

А. ШИЛЕЙКО, Т. ШИЛЕЙКО
ПОТОМКИ КАМЕННОГО ТОПОРА

А. ШИЛЕЙКО, Т. ШИЛЕЙКО

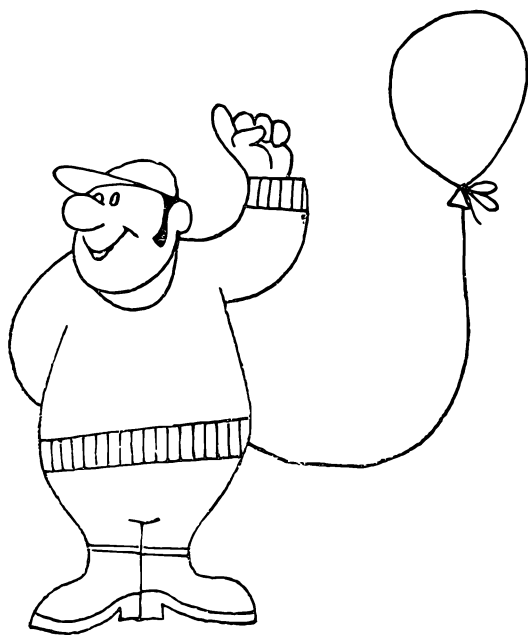


ПОТОМКИ
КАМЕННОГО
ТОПОРА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

А. ШИЛЕЙКО, Т. ШИЛЕЙКО

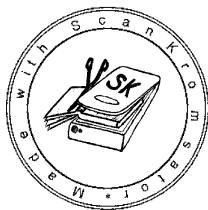
ПОТОМКИ КАМЕННОГО ТОПОРА



МОСКВА • ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА • 1977

Научно-художественная литература

Рисунки
Т. Лоскутовой и А. Шилейко.



Scan AAW

Ш $\frac{70803-420}{M101(03)77}$ 432—77

Предисловие для взрослых

Однажды у нас состоялся такой разговор с одним из наших друзей-математиков.

— Математика отличается от всех наук, — сказал наш приятель, — тем, что она вечна. Как бы ни изменился окружающий нас мир, математические истины сохраняют свое значение.

— То же самое можно сказать и о мире вещей, — возразили мы. — Вещи могут усложняться, бесконечно менять свою форму и назначение. Но законы, которым подчиняются действия вещей, неизменны. Вещи подчиняются законам даже тогда, когда мы еще не знаем этих законов.

— Важность математических истин не убывает со временем, — настаивал математик. — Развивая математику, мы лишь надстраиваем здание, покоящееся на том же самом фундаменте. Тот факт, что дважды два равно четырем, имеет сегодня такое же значение, как и несколько тысяч лет тому назад.

— Ну, а вещи? Разве детали, из которых состоят современные машины, не являются потомками каменного топора древнего человека?

— Математика учит нас говорить правду. Если математическая истина верна, она верна всегда, в любых условиях и при любых обстоятельствах.

— Но вещи не только учат нас говорить правду, они помогают нам проверять самих себя. Ведь только практика в конечной инстанции подтверждает справедливость любой теории.

— В математике существуют фундаментальные идеи. Именно они позволяют строить математику как единое стройное здание.

— Мир вещей тоже представляет собой стройное здание, и в основе этого здания заложены фундаментальные вещи, такие, как колесо, клин, рычаг.

Только что приведенный разговор с математиком, конечно, выдуман. Точнее, он представляет собой своего рода обобщение многочисленных бесед, обсуждений и споров. Но есть и факты. В одном из московских вузов мы провели среди студентов своеобразную

анкету. Всех участников опроса мы просили назвать несколько имен (немного — пять-шесть) людей, которые, по их мнению, оказали наибольшее влияние на развитие цивилизации.

Получился список имен и колонка чисел, указывающих, какое количество голосов получил каждый из названных. Первые места в списке заняли Владимир Ильич Ленин, Карл Маркс и Фридрих Энгельс. Следующим по большинству голосов в списке оказался Альберт Эйнштейн. Это также естественно — творец современной физики, безусловно, заслуживает того, чтобы быть помещенным в первых рядах. Но вот дальнейшее вызвало у нас не только удивление, но и известное беспокойство. В списке встречались самые различные имена ученых, писателей, деятелей культуры. Приведем для наглядности часть этого списка, где имена даны в порядке числа полученных голосов:

ИСААК НЬЮТОН
ЧАРЛЗ ДАРВИН
ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ
ВИЛЬЯМ ШЕКСПИР
АРИСТОТЕЛЬ
ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ
ИОГАНН СЕБАСТЬЯН БАХ
ЛЮДВИГ ВАН БЕТХОВЕН
НОРБЕРТ ВИНЕР
КОНСТАНТИН ЦИОЛКОВСКИЙ
НИКОЛАЙ КОПЕРНИК
ХРИСТОФОР КОЛУМБ

В списке нет ни одного инженера. Даже Леонардо да Винчи был отмечен как художник, а не как инженер. И, к сожалению, это весьма симптоматично. Мы отнюдь не склонны принижать значение ученых. Более того, на шумевший в свое время спор между физиками и лириками мы считаем попросту, выражаясь языком тех же ученых, некорректно сформулированной задачей. Мы твердо убеждены, что процессы творчества едины в своей основе независимо от того, творит ли человек картину или техническую конструкцию. Любое человеческое творение может быть прекрасным или посредственным, красивым или уродливым независимо от того, является результатом творчества поэма в стихах или новый автомобиль.

Но нужно хорошо понимать и другое. Процесс мышления, лежащий в основе всякого творчества, есть не что иное, как отражение процессов, протекающих в объективном мире вещей. Будучи созданными, вещи начинают жить своей собственной жизнью. И эта жизнь не менее интересна, насыщена событиями и подчас драматична, чем жизнь реальных людей или литературных героев. Поэтому мы и решили облечь нашу книгу в форму рассказов.

Выбирая героев наших рассказов, мы, конечно, не могли не отдать дань современности. Читатель встретится на страницах этой книги и с межпланетными кораблями, и с кибернетическими чудесами. Но главными героями рассказов, и им авторы, безусловно, отдают большую часть своих симпатий, являются фундаментальные вещи: колесо, клин, рычаг. Здесь, конечно, сыграло роль и то обстоятельство, что понять что-нибудь, особенно неподготовленному читателю, всегда легче, если оперировать вещами привычными, вещами, которые можно пощупать, за действиями которых можно понаблюдать в обычной обстановке.

Взрослые, согласные с мыслями, высказанными в этом предисловии, могут смело рекомендовать книгу своим детям. А замечания тех, кто не согласен, авторы будут принимать с неизменной благодарностью.

КОЛЕСО

ГДЕ И КОГДА?

Полон солнца и веселья город Афины. Идут панафиней — празднества в честь покровительницы города богини Афины, одной из самых почитаемых в Древней Греции. Только что закончились состязания на колесницах. Юноши, еще полные азарта, собравшись в группы, делятся впечатлениями, спорят, обсуждают победителей и неудачников. А на ступенях величественного Парфенона собрались зрелые мужи. Внимательно слушают они седобородого певца в одеждах, покрытых дорожной пылью. Едва касаясь пальцами струн, старик рецитативом выводит торжественно:

Славную петь начинаю богиню, Палладу-Афину,
С хитро-искусным умом, светлоокою. С сердцем не мягким,
Деву достойную, градов защитницу, полную мощи...

Гимн сменяется гимном, сказание — сказанием. Славит певец и основателя празднеств царя Эрихтония. По мифам, он был рожден Землей. Отец его — хромоногий Гефест, бог огня и кузнечного ремесла. Когда родился Эрихтоний, богиня мудрости и знания Афина взяла его под свое покровительство. Новорожденного положили в плетеную корзину, плотно закрытую крышкой, и отнесли к трем дочерям царя Кекропа, основателя города Афины. Богиня доверила корзину самой младшей сестре по имени Пандроса (вся в росе) и приказала ни в коем случае не открывать крышку.

Любопытство мучило дочерей Кекропа. Старшие сестры Пандросы — Херса и Агравлида — не удержались и заглянули в корзину. С ужасом увидели они ребенка, тело которого заканчивалось змеиным хвостом. От страшного зрелища девушки потеряли рассудок. Они бросились вниз с отвесных скал Акрополя и разбились насмерть.

Афина сама воспитывала Эрихтония в священной роще, а когда он вырос, то стал царем в Афинах, где правил долгие годы. Богиня научила своего любимца многим премудростям и показала ему, как пользоваться колесницей, а значит, и колесом.

Такова легенда. Но всё-таки кто, когда и где изобрел колесо? По мнению археологов, появление колеса, этого величайшего изобретения древности, связано с возникновением первых цивилизаций. Сначала решили, что родина колеса — Древний Восток: в 1951 году английский археолог Гордон Чайлд пришел к выводу, что колесо изобретено в Древнем Двуречье в середине четвертого тысячелетия до нашей эры, поскольку он обнаружил там изображения колесниц.

Эта гипотеза была поколеблена, когда другой английский археолог Стюард Пигот опубликовал статью, в которой утверждал, что родина колеса находится где-то близ Черного моря. Некогда там существовала цивилизация, которая, по-видимому, первой стала использовать телегу для перевозки людей и грузов. Дело в том, что в Болгарии близ села Беково было найдено колесо. По данным радиоуглеродного анализа, именно оно является самым древним экземпляром, известным археологической науке. Ему примерно шесть тысяч лет.

КАК?

Версия Стюарда Пигота вроде бы подтверждает миф об Эрихтонии, хотя бы в той его части, что родина колеса — Европа. Но существуют иные гипотезы. На многих дошедших до нас древнейших рисунках мы видим не просто колесо, а колесо в его современном варианте — колесо со спицами.

Изучая историю древних изобретений человечества, ученые приходят к выводу, что, как правило, человек учился у природы. Он изобрел рычаг, разглядывая строение костей и суставов убитых животных. Он научился добывать огонь с помощью кремня и огнива, подсмотрев однажды, как искра, высеченная при ударе одного камня о другой, воспламенила сухой лист. Он научился строить укрытие из веток, спрятавшись от дождя под развесистой кроной дерева.

Секрет колеса человек не мог заимствовать у природы. Колеса в природе нет. Поэтому среди многих других высказывалось даже мнение, что секрет колеса завезли на Землю космические пришельцы.

Не будем ввязываться в споры археологов. Удержимся от искушения обсудить и столь заманчивую версию о пришельцах с других планет. Ведь даже если это правда, если колесо завезли к нам инопланетяне, то и они должны были когда-то его создать! Давайте лучше подумаем, как могло совершиться на Земле изобретение колеса.

НЕ ТЯНИ ТИГРА ЗА ХВОСТ

Несомненно, что проблема транспорта была одной из первых проблем, с которой столкнулся первобытный человек. Туши убитых животных, камни для постройки жилья и защиты от хищных зверей, стволы деревьев — все это частенько приходилось перетаскивать с одного места на другое. И, наверное, человек очень скоро заметил, что тушу убитого саблезубого тигра волочить по земле за хвост все-таки легче, чем тащить, взвалив себе на плечи.

