучше дней. Мы наблюдали странное явление: Луну, появляющуюся каждый вечер в тот же час в той же точке неба. Причина этого оригинального поведения Луны сначала оставалась для нас загадочной, но потом мы сообразили, в чем дело: мы подвигались каждый час на 20 минут долготы к востоку, т. е. именно с такой скоростью, чтобы не отставать от Луны!».

ТЫСЯЧНАЯ ДОЛЯ СЕКУНДЫ

Для нас, привыкших мерить время на свою человеческую мерку, тысячная доля секунды равнозначна нулю. Такие промежутки времени лишь недавно стали встречаться в нашей практике. Когда время определяли по высоте Солнца или длине тени,

то не могло быть речи о точности даже до минуты (рис. 3); люди считали минуту слишком ничтожной величиной, чтобы стоило ее измерять. Древний человек жил такой неторопливой жизнью, что на его часах — солнечных, водяных, песочных — не было особых делений для минут (рис. 4, 5). Только с начала XVIII века стала появляться на циферблате минутная стрелка. А с начала XIX века появилась и секундная стрелка.

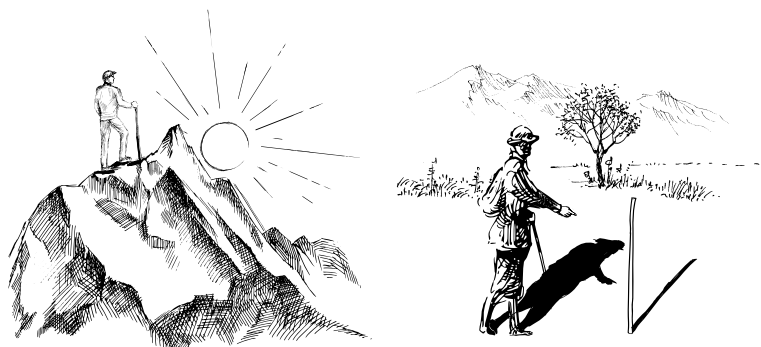


Рис. 3. Определение времени дня по положению Солнца на небе (слева) и по длине тени (справа).

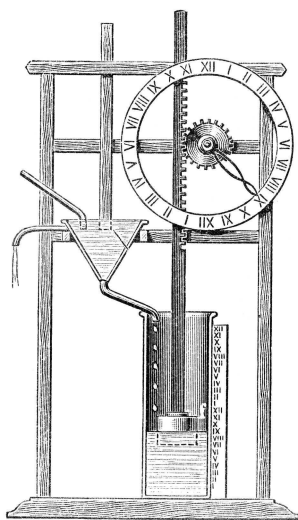


Рис. 4. Водяные часы, употреблявшиеся в древнем мире.



Рис. 5. Старинные карманные часы.

Что же может совершиться в тысячную долю секунды? Очень многое! Поезд, правда, может переместиться за этот промежуток времени всего сантиметра на три, звук — уже на 33 см, самолет — примерно на полметра; земной шар пройдет в своем движении вокруг Солнца в такую долю секунды 30 м, а свет — 300 км.

Мелкие существа, окружающие нас, если бы они умели рассуждать, вероятно, не считали бы тысячную долю секунды за ничтожный промежуток времени. Для насекомых, например, величина эта вполне ощутима. Комар в течение одной секунды делает 500–600 полных взмахов крылышками; значит, в тысячную долю секунды он успевает поднять их или опустить.

Человек неспособен перемещать свои члены так быстро, как насекомое. Самое быстрое наше движение — мигание глаз, «мгновение ока», или «миг», в первоначальном смысле этих слов. Оно совершается так быстро, что мы не замечаем даже временного затмения поля нашего зрения. Немногие, однако, знают, что это движение — синоним невообразимой быстроты — протекает в сущности довольно медленно, если измерять его тысячными долями секунды. Полное «мгновение ока» длится, как обнаружили точные измерения, в среднем $\frac{2}{5}$ секунды, т. е. 400 тысячных долей ее. Оно распадается на следующие фазы: опускание века (75–90 тысячных секунды), состояние неподвижности опущенного века (130–170 тысячных) и поднятие его (около 170 тысячных). Как видите, один «миг» в буквальном смысле этого слова — промежуток довольно значительный, в течение которого глазное веко успевает даже немного отдохнуть. И если бы мы могли отдельно воспринимать впечатления, длящиеся тысячную долю секунды, мы уловили бы «в один миг» два плавных движения глазного века, разделенных промежутком покоя.

При таком устройстве нашей нервной системы мы увидели бы окружающий нас мир преобразенным до неузнаваемости. Описание тех странных картин, какие представились бы тогда нашим глазам, дал английский писатель Уэллс в рассказе «Новейший ускоритель». Герои рассказа выпили фантастическую микстуру, которая действует на нервную систему так, что делает органы чувств восприимчивыми к разделённому восприятию быстрых явлений.

Вот несколько примеров из рассказа:

«— Видали ли вы до сих пор, чтобы занавеска прикреплялась к окну таким манером?

Я посмотрел на занавеску и увидел, что она словно застыла и что угол у нее как загнул от ветра, так и остался.

— Не видал никогда, — сказал я. — Что за странность!

— А это? — сказал он и растопырил пальцы, державшие стакан.

Я ожидал, что стакан разобьется, но он даже не шевельнулся: он повис в воздухе неподвижно.

— Вы, конечно, знаете, — сказал Гибберн, — что падающий предмет опускается в первую секунду на 5 м. И стакан пробегает теперь эти 5 м, — но, вы понимаете, не прошло еще и сотой доли секунды. [Надо иметь в виду, к тому же, что в первую сотую долю первой секунды своего падения тело проходит не сотую часть от 5 м, а 10000-ю (по формуле $S = gt^2/2$), т. е. полмиллиметра, а в первую тысячную долю секунды — всего 1/200 мм.] Это может вам дать понятие о силе моего «ускорителя».

Стакан медленно опускался. Гибберн провел рукой вокруг стакана, над ним и под ним...

Я глянул в окно. Какой-то велосипедист, застывший на одном месте, с застывшим облаком пыли позади, догонял какую-то бричку, которая также не двигалась ни на один дюйм.

...Наше внимание было привлечено омнибусом, совершенно окаменевшим. Верхушка колес, лошадиные ноги, конец кнута и нижняя челюсть кучера (он только что начал зевать) — все это, хотя и медленно, но двигалось; остальное же в этом неуклюжем экипаже совершенно застыло. Сидящие там люди были как статуи.

...Какой-то человек застыл как раз в тот момент, когда он делал нечеловеческие усилия сложить на ветру газету. Но для нас этого ветра не существовало.

...Все, что было сказано, подумано, сделано мной с той поры, как «ускоритель» проник в мой организм, было лишь мгновением ока для всех прочих людей и для всей вселенной».

Вероятно, читателям интересно будет узнать, каков наименьший промежуток времени, измеримый средствами современной науки? Еще в начале этого века он равнялся 10000-й доле секунды; теперь же физик в своей лаборатории способен измерить 100000000000-ю долю секунды. Этот промежуток примерно во столько же раз меньше целой секунды, во сколько раз секунда меньше 3000 лет!

ЛУПА ВРЕМЕНИ

Когда Уэллс писал свой «Новейший ускоритель», он едва ли думал, что нечто подобное когда-нибудь осуществится в действительности. Ему довелось, однако, дожить до этого: он мог

собственными глазами увидеть — правда, только на экране — те картины, которые создало некогда его воображение. Так называемая «лупа времени» показывает нам на экране в замедленном темпе многие явления, протекающие обычно очень быстро.

«Лупа времени» — это кинематографический фотоаппарат, делающий в секунду не 24 снимка, как обычные киноаппараты, а во много раз больше. Если заснятое так явление проектировать на экран, пуская ленту с обычной скоростью 24 кадра в секунду, то зрители увидят явление растянутым — совершающимся в соответствующее число раз медленнее нормального. Читателю случилось, вероятно, видеть на экране такие неестественно плавные прыжки и другие замедленные явления. С помощью более сложных аппаратов того же рода достигается замедление еще более значительное, почти воспроизводящее то, что описано в рассказе Уэллса.

КОГДА МЫ ДВИЖЕМСЯ ВОКРУГ СОЛНЦА БЫСТРЕЕ — ДНЕМ ИЛИ НОЧЬЮ?

В парижских газетах появилось однажды объявление, обещавшее каждому за 25 сантимов указать способ путешествовать дешево и притом без малейшего утомления. Нашлись легковверные, которые прислали требуемые 25 сантимов. В ответ каждый из них получил по почте письмо следующего содержания:

«Оставайтесь, гражданин, спокойно в своей кровати и помните, что Земля наша вертится. На параллели Парижа — 49-й — вы пробегаете каждые сутки более 25 000 км. А если вы любите живописные виды, откиньте оконную занавеску и восхищайтесь картиной звездного неба».

Привлеченный к суду за мошенничество, виновник этой затеи выслушал приговор, уплатил наложенный на него штраф и, говорят, став в театральную позу, торжественно повторил знаменитое восклицание Галилея:

— А все-таки она вертится!

В известном смысле обвиняемый был прав, потому что каждый обитатель земного шара не только «путешествует», вращаясь вокруг земной оси, но с еще большей скоростью переносится Землей в ее обращении вокруг Солнца. Ежесекундно планета наша со всеми своими обитателями перемещается в пространстве на 30 км, вращаясь одновременно и вокруг оси.



Рис. 6. На ночной половине земного шара люди движутся вокруг Солнца быстрее, чем на дневной.

По этому поводу можно задать интересный вопрос: когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью?

Вопрос способен вызвать недоумение: ведь всегда на одной стороне Земли день, на другой — ночь; какой же смысл имеет наш вопрос? По-видимому, никакого. Однако это не так. Спрашивается ведь не о том, когда вся Земля перемещается скорее, а о том, когда мы, ее обитатели, движемся скорее среди звезд. А это уже вовсе не бессмысленный вопрос. В Солнечной системе мы совершаем два движения: вращаемся вокруг Солнца и в то же время обращаемся вокруг земной оси. Оба движения складываются, но результат получается различный, смотря по тому, находимся ли мы на дневной или ночной половине Земли. Взгляните на рис. 6, и вы поймете, что в полночь скорость вращения *прибавляется* к поступательной скорости Земли, а в полдень, наоборот, *отнимается* от нее. Значит, *в полночь мы движемся в Солнечной системе быстрее, нежели в полдень.*

Так как точки экватора пробегают в секунду около полукилометра, то для экваториальной полосы разница между полуденной и полуночной скоростью достигает целого километра в секунду. Знакомые с геометрией легко могут вычислить, что для Ленинграда (который находится на 60-й параллели) эта разница вдвое меньше: в полночь ленинградцы каждую секунду пробегают в Солнечной системе на полкилометра больше, нежели в полдень.

ЗАГАДКА ТЕЛЕЖНОГО КОЛЕСА

Прикрепите сбоку к ободу тележного колеса (или к шине велосипедного) цветную бумажку и наблюдайте за ней во время движения телеги (или велосипеда). Вы заметите странное явление: пока бумажка находится в нижней части катящегося колеса, она видна довольно отчетливо; в верхней же части она мелькает так быстро, что вы не успеваете ее разглядеть.

Выходит как будто, что верхняя часть колеса движется быстрее, чем нижняя. То же наблюдение можно сделать, если сравнить между собой верхние и нижние спицы катящегося колеса какого-нибудь экипажа. Будет заметно, что верхние спицы сливаются в одно сплошное целое, нижние же видимы раздельно. Дело опять-таки происходит так, словно верхняя часть колеса быстрее движется, чем нижняя.

В чем же разгадка этого странного явления? Да просто в том, что верхняя часть катящегося колеса *действительно движется быстрее, чем нижняя*. Факт представляется с первого взгляда невероятным, а между тем простое рассуждение убедит нас в этом. Ведь каждая точка катящегося колеса совершает сразу *два* движения: обращается вокруг оси и в то же время подвигается вперед вместе с этой осью. Происходит — как в случае земного шара — сложение двух движений, и результат для верхней и нижней частей колеса получается разный. Вверху вращательное движение колеса *прибавляется* к поступательному, так как оба движения направлены в одну и ту же сторону. Внизу же вращательное движение направлено в обратную сторону и, следовательно, *отнимается* от поступательного. Вот почему верхние части колеса перемещаются относительно неподвижного наблюдателя быстрее, чем нижние.

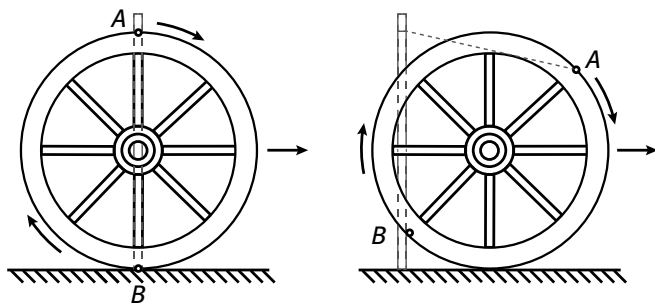


Рис. 7. Как убедиться, что верхняя часть колеса движется быстрее нижней. Сравните расстояния точек А и В откатившегося колеса (правый чертеж) от неподвижной палки.

То, что это действительно так, легко понять на простом опыте, который следует проделать при удобном случае. Воткните в землю палку рядом с колесом стоящей телеги так, чтобы палка приходилась против оси. На ободе колеса, в самой верхней и в самой нижней его частях, сделайте пометки мелом или углем; пометки

придутся, следовательно, как раз против палки. Теперь откатите телегу немного вправо (рис. 7), чтобы ось отошла от палки сантиметров на 20–30, и заметьте, как переместились ваши пометки. Окажется, что верхняя пометка A переместилась заметно больше, нежели нижняя B , которая только едва отступила от палки.

САМАЯ МЕДЛЕННАЯ ЧАСТЬ КОЛЕСА

Итак, не все точки движущегося колеса телеги перемещаются одинаково быстро. Какая же часть катящегося колеса движется всего медленнее?

Нетрудно сообразить, что *медленнее всех движутся те точки колеса, которые в данный момент соприкасаются с землей*. Строго говоря, в момент соприкосновения с почвой эти точки колеса совершенно неподвижны.

Все сказанное справедливо только для колеса катящегося, а не для такого, которое вращается на неподвижной оси. В маховом колесе, например, верхние и нижние точки обода движутся с одинаковой скоростью.

ЗАДАЧА НЕ ШУТКА

Вот еще одна не менее любопытная задача: в поезде, идущем, скажем, из Ленинграда в Москву, существуют ли точки, которые по отношению к полотну дороги движутся обратно — от Москвы к Ленинграду?

Оказывается, что в каждый момент на каждом колесе существуют такие точки. Где же они находятся?

Вы знаете, конечно, что железнодорожные колеса имеют на ободе выступающий край (реборду). И вот оказывается, что нижние точки этого края при движении поезда перемещаются вовсе не вперед, а назад.

В этом легко удостовериться, проделав такой опыт. К небольшому кружочку, например к монете или пуговице, прилепите воском спичку так, чтобы она прилегала к кружку по радиусу и далеко выступала за край. Если теперь упереть кружок (рис. 8) в край линейки в точке C и начать катить его справа налево, то точки F , E и D выступающей части отодвинутся не вперед, а назад. Чем дальше точка от края кружка, тем заметнее подается она назад при качении кружка (точка D перейдет в D').

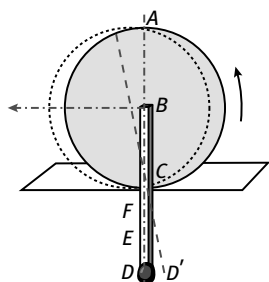


Рис. 8. Опыт с кружком и спичкой. Когда колесо откатывается налево, точки F, E, D выступающей части спички подвигаются в обратную сторону.

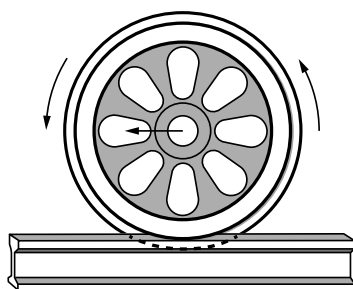


Рис. 9. Когда железнодорожное колесо катится налево, нижние части его выступающего края движутся направо, т. е. в обратную сторону.

Точки реборды железнодорожного колеса движутся так же, как и выступающая часть спички в нашем опыте.

Вас не должно удивлять теперь, что в поезде существуют точки, которые движутся не вперед, а назад.

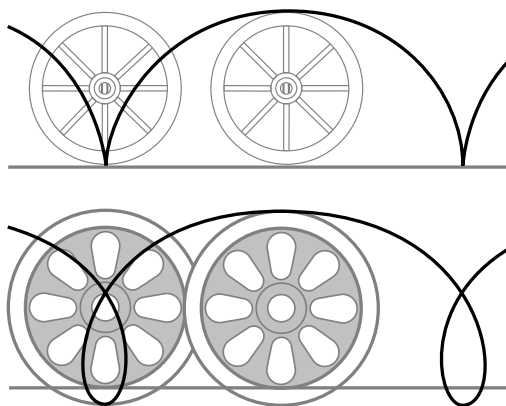


Рис. 10. Вверху изображена та кривая линия («циклоида»), которую описывает каждая точка обода катящегося колеса телеги. Внизу — кривая линия, описываемая каждой точкой выступающего края железнодорожного колеса.

Правда, это движение длится лишь ничтожную долю секунды; но, как бы то ни было, обратное перемещение в движущемся поезде все же существует наперекор нашим обычным представлениям. Сказанное поясняется рис. 9 и 10.

ОТКУДА ПЛЫЛА ЛОДКА?

Вообразите, что весельная лодка плывет по озеру, и пусть стрелка на нашем рис. 11 изображает направление и скорость ее движения. Наперерез идет парусная лодка; стрелка b изображает ее направление и скорость. Если вас, читатель, спросят, откуда эта лодка отчалила, вы, конечно, сразу укажете пункт на берегу. Но если с тем же вопросом обратиться к пассажирам весельной лодки, они указали бы совершенно другую точку. Почему?

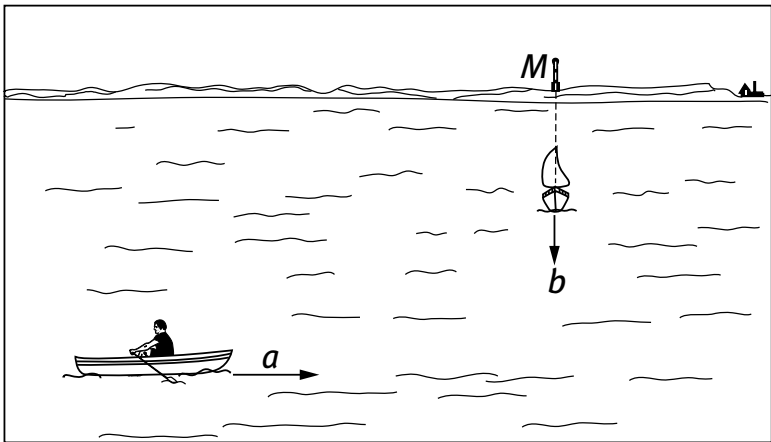


Рис. 11. Парусная лодка идет наперерез весельной. Стрелки a и b — скорости. Что увидят гребцы?

Происходит это оттого, что пассажиры видят лодку движущейся вовсе не под прямым углом к пути своей лодки. Они ведь не чувствуют собственного движения: им кажется, что сами они стоят на месте, а все кругом движется с их собственной скоростью, но в обратном направлении. Поэтому для них парусная лодка движется не только по направлению стрелки b , но и по направлению пунктирной линии a , обратно движению весельной лодки (рис. 12). Оба движения парусной лодки — действительное и кажущееся — складываются по правилу параллелограмма. В результате пассажирам шлюпки кажется, будто парусная лодка движется по диагонали параллелограмма, построенного на b и a . Вот почему пассажирам представляется, что парусная лодка отчалила от берега вовсе не в точке M , а в некоторой точке N , далеко впереди по движению весельной шлюпки (см. рис. 12).

Двигаясь вместе с Землей по ее орбите и встречая лучи звезд, мы судим о положении источников этих лучей так же неправильно, как пассажиры весельной лодки ошибочно определяют место отплытия парусной. Поэтому звезды представляются нам немного смещенными вперед по пути движения Земли. Конечно, скорость движения Земли ничтожна по сравнению со скоростью света (в 10 000 раз меньше); поэтому кажущееся смещение звезд незначительно. Но оно может быть обнаружено с помощью астрономических приборов. Явление это носит название аберрации света.

Если подобные вопросы заинтересовали вас, попробуйте, не изменяя условий нашей задачи о лодке, сказать:

1) по какому направлению движется весельная лодка для пассажиров парусной?

2) куда направляется весельная лодка, по мнению пассажиров парусной?

Чтобы ответить на эти вопросы, вам нужно на линии a (см. рис. 12) построить параллелограмм скоростей; диагональ его покажет, что пассажирам парусной лодки весельная кажется плывущей в косом направлении, словно собираясь причалить к берегу.

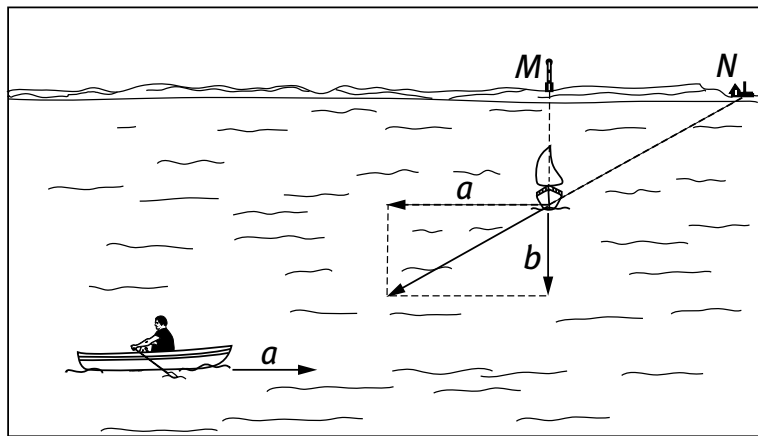


Рис. 12. Гребцам кажется, что парусная лодка идет не наперез им, а косо — от точки N , а не от M .

ТЯЖЕСТЬ И ВЕС. РЫЧАГ. ДАВЛЕНИЕ



ВСТАНЬТЕ!

Если я скажу вам: «Сейчас вы сядете на стул так, что не сможете встать, хотя и не будете привязаны», вы примете это, конечно, за шутку.

Хорошо. Сядьте же так, как сидит человек, изображенный на рис. 13, т. е. держа туловище отвесно и *не пододвигая ног под сиденье стула*. А теперь попробуйте встать, не меняя положения ног и не нагибая корпуса вперед.

Что, не удастся? Никаким усилием мускулов не удастся вам встать со стула, пока вы не пододвинете ног под сиденье или не подадитесь корпусом вперед.

Чтобы понять, почему это так, нам придется побеседовать немного о равновесии тел вообще и человеческого в частности. Стоящий предмет не опрокидывается только тогда, когда отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри основания вещи. Поэтому наклонный цилиндр (рис. 14) должен непременно опрокинуться; но если бы он был настолько широк, что отвесная линия, проведенная из его центра тяжести, проходила бы в пределах его

основания, цилиндр не опрокинулся бы. Так называемые «падающие башни» — в Пизе, в Болонье или хотя бы «падающая колокольня» в Архангельске (рис. 15) не падают, несмотря на свой наклон, также потому, что отвесная линия из их центра тяжести не выходит за пределы основания (другая, второстепенная, причина та, что они углублены в землю своими фундаментами).

Стоящий человек не падает только до тех пор, пока отвесная линия из центра тяжести находится внутри площадки, ограниченной краями его ступней (рис. 16). Поэтому так трудно стоять на одной ноге; еще труднее стоять на канате: основание очень мало и отвесная линия легко может выйти за его пределы. Заметили ли вы, какой странной походкой отличаются старые «морские волки»? Проводя всю жизнь на качающемся судне, где отвесная линия из центра тяжести их тела каждую секунду может выйти за пределы пространства, занятого ступнями, моряки вырабатывают привычку ступать так, чтобы основание их тела (т. е. широко расставленные ноги) захватывало возможно большее пространство. Это придает морякам необходимую устойчивость на колеблющейся палубе; естественно, что та же привычка сохраняется при ходьбе по твердой земле. Можно привести и обратный

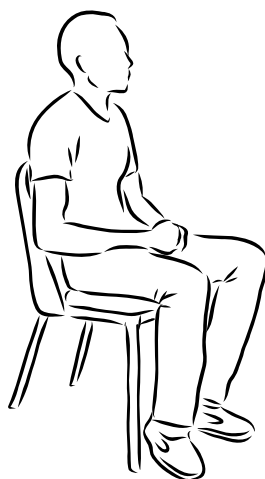


Рис. 13. В таком положении невозможно подняться со стула.

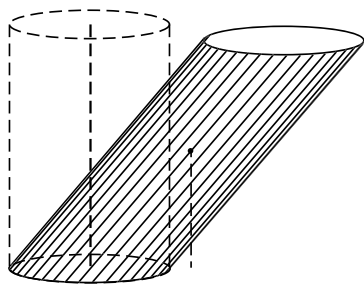


Рис. 14. Наклонный цилиндр.



Рис. 15. «Падающая» колокольня в Архангельске (со старинной фотографии).

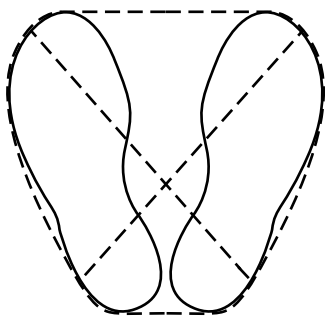


Рис. 16. Когда человек стоит, отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри площадки, ограниченной ступнями.

вернемся к опыту с вставанием сидящего человека. Центр тяжести туловища сидящего человека находится внутри тела, близ позвоночника, сантиметров на 20 выше уровня пупка. Проведите отвесную линию из этой точки вниз: она пройдет под стулом, позади ступней. А чтобы человек мог стоять, линия эта должна проходить между ступнями.

Значит, вставая, мы должны либо податься грудью вперед, перемещая этим центр тяжести, либо же пододвинуть ноги назад, чтобы подвести опору под центр тяжести. Обычно мы так и делаем, когда встаем со стула. Но если нам не разрешают делать ни того ни другого, то встать мудрено, как вы и убеждаетесь на описанном опыте.

ХОДЬБА И БЕГ

То, что вы делаете десятки тысяч раз в день в течение всей жизни, должно быть вам прекрасно известно. Так принято думать, но это далеко не всегда верно. Лучший пример — ходьба и бег. Есть ли что-нибудь более нам знакомое, чем эти движения? А много ли найдется людей, которые ясно представляют себе, как, собственно, передвигаем мы свое тело при ходьбе и беге и в чем разнятся эти два рода движений? Послушаем же, что говорит о ходьбе и беге физиология [Текст отрывка заимствован из «Лекций по зоологии» проф. Поля Бера; иллюстрации прибавлены составителем.]. Для большинства, я уверен, это описание будет совершенно ново.

«Предположим, что человек стоит на одной ноге, например, на правой. Вообразим себе, что он приподнимает пятку, наклоняя в то же время туловище вперед [При этом идущий человек, отталкиваясь от опоры, оказывает на нее добавочное к весу давление — около 20 кг. Отсюда, между прочим, следует, что идущий человек сильнее давит на землю, чем стоящий. — Я. П.].

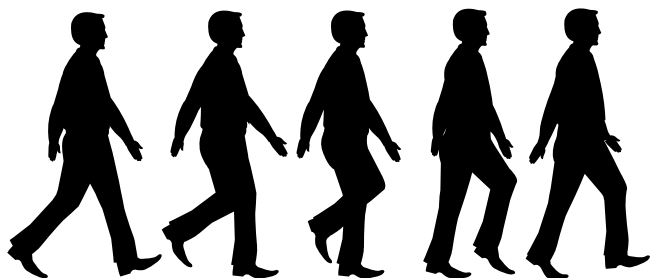


Рис. 17. Как человек ходит. Последовательные положения тела при ходьбе.

При таком положении перпендикуляр из центра тяжести, понятно, выйдет из площади основания опоры, и человек должен упасть вперед. Но едва начинается это падение, как левая нога его, оставшаяся в воздухе, быстро подвигается вперед и становится на землю впереди перпендикуляра из центра тяжести, так что последний, т. е. перпендикуляр, попадает в площадь, образуемую линиями, которыми соединяются точки опоры обеих ног. Равновесие таким образом восстанавливается; человек ступил, сделал шаг.

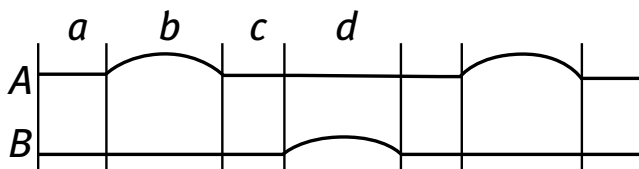


Рис. 18. Графическое изображение движений ног при ходьбе. Верхняя линия (А) относится к одной ноге, нижняя (В) — к другой. Прямые линии отвечают моментам опоры о землю, дуги — моментам движения ног без опоры. Из графика видно, что в течение промежутка времени *a* обе ноги опираются о землю; в течение *b* — нога А в воздухе, В продолжает опираться; в течение *c* — вновь обе ноги опираются о землю. Чем быстрее ходьба, тем короче становятся промежутки *a*, *c* (ср. с графиком бега, рис. 20).

Он может и остановиться в этом довольно утомительном положении. Но если хочет идти дальше, то наклоняет свое тело еще более вперед, переносит перпендикуляр из центра тяжести за пределы площади опоры и в момент угрозы падения снова выдвигает вперед ногу, но уже не левую, а правую — новый шаг, и т. д. Ходьба поэтому есть не что иное, как *ряд падений вперед, предупреждаемых вовремя поставленной опорой ноги, оставшейся до того позади.*



Рис. 19. Как человек бежит. Последовательные положения тела при беге (есть моменты, когда обе ноги находятся без опоры).

Рассмотрим дело несколько ближе. Предположим, что первый шаг сделан. В этот момент правая нога еще касается земли, а левая уже ступает на землю.

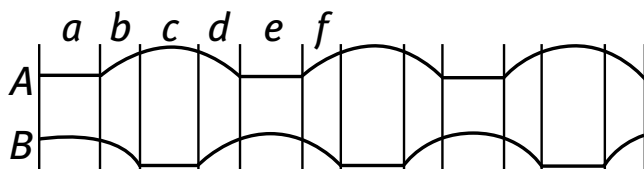


Рис. 20. Графическое изображение движения ног в беге (ср. с рис. 18).

Из графика видно, что для бегущего человека существуют моменты (*b, d, f*), когда обе ноги витают в воздухе. Этим и отличается бег от ходьбы.

Но если только шаг не очень короткий, правая пятка должна была приподняться, так как именно это-то приподнимание пятки и позволяет телу наклониться вперед и нарушить равновесие. Левая нога ступает на землю прежде всего пяткой. Когда вслед за тем вся подошва ее становится на землю, правая нога поднимается совершенно на воздух. В то же время левая нога, несколько

согнутая в колене, выпрямляется сокращением трехглавой бедренной мышцы и становится на мгновение вертикальной. Это позволяет полусогнутой правой ногой продвинуться вперед, не касаясь земли, и, следуя за движением тела, поставить на землю свою пятку как раз вовремя для следующего шага.

Подобный же ряд движений начинается затем для левой ноги, которая в это время опирается на землю только пальцами и вскоре должна подняться на воздух.

Бег отличается от ходьбы тем, что нога, стоящая на земле, внезапным сокращением ее мышц энергично вытягивается и отбрасывает тело вперед, так что последнее *на одно мгновение совсем отделяется от земли*. Затем оно снова падает на землю на другую ногу, которая, пока тело было на воздухе, быстро передвинулась вперед. Таким образом, бег состоит из *ряда скачков с одной ноги на другую*».

Что касается энергии, затрачиваемой человеком при ходьбе по горизонтальной дороге, то она не равна кулю, как иные думают: центр тяжести тела пешехода при каждом шаге поднимается на несколько сантиметров. Можно рассчитать, что работа при ходьбе по горизонтальному пути составляет около одной пятнадцатой доли работы поднятия тела пешехода на высоту, равную пройденному пути [Расчет можно найти в брошюре проф. В. П. Горячкина «Работа живых двигателей», 1914.].

КАК НАДО ПРЫГАТЬ ИЗ ДВИЖУЩЕГОСЯ ВАГОНА?

Задав кому-нибудь этот вопрос, вы, конечно, получите ответ: «Вперед, по движению, согласно закону инерции». Попросите, однако, объяснить подробнее, при чем тут закон инерции. Можно предсказать, что при этом произойдет: ваш собеседник начнет уверенно доказывать свою мысль; но если не перебивать его, он скоро сам остановится в недоумении: выйдет, что именно вследствие инерции надо прыгать как раз наоборот — назад, против движения!

И в самом деле, закон инерции играет здесь роль второстепенную, — главная причина совсем другая. И если эту главную причину забыть, то мы действительно придем к выводу, что надо прыгать назад, а никак не вперед.

Пусть вам необходимо выпрыгнуть на ходу. Что произойдет при этом?

Когда мы прыгаем из движущегося вагона, то тело наше, отделившись от вагона, обладает скоростью вагона (оно движется по инерции) и стремится двигаться вперед. Делая прыжок вперед,

мы, конечно, не только не уничтожаем этой скорости, но, наоборот, еще увеличиваем ее.