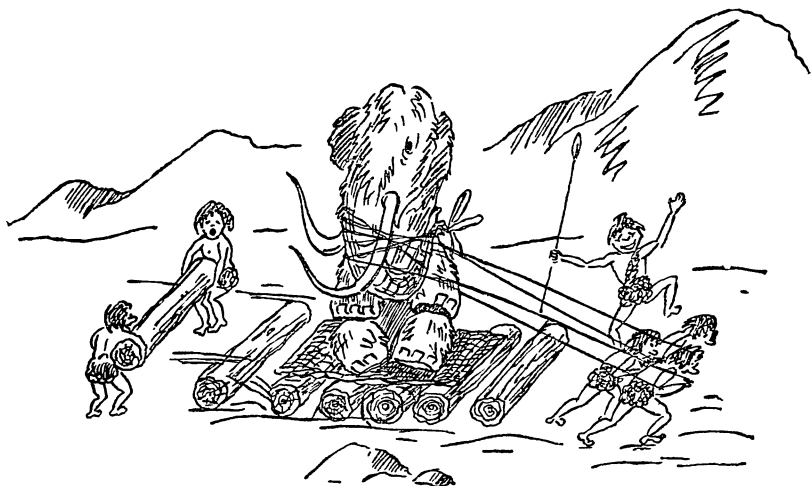
Наверное, он заметил и другое. Если предмет корявый, то волочить его легче, положив на гладкий камень или на какую-нибудь шкуру. А раз так — можно предположить, что самые первые транспортные средства — это аналог наших саней с полозьями. Правда, сани приходилось тащить не по снегу, а по земле, что, конечно, гораздо труднее.

Следующий шаг на пути совершенствования транспортных средств был сделан тогда, когда люди научились подкладывать под перетаскиваемый по земле груз круглые предметы. Тут уж труднее представить себе, как это произошло. Возможно, изобретатель заметил, как легко скатываются с горки круглые камни. А может быть, ему пришлось волочить свою ношу по берегу моря, покрытому галькой. Не исключен и такой вариант: отдыхая на лесной опушке, наш изобретатель увидел, как скатывается под гору свернувшийся в клубок еж или броненосец.

Так или иначе, но наступил момент, когда люди стали не просто волочить грузы по земле, а перекачивать, подкладывая под них круглые бревна — катки. И что самое важное, человек вполне мог научиться этому у природы.

Но пользоваться катками было не очень удобно. Ведь каток лишь совсем недолго перемещается вместе с грузом. Потом он остается позади, его надо перенести и снова подложить под груз спереди.

Мы легко можем представить себе такую картину. Самые



сильные мужчины племени, подбадривая себя ритмическими криками (один из первых вариантов русской «Дубинушки»), волокут по круглым каткам тушу мамонта, оплетенную травой. А мальчишки — им всегда доставался самый неблагоприятный труд! — подхватывают выкатившиеся из-под туши бревна и бегом, чтобы не задерживать общего движения, подтаскивают их вперед. И так всю дорогу.

Настал день, и некто (один из самых гениальных за всю историю человечества изобретателей) догадался просверлить в центре крупного бревна дырку и вставить в эту дырку бревно потоньше или, точнее, круглую палку — ось. Как он это сделал, мы можем лишь догадываться. Возможно, он и не сверлил дырки. Просто под руку ему случайно попался отрезок бревна с выпавшей сердцевинкой. А в другой руке не менее случайно у него оказалась палка подходящих размеров.

Так часто случалось с изобретателями и в более поздние времена. Рассказывают, что Майкл Фарадей, перед тем как открыть свой знаменитый закон электромагнитной индукции, долго таскал в кармане катушку провода и небольшой магнит. Где бы он ни был: в лаборатории, в театре, в гостях, — он нет-нет да вытаскивал из кармана эти два предмета, разглядывал их и пытался по-разному расположить катушку и магнит.

Если нашему изобретателю в детстве довелось перетаскать много катков, то очень может быть, что зрелище катка со случайно оказавшимся в центре отверстием заставило его призадуматься.

Не верите — с удовольствием предлагаем еще одну версию. Человек стал добывать огонь, крутя между ладонями палочку. Заостренный кончик палки упирался в центр круглого отрезка бревна. Человек увлекся и просверлил брусок насквозь. Совершенно неожиданно в руках у него оказалась ось с надетым на нее колесом. Осталось только догадаться, как использовать этот подарок судьбы.

Возможны и другие догадки. Человек додумался до идеи колеса, наблюдая, как небесный свод медленно поворачивается вокруг Полярной звезды. А может, он смотрел совсем не на небо. Сидя у костра после сытного обеда, он размышлял, разглядывая конструкцию сустава все того же саблезубого тигра.

НЕМНОГО ТЕОРИИ

В отличие от специалистов-археологов мы отнюдь не настаиваем ни на одной из наших версий. Мы готовы даже поверить, что любой из описанных случаев происходил не на Земле, а где-нибудь на далекой Альфе Центавра. В одном мы убеждены твердо. Изобретая колесо, человек (или альфацентавринец) не имел ни малейшего представления о том, что он изобретает «способ транспортировки грузов, основанный на замене трения скольжения трением качения».

Так трактуют в серьезных книгах тот эффект, который достигается при использовании колеса: колесо позволяет заменить трение скольжения трением качения. На самом деле это не совсем так или, точнее, не всегда так. Давайте разбираться по порядку.

Начнем с привычной школьной задачки: необходимо переместить груз из пункта А в пункт Б. Предположим, перемещать груз можно по прямой линии и с постоянной скоростью. Первый закон Ньютона гласит о том, что всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Предположим, что тело находится в пункте А в состоянии покоя. Тогда, если опираться на один лишь первый закон

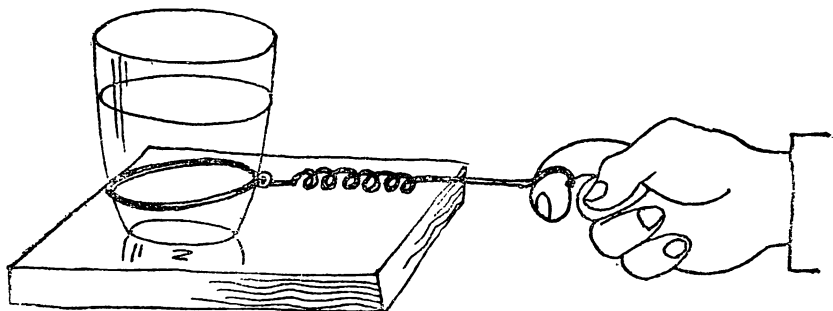
Ньютона, для решения задачи достаточно приложить к грузу совсем небольшую силу в направлении пункта Б. Под действием этой силы груз станет двигаться с ускорением. Когда сила перестанет действовать, груз уже не остановится — он начнет двигаться равномерно (то есть с постоянной скоростью), пока не достигнет пункта Б. Если сила мала и действует недолго, то груз будет двигаться с малой скоростью и достигнет пункта Б не скоро. Но тем не менее задача будет решена.

Именно так ведут себя грузы в космосе. Космонавту, вышедшему в открытый космос, достаточно слегка оттолкнуться пальцем от корабля. Человек начнет удаляться от своей опоры, пока натянувшийся фал не прекратит это равномерное прямолинейное движение.

Но попробуйте заставить, например, книжный шкаф двигаться по полу равномерно и прямолинейно. Вы сразу почувствуете, что это совсем не легко. Выполнению первого закона Ньютона в данном случае препятствует ТРЕНИЕ.

Проделаем (если угодно, даже мысленно) простейший опыт. Положим на стол плоский кусок стекла и поставим на него стакан, наполовину заполненный водой. Если прикрепить к стакану пружинку или резинку и тянуть за ее свободный конец, мы увидим, что все время, пока стакан перемещается с постоянной скоростью, пружинка растягивается на одну и ту же длину. Растяжение пружинки пропорционально силе, которую надо приложить, чтобы стакан перемещался по прямой линии и с постоянной скоростью.

Нальем теперь стакан до конца. Повторив опыт, увидим, что растяжение пружинки стало вдвое больше. Значит, для того чтобы с той же скоростью перемещать по стеклу груз,

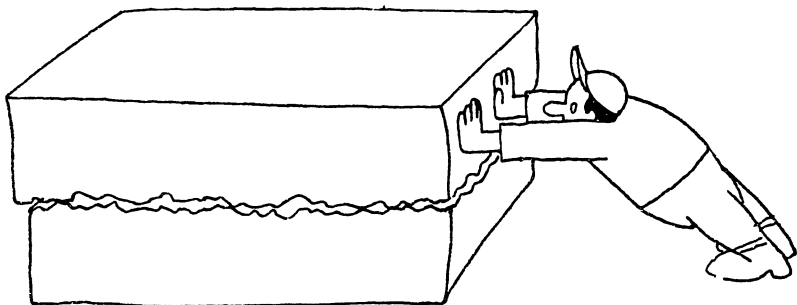


вдвое больший, нужно приложить вдвое большее усилие. Почему?

На ощупь поверхность стекла и дно стакана кажутся совершенно гладкими, но на самом деле это не так. Если посмотреть на кусочек стекла в микроскоп, то вместо гладкой блестящей поверхности мы увидим холмистую равнину, или, как любят говорить спортсмены и военные, пересеченную местность.

Когда мы ставим стакан на стеклянную пластинку, отдельные выступы поверхности пластинки и дна стакана цепляются друг за друга. При движении стакана выступы его дна как бы взбираются на выступы пластинки.

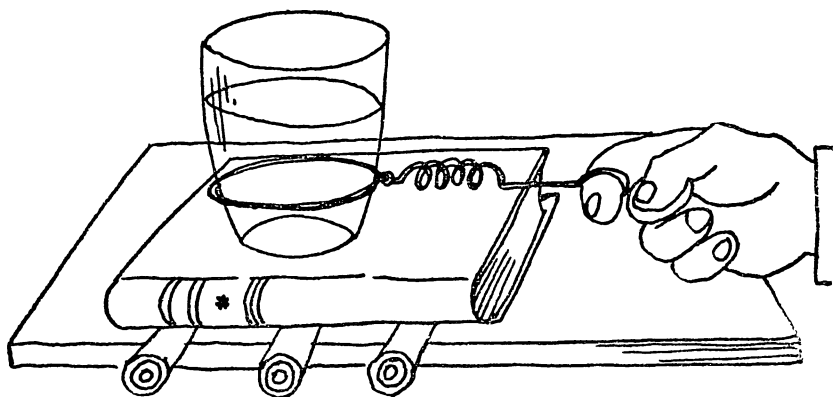
Теперь ясно, откуда берется та сила (ее называют силой трения), которая препятствует перемещению одной поверхности по другой. Ясно и то, что чем тяжелее стакан, тем труд-



нее микроскопическим выступам перебираться друг через друга. Иными словами, чем больше вес перемещаемого груза, тем больше сила трения.

Сила трения между двумя поверхностями, одна из которых перемещается по другой, прямо пропорциональна силе давления одной поверхности на другую. Примерно в такой форме основной закон трения был сформулирован впервые французским физиком Гийомом Амонтоном. Он описал открытый им закон в своей книге «О причине сопротивления в машинах», вышедшей в 1699 году.