Отсюда следует, что надо было бы прыгать *назад*, а вовсе не вперед, по направлению движения вагона. Ведь при прыжке назад скорость, сообщаемая прыжком, *отнимается* от скорости, с которой наше тело движется по инерции; вследствие этого, коснувшись земли, тело наше с меньшей силой будет стремиться опрокинуться.

Однако если уж и приходится прыгать из движущегося экипажа, то все прыгают вперед, по движению. Это действительно лучший способ и настолько проверенный, что мы настойчиво предостерегаем читателей от попыток проверить неудобство прыганья назад с движущегося экипажа.

Так в чем же дело?

В неверности объяснения, в его недоговоренности. Будем ли прыгать вперед, будем ли прыгать назад, — в том и другом случае нам грозит опасность упасть, так как верхняя часть туловища будет еще двигаться, когда ноги, коснувшись земли, остановятся [Можно объяснить падение в этом случае также и с иной точки зрения (см. об этом «Занимательную механику», гл. III, статью: «Когда горизонтальная линия не горизонтальна?»)]. Скорость этого движения при прыжке вперед даже больше, чем при прыжке назад. Но существенно важно то, что вперед падать гораздо *безопаснее*, чем падать назад. В первом случае мы привычным движением выставляем ногу вперед (а при большой скорости вагона — пробегаем несколько шагов) и тем предупреждаем падение. Это движение *привычно*, так как мы всю жизнь совершаем его при ходьбе: ведь с точки зрения механики, как мы узнали из предыдущей статьи, ходьба есть не что иное, как *ряд падений нашего тела вперед, предупреждаемых выставлением ноги*. При падении же *назад* нет этого спасительного движения ног, и оттого здесь опасность гораздо больше. Наконец, важно и то, что когда мы даже в самом деле упадем вперед, то, выставив руки, разшибемся не так, как при падении на спину.

Итак, причина того, что безопаснее прыгать из вагона вперед, кроется не столько в законе инерции, сколько в нас самих. Ясно, что для предметов *неживых* правило это неприменимо: бутылка, брошенная из вагона вперед, скорее может разбиться при падении, нежели брошенная в обратном направлении. Поэтому, если вам придется почему-либо прыгать из вагона, выбросив предварительно свой багаж, следует кидать багаж *назад*, *самим же прыгать вперед*.

Люди опытные — кондукторы трамвая, контролеры — часто поступают так: прыгают назад, обратившись спиной по направлению прыжка. Этим достигается двоякая выгода: уменьшается скорость, приобретенная нашим телом по инерции, и, кроме того, предупреждается опасность падения на спину, так как прыгающий обращен передней стороной тела по направлению возможного падения.

ПОЙМАТЬ БОЕВУЮ ПУЛЮ РУКАМИ

Во время империалистической войны, как сообщали газеты, с французским летчиком произошел совершенно необыкновенный случай. Летая на высоте двух километров, летчик заметил, что близ его лица движется какой-то мелкий предмет. Думая, что это насекомое, летчик проворно схватил его рукой. Представьте изумление летчика, когда оказалось, что он поймал... германскую боевую пулю!

Не правда ли, это напоминает рассказы легендарного барона Мюнхгаузена, будто бы ловившего пушечные ядра руками?

А между тем в сообщении о летчике, поймавшем пулю, нет ничего невозможного.

Пуля ведь не все время движется со своей начальной скоростью 800–900 м в секунду. Из-за сопротивления воздуха она постепенно замедляет свой полет и к концу пути — на излете — делает всего метров 40 в секунду. А такую скорость развивает и самолет. Значит, легко может случиться, что пуля и самолет будут иметь одинаковую скорость; тогда по отношению к летчику пуля будет неподвижна или будет двигаться едва заметно. Ничего не будет стоить тогда схватить ее рукой, — особенно в перчатке, потому что пуля, движущаяся в воздухе, сильно разогревается.

АРБУЗ-БОМБА

Если при известных условиях пуля может стать безвредной, то возможен и обратный случай: «мирное тело», брошенное с значительной скоростью, произведет разрушительное действие. Во время автомобильного пробега Ленинград — Тифлис (в 1924 г.) крестьяне кавказских селений приветствовали проносящиеся мимо них автомобили, кидая пассажирам арбузы, дыни, яблоки. Действие этих невинных подарков оказывалось вовсе не приятным: арбузы и дыни вдавливали, сминали и ломали кузов машины, а яблоки, попав в пассажира, причиняли серьезные увечья. Причина понятна: собственная скорость автомобиля складыва-

лась со скоростью брошенного арбуза или яблока и превращала их в опасные, разрушительные снаряды. Нетрудно рассчитать, что пуля в 10 г весом обладает такой же энергией движения, как арбуз в 4 кг, брошенный в автомобиль, который мчится со скоростью 120 км в час. Пробивное действие арбуза при таких условиях не может, однако, сравниться с действием пули, так как арбуз не обладает ее твердостью.

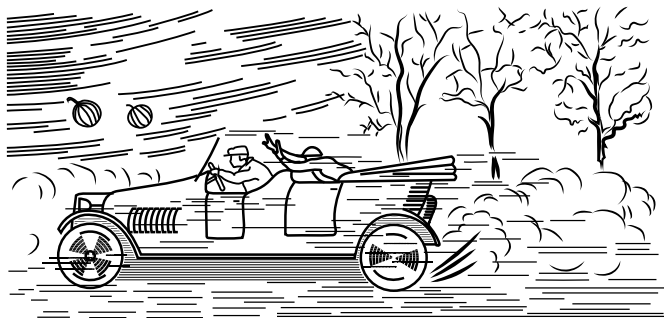


Рис. 21. Арбуз, брошенный навстречу быстро мчащемуся автомобилю, превращается в «снаряд».

Когда разовьется скоростная авиация в высших слоях атмосферы (в так называемой стратосфере), самолеты будут иметь скорость около 3000 км в час, т. е. скорость пуль, летчикам придется иметь дело с явлениями, напоминающими рассмотренное сейчас. А именно, каждый предмет, попадающий на пути такого сверхбыстроходного самолета, превратится для него в разрушительный снаряд. Наткнуться на горсть пуль, просто уроненных с другого самолета, даже не летящего навстречу, будет все равно, что подвергаться обстрелу из пулемета: падающие пули ударятся об аэроплан с такой же силой, с какой вонзились бы в эту машину пули из пулемета. Так как относительные скорости в обоих случаях одинаковы (самолет и пуля сближаются со скоростью около 800 м в секунду), то разрушительные последствия столкновений будут одинаковы.

Наоборот, если пуля летит вслед аэроплану, несущемуся с равной скоростью, то для летчика она, как мы уже знаем, безвредна. Тем, что тела, движущиеся с почти одинаковой скоростью в одном направлении, приходят в соприкосновение без удара, искусно воспользовался в 1935 г. машинист Борщев, приняв движущийся состав из 36 вагонов на свой поезд без удара и тем

предотвратив железнодорожную катастрофу. Произошло это на Южной дороге, на перегоне Ельники — Ольшанка, при следующих обстоятельствах. Впереди поезда, который вел Борщев, шел другой. За недостатком паров передний поезд остановился; его машинист с паровозом и несколькими вагонами отправился вперед, на станцию, оставив остальные 36 вагонов на пути. Вагоны, под которые не было подложено башмаков, покатались под уклон назад со скоростью 15 км в час, грозя налететь на поезд Борщева. Заметив опасность, находчивый машинист остановил свой поезд и повел его назад, постепенно развив скорость также 15 км в час. Благодаря такому маневру ему удалось весь 36-вагонный состав принять на свой поезд без малейшего повреждения.

Наконец, на том же принципе основан прибор, чрезвычайно облегчающий письмо в движущемся поезде. Писать в вагоне на ходу поезда трудно лишь потому, что толчки на стыках рельсов передаются бумаге и кончику пера не одновременно. Если устроить так, чтобы бумага и перо получали сотрясение в одно и то же время, они друг относительно друга будут в покое и письмо на ходу поезда не составит никакого затруднения.

Это и достигается благодаря прибору, изображенному на рисунке 22. Рука с пером пристегивается к дощечке *a*, могущей передвигаться в пазах по планке *b*; последняя, в свою очередь, может перемещаться в пазах дощечки, лежащей на столике в вагоне. Рука, как видим, достаточно подвижна, чтобы писать букву за буквой, строку за строкой; вместе с тем каждый толчок, получаемый бумагой на дощечке, в тот же самый момент и с такой же силой передается руке, держащей перо. При таких условиях письмо на ходу поезда становится столь же удобным, как и в неподвижном вагоне; мешает лишь то, что взгляд скользит по бумаге рывками, так как голова и рука получают толчки не одновременно.

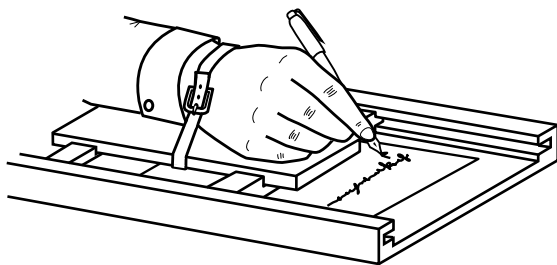


Рис. 22. Приспособление, позволяющее удобно писать в движущемся поезде.

НА ПЛАТФОРМЕ ВЕСОВ

Десятичные весы только в том случае верно показывают вес вашего тела, когда вы стоите на их платформе совершенно неподвижно. Вы нагибаетесь — и весы в момент сгибания показывают уменьшенный вес. Почему? Потому что мускулы, пригибающие верхнюю часть туловища, подтягивают в то же время нижнюю часть тела вверх, уменьшая давление, оказываемое ею на опору. Напротив, в тот момент, когда вы прекращаете нагибание туловища усилением мышц, расталкивающих обе части тела врозь, весы показывают заметно увеличенный вес соответственно усиленному давлению нижней части тела на платформу.

Даже поднятие руки должно вызвать колебание чувствительных весов, соответствующее небольшому увеличению кажущегося веса вашего тела. Мускулы, поднимающие руку вверх, опираются на плечо и, следовательно, отталкивают его вместе с туловищем вниз: давление на платформу возрастает. Остановив поднятую руку, мы приводим в действие противоположные мышцы, которые подтягивают плечо вверх, стремясь сблизить его с концом руки, — и вес тела, его давление на опору, уменьшается.

Наоборот, опуская руку вниз, мы во время этого движения вызываем уменьшение веса своего тела, а в момент остановки руки — увеличение веса. Словом, действием внутренних сил мы можем увеличивать или уменьшать вес нашего тела, разумея под весом давление на опору.

ГДЕ ВЕЩИ ТЯЖЕЛЕЕ?

Сила, с которой тела притягиваются земным шаром, убывает по мере возвышения над земной поверхностью. Если бы мы подняли килограммовую гирию на высоту 6400 км, т. е. удалили ее от центра земного шара на два его радиуса, то сила притяжения ослабела бы в 22, т. е. в 4 раза, и гирия на пружинном безмене вытянула бы всего 250 г вместо 1000. Согласно закону тяготения земной шар притягивает внешние тела так, как если бы вся его масса сосредоточена была в центре, а сила этого притяжения убывает обратно квадрату расстояния. В нашем случае расстояние гири от центра Земли удвоилось, и оттого притяжение ослабело в 22, т. е. вчетверо. Удалив гирию на 12 800 км от земной поверхности, т. е. на тройное расстояние от центра Земли, мы ослабили бы притяжение в 32, т. е. в 9 раз; 1000-граммовая гирия весила бы тогда всего 111 г, и т. д.

Естественно рождается мысль, что, углубляясь с гирей в недра Земли, т. е. приближая тело к центру нашей планеты, мы должны наблюдать усиление притяжения: гиря в глубине Земли должна весить больше. Эта догадка неверна: с углублением в Землю тела не увеличиваются в весе, а, напротив, уменьшаются.

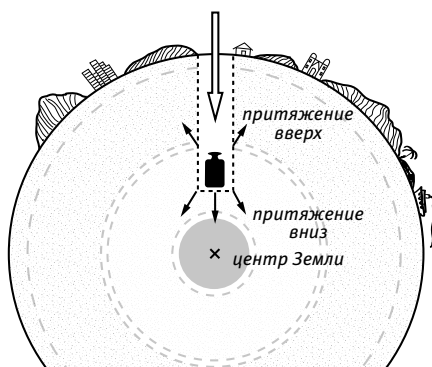


Рис. 23. Почему с углублением в Землю сила тяжести ослабевает.

Объясняется это тем, что в таком случае притягивающие частицы Земли расположены уже не по одну сторону тела, а по разные его стороны. Взгляните на рис. 23. Вы видите, что гиря, помещенная в глубине Земли, притягивается вниз частицами, расположенными ниже гири, но в то же время притягивается вверх теми частицами, которые лежат выше нее. Можно доказать, что в конечном итоге имеет значение притягивающее действие только шара, радиус которого равен расстоянию от центра Земли до местонахождения тела, поэтому вес тела по мере углубления в Землю должен быстро уменьшаться. Достигнув центра Земли, тело совсем утратит вес, сделается невесомым, так как окружающие частицы влекут его там во все стороны с одинаковой силой.

Итак, всего больше тело весит на самой поверхности Земли; с удалением от нее ввысь или вглубь вес его уменьшается [Так происходило бы, если бы земной шар был вполне однороден по плотности: в действительности плотность Земли возрастает с приближением к центру; поэтому сила тяжести при углублении в Землю сначала, на некотором расстоянии, растет и лишь затем начинает ослабевать.]

СКОЛЬКО ВЕСИТ ТЕЛО, КОГДА ОНО ПАДАЕТ?

Заметили ли вы, какое странное ощущение испытываете вы в тот момент, когда начинаете спускаться на лифте? Ненормальная легкость, вроде той, какую испытывает человек, летящий в пропасть... Это — не что иное, как ощущение невесомости: в первый момент движения, когда пол под вашими ногами уже опускается, а вы сами не успели еще приобрести той же скорости, тело ваше почти не давит на пол и, следовательно, весьма мало весит.

Проходит мгновение, и странное ощущение прекращается; ваше тело, стремясь падать быстрее, чем равномерно движущийся лифт, давит на его пол и, значит, снова приобретает свой полный вес.

Привесьте гирию к крючку пружинных весов и следите, куда двинется указатель, если весы с гирей быстро опустить вниз (для удобства поместите кусочек пробки в прорезь весов и заметьте изменение его положения). Вы убедитесь, что во время падения указатель показывает не полный вес гири, а гораздо меньше! Если бы весы падали свободно и вы имели возможность во время падения следить за их указателем, вы заметили бы, что гиря при падении вовсе ничего не весит: указатель находится у нуля.

Самое тяжелое тело становится совершенно невесомым в течение всего того времени, пока оно падает. Легко понять, почему это так. «Весом» тела мы называем силу, с которой тело тянет точку подвеса или давит на свою опору. Но *падающее* тело не производит никакого натяжения пружины весов, так как пружина опускается вместе с ним. Пока тело падает, оно ничего не натягивает и ни на что не напирает. Следовательно, спрашивать о том, сколько весит тело, когда оно падает, все равно, что спрашивать: сколько тело весит, когда оно не весит?

Еще основатель механики, Галилей, в XVII веке писал [В «Математических доказательствах, касающихся двух отраслей новой науки». В 1934 г. вышел полный русский перевод этого замечательного сочинения.]: «Мы ощущаем груз на наших плечах, когда стараемся мешать его падению. Но если станем двигаться вниз с такой же скоростью, как и груз, лежащей на нашей спине, то как же может он давить и обременять нас? Это подобно тому, как если бы мы захотели поразить копьём [Не выпуская его из рук. — Я. П.] кого-либо, кто бежит впереди нас с такой же скоростью, с какой движемся и мы».

Следующий легко исполнимый опыт наглядно подтверждает правильность этих рассуждений.

На одну чашку торговых весов положите щипцы для раскалывания орехов так, чтобы одно колено их покоилось на чашке, другое же привяжите за конец ниткой к крючку коро-

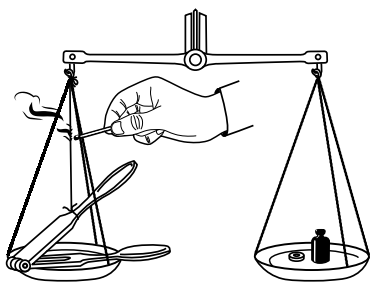


Рис. 24. Опыт, иллюстрирующий невесомость падающего тела.

мысла (рис. 24). На другую чашку поместите столько груза, чтобы веса были в равновесии. Поднесите к нитке зажженную спичку; нитка перегорит, и верхнее колено щипцов упадет на чашку.

Что же произойдет в этот момент с весами? Опустится ли чашка с щипцами в то время, пока колено еще падает, поднимется она или останется в равновесии?

Теперь, когда вы знаете уже, что падающее тело не имеет веса, вы можете заранее дать правильный ответ на этот вопрос: чашка должна подняться на мгновение *вверх*.

В самом деле: верхнее колено щипцов, падая, хотя и остается в соединении с нижним, все же давит на него меньше, чем в неподвижном состоянии. Вес щипцов на мгновение уменьшается, и чашка, естественно, поднимается вверх.

ИЗ ПУШКИ НА ЛУНУ

В 1865–1870 гг. появился во Франции фантастический роман Жюль Верна «Из пушки на Луну», в котором высказана необычайная мысль: послать на Луну исполинский пушечный снаряд-вагон с живыми людьми! Жюль Верн представил свой проект в столь правдоподобном виде, что у большинства читателей, наверное, возникал вопрос: нельзя ли в самом деле осуществить эту мысль? Об этом интересно побеседовать.

Сначала рассмотрим, можно ли — хотя бы теоретически — выстрелить из пушки так, чтобы снаряд никогда не упал назад, на Землю. Теория допускает такую возможность. В самом деле, почему снаряд, горизонтально выброшенный пушкой, в конце концов падает на Землю? Потому что Земля, притягивая снаряд, искривляет его путь: он летит не по прямой линии, а по кривой, направленной к Земле, и поэтому рано или поздно встречается с почвой. Земная поверхность, правда, тоже искривлена, но путь снаряда изгибается гораздо круче. Если же кривизну пути снаряда ослабить и сделать ее одинаковой с искривлением поверхности земного шара, то такой снаряд никогда не сможет упасть на Землю! Он будет двигаться по кривой, концентрической с окружностью земного шара; другими словами, сделается его спутником, как бы второй Луной.

Но как добиться, чтобы снаряд, выброшенный пушкой, шел по пути, менее искривленному, чем земная поверхность? Для этого необходимо только сообщить ему достаточную скорость. Обратите внимание на рис. 25, изображающий разрез части земного шара.

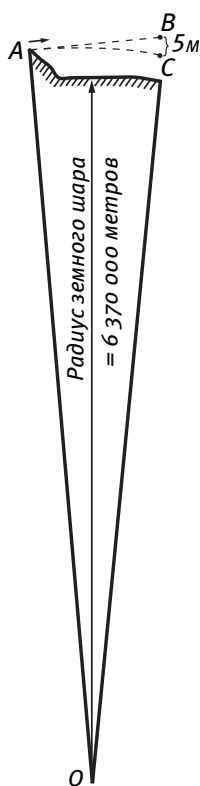


Рис. 25. Вычисление скорости снаряда, который должен навсегда покинуть Землю.

На горе, высотой которой будем пренебрегать, в точке *A* стоит пушка. Снаряд, горизонтально выброшенный ею, был бы через секунду в точке *B*, если бы не существовало притяжения Земли. Но притяжение меняет дело, и под действием этой силы снаряд через секунду скажется не в точке *B*, а на 5 м ниже, в точке *C*. Пять метров — это путь, проходимый (в пустоте) каждым свободно падающим телом в первую секунду под действием силы тяжести близ поверхности Земли. Если, опустившись на эти 5 м, снаряд наш окажется над уровнем Земли ровно настолько же, насколько был он в точке *A*, то, значит, он движется по кривой, концентрической с окружностью земного шара.

Остается вычислить отрезок *AB* (рис. 25), т. е. тот путь, который проходит снаряд в секунду по горизонтальному направлению; мы узнаем тогда, с какой секундной скоростью нужно для нашей цели выбросить снаряд из жерла пушки. Вычислить это, нетрудно из треугольника *AOB*, в котором *OA* — радиус земного шара (около 6 370 000 м); *OC = OA*, *BC = 5 м*; следовательно, *OB = 6 370 005 м*. Отсюда по теореме Пифагора имеем: $(AB)^2 = (6\,370\,005)^2 - (6\,370\,000)^2$.

Сделав вычисление, находим, что путь — *AB* равен примерно 8 км.

Итак, если бы не было воздуха, который сильно мешает быстрому движению, снаряд, выброшенный горизонтально из пушки со скоростью 8 км/сек, никогда не упал бы на Землю, а вечно кружился бы вокруг нее, подобно спутнику.

А если выбросить снаряд из пушки с еще большей скоростью, — куда полетит он? В небесной механике доказывается, что при скорости в 8, 9, даже 10 км/сек снаряд, вылетев из жерла пушки, должен описывать вокруг земного шара эллипс тем более вытянутый, чем больше начальная скорость. При скорости же снаряда 11,2 км/сек он вместо эллипса опишет уже незамкнутую кривую — параболу, навсегда удаляясь от Земли (рис. 26).

Мы видим, следовательно, что *теоретически* мыслимо полететь на Луну внутри снаряда, выброшенного с достаточно большой скоростью [Тут могут представиться, однако, затруднения совсем особого рода. Подробнее вопрос этот рассматривается во второй книге «Занимательной физики», а также в другой моей книге — «Межпланетные путешествия»].

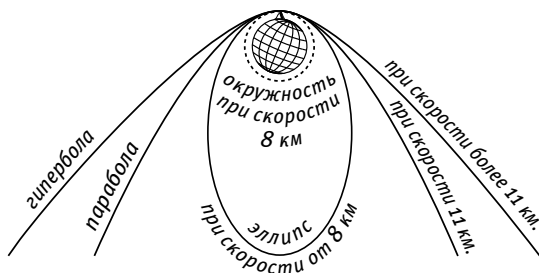


Рис. 26. Судьба пушечного снаряда, выпущенного с начальной скоростью 8 км/сек и более.

(Предыдущее рассуждение имело в виду атмосферу, не препятствующую движению снарядов. В реальных условиях наличие сопротивляющейся атмосферы чрезвычайно затруднило бы получение таких высоких скоростей, а быть может, сделало бы их совершенно недостижимыми.)

КАК ЖЮЛЬ ВЕРН ОПИСАЛ ПУТЕШЕСТВИЕ НА ЛУНУ И КАК ОНО ДОЛЖНО БЫЛО БЫ ПРОИСХОДИТЬ

Кто читал упомянутый сейчас роман Жюль Верна, тому памятен интересный момент путешествия, когда снаряд пролетел через точку, где притяжение Земли и Луны одинаково. Здесь произошло нечто поистине сказочное: все предметы внутри снаряда утратили свой вес, а сами путешественники, подпрыгнув, повисли в воздухе без опоры.

Описано это совершенно верно, но романист упустил из виду, что то же самое должно было наблюдаться также и до и после перелета через точку равного притяжения. Легко показать, что путешественники и все предметы внутри снаряда должны стать невесомыми *с первого же момента свободного полета*.

Это кажется невероятным, но, я уверен, вы сейчас будете удивляться тому, что сами не заметили ранее столь крупного упущения.

Возьмем пример из романа Жюль Верна. Без сомнения, вы не забыли, как пассажиры выбросили наружу труп собаки и как они с изумлением заметили, что он вовсе не падает на Землю, а продолжает нестись вперед вместе со снарядом. Романист правильно описал это явление и дал ему верное объяснение. Действительно, в пустоте, как известно, все тела падают с одинаковой скоростью: притяжение Земли сообщает всем телам одинаковое ускорение. В данном случае и снаряд, и труп собаки должны были под действием земного притяжения приобрести одинаковую скорость падения (одинаковое ускорение); вернее, та скорость, которая сообщена была им при вылете из пушки, должна была под действием тяжести уменьшаться одинаково. Следовательно, скорости снаряда и трупа во всех точках пути должны оставаться равными, поэтому труп собаки, выброшенный из снаряда, продолжал следовать за ним, нисколько не отставая.

Но вот о чем не подумал романист: если труп собаки не падает к Земле, находясь *вне* снаряда, то почему будет он падать, находясь *внутри* него? Ведь и там и тут действуют одинаковые силы! Тело собаки, помещенное без опоры внутри снаряда, должно оставаться висящим в пространстве, оно имеет совершенно ту же скорость, что и снаряд, и, значит, *по отношению к нему* остается в покое. Что верно для трупа собаки, то верно и для тел пассажиров и вообще для всех предметов внутри снаряда: в каждой точке пути они имеют такую же скорость, как и сам снаряд, и, следовательно, не должны падать, даже если остаются без опоры. Стул, стоящий на полу летящего снаряда, можно поместить вверх ножками у потолка, и он не упадет «вниз», потому что будет продолжать нестись вперед вместе с потолком. Пассажир может усесться вниз головой на этот стул и оставаться на нем, не испытывая ни малейшего стремления падать на пол снаряда. Какая сила может заставить его упасть? Ведь если бы он упал, т. е. приблизился к полу, то это значило бы, собственно говоря, что снаряд мчится в пространстве с большей скоростью, чем пассажир (иначе стул не приблизился бы к полу). А между тем это невозможно: мы знаем, что все предметы внутри снаряда имеют то же ускорение, как и сам снаряд.

Этого романист не заметил: он думал, что предметы внутри свободно несущегося снаряда, находящегося под действием одних лишь сил притяжения, будут продолжать давить на свои опоры, как давили тогда, когда снаряд был неподвижен. Жюль Верн упустил из виду, что если и тело, и опора движутся в пространстве с одинаковым ускорением, сообщаемым действием сил притяжения (другие внешние силы — сила тяги, сила сопротивления воздуха — отсутствуют), то давить друг на друга они не могут.

Итак, с того момента путешествия, когда на снаряд перестали действовать газы, пассажиры не имели никакого веса и могли свободно витать в воздухе внутри снаряда; точно так же и все предметы в нем должны были казаться совершенно невесомыми. По этому признаку пассажиры легко могли определить, мчатся ли они в пространстве или продолжают неподвижно оставаться в пушке. Между тем романист рассказывает, как в первые полчаса своего небесного путешествия пассажиры тщетно ломали голову над вопросом: летят ли они или нет?

«— Николь, движемся ли мы?»

Николь и Ардан переглянулись: они не чувствовали колебаний снаряда.

— Действительно! Движемся ли мы? — повторил Ардан.

— Или спокойно лежим на почве Флориды? — спросил Николь.

— Или на дне Мексиканского залива? — прибавил Мишель».

Такие сомнения возможны у пассажиров парохода, но невысказаны у пассажиров свободно несущегося снаряда: первые сохраняют свой вес, вторые же не могут не заметить, что сделались совершенно невесомыми.

Странное явление должен был представлять собой этот фантастический вагон-снаряд! Крошечный мир, где тела лишены веса, где, выпущенные из рук, они спокойно остаются на месте, где предметы сохраняют равновесие во всяком положении, где вода не выливается из опрокинутой бутылки... Все это упустил из виду автор «Путешествия из Луны», а между тем какой простор могли бы дать фантазии романиста эти изумительные возможности!

ВЕРНО ВЗВЕСИТЬ НА НЕВЕРНЫХ ВЕСАХ

Что важнее для правильного взвешивания: весы или гири?

Вы ошибаетесь, если думаете, что одинаково важно и то и другое: можно правильно взвесить и не имея верных весов, когда под рукой есть верные гири. Существует несколько способов верно взвешивать на неверных весах. Рассмотрим из них два.

Первый способ предложен нами великим химиком Д. И. Менделеевым. Взвешивание начинают с того, что на одну из чашек кладут какой-нибудь груз, — безразлично какой, лишь бы он был тяжелее тела, подлежащего взвешиванию. Груз этот уравнивают гирями на другой чашке. После этого на чашку с гирями кладут взвешиваемое тело и снимают с нее столько гирь, сколько требуется, чтобы восстановить нарушенное равновесие. Вес снятых гирь, очевидно,

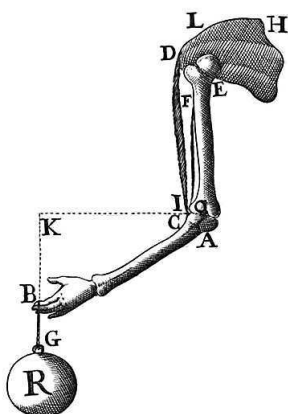


Рис. 27. Предплечье человека — рычаг второго рода. Действующая сила приложена к точке I; опора рычага находится в точке O сочленения; преодолеваемое же сопротивление (груз R) приложено в точке B. Расстояние BO больше расстояния IO приблизительно в 8 раз. (Рисунок взят из старинного сочинения Борелли, флорентийского ученого XVII века, «О движении животных», где законы механики впервые прилагаются к физиологии.)

равен весу тела; оно заменяет их теперь на одной и той же чашке и, значит, имеет одинаковый с ними вес.

Этот прием, который называют «способом постоянной нагрузки», особенно удобен, когда приходится отвешивать одно за другим несколько тел: первоначальная нагрузка остается и ею пользуются для всех отвешиваний.

Другой прием, названный по имени предложившего его ученого «способом Борда», выполняется так. Поместите предмет, подлежащий взвешиванию, на одну чашку весов, а на другую насыпайте песок или дробь до тех пор, пока весы не придут в равновесие. Затем, сняв с чашки взвешиваемый предмет (песок не трогайте), кладите на нее гири до тех пор, пока весы снова не уравновесятся. Ясно, что теперь вес гирь равен весу замененного ими предмета. Отсюда другое название способа — «взвешивание заменой».

Для пружинных весов, имеющих только одну чашку, также применим этот простой прием, если у вас, кроме того, есть верные гири. Здесь нет необходимости запасаться песком или дробью. Положите взвешиваемую вещь на чашку и заметьте, у какого деления остановится указатель. Затем, сняв вещь, поставьте на чашку столько гирь, сколько нужно, чтобы указатель остановился у прежнего деления. Вес этих гирь, очевидно, должен равняться весу замененной ими вещи.

СИЛЬНЕЕ САМОГО СЕБЯ

Какой груз вы можете поднять рукой? Положим, что 10 кг. Вы думаете, что эти 10 кг определяет силу мышц вашей руки? Ошибаетесь: мышцы гораздо сильнее! Проследите за действием, например, так называемой двуглавой мышцы вашей руки (рис. 27).

Она прикреплена близ точки опоры рычага, каким является кость предплечья, а груз действует на другой конец этого живого рычага. Расстояние от груза до точки опоры, т. е. до сустава, почти в 8 раз больше, чем расстояние от конца мышцы до опоры. Значит, если груз составляет 10 кг, то мускул тянет с силой, в 8 раз большей. Развивая силу в 8 раз большую, чем наша рука, мускул мог бы непосредственно поднять не 10 кг, а 80 кг.

Мы вправе без преувеличения сказать, что каждый человек гораздо сильнее самого себя, т. е. что наши мускулы развивают силу, значительно большую той, которая проявляется в наших действиях.

Целесообразно ли такое устройство? На первый взгляд как будто нет, — мы видим здесь потерю силы, ничем не вознаграждаемую. Однако вспомним старинное «золотое правило» механики: что теряется в силе, выигрывается в перемещении. Тут и происходит выигрыш в скорости: наши руки движутся в 8 раз быстрее, чем управляющие ими мышцы. Тот способ прикрепления мускулов, который мы видим в теле животных, обеспечивает конечностям проворство движений, более важное в борьбе за существование, нежели сила. Мы были бы крайне медлительными существами, если бы наши руки и ноги не были устроены по этому принципу.

ПОЧЕМУ ЗАОСТРЕННЫЕ ПРЕДМЕТЫ КОЛЮЧИ?

Задумывались ли вы над вопросом: отчего игла так легко пронизывает предмет насквозь? Отчего сукно или картон легко проткнуть тонкой иглой и трудно пробить тупым гвоздем? В обоих случаях действует, казалось бы, одинаковая сила.

Сила одинакова, но *давление* все же не одинаково. В первом случае вся сила сосредоточивается на острие иглы; во втором — та же сила распределяется на большую площадь конца гвоздя; следовательно, давление иглы гораздо больше, нежели давление тупого стержня при одном и том же усилии наших рук.

Каждый скажет, что борона с 20 зубьями глубже разрыхлит землю, чем борона того же веса, но с 60 зубьями. Почему? Потому что *нагрузка на каждый зуб* в первом случае больше, чем во втором.

Когда речь идет о давлении, всегда необходимо, кроме силы, принимать во внимание также и площадь, на которую эта сила действует. Когда нам говорят, что кто-либо получает 1000 рублей зарплаты, то мы не знаем еще, много это или мало: нужно знать — в год или в месяц? Точно так же и действие силы зависит от того, распределяется ли она на квадратный сантиметр или сосредоточивается на сотой доле квадратного миллиметра.

Человек на лыжах ходит по рыхлому снегу, а без лыж проваливается. Почему? Потому что в первом случае давление его тела распределяется на гораздо большую поверхность, чем во втором. Если поверхность лыж, например, в 20 раз больше поверхности наших подошв, то на лыжах мы давим на снег в 20 раз слабее, чем стоя на снегу прямо ногами. Рыхлый снег выдерживает первое давление, но не выдерживает второго.