Попробуем теперь немного изменить наш опыт. Положим на стекло несколько круглых карандашей, на карандаши —

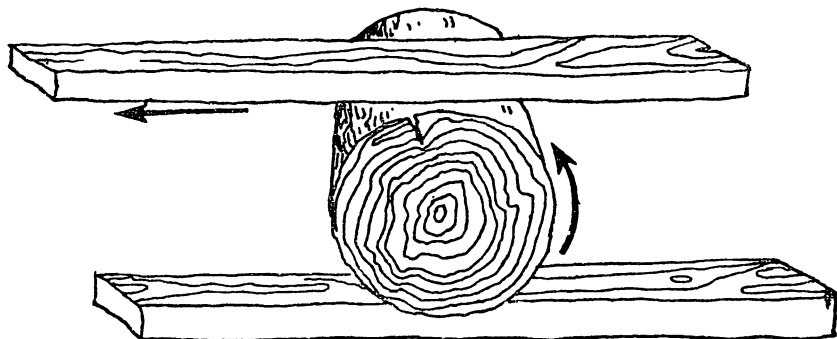


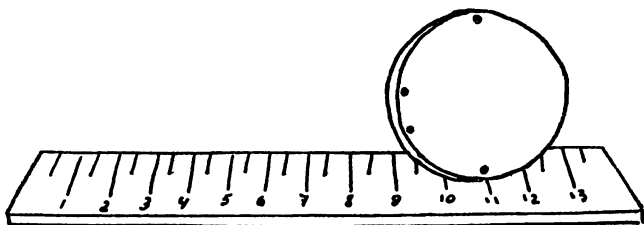
книгу, а на книгу — стакан. Художник показал, как это надо сделать.

Начинаем перемещать книгу вместе со стаканом. Легко убедиться — или просто на ощупь, или с помощью пружинки, как в предыдущем случае, — что, хотя вес груза увеличился, по меньшей мере, на вес книги, перемещать его стало легче. Нужно только следить, чтобы ни один карандаш не выкатился из-под книги, а когда он все-таки выкатывается, немедленно переносить его под передний край книги.

То, что мы проделали, и есть замена трения скольжения трением качения. Разберемся подробнее, что же происходит в этом случае, и посмотрим для этого на следующий рисунок.

Художник изобразил круглый предмет, зажатый между двумя плоскими поверхностями. Когда мы двигаем книгу,





карандаш катится по стеклу (и заодно по нижней поверхности книги). И вот какую замечательную особенность качения мы отмечаем. Та точка окружности карандаша, которая в данный момент касается поверхности стекла, остается неподвижной относительно этой поверхности.

На первый взгляд, такой вывод кажется невероятным. Но мы легко убедимся в его справедливости, если продумаем еще один опыт. Вырежем из плотной бумаги круг, отметим у его края несколько точек и покатаем круг, например, по линейке. Что при этом происходит, хорошо видно из рисунка. Все точки круга перемещаются относительно линейки, но та точка, которая в данный момент касается поверхности линейки, неподвижна относительно этой поверхности. Она не скользит по ней.

При качении тела по какой-то поверхности все точки этого тела, в которых оно соприкасается с поверхностью, остаются неподвижными относительно данной поверхности. А если они неподвижны, следовательно, не надо затрачивать силу на преодоление трения.

ДЕЛАЕМ ВЫВОДЫ

Что мы узнали, проведя наши эксперименты? Когда человек волочит по земле за хвост тушу саблезубого тигра, он преодолевает силу трения. Коэффициент пропорциональности между весом перетаскиваемого предмета и силой трения (его называют просто коэффициентом трения) обычно меньше единицы. Для таких материалов, как дерево, металл, гладкая земная поверхность, коэффициент трения почти всегда оказывается равным нескольким десятым долям (от 0,1 до 0,5). Пусть коэффициент трения тигра о землю равен 0,3. Сколько бы ни весил тигр, таща его за хвост, человек должен прикладывать силу, примерно в три раза меньшую веса тигра.

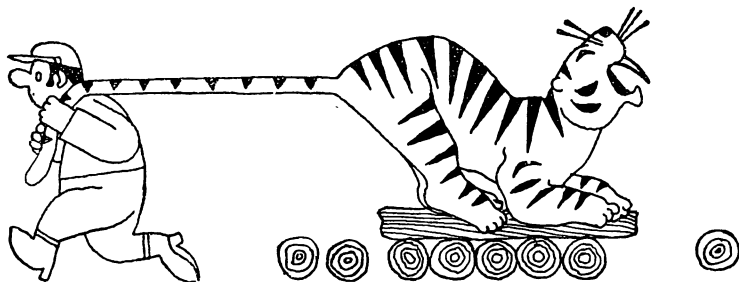
Подложим теперь под тигра катки. Перекатывая предмет по каткам, мы избавляемся от необходимости преодолевать силу трения. Правда, до сих пор мы обсуждали только один вид трения — трение скольжения. Дальше мы увидим, что при качении тоже возникает трение, но об этом пока можно забыть.

А если забыть о трении качения, заодно и о трении о воздух, то можно смело делать вывод, что для доставки туши тигра из пункта А в пункт Б по ровной горизонтальной поверхности и с постоянной скоростью, пользуясь катками, можно не затрачивать вообще никакой силы. Вернее, силу нужно затратить только в начальный момент, для того чтобы сообщить туше вместе с катками постоянную скорость или, как говорят физики, нужно затратить силу на преодоление инерции.

Казалось бы, задача решена и нам остается только аплодировать нашему гениальному предку. НО! История технического творчества человечества напоминает приключенческий роман. Как будто все начинает налаживаться, и вдруг возникает пресловутое НО. Творческая биография любого инженера может быть уподоблена пунктирной линии, только пунктир этот составлен не из точек, а из всевозможных больших и маленьких НО.

Итак, НО! Как мы убедились выше, каток перекатывается не только по земле (по стеклу, по линейке). Каток катится и по нижней поверхности перекатываемого предмета. Причем по этой поверхности он проделывает точно такой же путь, что и по земле.

Пусть длина туши тигра от головы до кончика хвоста составляет, скажем, три метра. Тогда, если в данный момент мы подкладываем каток где-то в районе хвоста, то, после того как мы продвинемся с нашим грузом, таща его за хвост, на



три метра, каток выкатится из-под головы. Каток надо поднять, отнести на три метра вперед и подложить под хвост. Затем все сначала: три метра каток катится по земле, на три метра мы его переносим.

Легко сообразить, что каждый каток приходится нести на руках ровно половину дороги. А если катков пять, то оказывается, что с катком в руках человек совершает путь, в два с половиной раза больший, чем расстояние от пункта А до пункта Б.

Попробуем высказаться несколько четче. Имеется абсолютно горизонтальная плоскость и на ней две точки: пункт А и пункт Б. В пункте А лежит свеженькая туша саблезубого тигра. Требуется переправить эту тушу из пункта А в пункт Б.

Мы знаем три различных способа решения задачи. Первый — взваливаем тушу на плечи и идем по направлению к пункту Б.

Второй — тащим тигра за хвост. Пользуясь этим способом, на всем пути от пункта А до пункта Б мы будем преодолевать силу трения, равную весу туши, помноженному на коэффициент трения. Мы уже установили, что эта сила примерно в три раза меньше силы веса.

Способ третий — подкладываем под тигра катки. Точки катка, соприкасающиеся с поверхностью дороги и с поверхностью туши, остаются неподвижными относительно этих поверхностей. Следовательно, трение скольжения здесь отсутствует. Если не обращать внимания на трение качения (нам это очень просто хотя бы потому, что мы не знаем еще о его существовании), то в данном случае от нас потребуется лишь затрата усилий на преодоление инерции самой туши и катков. Мы можем даже еще упростить решение.

Представьте себе, что масса катков настолько мала по сравнению с массой туши, что на нее можно не обращать внимания. Следовательно, грубо говоря, тушу вообще не надо тащить из пункта А в пункт Б. Достаточно толкнуть ее в нужном направлении.

Так в чем же дело? Почему бы не остановиться на этом третьем способе? Только потому, что катки постоянно выкатываются из-под туши. Надо подхватывать их и по возможности бегом обгонять движущийся груз и снова подкладывать спереди. Мы уже установили, что пробежать с катками в руках придется расстояние, в два с половиной раза превышающее расстояние от пункта А до пункта Б (если катков пять штук). Ничего не поделаешь, придется думать дальше.

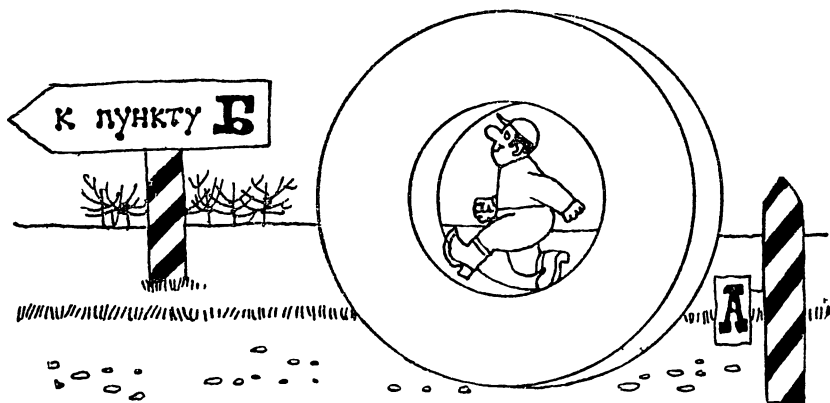
«БЕЗУМНАЯ» ЗАДАЧА

Условия задачи остаются почти теми же: идеально горизонтальная плоскость и на ней пункты А и Б. Добавим дополнительное условие: кратчайшее расстояние от пункта А до пункта Б равно ста километрам. Ну, а чтобы задача не показалась сложнее предыдущей, давайте выбросим одно из условий предыдущей задачи — саблезубого тигра. Просто требуется добраться из пункта А в пункт Б. Можете делать это как угодно: пешком, верхом, на автомобиле или на коньках. НО!.. Требуется добраться из пункта А в пункт Б, пройдя (проскакав, проехав, проскользив) путь, в точности равный пятидесяти километрам.

Когда мы предложили решить эту задачу одному знакомому математику, он обиделся, решив, что мы над ним подсмеиваемся. На первый взгляд задача действительно представляется безумной, а решить ее очень просто. Художник нарисовал нам, как это сделать.

Возьмем кольцо или, если угодно, обруч, поставим его на дорогу и пойдем по внутренней стороне кольца. Для простоты вычислений предположим, что длина внешней окружности кольца равна ста километрам, или, что то же самое, внешний радиус кольца равен примерно шестнадцати километрам. Тогда на пути от пункта А до пункта Б кольцо проделает в точности один оборот.

Ровно один оборот проделает и внутренняя окружность кольца. Если внутренний радиус равен примерно восьми ки-



лометрам, то длина внутренней окружности (а это и есть тот путь, который мы должны проделать, пока кольцо катится от пункта А к пункту Б) окажется равной как раз пятидесяти километрам. Именно эту величину покажет, например, счетчик пройденного расстояния, если мы совершим наш путь внутри кольца на автомобиле.

Проницательный читатель может возразить, что по условию путь надо совершать по плоскости, а в предложенном решении мы движемся по окружности, то есть все время как бы поднимаемся в гору. Это, конечно, правильно. Чудес на свете не бывает, и, выигрывая в расставании, мы должны в чем-то проиграть. В данном случае проигрыш сводится к тому, что мы не только сами двигаемся из пункта А в пункт Б, но и катим с собой кольцо. Однако все сказанное не противоречит условиям задачи, они ведь состояли лишь в том, чтобы достигнуть пункта Б, проделав путь, равный пятидесяти километрам.

Если внутренний радиус кольца равен восьми километрам, то навряд ли кто-нибудь заметит, что он движется не по плоскости, а по криволинейной поверхности. Точно так же, идя по земле, мы не замечаем, что ходим по поверхности шара. И, наконец, вспомним, как мы в детстве катали обруч. В том и состоит прелесть этого занятия, что обруч достаточно подтолкнуть, а дальше он катится сам. То же самое будет происходить и с нашим кольцом.

А теперь вернемся к первоначальной задаче. Влезем внутрь кольца, втащим туда же тушу саблезубого тигра и потащим ее за хвост. Заметим попутно, что вовсе не обязательно поднимать тигра на высоту восемь километров. Ведь столь большое кольцо мы придумали для простоты вычислений. На самом деле оно может быть меньше. Все, что требуется, это, во-первых, чтобы внутренний радиус был вдвое меньше внешнего, а во-вторых, чтобы мы поместились внутри кольца вместе с ношей.

И снова — в путь. Тащим саблезубого тигра за хвост. Если коэффициент трения остался прежним, то силу мы прикладываем ту же — примерно одну треть веса. Но тащить приходится вдвое меньшее расстояние.

Наш знакомый математик, когда мы ему открыли наш секрет, сразу же предложил: «Давайте устремим внутренний радиус кольца к нулю, тогда можно будет переместиться на сто километров, вообще не проходя никакого расстояния!» Хорошо быть математиком. Ведь действительно прекрасное

решение. И нужно всего-навсего самому превратиться в точку, не имеющую размеров, чтобы забраться внутрь такого кольца.

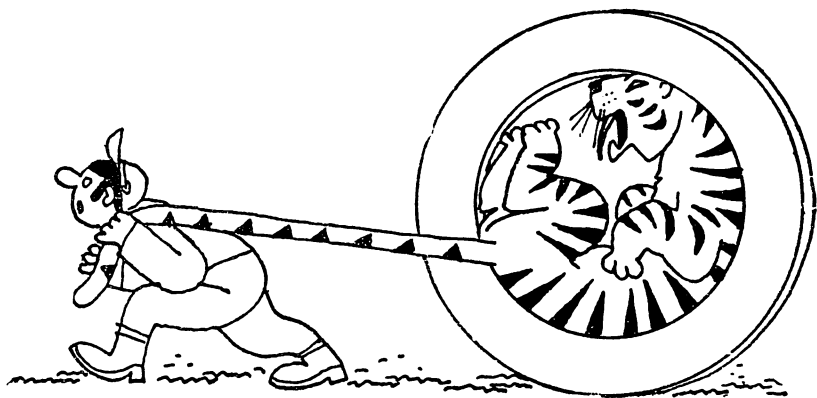
СОВЕТЫ ЛЮБИТЕЛЯМ ХОДИТЬ ПЕШКОМ

Вы, конечно, уже догадались, что кольцо, которое мы использовали для решения задачи, есть не что иное, как колесо. Познакомились мы и с одним из свойств колеса. Это свойство подходит людям сильным, но медлительным. Наш совет таким людям сводится к следующему: залезай внутрь колеса, втаскивай туда тигра и шагай. Тянуть тигра будет трудно, зато идти недалеко.

А как быть тем, кто не прочь совершить дальнюю прогулку, но по возможности налегке? Оказывается, и для них колесо может быть полезным. Решение здесь почти то же самое — его снова подсказал нам художник. Разница лишь в том, что саблезубого тигра надо затащить внутрь колеса, а самому остаться снаружи.

Чтобы понять наш замысел, нужно проявить немного воображения. Забудем на минуту о колесе и представим себе, что мы просто тащим тигра по дороге. Тащим мы его с какой-то силой и точно с такой же силой отталкиваемся ногами от дороги.

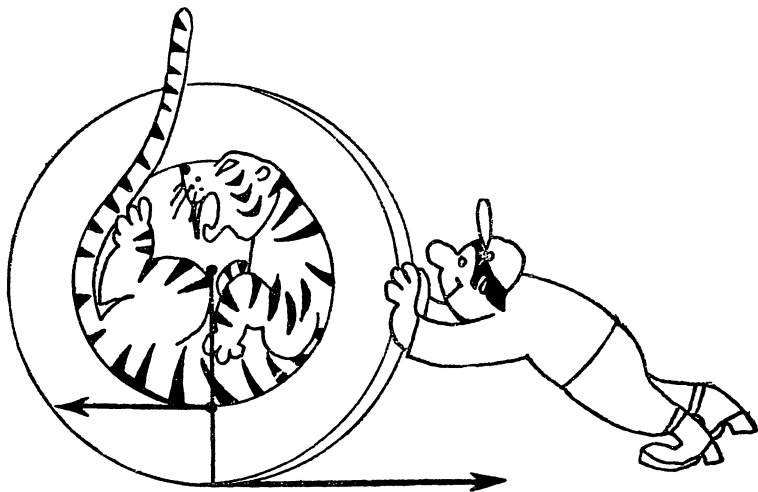
А коли так, то совершенно все равно, дорога ли неподвижна, а по ней движется саблезубый тигр или, наоборот,



тигр неподвижен, а дорогу мы как бы проталкиваем под тигра. Другими словами, тянем ли мы саблезубого тигра, отталкиваясь ногами от дороги, или отталкиваем дорогу, держась руками за хвост. Непонятно? А белке в колесе очень даже понятно. Белка совершенно уверена, что бежит вперед.

Применим те же рассуждения к колесу с тигром внутри. Мы стоим на дороге и толкаем колесо, но считаем при этом, что колесо неподвижно (оно только вращается), а дорогу мы вытягиваем из-под колеса, отталкиваясь от нее ногами. Право же, это совершенно все равно. Вопрос лишь в том, с какой силой отталкивать дорогу. Силу эту подсчитать нетрудно, если вспомнить правило рычага.

Посмотрим снова на рисунок. Мы отталкиваем от себя дорогу и крутим колесо. Внутреннюю поверхность колеса мы заодно вытягиваем из-под тигра. Ведь по условию тигр неподвижен, а колесо вертится. Снова совершенно безразлично,



движется ли тигр относительно колеса или колесо относительно тигра. В обоих случаях поверхность тигра трется о поверхность колеса и сила трения все та же — примерно треть веса. Но эта сила приложена к плечу рычага (рычаг художник тоже нарисовал).

Длина рычага равна внутреннему диаметру колеса. Поворачивается плечо относительно центра колеса, который мы

считаем неподвижным. Сила, с которой мы отталкиваем от себя дорогу, крутя колесо, тоже приложена к плечу рычага. Длина его равна внешнему радиусу колеса, и поворачивается оно вокруг той же точки — центра колеса.

Вот мы и решили задачу: сила, с которой мы отталкиваем дорогу, во столько же раз меньше силы трения тигра о колесо, во сколько раз внешний радиус колеса больше внутреннего. Хотите — в два, четыре раза, хотите — в шестнадцать! Основное условие остается неизменным: внутренний радиус колеса должен быть таким, чтобы туда можно было поместить саблезубого тигра.

Итак, если у вас нет возражений совершить небольшую прогулку (на сто километров), берите колесо, затолкайте внутрь саблезубого тигра — и в путь. Колесо не обязательно толкать сзади. Можно тянуть за веревочку. Трением веревки о колесо мы пока пренебрегаем.

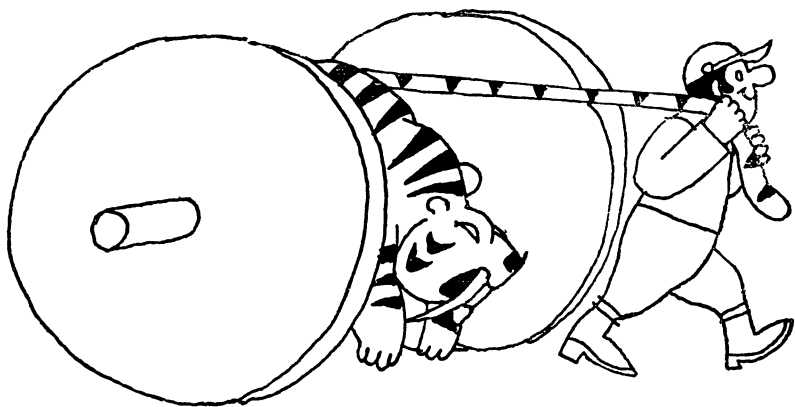
А если у вас есть приятель, который любит таскать за хвосты тигров, можете над ним подшутить: подкрадитесь тихонько сзади и засуньте тигра в колесо. Лучше, если парень вас не увидит. Он только почувствует, что его груз почему-то стал легче. «Вот что значит тренировка!» — скажет он про себя.

СТРОИМ ТЕЛЕГУ

Мы уже знаем твердо: пользуясь колесом, можно получить выигрыш либо в силе, либо в расстоянии. И в том и в другом случае мы выигрываем ровно во столько раз, во сколько внешний радиус колеса больше внутреннего.

Коль речь идет о выигрыше, конечно, нам хочется выиграть побольше. Сделать это можно двумя способами: увеличивая внешний радиус колеса или уменьшая внутренний. Однако и на том и на другом пути есть препятствия. Увеличить внешний радиус — значит, колесо получится очень большим. Но большое колесо сделать трудно. Кроме того, оно получится слишком тяжелым. А если его внешний радиус равен 16 километрам, как мы предлагали вначале, то не проще ли протащить тигра 100 километров на плечах по ровной дороге, чем поднимать его на восемь километров вверх. Нет, большое колесо делать не стоит. Внешний радиус современных, даже очень больших колес, предназначенных для перевозки тяжелых грузов, редко превышает один, от силы два метра.

А внутренний радиус? Если мы хотим забраться внутрь колеса, здесь, как говорят, ограничения очевидны. А если мы

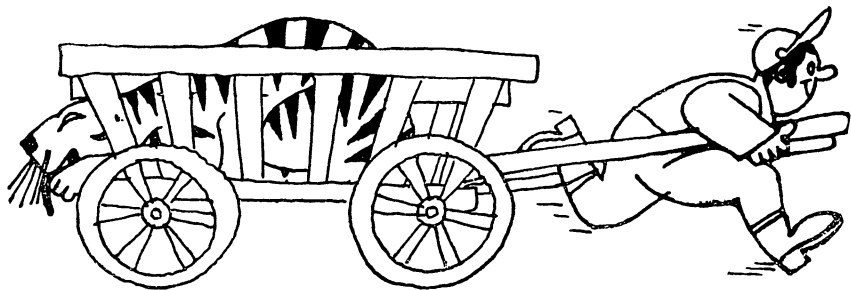


хотим колесо толкать, стоя на дороге? Правда, надо поместить внутрь тигра, но если подумать, то и это не обязательно.

Возьмем два колеса, проденем через них палку, а на палку положим тигра. Теперь внутренний радиус колеса должен быть чуть больше радиуса палки. А последний определяется лишь соображениями прочности. Внешний диаметр должен быть по крайней мере таким, чтобы свешивающиеся части тигра не волочились по земле.

Но и это не обязательно. Возьмем две палки и две пары колес. К палкам прибьем доски, а на доски положим тигра. Теперь внутренний радиус колеса зависит только от радиуса палки, то есть по-прежнему определяется из соображений прочности. Внешний радиус выбираем таким, чтобы вся конструкция не получилась чересчур громоздкой и тяжелой.

Мы построили телегу. Художник нарисовал нам ее во всех подробностях. Остается только ухватить руками оглобли и



тащить. При разумных размерах колес можно выиграть в силе раз в двадцать.

Самое замечательное состоит в том, что при этом мы совсем не подменяем трение скольжения трением качения. Основной смысл колеса телеги совсем не в этом. Трение скольжения остается и продолжает действовать в полной мере. Это, к примеру, трение скольжения оси по внутренней поверхности колеса. Сила, которую мы прикладываем к оглоблям затрачивается именно на преодоление силы трения скольжения. Но благодаря использованию колеса (точнее, колес), нам удастся уменьшить эту силу во столько раз, во сколько внешний радиус колеса больше внутреннего. Именно уменьшить, но отнюдь не избавиться от трения.