По той же причине лошадям, работающим на болоте, подвязывают особые «башмаки» к копытам, чтобы увеличить площадь опоры ног и тем уменьшить давление на болотистую почву: ноги лошадей при этом не увязают в болоте. Так же поступают и люди в некоторых болотистых местностях.

По тонкому льду люди передвигаются ползком, чтобы распределить вес своего тела на большую площадь.

Наконец, характерная особенность танков и гусеничных тракторов не увязать в рыхлом грунте, несмотря на свой значительный вес, объясняется опять-таки распределением веса на большую поверхность опоры. Гусеничная машина весом 8 и более тонн оказывает на 1 кв. см грунта давление не более 600 г. С этой точки зрения интересен автомобиль на гусеничном ходу для перевозки грузов на болотах. Такой грузовик, везущий 2 тонны груза, оказывает на грунт давление всего 160 г на 1 кв. см; благодаря этому он хорошо ходит на торфяном болоте и по топким или песчаным местностям.

В этом случае большая площадь опоры так же выгодна технически, как малая площадь в случае иглы.

Из сказанного ясно, что острое прокалывает лишь благодаря незначительности площади, по которой распределяется действие силы. Совершенно по той же причине острый нож лучше режет, нежели тупой: сила сосредоточивается на меньшем пространстве.

Итак, заостренные предметы оттого хорошо колют и режут, что на их остриях и лезвиях сосредоточивается большее давление.

НАПОДОБИЕ ЛЕВИАФАНА

Почему на простом табурете сидеть жестко, в то время как на стуле, тоже деревянном, несколько не жестко? Почему мягко лежать в веревочном гамаке, который сплетен из довольно твердых шнурков? Почему не жестко лежать на проволочной сетке, устраиваемой в кроватях взамен пружинных матрасов?

Нетрудно догадаться. Сиденье простого табурета плоско; наше тело соприкасается с ним лишь по небольшой поверхности, на ко-

торой и сосредоточивается вся тяжесть туловища. У стула же сиденье вогнутое; оно соприкасается с телом по большей поверхности; по этой поверхности и распределяется вес туловища: на единицу поверхности приходится меньший груз, меньшее давление.

Итак, все дело здесь в более равномерном распределении давления. Когда мы нежимся из мягкой постели, в ней образуются углубления, соответствующие неровностям нашего тела. Давление распределяется здесь по нижней поверхности тела довольно равномерно, так что на каждый квадратный сантиметр приходится всего несколько граммов. Неудивительно, что в этих условиях мы чувствуем себя хорошо.

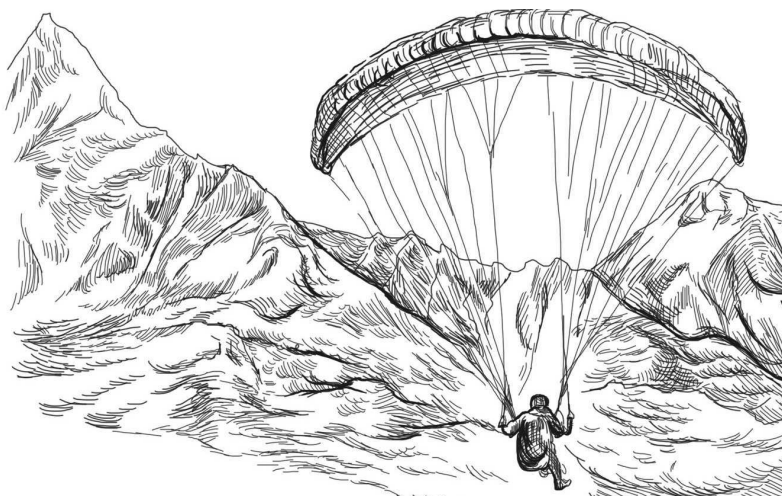
Легко выразить это различие и в числах. Поверхность тела взрослого человека составляет около 2 кв. м, или 20 000 кв. см. Допустим, что, когда мы лежим в постели, с ней соприкасается, опираясь на нее, приблизительно 1/4 всей поверхности нашего тела, т. е. 0,5 кв. м, или 5000 кв. см. Вес же нашего тела — около 60 кг (в среднем), или 60 000 г. Значит, на каждый квадратный сантиметр приходится всего 12 г. Когда же мы лежим на голых досках, то соприкасаемся с опорной плоскостью лишь в немногих маленьких участках, общей площадью в какую-нибудь сотню квадратных сантиметров. На каждый квадратный сантиметр приходится, следовательно, давление в полкилограмма, а не в десяток граммов. Разница заметная, и мы сразу ощущаем ее на своем теле, говоря, что нам «очень жестко».

Но даже на самом твердом ложе нам может быть вовсе не жестко, если давление распределяется равномерно на большую поверхность. Вообразите, что вы легли на мягкую глину и в ней отпечатались форма вашего тела. Покинув глину, оставьте ее сохнуть (высыхая, глина «садится» на 5–10%, но предположим, что этого не происходит). Когда она сделается твердой как камень, сохранив оставленные вашим телом вдавленности, лягте на нее опять, заполнив собой эту каменную форму. Вы почувствуете себя, как на нежном пуховике, не ощущая жесткости, хотя лежите буквально на камне. Вы уподобитесь легендарному Левиафану, о котором читаем в стихотворении Ломоносова:

*На острых камнях возлегает
И твердость оных презирает,
Для крепости великих сил,
Считая их за мягкий ил.*

Но причина нашей нечувствительности к жесткости ложа будет не «крепость великих сил», а распределение веса тела на весьма большую опорную поверхность.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕДЫ



ПУЛЯ И ВОЗДУХ

Что воздух мешает полету пули, знают все, но лишь немногие представляют себе ясно, насколько велико это тормозящее действие воздуха. Большинство людей склонно думать, что такая нежная среда, как воздух, которого мы обычно даже и не чувствуем, не может сколько-нибудь заметно мешать стремительному полету ружейной пули.

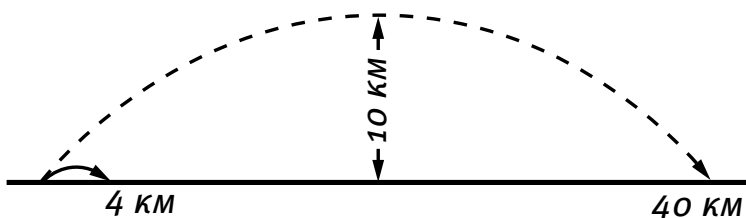


Рис. 28. Полет пули в пустоте и в воздухе. Большая дуга изображает путь, какой описала бы пуля, если бы не существовало атмосферы. Маленькая дуга слева — действительный путь пули в воздухе.

Но взгляните на рис. 28, и вы поймете, что воздух является для пули препятствием чрезвычайно серьезным. Большая дуга на этом чертеже изображает путь, который пролетела бы пуля, если бы не существовало атмосферы. Покинув ствол ружья (под углом 45° , с начальной скоростью 620 м/сек), пуля описала бы огромную дугу в 10 км высотой; дальность полета пули составила бы почти 40 км. В действительности же пуля при указанных условиях описывает сравнительно небольшую дугу и дальность ее полета составляет 4 км. Изображенная на том же чертеже дуга эта почти незаметна рядом с первой; таков результат противодействия воздуха! Не будь воздуха, из винтовки можно было бы обстреливать неприятеля с расстояния 40 км, взметая свинцовый дождь на высоту 10 км.

СВЕРХДАЛЬНЯЯ СТРЕЛЬБА

Обстреливать противника с расстояния в сотню и более километров впервые начала германская артиллерия к концу империалистической войны (1918 г.), когда успехи французской и английской авиации положили конец воздушным налетам немцев. Германский штаб избрал другой, артиллерийский, способ поражать столицу Франции, удаленную от фронта не менее чем на 110 км.

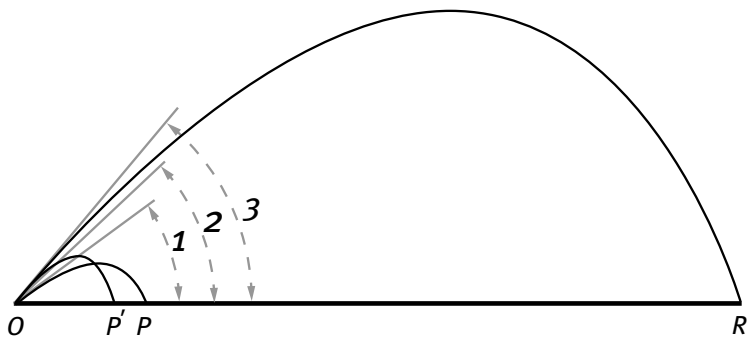


Рис. 29. Как изменяется дальность полета снаряда с изменением угла наклона сверхдальнобойного орудия; при угле 1 снаряд падает в P' , при угле 2 — в P'' , при угле же 3 дальность стрельбы сразу возрастает во много раз, так как снаряд залетает в слои разреженной атмосферы.

Способ этот был совершенно новый, никем еще не испытанный. Наткнулись на него немецкие артиллеристы случайно. При стрельбе из крупнокалиберной пушки под большим углом возвы-

шения неожиданно обнаружилось, что вместо дальности в 20 км достигается дальность в 40 км. Оказалось, что снаряд, посланный круто вверх с большой начальной скоростью, достигает тех высоких разреженных слоев атмосферы, где сопротивление воздуха весьма незначительно; в такой слабо сопротивляющейся среде снаряд пролетает значительную часть своего пути и затем круто опускается на землю. Рис. 29 наглядно показывает, как велико различие в путях снарядов при изменении угла возвышения.

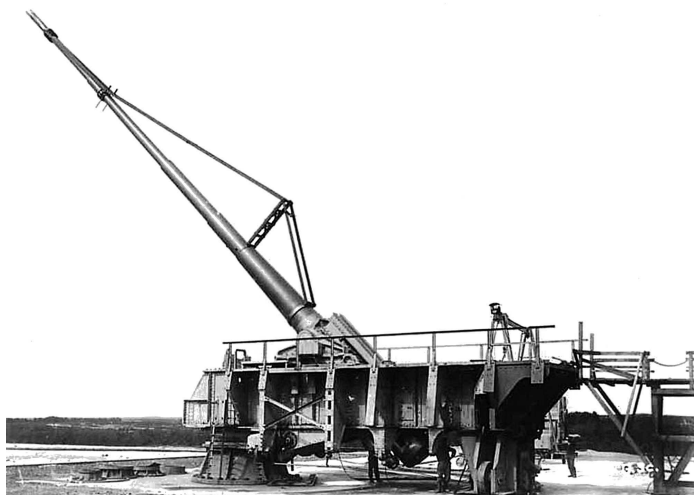


Рис. 30. Немецкая пушка «Колоссаль». Внешний вид.

Это наблюдение и положено было немцами в основу проекта сверхдальнобойной пушки для обстрела Парижа с расстояния 115 км. Пушка была успешно изготовлена и в течение лета 1918 г. выпустила по Парижу свыше трехсот снарядов.

Вот что стало известно об этой пушке впоследствии. Это была огромная стальная труба в 34 м длиной и в целый метр толщиной; толщина стенок в казенной части 40 см. Весило орудие 750 тонн. Его 120-килограммовые снаряды имели метр в длину и 21 см в толщину. Для заряда употреблялось 150 кг пороха; развивалось давление в 5000 атмосфер, которое и выбрасывало снаряд с начальной скоростью 2000 м/сек. Стрельба велась под углом возвышения 52° ; снаряд описывал огромную дугу, высшая точка которой лежала на уровне 40 км над землей, т. е. далеко в стратосфере. Свой путь от позиции до Парижа — 115 км — снаряд проделывал в 3,5 минуты, из которых 2 минуты он летел в стратосфере.

Такова была первая сверхдальнобойная пушка, прародительница современной сверхдальнобойной артиллерии.

Чем больше начальная скорость пули (или снаряда), тем сопротивление воздуха значительнее: оно возрастает не пропорционально скорости, а быстрее, пропорционально второй и более высокой степени скорости, в зависимости от величины этой скорости.

ПОЧЕМУ ВЗЛЕТАЕТ БУМАЖНЫЙ ЗМЕЙ?

Пытались ли вы объяснить себе, почему бумажный змей взлетает *вверх*, когда его тянут за бечевку *вперед*?

Если вы сможете ответить на этот вопрос, вы поймете также, почему летит аэроплан, почему носятся по воздуху семена клена и даже отчасти уясните себе причины странных движений бумеранга. Все это — явления одного порядка. Тот самый воздух, который составляет столь серьезное препятствие для полета пуль и снарядов, обуславливает полет не только легкого плода клена или бумажного змея, но и тяжелого самолета с десятками пассажиров.

Чтобы объяснить поднятие бумажного змея, придется прибегнуть к упрощенному чертежу. Пусть линия MN (рис. 31) изображает у нас разрез змея. Когда, запуская змей, мы тянем его за шнур, он движется из-за тяжести хвоста в наклонном положении. Пусть это движение совершается справа на лево. Обозначим угол наклона плоскости змея к горизонту через α

Рассмотрим, какие силы действуют на змей при этом движении. Воздух, конечно, должен мешать его движению, оказывать на змей некоторое давление. Это давление изображено на рис. 31 в виде стрелки OC ; так как воздух давит всегда перпендикулярно к плоскости, то линия OC начерчена под прямым углом к MN . Силу OC можно разложить на две, построив так называемый параллелограмм сил; получим вместо силы OC две силы, OD и OP . Из них сила OD толкает наш змей назад и, следовательно, уменьшает первоначальную его скорость. Другая же сила, OP , увлекает аппарат вверх; она уменьшает его вес и, если достаточно велика, может преодолеть

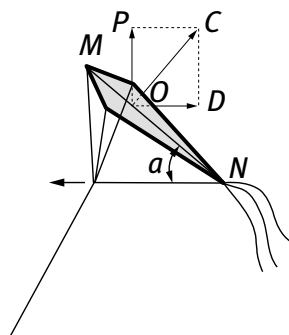


Рис. 31. Какие силы действуют на бумажного змея?

вес змея и поднять его. Вот почему змей поднимается вверх, когда мы тянем его за веревочку вперед.

Самолет — тот же змей, только движущая сила нашей руки заменена в нем движущей силой пропеллера или реактивного двигателя, которая сообщает аппарату движение вперед и, следовательно, подобно змею, заставляет его подниматься вверх. Здесь дана лишь грубая схема явления; есть другие обстоятельства, обуславливающие подъем самолета; о них будет речь в другом месте [См. вторую книгу «Занимательной физики», статью «Волны и вихри»].



*Рис. 32. Белки-летяги во время полета.
Летяги делают с высоты прыжки на расстояние в 20–30 м.*

ЖИВЫЕ ПЛАНЕРЫ

Вы видите, что самолеты устроены вовсе не наподобие птицы, как обыкновенно думают, а скорее наподобие белок-летяг, шерстокрылов или летучих рыб. Впрочем, названные животные пользуются своими летательными перепонками не для того, чтобы подниматься вверх, а лишь для того, чтобы совершать большие прыжки — «планирующие спуски», как выразился бы летчик. У них сила OP (рис. 31) недостаточна для того, чтобы вполне уравновесить груз их тела; она лишь уменьшает их вес и тем помогает совершать огромные прыжки с возвышенных пунктов (рис. 32). Белки-летяги перепрыгивают расстояния в 20–30 м с верхушки одного дерева к нижним ветвям другого. В Ост-Индии и на Цейлоне водится гораздо более крупный вид летучей белки — тагуан — величиной с нашу кошку; когда он разворачивает свой «планер», его ширина достигает полуметра. Такие крупные размеры летательной перепонки позволяют животному совершать, несмотря на сравнительно большой вес, перелеты метров в 50. А шерстокрыл, который водится на Зондских и Филиппинских островах, делает прыжки длиной даже до 70 м.

БЕЗМОТОРНОЕ ЛЕТАНИЕ У РАСТЕНИЯ

Растения также нередко прибегают к услугам планеров — именно для распространения своих плодов и семян. Многие плоды и семена снабжены либо пучками волосков (хохолки одуванчика, козлобородника, хлопчатника), которые действуют наподобие парашюта, либо же поддерживающими плоскостями в форме отростков, выступов и т. п. Такие растительные планеры можно наблюдать у хвойных, кленов, вязов, березы, граба, липы, многих зонтичных и т. д.

В известной книге Кернера фон Марилауна «Жизнь растений» читаем об этом следующее:

«При безветрии в солнечные дни множество плодов и семян поднимается вертикальным воздушным течением на значительную высоту, но после захода солнца обыкновенно снова опускается неподалеку. Такие полеты важны не столько для распространения растений вширь, сколько для поселения на карнизах и в трещинах крутых склонов и отвесных скал, куда семена не могли бы попасть иным путем. Горизонтально же текущие воздушные массы способны переносить реюющие в воздухе плоды и семена на весьма большие расстояния.