ПО ВОДЕ И ПОСУХУ

Рассуждая о колесе, мы много говорили о трении, но при этом не надо забывать, что человек придумал колесо по крайней мере за три тысячи лет до того, как появилось само понятие трения. Узнали мы и такое свойство колеса: оно позволяет получить выигрыш либо в силе, либо в расстоянии.

Но этим далеко не исчерпываются возможности колеса. Подумаем вот о чем. В свое время мы договорились, что, если волочить тушу саблезубого тигра по дороге, коэффициент трения будет равен 0,3. На самом деле он может быть и меньше и больше. Но дело не в истинной величине коэффициента трения. Дело в том, что, если груз просто волокут по дороге, коэффициент трения зависит от видов поверхностей дороги и груза, а ни того, ни другого мы изменить не можем. Разве только выберем дорогу получше, хотя для этого придется сделать порядочный крюк.

Совсем иначе дело обстоит с колесом. Независимо от того, станем ли мы тащить по внутренней поверхности колеса сам груз или только ось, прикрепленную к телеге, колесо в отличие от дороги мы делаем сами. Мы можем позаботиться, чтобы внутренняя поверхность колеса была более гладкой. А чем ровнее поверхность, тем меньше коэффициент трения.

Читатель может возразить, что и дороги мы сейчас строим сами и тоже можем сделать их гладкими. Но, во-первых, согласитесь, что гораздо проще отполировать внутреннюю поверхность цилиндра радиусом, скажем, в несколько сантиметров, чем дорогу длиной в несколько сот километров. А во-вто-

рых, хорошая дорога тогда и хороша, когда она обеспечивает большие значения коэффициента трения скольжения.

Если вернуться к нашему примеру с человеком, идущим внутри колеса, то можно сказать так: пользуясь колесом, он не только сокращает расстояние, но и получает более гладкую дорогу. Вот вам еще одно свойство колеса. Обработав соответствующим образом его внутреннюю поверхность, мы можем уменьшить коэффициент трения скольжения и за счет этого получить дополнительный выигрыш в силе.

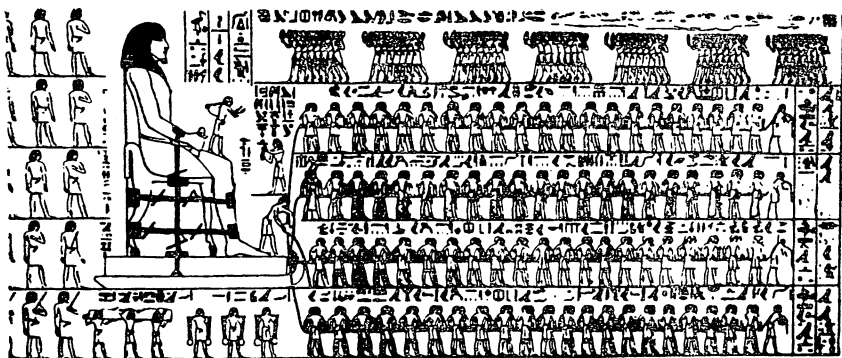
Сколь большим может быть этот выигрыш и есть ли здесь какие-нибудь пределы? На первый взгляд кажется, что чем ровнее поверхность, тем меньше трение. Вспомним, что мы говорили о трении. Трение зависит от того, что любая, казалось бы, совершенно гладкая поверхность на самом деле состоит из множества бугорков и впадин. Бугорки цепляются друг за друга. Можно ли отполировать поверхность так, чтобы этих бугорков не было совсем?

Всякое тело состоит из молекул. Между молекулами действуют внутренние силы притяжения, и именно благодаря этим силам молекулы не рассыпаются, а ведут себя как единое твердое тело. Такие же точно силы притяжения действуют между молекулами двух соприкасающихся поверхностей. Чем ровнее поверхность, тем меньше расстояние между молекулами этих поверхностей, тем больше силы притяжения между ними.

Возьмем две металлические пластины и будем полировать их, а потом прикладывать полированными поверхностями друг к другу. Что же получится? По мере того как поверхности становятся все глаже, сначала коэффициент трения уменьшается из-за уменьшения размеров бугорков, цепляющихся друг за друга, а затем начинает увеличиваться за счет увеличения сил взаимного притяжения между молекулами.

Следовательно, за счет одной лишь обработки поверхности можно уменьшить коэффициент трения только до определенных пределов. Практически коэффициент трения между сухими гладкими поверхностями редко удастся сделать меньше одной-двух десятых.

Но почему мы сказали «сухими»? Посмотрите на рисунок. Его художник не выдумал — он его перерисовал. В гробнице древнеегипетского вельможи Джехути-Хетепа есть картина. Она рассказывает о перевозке колоссальной каменной скульптуры. Скульптура весила не менее шестидесяти тонн. Чтобы перевезти ее на большое расстояние, потребовались большие



деревянные сани. Сани тащили на канатах сто семьдесят два человека.

Как видите, способ перевозки самый примитивный: нет ни колес, ни даже катков. Сани с грузом просто волокли по дороге. Но приглядимся внимательно к рисунку. Возле ступни статуи стоит человек. В руках у него сосуд с водой, и он выливает воду прямо на дорогу перед полозьями. Зачем?

Всем нам не раз приходилось замечать, что тащить какой-нибудь предмет по мокрой дороге гораздо легче, чем по сухой. Правда, в обычной жизни подобный эффект чаще имеет отрицательные последствия: идя по мокрой глинистой тропинке, легко поскользнуться и упасть. Шоферы, едущие по городским улицам после дождя, особенно осторожны, потому что затормозить на мокром асфальте гораздо труднее, чем на сухом, а при резких поворотах машину круто заносит.

Обобщая подобные заключения, мы приходим к выводу, что сила трения скольжения одной мокрой поверхности по другой всегда оказывается меньше, чем сила трения скольжения таких же, но сухих поверхностей. При желании можно повторить опыт со стаканом и легко убедиться, что если дно стакана мокрое, то он будет двигаться легче.

Еще меньшей будет сила трения скольжения, если смочить трущиеся поверхности не водой, а маслом. Это тоже хорошо известно.

Почему так получается? Мы знаем, что причина возникновения силы трения — это неровности трущихся поверхностей. Мы установили также, что, даже если идеально отполировать трущиеся поверхности, то есть лишить их самых нич-

тожных бугорков и вмятин, трение останется, потому что цепляться друг за друга станут молекулы.

Что же происходит, когда мы смачиваем трущиеся поверхности водой или маслом? Многие жидкости обладают двумя интересными свойствами. Вы, наверное, замечали, что, когда на улице идет дождь, водяные капли как бы прилипают к оконному стеклу. Они медленно сползают под действием собственной тяжести, но не отрываются от стекла. Почему? Потому что между жидкостью и твердым телом существуют силы сцепления. Природа сил сцепления нам известна: жидкость заполняет все микроскопические неровности, молекулы ее оказываются расположенными очень близко к молекулам твердого тела и начинают притягиваться друг к другу. Второе интересное свойство жидкостей состоит в том, что они практически несжимаемы. Как бы мы ни сдвигали каплю воды, ее объем остается почти неизменным.

Если смочить водой плоскую пластинку из твердого материала, вода заполняет все неровности, и сверху пластинка оказывается покрытой водяной пленкой. Сложим вместе две такие пластины и станем двигать одну по другой. Окажется, что на самом деле движется не пластинка по пластинке, а водяная пленка по водяной пленке. Вода по воде. Сила трения скольжения в этом случае будет значительно меньше.

Может быть, зря мы мудрили до сих пор с катками и колесами? Может быть, действительно достаточно поливать дорогу водой, как это делали древние египтяне? Примерно так мы поступаем, катаясь на коньках. «Ну конечно же, — скажет нетерпеливый читатель, — лед — это тоже вода, хотя и твердая!» И будет неправ.

Лед во всех отношениях ведет себя как твердое тело. Правда, сила трения скольжения о гладкую поверхность льда не так уж велика, но и не очень мала. Каждый любитель скользить зимой по ледяным дорожкам на тротуарах знает, что, даже как следует оттолкнувшись, можно проскочить по такой дорожке от силы метров десять. А на коньках по льду при такой же силе толчка можно проехать метров пятьдесят, а то и больше.

Секрет коньков в том и состоит, что у них узкие лезвия. Когда мы стоим на коньках на ледяном поле, площадь поверхности лезвия конька, опирающегося на лед, мала, следовательно, давление очень велико. Под действием этого давления лед тает, и лезвие конька непрерывно смачивается водой. Поэтому сила трения конька о лед мала.

Может быть, так и следует поступать: в холодных местах земного шара строить ледяные дороги, а там, где жарко, просто поливать дороги водой? Давайте подумаем. Первое неудобство сразу бросается в глаза. Скользить по такой дороге будут не только сани с грузом, но и тот, кто их тащит. Ведь мы установили, что, в общем-то, совершенно все равно, считаем ли мы, что, упираясь в дорогу, притягиваем к себе груз или, наоборот, держась за веревку, привязанную к грузу, отталкиваем от себя дорогу.

Египтяне, тащившие статую, придумали не так уж плохо. Сами они шли по сухой дороге, а воду лили прямо под полозья саней. Но так можно поступать, если провезти груз надо всего один раз. Что станет с дорогой, да еще без асфальтового покрытия, если регулярно поливать ее водой, а потом перевозить тяжелый груз, знает каждый.

Ледяные дороги к тому же достаточно хрупкие. Недаром катки приходится заливать заново каждый день, а иногда и чаще. Так что скользкая дорога — вещь во всех отношениях неудобная.

Но если залить водой или какой-либо иной смазкой внутреннюю поверхность колеса? Сила трения скольжения оси о внутреннюю поверхность колеса уменьшится в несколько раз. Смазывающего вещества надо затратить немного, потому что внутренняя поверхность колеса не так уж велика. И дорогу мы при этом не испортим. Отсюда и русская пословица: «не подмажешь, не поедешь».

К слову сказать, для смазки колес мы пользуемся специальными смазочными маслами, а не водой совсем не потому, что масло более «скользкое». С точки зрения получающейся силы трения вода ничуть не хуже масла. Просто по сравнению с маслами вода обладает целым рядом вредных побочных эффектов. Железо от воды ржавеет, а дерево гниет. Кроме того, вода очень быстро испаряется, и водяную смазку пришлось бы непрерывно возобновлять.

ЕЩЕ НЕМНОГО РАЗМЫШЛЕНИЙ

Разглядывание картины древних египтян позволило нам осознать еще одну инженерную идею, которая, правда, уже известна людям несколько тысячелетий. Продолжая считать, что дорога представляет собой идеально горизонтальную

гладкую поверхность, мы попытаемся еще раз сформулировать уже известные свойства колеса.

Задача остается прежней: переместить груз из пункта А в пункт Б. Поступаем следующим образом. К платформе прикрепляем оси, а на оси надеваем колеса. По сравнению со способом волочения груза либо прямо по дороге, либо на санях, как это делали древние египтяне, достигается следующее.

Во-первых, сила трения самого груза или полозьев саней о дорогу заменяется силой трения оси о внутреннюю поверхность колеса. Как уже было установлено, эта сила во столько же раз меньше, во сколько раз внешний радиус колеса больше внутреннего. Ну, скажем, раз в двадцать.

Во-вторых, делая внутреннюю поверхность колеса и внешнюю поверхность оси более гладкими, чем дорога, да еще используя смазку, мы уменьшаем коэффициент трения раз в пять, а то и в десять. В результате, например, груз весом в одну тонну мы можем везти по гладкой дороге, прилагая силу всего в десять, а то и в пять килограммов.

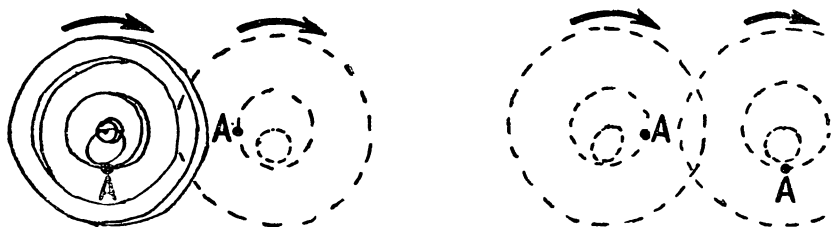
Казалось бы, совсем неплохо. И все же мы должны признать, что мы не избавились полностью от трения скольжения. Мы лишь уменьшили его влияние. И в то же время мы знаем, как это знали и наши далекие предки, что с помощью катков можно полностью избавиться от трения скольжения. Эх, если бы эти катки, но только можно было бы их не перетаскивать!

Вернемся еще раз к тем рассуждениям, которые мы проводили, когда говорили о смазке. Представим себе конькобежца, скользящего по льду. Из-за большого давления на лезвие лед тает, и под коньком образуется вода, которая играет роль смазки. Но стоит конькобежцу хоть немножко продвинуться вперед, как эта вода тут же замерзает и снова превращается в лед.

Оказывается, для того чтобы конькобежец мог легко скользить по льду, совсем не обязательно, чтобы весь каток был ледяным. Достаточно, чтобы в каждый момент времени лед находился только под лезвиями коньков.

Представим себе такую картину. Мы берем несколько плоских кусочков льда и каждый раз подкладываем их перед скользящим конькобежцем. А кусочек льда, по которому он уже проехал, хватаем в руки, обгоняем конькобежца и снова подкладываем перед ним.

Для конькобежца эффект будет такой же, как если бы



он скользил по ледяному полю, а мы вынуждены будем проделывать ту же самую работу, которая выполняется при перекатывании груза по каткам. Только вместо катков придется перетаскивать ледяные пластины.

Но лед у нас выполняет функцию смазки. Решая проблему смазки, мы нашли очень простой выход — договорились смазывать не дорогу, а внутреннюю поверхность колеса. Теперь внимательно посмотрим на рисунок.

Здесь изображено колесо, катящееся по дороге (точнее, несколько его последовательных положений) вместе с осью и слоем смазки. Отметим на внутренней поверхности колеса точку, которая в данный момент находится в точности под осью (крайний рисунок слева). Эту точку художник поместил буквой *A*. Именно в точке *A* ось соприкасается с внутренней поверхностью колеса, именно в этой точке возникает сила трения скольжения и именно в этой точке, и только в ней, нужна смазка, чтобы уменьшить силу трения.

Прошло немного времени, колесо повернулось на четверть оборота, ось продвинулась вперед по внутренней поверхности колеса, и точка *A* оказалась за осью (второй рисунок слева). Получается то же, что и с конькобежцем, который в своем движении вперед оставил за собой пройденный кусочек льда. В данном случае роль кусочка льда играет смазка, прилипшая к внутренней поверхности колеса в точке *A*.

Но внимание! Что происходит дальше? Еще пол-оборота — и точка *A* с прилипшей к ней смазкой оказывается уже не за осью, а перед ней (третий рисунок). Еще четверть оборота — и та же точка снова находится под осью (четвертый рисунок). Происходит то же самое, что и с перетаскиванием кусочка льда. Разница лишь в том, что в данном случае само колесо, точнее, его внутренняя поверхность, «перетаскивает» сма-

занные области, да еще не затрачивая при этом никаких дополнительных усилий. Вот уж поистине неожиданное свойство!

А теперь... Неужели все еще не догадались? Если колесо способно перетаскивать смазанные участки поверхности, почему бы ему не делать то же самое с катками? А ну, давайте попробуем: сделаем диаметр оси меньше внутреннего диаметра колеса и заполним образовавшуюся щель небольшими гладкими цилиндриками — катками. Это тоже изображено на рисунке.

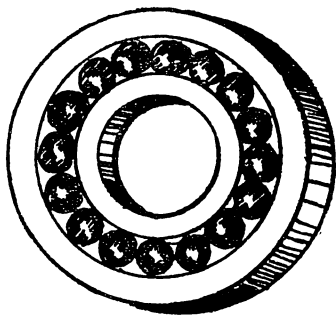
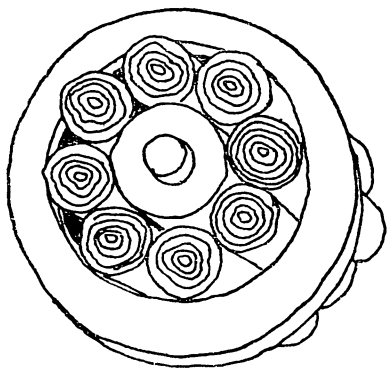
Что у нас получилось? Ось не скользит по внутренней поверхности колеса. Она катится по катку, который, в свою очередь, катится по внутренней поверхности колеса. Ось касается катка в одной-единственной точке, и эта точка в данный момент неподвижна относительно внутренней поверхности колеса. Скольжение, а следовательно, и сила трения скольжения полностью отсутствуют.

По мере того как колесо вращается, каток выкатывается из-под оси, но на его место тут же вкатывается новый, расположенный непосредственно перед выкатившимся. А тот каток, который только что выкатился, подталкивает своего соседа сзади; тот, в свою очередь, подталкивает следующего соседа, и так далее, пока дело не доходит до катка, расположенного непосредственно перед осью. Задача решилась как бы сама собой — перетаскивать катки не нужно, а трение скольжения полностью отсутствует.

Честно говоря, небольшая часть трения скольжения все-таки остается. Ведь катки своими боками трутся друг о друга. Но получающаяся при этом сила трения скольжения во столько же раз меньше силы трения скольжения в аналогичной конструкции без катков, во сколько вес самих катков, точнее, половины их общего количества, меньше силы, с которой ось давит на колесо. Это настолько малая величина, что мы с полным основанием можем утверждать: трение скольжения в нашей конструкции полностью отсутствует.

Если дорога представляет собой абсолютно горизонтальную плоскость, внутренняя и верхняя поверхности колеса, а также поверхности катков являются идеальными цилиндрами, то в подобной конструкции вообще отсутствует всякое трение.

Следует ли из этого, что мы получили возможность перевозить груз в одну тонну, вообще не затрачивая никаких усилий? Подождем отвечать на этот вопрос, а заметим, что



в реальных конструкциях подобного рода чаще всего вместо цилиндрических катков используют шары. Это, как легко сообразить, ни в коей мере не меняет принципа действия всей конструкции. Чтобы шары не вываливались, на внутренней поверхности колеса и на внешней поверхности оси прорезают неглубокие канавки. Чтобы шары не терлись друг о друга, их разделяют специальными деталями, называемыми сепараторами. Но это уже технические подробности конструкции, которая в целом получила название шарикоподшипника.

По ходу нашего рассказа мы установили три основных факта, на первый взгляд совершенно не связанных друг с другом. Первый состоит в том, что при известных условиях можно перемещать грузы по горизонтали без трения, а следовательно, и без всяких усилий, если пользоваться катками.

Второй факт. Двигаясь по внутренней поверхности кольца, которое, в свою очередь, катится по дороге, мы не только получаем возможность выигрывать либо в силе, либо в расстоянии. Обработывая соответствующим образом внутреннюю поверхность, мы можем двигаться по гладкой дороге, не затрачивая больших усилий на строительство самой дороги. Ведь обрабатывать приходится лишь сравнительно небольшую площадь внутренней поверхности кольца. Это стоит как следует запомнить.

И, наконец, третий факт. Нам совершенно безразлично, считать ли груз движущимся по неподвижной дороге или дорогу движущейся относительно неподвижного груза. Но если мы перемещаемся по внутренней поверхности катящегося кольца (колеса) и считаем, что груз, точнее, ось неподвижна,

а кольцо движется относительно оси, то каждая точка внутренней поверхности кольца, выходя из-под оси, движется по замкнутой траектории и рано или поздно снова возвращается на свое место под ось.

Каждый из этих фактов интересен сам по себе, но, казалось бы, они никак между собой не связаны. Однако, объединив их вместе, мы и получили колесо с шарикоподшипником. Выдумали подшипники, конечно, не мы. Еще колесницы древних египтян имели деревянные подшипники, обитые металлическими пластинами. Одна из первых конструкций шарикоподшипника предложена гениальным итальянским художником, инженером и ученым Леонардо да Винчи, жившим в конце XV — начале XVI веков. Сохранился собственноручный чертеж шарикоподшипника, выполненный Леонардо да Винчи.

ТОЛКАЕМ АВТОМОБИЛЬ

Все современные колесные экипажи, и прежде всего автомобили, имеют колеса на шарикоподшипниках. Какой выигрыш это дает?

Нагруженный легковой автомобиль «Волга» весит около двух тонн. Каждый шофер знает, что, если на ровном асфальтовом шоссе у него отказал двигатель, один человек в состоянии сдвинуть «Волгу» с проезжей части на обочину. Шофер знает и другое: самое трудное столкнуть машину с места. А уж после того как она пришла в движение, поддерживать ее можно даже одной рукой.

Но на что же затрачивается сила давления руки на машину, если, по нашему собственному утверждению, используя колесо с шарикоподшипником, мы полностью избавились от трения скольжения?

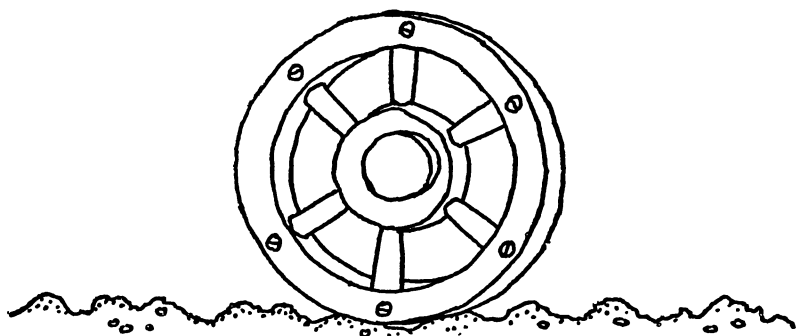
Настала пора рассмотреть еще один вид трения — трение качения.

Начнем с того, что, когда идеальная окружность катится по идеальной плоскости, никакого трения, в том числе и трения качения, нет. Но беда в том, что на свете не бывает ни идеальных плоскостей, ни идеальных окружностей.

Мы уже много раз говорили, что любая реальная поверхность содержит неровности: бугорки и впадины. Поэтому, если даже колесо представляет собой идеальную окружность, точнее, идеальный цилиндр, все равно, катясь по реальной

поверхности, колесо то взбирается на бугорки, то проваливается во впадины.

Подъем на бугорки сопровождается подъемом и колеса, и телеги, и положенного на телегу груза. Ну, а на подъем груза, конечно же, нужно затрачивать силу. Эта сила и проявляется как сопротивление движению, получившее в технике название трения качения. Чем больший груз давит на колеса, тем больше сила сопротивления. Поэтому, как и в случае с трением скольжения, сила трения качения пропорциональна весу груза.



Можно ли избавиться от трения качения или хотя бы сделать его меньше? Самый верный способ вы уже знаете. Надо изготавливать колеса в виде идеальных цилиндров и катить их по дороге, представляющей собой абсолютно гладкую горизонтальную поверхность. Примерно так и поступают при изготовлении шарикоподшипников.