У некоторых растений крылья и парашюты остаются в соединении с семенами только на время полета. Семянки татарника спокойно плывут по воздуху, но, как только встретят препятствие, семя отделяется от парашюта и падает на землю. Этим объясняется столь частое произрастание татарника вдоль стен и заборов. В других случаях семя остается все время соединенным с парашютом».

На рис. 33 и 34 изображены некоторые плоды и семена, снабженные «планерами».



Рис. 33. Плод козлобородника.

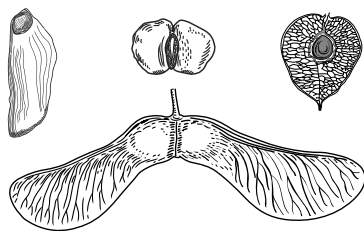


Рис. 34. Летучие семена растений:

крылатки клена, сосны, карагача, березы.

Растительные планеры во многих отношениях даже совершеннее человеческих. Они поднимают сравнительно со своим собственным весом гораздо больший груз. Кроме того, этот растительный самолет отличается автоматической устойчивостью: если семечко индийского жасмина перевернуть, оно само повернется обратно выпуклой стороной вниз; если при полете семя встречает преграду, оно не теряет равновесия, не падает, а плавно опускается вниз.

ЗАТЯЖНОЙ ПРЫЖОК ПАРАШЮТИСТА

Здесь приходят на память героические прыжки наших мастеров парашютного спорта, выбрасывавшихся на высоте около 10 км, не раскрывая парашюта. Лишь пролетев значительную часть пути, они дергали за кольцо парашюта и последние сотни метров опускались, паря на своих зонтах.

Многие думают, что, падая «камнем», не раскрывая парашюта, человек летит вниз, как в пустом пространстве. Если бы было так, если бы человеческое тело падало в воздухе, как в пустоте, — затяжной прыжок длился бы гораздо меньше, чем в действительности, а развиваемая к концу скорость была бы огромна.

Однако сопротивление воздуха препятствует нарастанию скорости. Скорость тела парашютиста во время затяжного прыжка растет только в течение первого десятка секунд, на протяжении первых сотен метров. Сопротивление воздуха возрастает с увеличением скорости так значительно, что довольно скоро наступает момент, когда скорость больше не изменяется. Движение из ускоренного становится равномерным.

Можно путем вычислений набросать в общих чертах картину затяжного прыжка с точки зрения механики. *Ускоренное* падение парашютиста длится только первые 12 секунд или немного менее, в зависимости от его веса. За этот десяток секунд он успевает опуститься метров на 400–500 и приобрести скорость около 50 м в секунду. Весь остальной путь до раскрытия парашюта проходит уже равномерным движением с этой скоростью.

Примерно так же падают и капли дождя. Разница лишь в том, что первый период падения, когда скорость еще растет, продолжается для дождевой капли всего около одной секунды и даже меньше. Окончательная скорость капель дождя поэтому не столь велика, как при затяжном прыжке парашютиста: она колеблется от 2 до 7 м в секунду в зависимости от размеров капли [О скорости дождевых капель подробнее рассказано в моей «Занимательной механике», о затяжном прыжке — в книге «Знаете ли вы физику?»].

БУМЕРАНГ

Это оригинальное оружие — самое совершенное произведение техники первобытного человека — долгое время вызывало изумление ученых. Действительно, странные, запутанные фигуры, описываемые бумерангом в воздухе (рис. 35), способны озадачить каждого.

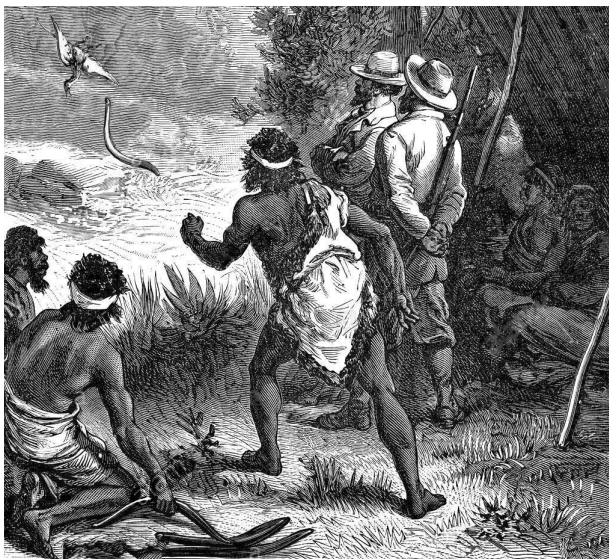


Рис. 35. Как австралийцы пользуются бумерангом на охоте, чтобы поражать жертву из-за прикрытия.

В настоящее время теория полета бумеранга разработана весьма подробно и чудеса перестали быть чудесами. Вдаваться в эти интересные подробности мы не станем. Скажем лишь, что необычайные пути полета бумеранга являются результатом взаимодействия трех обстоятельств: 1) первоначального броска, 2) вращения бумеранга и 3) сопротивления воздуха. Австралиец инстинктивно умеет сочетать эти три фактора; он искусно изменяет угол наклона бумеранга, силу и направление броска, чтобы получить желаемый результат.

Впрочем, некоторую сноровку в этом искусстве может приобрести каждый.

Для упражнения в комнатах приходится довольствоваться бумажным бумерангом, который можно вырезать хотя бы из почтовой карточки в форме, указанной на рис. 36. Размеры каждой

ветви — около 5 см в длину и немного меньше 1 см в ширину. Зажмите такой бумажный бумеранг под ногтем большого пальца и щелкните по его кончику так, чтобы удар направлен был вперед и немного вверх. Бумеранг полетит метров на пять, плавно опишет кривую, иногда довольно затейливую, и если не заденет какого-нибудь предмета в комнате, то упадет у ваших ног.

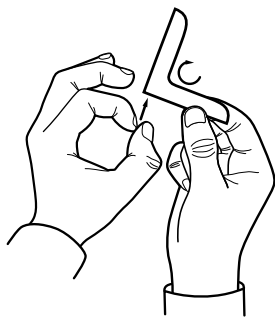


Рис. 36. Бумажный бумеранг и способ его метания.

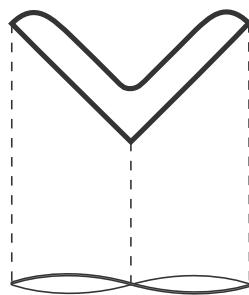


Рис. 37. Другая форма бумажного бумеранга (в натуральную величину).

Еще лучше удастся опыт, если придать бумерангу размеры и форму, показанные на рис. 37 в натуральную величину. Полезно слегка изогнуть ветви бумеранга винтообразно (см. рис. 37, внизу). Такой бумеранг можно, при некотором навыке, заставить описывать в воздухе сложные кривые и возвращаться в место его вылета.

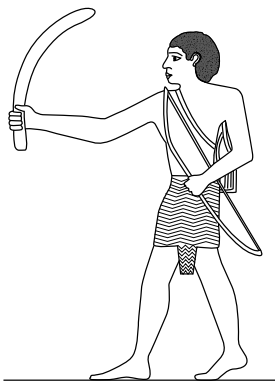
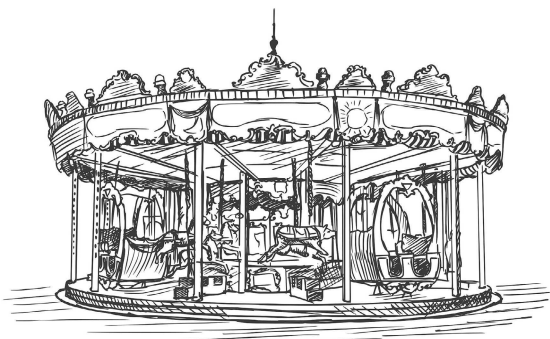


Рис. 38. Древнеегипетское изображение воина, мечущего бумеранг.

В заключение заметим, что бумеранг вовсе не составляет, как обычно думают, исключительной особенности вооружения обитателей Австралии. Он употребляется в различных местах Индии и, судя по остаткам стеной живописи, был некогда обычным вооружением ассирийских воинов. В древнем Египте и Нубии бумеранг также был известен. Единственное, что свойственно исключительно Австралии, — это слегка винтообразный изгиб, придаваемый бумерангу. Вот почему австралийские бумеранги описывают замысловатые кривые и — в случае промаха — возвращаются обратно к ногам мечущего.

ВРАЩЕНИЕ. «ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»



КАК ОТЛИЧИТЬ ВАРЕННОЕ ЯЙЦО ОТ СЫРОГО?

Как быть, если нужно, не разбивая скорлупы, определить, сварено яйцо или же оно сырое? Знание механики поможет вам с успехом выйти из этого маленького затруднения.

Дело в том, что яйца вареные и сырые вращаются не одинаковым образом. Этим и можно воспользоваться для разрешения нашей задачи. Испытуемое яйцо кладут на плоскую тарелку и двумя пальцами сообщают ему вращательное движение (рис. 39). Сваренное (особенно вкрутую) яйцо вращается при этом *замедленно и дольше* сырого. Последнее трудно даже заставить вращаться; между тем круто сваренное яйцо вертится так быстро, что очертания его сливаются для глаз в белый сплюснутый эллипсоид и оно может само встать на острый конец.

Причина этих явлений кроется в том, что круто сваренное яйцо

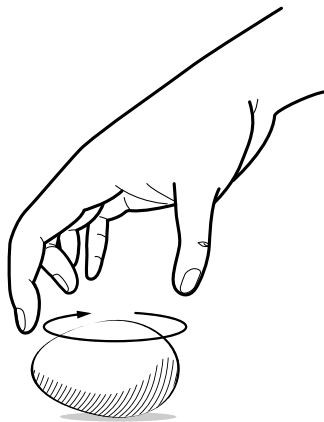


Рис. 39. Как завертеть яйцо.

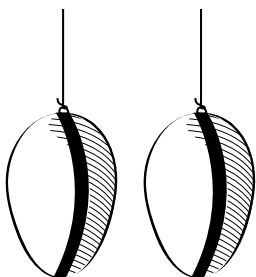


Рис. 40. Как отличить вареное яйцо от сырого по их вращению в подвешенном виде.

вращается как сплошное целое; в сыром же яйце жидкое его содержимое, не сразу получая вращательное движение, задерживает вследствие своей инерции движение твердой оболочки; оно играет роль тормоза.

Вареные и сырые яйца различно относятся также и к остановке вращения. Если к вращающемуся вареному яйцу прикоснуться пальцем, оно останавливается *сразу*. Сырое же яйцо, остановившись на мгновение, будет после отнятия руки еще немного вращаться. Происходит это опять-таки вследствие инерции: внутренняя жидкая масса в сыром яйце еще продолжает двигаться после того, как твердая оболочка пришла в покой; содержимое же вареного яйца останавливается одновременно с остановкой наружной скорлупы.

Подобные испытания можно производить и иным образом. Обтяните сырое и вареное яйца резиновыми колечками «по меридиану» и подвесьте на двух одинаковых бечевках (рис. 40). Закрутите обе бечевки одинаковое число раз и отпустите. Сразу обнаружится различие между вареным и сырым яйцом. Вареное, придя в начальное положение, начнет по инерции закручивать нить в обратную сторону, затем снова раскрутит ее, — и так несколько раз, постепенно уменьшая число оборотов. Сырое же яйцо повернется раз, другой и остановится задолго до того, как успокоится крутое яйцо: движения торموзятся жидким содержимым.

«КОЛЕСО СМЕХА»

Раскройте зонтик, уприте его концом в пол и вращайте за ручку; вам не трудно будет придать ему довольно быстрое движение. Теперь бросьте внутрь зонтика мяч или скомканную бумагу; брошенный предмет не остается в зонтике, а будет выкинут из него, что принято неправильно называть «центробежной силой» и что в действительности есть лишь проявление инерции. Мяч выбрасывается не по направлению радиуса, а по касательной к пути кругового движения.

На этом эффекте вращательного движения основано устройство своеобразного развлечения — «колеса смеха» (рис. 41), которое можно видеть, например, в парках культуры. Посетители имеют

здесь случай на самих себе испытать действие инерции. Публика размещается на круглой площадке — стоя, сидя, лежа, — кто как желает. Скрытый под площадкой мотор плавно вращает ее около вертикальной оси, сначала медленно, потом все быстрее, постепенно увеличивая скорость. И тогда под действием инерции все находящиеся на платформе начинают сползать к ее краям. Сначала это движение едва заметно, но по мере того как «пассажиры» удаляются от центра и попадают на окружности все большего и большего радиуса, скорость, а следовательно, и инерция движения сказываются все заметнее. Никакие усилия удержаться на месте не приводят ни к чему, и люди сбрасываются с «колеса смеха».



Рис. 41. «Колесо смеха». Люди на вращающемся круге отбрасываются за его края.

Земной шар есть, в сущности, такое же «колесо смеха», только гигантских размеров. Земля, конечно, не сбрасывает нас с себя, но она все же уменьшает наш вес. И на экваторе, где скорость вращения наибольшая, уменьшение *веса* от этой причины, доходит до $1/300$ доли. А вместе с другой причиной (сжатие Земли) вес каждого тела на экваторе уменьшается, в общем, на полпроцента (т. е. на $1/200$), так что взрослый человек весит на экваторе примерно на 300 г меньше, чем на полюсе.

ЧЕРНИЛЬНЫЕ ВИХРИ

Кружок из гладкого белого картона проткните в центре заостренной спичкой; у вас получится вертушка, изображенная на рис. 42 слева примерно в половину натуральной величины. Чтобы

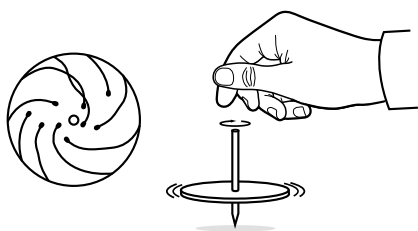


Рис. 42. Как растекаются чернильные капли на вращающемся бумажном кружке.

заставить ее вертеться на заостренном конце спички, не требуется особой ловкости; достаточно закрутить спичку между пальцами и быстро уронить вертушку на гладкое место.

С такой вертушкой можно проделать очень показательный опыт. Прежде чем ее закружить, нанесите на верхнюю сторону кружка несколько мелких чернильных капель. Не давая им засохнуть, заставьте вертушку вертеться. Когда она остановится, посмотрите, что сделалось с каплями: каждая из них растеклась в спиральную линию, а все эти завитки вместе создают подобие вихря.

Сходство с вихрем не случайно. О чем говорят чернильные завитки на картонном кружке? Это следы движения чернильных капель. Капля претерпевает то же, что испытывает человек на вращающемся диске «колеса смеха». Уносясь от центра действием центробежного эффекта, она попадает в места диска, обладающие большей круговой скоростью, чем скорость самой капли. В этих местах кружок выскальзывает из-под капли, опережает ее. Дело происходит так, как если бы капля отставала от кружка, отступала назад от радиуса. Путь ее поэтому искривляется, и мы видим на кружке след криволинейного движения.

То же самое претерпевают воздушные потоки, расходящиеся от места высокого давления атмосферы (в «антициклонах») или сходящиеся к месту низкого давления (в «циклонах»). Чернильные завитки — уменьшенное подобие этих исполинских воздушных вихрей.

ОБМАНУТОЕ РАСТЕНИЕ

При быстром вращении центробежный эффект может достигать такой величины, что превосходит действие тяжести. Вот интересный опыт, показывающий, какая значительная отбрасывающая сила развивается при вращении обыкновенного колеса. Мы знаем, что молодое растение всегда направляет стебель в сторону, противоположную силе тяжести, т. е., проще говоря, растет вверх. Но заставьте семена прорасти на ободу быстро вращаю-

щегося колеса, как это сделал впервые английский ботаник Найт более ста лет назад. Вы увидите изумительную вещь: корешки ростков будут направлены наружу, а стебельки — внутрь, вдоль радиусов колеса (рис. 43).

Мы словно обманули растение: заставили влиять на него вместо силы тяжести другую силу, действие которой направлено от центра колеса наружу. А так как росток тянется всегда в сторону, противоположную тяжести, то в этом случае он вытянулся внутрь колеса, по направлению от обода к оси. Наша искусственная тяжесть оказалась сильнее естественной [Современный взгляд на природу тяготения не усматривает здесь, впрочем, принципиальной разницы.], и молодое растение выросло под ее действием.

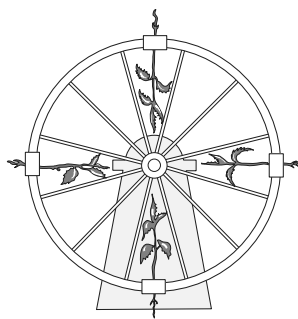


Рис. 43. Бобовые семена, проросшие на ободке вращающегося колеса. Стебли направлены к оси, корешки — наружу.

«ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»

О «вечном двигателе», «вечном движении» часто говорят и в прямом и в переносном смысле слова, но не все отдают себе отчет, что, собственно, надо подразумевать под этим выражением. Вечный двигатель — это такой воображаемый механизм, который безостановочно движет сам себя и, кроме того, совершает еще какую-нибудь полезную работу (например, поднимает груз). Такого механизма никто построить не смог, хотя попытки изобрести его делались уже давно. Бесплодность этих попыток привела к твердому убеждению в невозможности вечного двигателя и к установлению закона сохранения энергии — фундаментального утверждения современной науки. Что касается вечного движения, то под этим выражением подразумевается непрерывающееся движение без совершения работы.

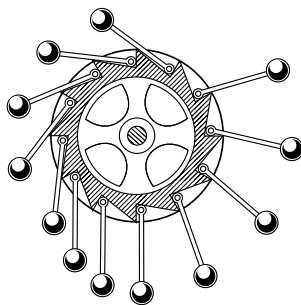


Рис. 44. Мнимое вечно движущееся колесо, придуманное в Средние века.

На рис. 44 изображен мнимый самодвижущийся механизм — один из древнейших проектов вечного двигателя, иногда и теперь возрождаемый неудачливыми фанатиками этой идеи. К краям колеса прикреплены откидные палочки с грузами на концах. При всяком положении колеса грузы на правой его стороне будут откинуты дальше от центра, нежели на левой; эта половина, следовательно, должна всегда перетягивать левую и тем самым заставлять колесо вращаться. Значит, колесо должно вращаться вечно, по крайней мере до тех пор, пока не перетрется его ось. Так думал изобретатель. Между тем, если сделать такой двигатель, то он вращаться не будет. Почему же расчет изобретателя не оправдывается?

Вот почему: хотя грузы на правой стороне всегда дальше от центра, но неизбежно такое положение, когда число этих грузов меньше, чем на левой.

Взгляните на рис. 44: справа всего 4 груза, слева же — 8. Оказывается, что вся система уравнивается; естественно, что колесо вращаться не станет, а, сделав несколько качаний, остановится в таком положении. [Движение такой системы описывается с помощью так называемой теоремы моментов.]

Теперь доказано непреложно, что нельзя построить механизм, который вечно двигался бы сам собой, выполняя еще при этом какую-нибудь работу. Совершенно безнадежно трудиться над такой задачей. В прежнее время, особенно в средние века, люди безуспешно ломали головы над ее разрешением и потратили на изобретение «вечного двигателя» (по латыни *perpetuum mobile* [Произносится «перпетуум мобиле»]) много времени и труда. Обладание таким двигателем представлялось даже более заманчивым, чем искусство делать золото из дешевых металлов.

У Пушкина в «Сценах из рыцарских времен» выведен такой мечтатель в лице Бертольда.

«— Что такое *perpetuum mobile*? — спросил Мартын.

— *Perpetuum mobile*, — отвечает ему Бертольд, — есть вечное движение. Если найду вечное движение, то я не вижу границ творчеству человеческому... Видишь ли, добрый мой Мартын! Делать золото — задача заманчивая, открытие, может быть, любопытное и выгодное, но найти *perpetuum mobile*... О!»

Были придуманы сотни «вечных двигателей», но ни один не двигался. В каждом случае, как и в нашем примере, изобретатель упускал из виду какое-нибудь обстоятельство, которое и разрушало все планы.

Вот еще образчик мнимого вечного двигателя: колесо с перекатывающимися в нем тяжелыми шариками (рис. 45). Изобретатель воображал, что шары на одной стороне колеса, находясь всегда ближе к краю, своим весом заставят колесо вертеться.

Разумеется, этого не произойдет — по той же причине, как и с колесом, изображенным на рис. 44. Тем не менее в одном из городов Америки устроено было ради рекламных целей, для привлечения внимания публики

к кафе, огромное колесо именно подобного рода (рис. 46). Конечно, этот «вечный двигатель» незаметно приводился в действие искусно скрытым посторонним механизмом, хотя зрителям казалось, что колесо двигают перекатывающиеся в прорезах тяжелые шары. В том же роде были и другие мнимые образцы вечных двигателей, выставлявшиеся одно время в витринах часовых магазинов для привлечения публики: все они незаметно приводились в движение электрическим током.

Один рекламный «вечный двигатель» доставил мне однажды немало хлопот. Мои ученики-рабочие были им настолько поражены, что оставались холодны к моим доказательствам невозможности вечного двигателя. Вид шариков, которые, перекатываясь, вращали колесо и тем же колесом поднимались вверх, убеждал их сильнее моих доводов; они не хотели верить, что мнимое механическое чудо приводится в действие электри-

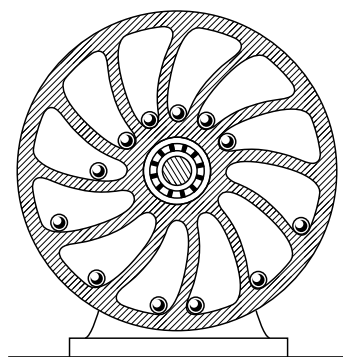


Рис. 45. Мнимый вечный двигатель с перекатывающимися шариками.

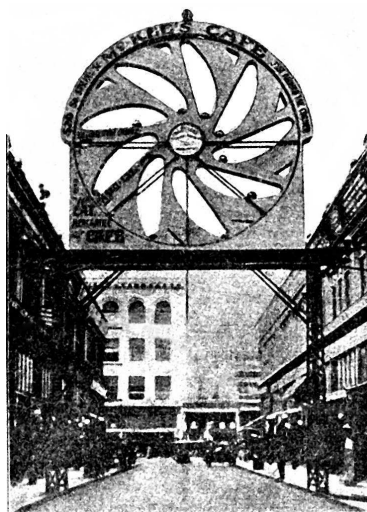


Рис. 46. Мнимый вечный двигатель в городе Лос-Анджелесе (Калифорния), устроенный ради рекламы.

ческим током от городской сети. Выручило меня то, что в выходные дни ток тогда не подавался. Зная это, я посоветовал слушателям наведаться к витрине в эти дни. Они последовали моему совету.

— Ну, что, видели двигатель? — спросил я.

— Нет, — ответили мне сконфуженно. — Его не видно: прикрыт газетой...

Закон сохранения энергии вновь завоевал у них доверие и более уже не утрачивал его.

«ЗАЦЕПОЧКА»

Немало русских изобретателей-самоучек трудилось над разрешением заманчивой проблемы «вечного двигателя». Один из них, крестьянин-сибиряк Александр Щеглов, описан у М. Е. Щедрина в повести «Современная идиллия» под именем «мещанина Презентова». Вот как рассказывает Щедрин о посещении мастерской этого изобретателя:

«Мещанин Презентов был человек лет тридцати пяти, худой, бледный, с большими задумчивыми глазами и длинными волосами, которые прямыми прядями спускались к шее. Изба была у него достаточно просторная, но целая половина ее была занята большим маховым колесом, так что наше общество с трудом в ней разместилось. Колесо было сквозное, со спицами. Обод его, довольно объемистый, сколочен был из тесин, наподобие ящика, внутри которого была пустота. В этой-то пустоте и помещался механизм, составлявший секрет изобретателя. Секрет, конечно, не особенно мудрый, вроде мешков, наполненных песком, которым предоставлялось взаимно друг друга уравнивать. Сквозь одну из спиц была продета палка, которая удерживала колесо в состоянии неподвижности.

— Слышали мы, что вы закон вечного движения к практике применили? — начал я.

— Не знаю, как доложить, — ответил он сконфуженно, — кажется, словно бы...

— Можно взглянуть?

— Помилуйте! За счастье...

Он подвел нас к колесу, потом обвел кругом. Оказалось, что и спереди и сзади — колесо.

— Вертится?

— Должно бы, кажется, вертеться. Капризится будто...

— Можно отнять запорку? — Презентов вынул палку — колесо не шелохнулось.

— Капризится! — повторил он, — надо импет дать.

Он обеими руками схватился за обод, несколько раз повернул его вверх и вниз и, наконец, с силой раскачал и пустил, — колесо завертелось. Несколько оборотов оно сделало довольно быстро и плавно, — слышно было, однако ж, как внутри обода мешки с песком то напирают на перегородки, то отваливаются от них; потом начало вертеться тише, тише; послышался треск, скрип, и, наконец, колесо совсем остановилось.

— Зацепочка, стало быть, — сконфуженно объяснил изобретатель и опять напрягся и размахал колесо. Но во второй раз повторилось то же самое.

— Трения, может быть, в расчет не приняли?

— И трение в расчете было... Что трение? Не от трения это, а так... Иной раз словно порадует, а потом вдруг... закапризничает, заупрямится — и шабаш. Кабы колесо из настоящего материала было сделано, а то так, обрезки кой-какие».

Конечно, дело тут не в «зацепочке» и не в «настоящем материале», а в сложности основной идеи механизма. Колесо немного вертелось от «импета» (толчка), который дан был ему изобретателем, но неизбежно должно было остановиться, когда сообщенная извне энергия истощилась на преодоление трения.

АККУМУЛЯТОР УФИМЦЕВА

Насколько легко впасть в ошибку, если о «вечном» движении судить только по внешнему виду, показывал так называемый аккумулятор механической энергии Уфимцева. Курский изобретатель А. Г. Уфимцев создал новый тип ветросиловой станции с дешевым «инерционным» аккумулятором, устроенным по типу махового колеса. В 1920 г. Уфимцевым построена была модель его аккумулятора в виде диска, вращающегося на вертикальной оси с шариковым подшипником, в кожухе, из которого выкачан воздух. Будучи разогнан до 20 000 оборотов в минуту, диск сохранял вращение в течение пятнадцати суток! Глядя на вал такого диска, целыми днями вращающийся без притока энергии извне, поверхностный наблюдатель мог заключить, что перед ним реальное осуществление вечного движения.

«ЧУДО И НЕ ЧУДО»

Безнадежная погоня за «вечным» двигателем многих людей сделала глубоко несчастными. Я знал рабочего, тратившего все свои заработки и сбережения на изготовление модели «вечно-

го» двигателя и дошедшего вследствие этого до полной нищеты. Он сделался жертвой своей неосуществимой идеи. Полуодетый, всегда голодный, он просил у всех дать ему средства для постройки «окончательной модели», которая уже «непременно будет двигаться». Грустно было сознавать, что этот человек подвергался лишениям единственно лишь вследствие плохого знания элементарных основ физики.

Любопытно, что если поиски «вечного» двигателя всегда оказывались бесплодными, то, напротив, глубокое понимание его невозможности приводило нередко к плодотворным открытиям.

Прекрасным примером может служить тот способ, с помощью которого Стевин, замечательный голландский ученый конца XVI и начала XVII века, открыл закон равновесия сил на наклонной плоскости. Этот математик заслуживает гораздо большей известности, нежели та, какая выпала на его долю, потому что он сделал много важных открытий, которыми мы теперь постоянно пользуемся: изобрел десятичные дроби, ввел в алгебру употребление показателей, открыл гидростатический закон, впоследствии вновь открытый Паскалем.

Закон равновесия сил на наклонной плоскости он открыл, не опираясь на правило параллелограмма сил, единственно лишь с помощью чертежа, который здесь воспроизведен (рис. 47). Через трехгранную призму перекинута цепь из 14 одинаковых шаров. Что произойдет с этой цепью? Нижняя часть, свисающая гирляндой, уравнивается сама собой. Но остальные две части цепи — уравниваются ли друг друга? Иными словами: правые два шара уравниваются ли левыми четырьмя? Конечно, да, — иначе цепь сама собой вечно бежала бы справа налево, потому что на место соскользнувших шаров всякий раз помещались бы другие

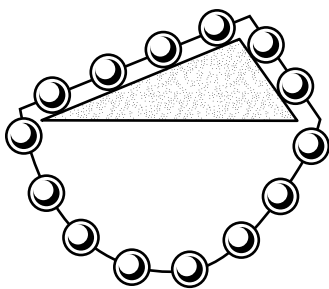


Рис. 47. «Чудо и не чудо».

и равновесие никогда бы не восстанавливалось. Но так как мы знаем, что цепь, перекинута указанным образом, вовсе не движется сама собой, то, очевидно, два правых шара действительно уравниваются четырьмя левыми. Получается словно чудо: два шара тянут с такой же силой, как и четыре. Из этого мнимого чуда Стевин вывел важный закон механики. Он рассуждал так. Обе цепи — и длинная

и короткая — весят различно: одна цепь тяжелее другой во столько же раз, во сколько раз длинная грань призмы длиннее короткой. Отсюда вытекает, что и вообще два груза, связанных шнуром, уравновешивают друг друга на наклонных плоскостях, если веса их пропорциональны длинам этих плоскостей.

В частном случае, когда короткая плоскость отвесна, мы получаем известный закон механики: чтобы удержать тело на наклонной плоскости, надо действовать в направлении этой плоскости силой, которая во столько раз меньше веса тела, во сколько раз длина плоскости больше ее высоты.

Так, исходя из мысли о невозможности вечного двигателя, сделано было важное открытие в механике.

ЕЩЕ «ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»

На рис. 48 вы видите тяжелую цепь, перекинутую через колеса так, что правая ее половина при всяком положении должна быть длиннее левой. Следовательно, — рассуждал изобретатель, — она должна перевешивать и безостановочно падать вниз, приводя в движение весь механизм. Так ли это?

Конечно, нет. Мы сейчас видели, что тяжелая цепь может уравновешиваться легкой, если силы увлекают их под разными углами. В рассматриваемом механизме левая цепь натянута отвесно, правая же расположена наклонно, а потому она, хотя и тяжелее, все же не перетягивает левую. Ожидаемого «вечного» движения здесь получиться не может.

Пожалуй, остроумнее всех поступил некий изобретатель «вечного» двигателя, показывавший свое изобретение в шестидесятых годах прошлого столетия на Парижской выставке. Двигатель состоял из

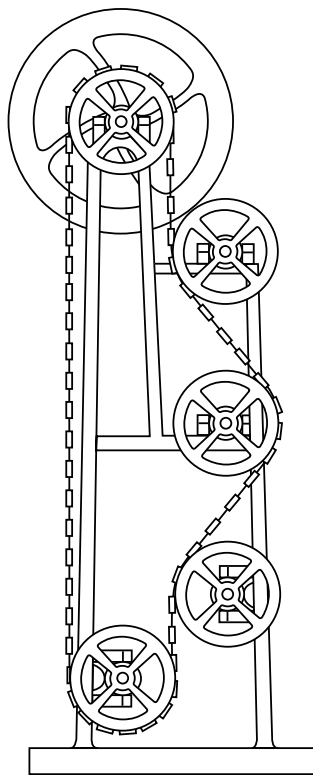


Рис. 48. Вечный ли это двигатель?

большого колеса с перекатывавшимися в нем шарами, причем изобретатель утверждал, что никому не удастся задержать движение колеса. Посетители один за другим пытались остановить колесо, — но оно немедленно же возобновляло вращение, как только отнимали руки. Никто не догадывался, что колесо вращается именно благодаря стараниям посетителей остановить его; толкая его назад, они тем самым заводили пружину искусно скрытого механизма...

«ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ» ВРЕМЕН ПЕТРА I

Сохранилась оживленная переписка, которую вел в 1715–1722 гг. Петр I по поводу приобретения в Германии вечного двигателя, придуманного неким доктором Орфиреусом. Изобретатель, прославившийся на всю Германию своим «самодвижущимся колесом», соглашался продать царю эту машину лишь за огромную сумму. Ученый библиотекарь Шумахер, посланный Петром на Запад для собирания редкостей, так доносил царю о притязаниях Орфиреуса, с которым он вел переговоры о покупке:

«Последняя речь изобретателя была: на одной стороне положите 100 000 ефимков [денежная единица], а на другой я положу машину».

О самой же машине изобретатель, по словам библиотекаря, говорил, что она «верна есть, и никто же оную похулить может, разве из злонравия, и весь свет наполнен злыми людьми, которым верить весьма невозможно».

В январе 1725 г. Петр собирался в Германию, чтобы лично осмотреть «вечный двигатель», о котором так много говорили, но смерть помешала царю выполнить его намерение.

Кто же был этот таинственный доктор Орфиреус и что представляла собой его «знатная машина»? Мне удалось разыскать сведения и о том и о другой.

Настоящая фамилия Орфиреуса была Беслер. Он родился в Германии в 1680 г., изучал богословие, медицину, живопись и, наконец, занялся изобретением «вечного» двигателя. Из многих тысяч таких изобретателей Орфиреус — самый знаменитый и, пожалуй, самый удачливый. До конца дней своих (умер в 1745 г.) он жил в довольстве на доходы, которые получал, показывая свою машину.