В шарикоподшипнике единственным видом трения остается трение качения. Чтобы сделать его меньше, поверхности, по которым катятся шарики, и сами шарики полируют. Используют также смазку, которая заполняет микроскопические впадины между бугорками. Благодаря этому в шарикоподшипниках силу трения качения удастся почти свести к нулю. Каждый велосипедист знает, как долго продолжает вращаться по инерции колесо велосипеда, если хорошенько его раскрутить. Причина здесь именно в том, что во втулке велосипедного колеса установлены шарикоподшипники.

Ну, а как быть с трением качения внешней поверхности колеса о дорогу? Снова нам приходит на ум все тот же рецепт: отполировать дорогу, и снова приходится с сожалением

от него отказаться. Правда, не до конца. Конечно, при езде по гладкой дороге трение качения меньше, поэтому современные автострады, как правило, покрывают асфальтом.

Но гладкость хороша лишь до определенного предела. На абсолютно гладкой дороге автомобиль нельзя столкнуть с места — ноги станут скользить по дороге. Конечно, исправный автомобиль не надо толкать, упираясь ногами в дорогу. Автомобиль движется, отталкиваясь от дороги теми же колесами, — у нас еще будет случай поговорить об этом. Но и колесами тоже не оттолкнешься от абсолютно гладкой поверхности.

Пожалуй, самые ровные дороги на свете — железнодорожные рельсы. Поверхность их делается гладкой еще на заводе. Затем она дополнительно полируется, когда по рельсам движутся локомотивы и вагоны. Недаром рельсы всегда блестят. Гладкая поверхность рельсов делается именно для того, чтобы свести к минимуму трение качения. Железнодорожный вагон с грузом в шестьдесят тонн, если его предварительно как следует разогнать, могут толкать по горизонтальному пути всего человек пять. Состав из ста таких вагонов легко тянет один локомотив.

Но хуже обстоит дело, когда железнодорожный состав нужно стронуть с места. Бывает так, что колеса локомотива вращаются, а сам локомотив стоит на месте. В этом случае говорят, что колеса пробуксовывают. Благодаря гладкости рельсов мы получаем малое трение качения, но и сила трения скольжения, которая в данном случае помогает локомотиву оттолкнуться от рельсов, оказывается недостаточной, чтобы сдвинуть состав с места.

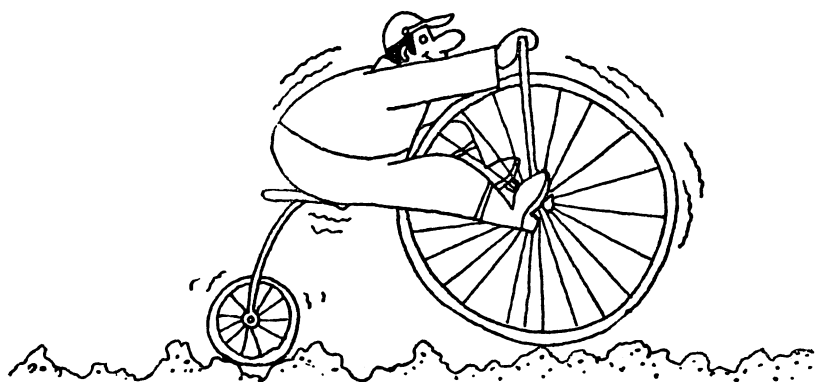
В таких случаях под колеса локомотива посыпают песок. Песок увеличивает неровности на поверхности рельсов и, соответственно, увеличивает силу трения скольжения. И все же количество вагонов, которые можно подцепить к одному локомотиву, ограничивается в первую очередь величиной силы трения скольжения, или, как говорят железнодорожники, сцеплением колес локомотива с рельсами.

По тем же соображениям в состав асфальтовой массы, покрывающей автострады, обычно добавляют все тот же песок. Поэтому сила трения скольжения между колесами автомобиля и покрытием дороги оказывается достаточно большой. В сухую погоду автомобиль легко разогнать с места и легко остановить. Но совсем иначе ведет себя автомобиль на мокром после дождя шоссе. А вот если водяная пленка на шоссе

к тому же еще подмерзнет!.. Нет у шоферов большего врага, чем гололед на дорогах.

Есть еще один способ уменьшить величину силы трения качения. Способ этот очень прост и состоит в том, чтобы увеличивать внешний диаметр колеса. Что при этом получается, достаточно хорошо видно из рисунка.

Художник изобразил два соседних бугорка на дороге и два колеса — маленькое и большое. Маленькое колесо почти целиком помещается между выступами. Чтобы двинуться вперед, ему надо подняться на всю высоту бугорка. Большое колесо просто перекачивается с вершины одного бугорка на вершину другого.



Ясно, что сопротивление движению во втором случае будет меньше. Именно по этой причине, если вы разгонитесь до одной и той же скорости по одной и той же дороге на велосипеде и на роликовых коньках, а потом станете двигаться по инерции, то на велосипеде вы продвинетесь на значительно большее расстояние. По этой же причине диаметр колес у велосипеда больше, чем у легкового автомобиля. Велосипед мы приводим в движение собственной силой, и конструкторы стремятся как только можно облегчить наш труд. Автомобиль двигают «лошадиные силы» мотора, и можно позволить какую-то небольшую их часть затратить на преодоление силы трения качения.

Но почему бы и у автомобиля не делать колеса большого диаметра? Хотя бы для того, чтобы экономить горючее?

Кстати говоря, у самых первых моделей автомобиля колеса были больше, чем у их нынешних потомков.

Оказывается, делать слишком большие колеса тоже нельзя. Во-первых, большое колесо больше весит. Вспомним, что в общем случае объем, а следовательно, масса и вес цилиндра увеличиваются как куб его радиуса. Поэтому если сделать слишком большое колесо, то выигрыш за счет увеличения радиуса компенсируется проигрышем за счет увеличения веса. Особенно у экипажей, предназначенных для перевозки малых грузов.

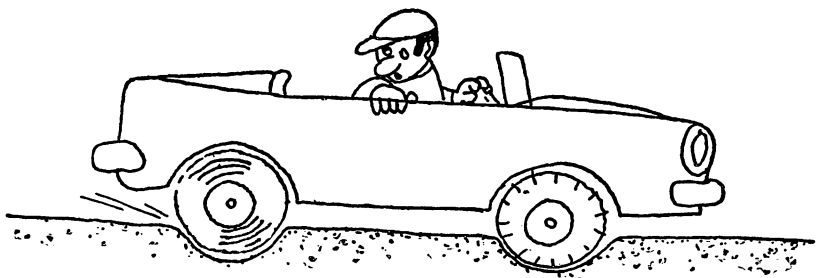
Вы, конечно, обращали внимание, что у грузовых автомобилей внешний радиус колес тем больше, чем на больший груз они рассчитаны. Для того чтобы большие колеса велосипеда весили поменьше, их делают не сплошными, а на очень тонких спицах (колеса со спицами были и у старых моделей автомобилей).

Есть еще одно соображение, по которому и диаметр и массу колеса нельзя делать очень большими. Это все та же инерция. Тяжелое колесо большого диаметра труднее разогнать и, соответственно, труднее остановить. Последнее особенно страшно, когда надо затормозить внезапно. Кроме того, чем быстрее вращается колесо, тем в большей степени сказывается его инерция. В частности, поэтому с увеличением максимальной скорости автомобилей стали уменьшать радиус их колес.

И, наконец, последнее замечание. Даже на совершенно гладкой дороге не так просто получить небольшую величину силы трения качения. Много зависит и от материала дороги. Что происходит, например, когда автомобиль движется по песку? Поверхность песка можно разровнять и сделать достаточно гладкой. Но под действием веса экипажа колеса проваливаются в песок. Получается то же самое, как если бы колесо оказалось между двумя бугорками на неровной дороге.

Колеса локомотива или железнодорожного вагона давят на рельсы, и рельсы слегка прогибаются. Правда, в отличие от песка рельсы испытывают упругую деформацию и расправляются после того, как вагон проезжает. Но все равно получается так, что, даже двигаясь по горизонтальному рельсовому пути, колеса вагонов все время как бы взбираются в гору.

Основной вывод, который мы можем сделать из всего сказанного, таков: полностью избавиться от силы трения качения нельзя. Именно поэтому, чтобы поддерживать постоянной



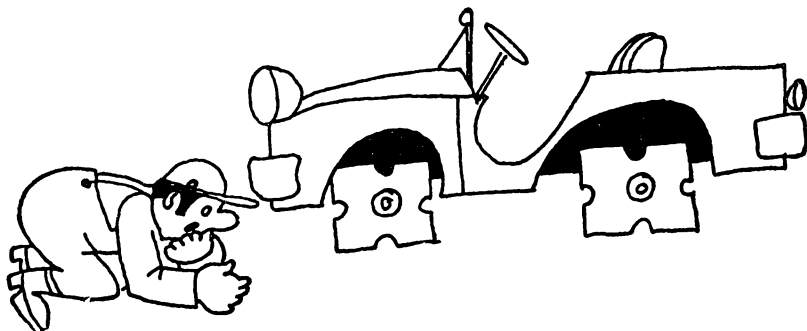
скорость прямолинейного равномерного движения железнодорожного вагона по горизонтальному гладкому рельсовому пути, все же требуется усилие пяти, а то и более человек.

Чтобы читатель не разочаровался в колесах, попросим его подсчитать в уме, сколько человек понадобилось бы, чтобы груз в шестьдесят тонн нести на плечах.

КВАДРАТНЫЕ КОЛЕСА

Когда хотят подшутить над неудачливым изобретателем, часто говорят ему, что он изобрел квадратные колеса. Мы слишком привыкли к тому, что колесо должно быть круглым. Картина, например, современного автомобиля, несущегося на квадратных колесах, не может не вызвать у нас улыбки. Прекрасная и неисчерпаемая тема для юмористов.

Все-таки почему колесо обязательно должно быть круглым? С самого начала рассказа мы исходили из того, что колеса действительно круглые, и рассматривали различные свойства круглых колес. Но тот, кто читал внимательно, легко вспомнит, что мы ни разу даже не пытались доказать необхо-

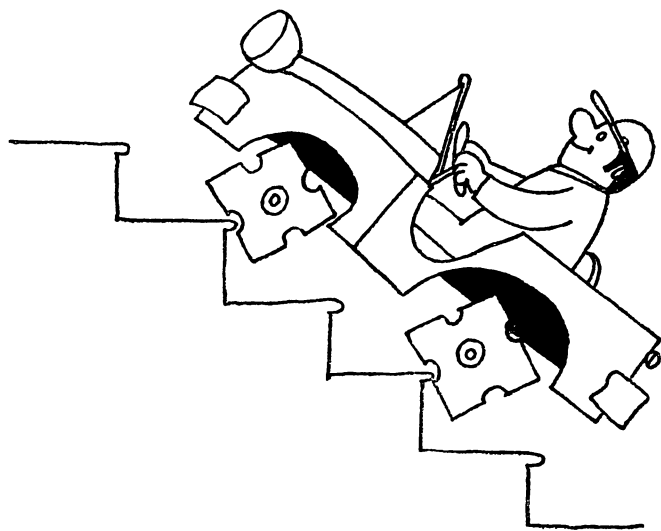


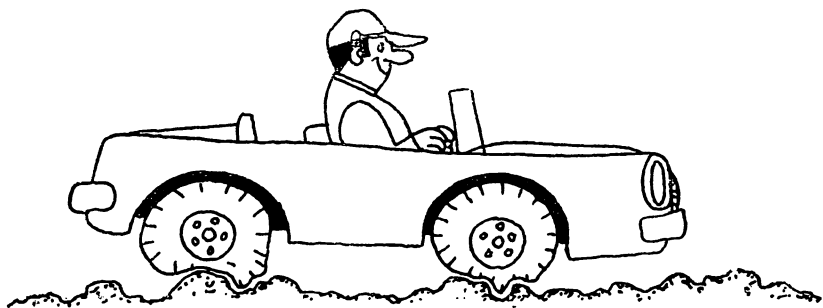
димось круглой формы. Говоря о качении, мы только подчеркивали замечательное свойство такого движения, а именно то, что точка соприкосновения двух катящихся поверхностей остается неподвижной относительно обеих поверхностей.