На прилагаемом рис. 49, заимствованном из старинной книги, изображена машина Орфиреуса, какой она была в 1714 г. Вы видите большое колесо, которое будто бы не только вращалось само собой, но и поднимало при этом тяжелый груз на значительную высоту.

Слава о чудесном изобретении, которое ученый доктор показывал сначала на ярмарках, быстро разнеслась по Германии, и Орфиреус вскоре приобрел могущественных покровителей. Им заинтересовался польский король, затем ландграф Гессен-Кассельский. Последний предоставил изобретателю свой замок и всячески испытывал машину.

Так, в 1717 г., 12 ноября, двигатель, находившийся в уединенной комнате, был приведен в действие; затем комната была заперта на замок, опечатана и оставлена под бдительным караулом двух гренадеров. Четырнадцать дней никто не смел даже приближаться к комнате, где вращалось таинственное колесо. Лишь 26 ноября печати были сняты; ландграф со свитой вошел в помещение. И что же? Колесо все еще вращалось «с неослабевающей быстротой»... Машину остановили, тщательно осмотрели, затем опять пустили в ход. В течение сорока дней помещение снова оставалось запечатанным; сорок суток караулили у дверей гренадеры. И когда 4 января 1718 г. печати были сняты, экспертная комиссия нашла колесо в движении!

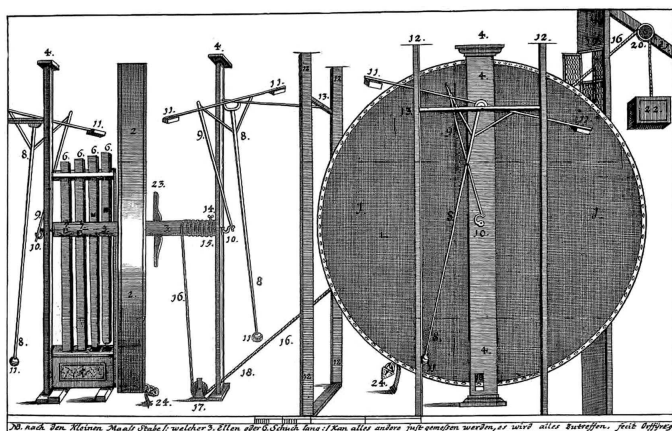


Рис. 49. Самодвижущееся колесо Орфиреуса, едва не приобретенное Петром I. (Со старинного рисунка.)

Ландграф и этим не удовольствовался: сделан был третий опыт — двигатель запечатан был на целых два месяца. И все-таки по истечении срока его нашли движущимся!

Изобретатель получил от восхищенного ландграфа официальное удостоверение в том, что его «вечный двигатель» делает 50 оборотов в минуту, способен поднять 16 кг на высоту 1,5 м,

а также может приводить в действие кузнечный мех и точильный станок. С этим удостоверением Орфиреус и странствовал по Европе. Вероятно, он получал порядочный доход, если соглашался уступить свою машину Петру I не менее чем за 100 000 рублей.

Весть о столь изумительном изобретении доктора Орфиреуса быстро разнеслась по Европе, проникнув далеко за пределы Германии. Дошла она и до Петра, сильно заинтересовав падкого до всяких «хитрых махин» царя.

Петр обратил внимание на колесо Орфиреуса еще в 1715 г., во время своего пребывания за границей, и тогда же поручил А. И. Остерману, известному дипломату, познакомиться с этим изобретением поближе; последний вскоре прислал подробный доклад о двигателе, хотя самой машины ему не удалось видеть. Петр собирался даже пригласить Орфиреуса, как выдающегося изобретателя, к себе на службу и поручил запросить о нем мнение Христиана Вольфа, известного философа того времени (учителя Ломоносова).

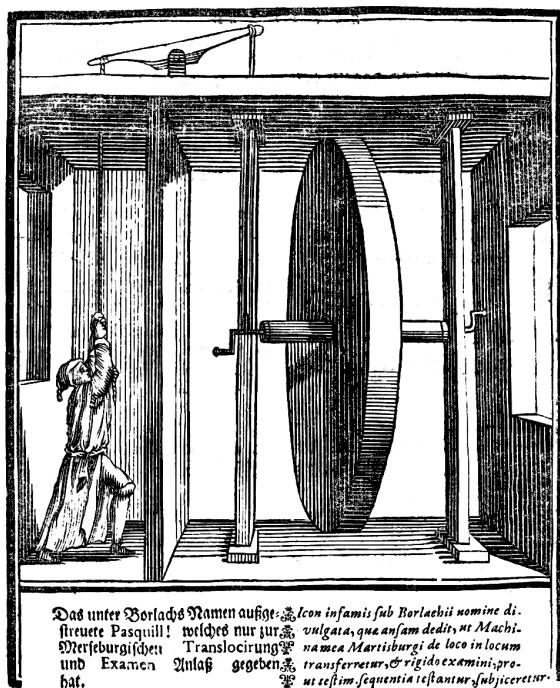


Рис. 50. Разоблачение секрета колеса Орфиреуса.
 (Со старинного рисунка.)

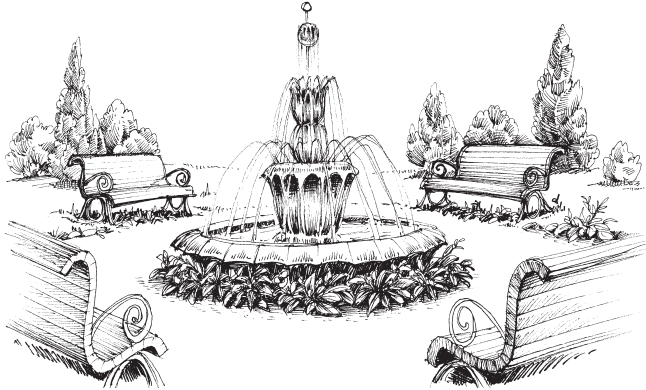
Знаменитый изобретатель отовсюду получал лестные предложения. Великие мира сего осыпали его высокими милостями; поэты слагали оды и гимны в честь его чудесного колеса. Но были и недоброжелатели, подозревавшие здесь искусный обман. Нашлись смельчаки, которые открыто обвиняли Орфиреуса в плутовстве; предлагалась премия в 1000 марок тому, кто разоблачит обман. В одном из памфлетов, написанных с обличительной целью, мы находим рисунок, воспроизведенный здесь (рис. 50). Тайна «вечного двигателя», по мнению разоблачителя, кроется просто в том, что искусно спрятанный человек тянет за веревку, намотанную, незаметно для наблюдателя, на часть оси колеса, скрытую в стойке.

Тонкое плутовство было раскрыто случайно только потому, что ученый доктор поссорился со своей женой и служанкой, посвященными в его тайну. Не случись этого, мы, вероятно, до сих пор оставались бы в недоумении относительно «вечного двигателя», наделавшего столько шума. Оказывается, «вечный двигатель» действительно приводился в движение спрятанными людьми, незаметно дергавшими за тонкий шнурок. Этими людьми были брат изобретателя и его служанка.

Разоблаченный изобретатель не сдавался; он упорно утверждал до самой смерти, что жена и прислуга донесли на него по злобе. Но доверие к нему было подорвано. Недаром он твердил посланцу Петра, Шумахеру, о людском злонравии и о том, что «весь свет наполнен злыми людьми, которым верить весьма невозможно».

Во времена Петра I славился в Германии еще и другой «вечный двигатель» — некоего Гертнера. Шумахер писал об этой машине следующее: «Господина Гертнера *Perpetuum mobile*, которое я в Дрездене видел, состоит из холста, песком засыпанного, и в образе точильного камня сделанной машины, которая назад и вперед сама от себя движется, но, по словам господина инвентора (изобретателя), не может весьма велика сделаться». Без сомнения, и этот двигатель не достигал своей цели и в лучшем случае представлял собой замысловатый механизм с искусно скрытым, отнюдь не «вечным» живым двигателем. Вполне прав был Шумахер, когда писал Петру, что французские и английские ученые «ни во что почитают все оные перепетуи мобилес и сказывают, что оное против принципиев математических».

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ



ЗАДАЧА О ДВУХ КОФЕЙНИКАХ

Перед вами (рис. 51) два кофейника одинаковой ширины: один высокий, другой — низкий. Какой из них вместительнее?

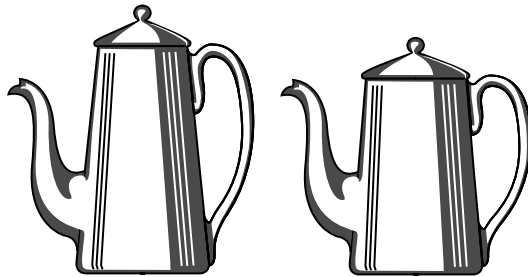


Рис. 51. В какой из этих кофейников можно налить больше жидкости?

Многие, вероятно, не подумав, скажут, что высокий кофейник вместительнее низкого. Если бы вы, однако, стали лить жидкость в высокий кофейник, вы смогли бы налить его только до уровня отверстия его носика — дальше вода начнет выливаться. А так как отверстия носика у обоих кофейников на одной высоте, то низ-

кий кофейник оказывается столь же вместительным, как и высокий с коротким носиком.

Это и понятно: в кофейнике и в трубке носика, как во всяких сообщающихся сосудах, жидкость должна стоять на одинаковом уровне, несмотря на то, что жидкость в носике весит гораздо меньше, чем в остальной части кофейника. Если же носик недостаточно высок, вы никак не нальете кофейник доверху: вода будет выливаться. Обычно носик устраивается даже выше краев кофейника, чтобы сосуд можно было немного наклонять, не выливая содержимого.

ЧЕГО НЕ ЗНАЛИ ДРЕВНИЕ

Жители современного Рима до сих пор пользуются остатками водопровода, построенного еще древними: солидно возводили римские рабы водопроводные сооружения.



Рис. 52. Водопроводные сооружения древнего Рима в их первоначальном виде.

Не то приходится сказать о познаниях римских инженеров, руководивших этими работами; они явно недостаточно были знакомы с основами физики. Взгляните на прилагаемый рис. 52, воспроизведенный с картины Германского музея в Мюнхене. Вы видите, что римский водопровод прокладывался не в земле, а над ней, на высоких каменных столбах. Для чего это делалось? Разве не проще было прокладывать в земле трубы, как делается теперь?

Конечно, проще, но римские инженеры того времени имели весьма смутное представление о законах сообщающихся сосудов. Они опасались, что в водоемах, соединенных очень длинной трубой, вода не установится на одинаковом уровне. Если трубы проложены в земле, следуя уклонам почвы, то в некоторых участках вода ведь должна течь вверх, — и вот римляне боялись, что вода вверх не потечет. Поэтому они обычно придавали водопроводным трубам равномерный уклон вниз на всем их пути (а для этого требовалось нередко либо вести воду в обход, либо возводить высокие арочные подпоры). Одна из римских труб, Аква Марциа, имеет в длину 100 км, между тем как прямое расстояние между ее концами вдвое меньше. Полсотни километров каменной кладки пришлось проложить из-за незнания элементарного закона физики!

ЖИДКОСТИ ДАВЯТ... ВВЕРХ!

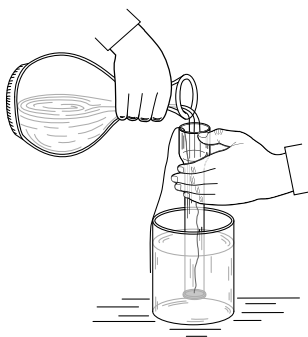


Рис. 53. Простой способ убедиться, что жидкость давит снизу вверх.

О том, что жидкости давят вниз, на дно сосуда, и вбок, на стенки, знают даже и те, кто никогда не изучал физики. Но что они давят и *вверх*, многие даже не подозревают. Обыкновенное ламповое стекло поможет убедиться, что такое давление действительно существует. Вырежьте из плотного картона кружок таких размеров, чтобы он закрывал отверстие лампового стекла. Приложите его к краям стекла и погрузите в воду, как показано на рис. 53. Чтобы кружок не отпадал при погружении, его можно придерживать

ниткой, протянутой через его центр, или просто прижать пальцем. Погрузив стекло до определенной глубины, вы заметите, что кружок хорошо держится и сам, не прижимаемый ни давлением пальца, ни натяжением нитки: его подпирает вода, надавливающая на него снизу вверх.

Вы можете даже измерить величину этого давления вверх. Наливайте осторожно в стекло воду; как только уровень ее внутри стекла приблизится к уровню в сосуде, кружок отпадает. Значит, давление воды на кружок снизу уравнивается давлением на него сверху столба воды, высота которого равна глубине круж-

ка под водой. Таков закон давления жидкости на всякое погруженное тело. Отсюда, между прочим, происходит и та «потеря» веса в жидкостях, о которой говорит знаменитый закон Архимеда.

Имея несколько ламповых стекол разной формы, но с одинаковыми отверстиями, вы сможете проверить и другой закон, относящийся к жидкостям, а именно: давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и высоты уровня, от формы же сосуда оно совершенно не зависит. Проверка будет состоять в том, что вы сделаете описанный сейчас опыт с разными стеклами, погружая их на одну и ту же глубину

(для чего надо предварительно приклеить к стеклам бумажные полоски на равной высоте). Вы заметите, что кружок всякий раз будет отпадать при одном и том же уровне воды в стеклах (рис. 54). Значит, давление водяных столбов различной формы одинаково, если только одинаковы их основание и высота. Обратите внимание на то, что здесь важна именно *высота*, а не длина, потому что длинный наклонный столб давит на дно совершенно так же, как и короткий отвесный столб одинаковой с ним высоты (при равных площадях оснований).

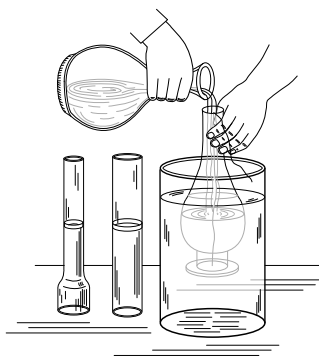


Рис. 54. Давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и от высоты уровня жидкости. На рисунке показано, как проверить это правило.

ЧТО ТЯЖЕЛЕЕ?

На одну чашку весов поставлено ведро, до краев наполненное водой. На другую — точно такое же ведро, тоже полное до краев, но в нем плавает кусок дерева (рис. 55). Какое ведро перетянет?

Я пробовал задавать эту задачу разным лицам и получал разнообразные ответы. Одни отвечали, что должно перетянуть то ведро, в котором плавает дерево, потому что «кроме воды, в ведре есть еще и дерево». Другие — что, наоборот, перетянет первое ведро, «так как вода тяжелее дерева».

Но ни то, ни другое не верно: оба ведра имеют одинаковый *вес*. Во втором ведре, правда, воды меньше, нежели в первом, потому

что плавающий кусок дерева вытесняет некоторый ее объем. Но, по закону плавания, всякое *плавающее* тело вытесняет своей погруженной частью ровно *столько жидкости* (по весу), *сколько весит все это тело*. Вот почему весы и должны оставаться в равновесии.

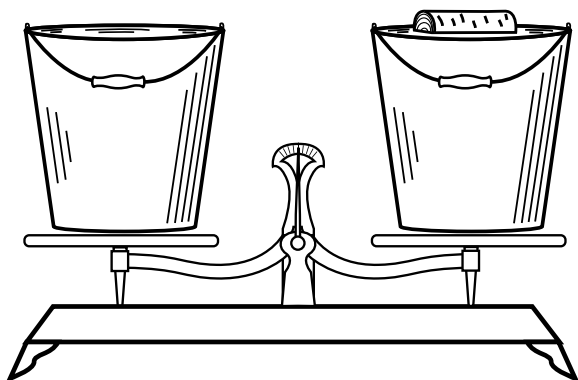


Рис. 55. Оба ведра одинаковы и наполнены водой до краев; в одном плавает кусок дерева. Которое перетянет?

Решите теперь другую задачу. Я ставлю на весы стакан с водой и рядом кладу гирьку. Когда весы *уравновешены* гирями на чашке, я роняю гирьку в стакан с водой. Что сделается с весами?

По закону Архимеда, гирька в воде становится легче, чем была вне воды. Можно, казалось бы, ожидать, что чашка весов со стаканом поднимется. Между тем в действительности весы останутся в равновесии. Как это объяснить?

Гирька в стакане вытеснила часть воды, которая оказалась выше первоначального уровня; вследствие этого увеличивается давление на дно сосуда, так что дно испытывает добавочную силу, равную потере веса гирькой.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ФОРМА ЖИДКОСТИ

Мы привыкли думать, что жидкости не имеют никакой *собственной* формы. Это неверно. Естественная форма всякой жидкости — шар. Обычно сила тяжести мешает жидкости принимать эту форму, и жидкость либо растекается тонким слоем, если разлита без сосуда, либо же принимает форму сосуда, если налита в него. Находясь внутри другой жидкости такого же удельного веса, жидкость по закону Архимеда «теряет» свой вес: она словно