Все это верно, но опять-таки никто не сказал, что катиться обязательно должна окружность. Разве нельзя катить по плоской поверхности стола, к примеру, куриное яйцо?

Так что же, делать автомобиль с квадратными колесами? Ну, так уж сразу, наверное, не надо. А с другой стороны, кто-нибудь из вас пробовал подняться на автомобиле или хотя бы на велосипеде по лестнице? Нет? И не пытайтесь. Вряд ли подобный эксперимент закончится благополучно. А вот автомобиль с квадратными или, точнее, с почти квадратными колесами просто незаменим для езды по лестницам. Если хотите в этом убедиться, посмотрите на рисунок.

Ну, а теперь серьезно. Рассматривая различные причины возникновения трения качения, мы обсуждали и такую: под давлением груза плоская поверхность дороги изгибается и как бы принимает форму колеса. Подобное явление мы расценивали как безусловно вредное, поскольку оно увеличивало силу трения качения, а следовательно, и затраты наших усилий на перемещение груза. Но по ходу нашего рассказа мы уже не





раз пытались обратить на пользу, казалось бы, вредные явления. Попробуем поступить так и сейчас.

Итак, дорога принимает форму колеса — и это плохо. Попробуем поступить наоборот, а именно: заставить колесо принимать форму дороги. Мы не однажды сетовали на неровности — бугорки и впадины, являющиеся причиной обоих видов трения. Для того чтобы избавиться от трения скольжения, мы придумали колеса с шарикоподшипниками. А вот избавиться от трения качения нам пока не удавалось.

Сделаем теперь колесо, внешняя поверхность которого способна принимать форму дороги. Говоря конкретнее, сделаем колесо с упругой внешней поверхностью, а еще конкретнее — колесо с резиновой шиной, наполненной воздухом. Что происходит, когда такое колесо катится по неровной дороге? Давайте посмотрим на рисунок.

На пути колеса — бугорок. Вместо того чтобы подниматься на этот бугорок и тащить за собой экипаж, поверхность колеса продавливается, как бы обволакивает бугорок, а экипаж продолжает двигаться по горизонтали. Если на пути встречается впадина, все происходит наоборот: в соответствующем месте поверхности колеса как бы надувается пузырь, заполняющий впадину.

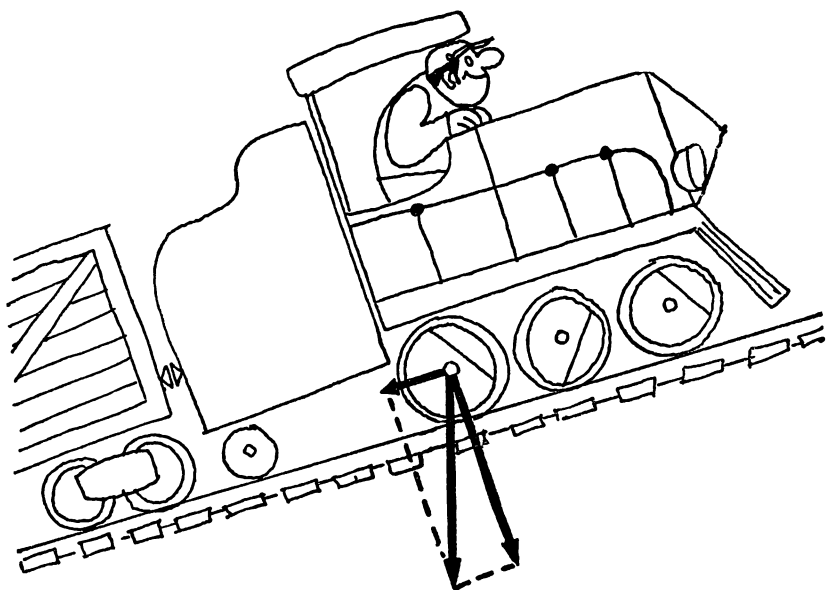
Всем известно, что экипаж на резиновых надутых воздухом шинах меньше трясет. Но, оказывается, у резиновых шин есть и другой смысл: уменьшается трение качения. При несколько более серьезном анализе истинная причина уменьшения трения качения выступает в следующем виде. Когда колесо накатывается на бугорок, оно сжимается. Вообще-то говоря, на то, чтобы сжать упругое колесо, нужно затратить определенное усилие, и это усилие требуется от кого-то или

от чего-то, являющегося причиной движения, то есть от человека, толкающего экипаж, или от двигателя.

Говоря совсем серьезно, чтобы сжать упругое колесо, нужно затратить на это энергию. Но когда колесо съезжает с бугорка, оно распрямляется и запасенная в нем энергия возвращается экипажу. Значит, при распрямлении колеса возникает дополнительное усилие, как бы отталкивающее экипаж от бугорка. Поэтому при езде на резиновых шинах по дорогам с небольшими неровностями сила трения качения в общем случае уменьшается.

Как видите, можно использовать не только квадратные, но и вообще колеса, непрерывно изменяющие свою форму в зависимости от состояния дороги. Такой способ годится лишь при езде по дорогам с небольшими неровностями. Оно и понятно, если неровности так велики, что колесо полностью умещается во впадине между двумя бугорками, вряд ли удастся изменить его форму в столь большой степени.

Рассмотрим еще один интересный пример применения некруглых колес. Мы уже говорили, как трудно сдвинуть с места тяжелый железнодорожный состав даже на горизонталь-



ном пути. А теперь представим себе локомотив, поднимающийся в гору. Ему приходится преодолевать не только силу трения качения, но и дополнительную силу, необходимую для того, чтобы поднимать вверх и самого себя, и прицепленные вагоны.

Обойдемся пока без вагонов. Пусть в гору поднимается один локомотив. На рисунке показано, что происходит в этом случае. Сила, которую мы называем весом (она всегда направлена вертикально вниз), как бы делится на две части. Одна часть идет перпендикулярно пути, продолжает давить на рельсы, а вторую часть, направленную параллельно пути, и нужно преодолеть, чтобы локомотив двигался вверх. Для тех, кто уже знаком с механикой, картина хорошо знакома. Это так называемый параллелограмм сил.

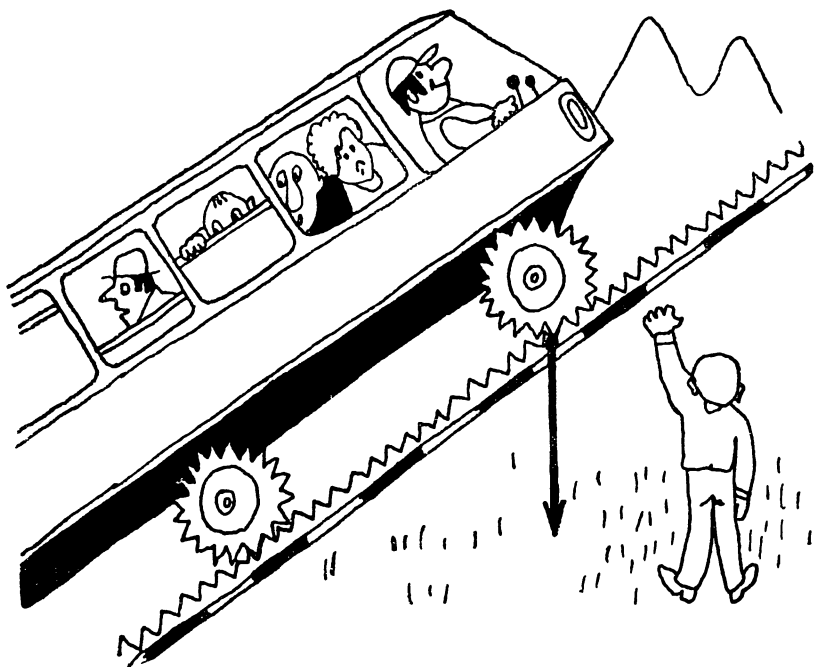
Если путь наклонен по отношению к горизонту на сорок пять градусов, часть веса, давящая на рельсы, будет равна той части, которую должен преодолеть двигатель локомотива. Дело даже не в двигателе. Локомотив движется, отталкиваясь колесами от рельсов. Колеса отталкиваются за счет трения скольжения. Но мы уже говорили в самом начале, что коэффициент трения ни при каких условиях не может быть больше единицы. Следовательно, сколько ни подсыпай песку под колеса, локомотив с круглыми колесами не сможет двигаться вверх, если угол уклона равен (или больше) 45° .

Именно поэтому при строительстве железных дорог затрачиваются огромные усилия и средства на создание насыпей. Это необходимо, чтобы железнодорожный путь не имел слишком крутых подъемов и спусков.

Как быть, если надо поднять груз на вершину горы? Часто поступают так: используют не гладкие рельсы, а рельсы, имеющие форму своеобразной лестницы. Что происходит в этом случае, хорошо видно из рисунка.

Колеса не катятся по рельсам, а как бы взбираются по ним, переступая с зубца на зубец. Колеса подобной формы получили название зубчатых, а рельсы — уже не рельсы, а зубчатые рейки. Здесь для отталкивания колеса от рельсов совсем не используется трение, в том числе и трение скольжения. Зубец колеса давит на очередной зубец рейки, причем таким образом, что сила этого давления направлена вертикально вниз или под достаточно малым углом к вертикали. Иными словами, сила давления зубца колеса на зубец рейки почти полностью уравнивает вес поднимаемого груза.

И вот тут возникает одна интересная задача. Поднимать

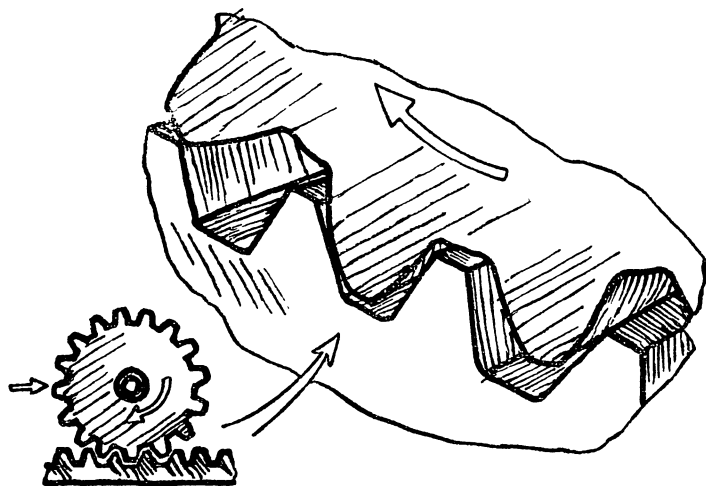


груз в гору и без того тяжело. Поэтому хотелось бы не затрачивать дополнительные усилия на преодоление трения скольжения. Иными словами, хотелось бы, чтобы поверхность зубца колеса катилась бы по поверхности зубца рейки.

Ну, что — неразрешимая задача? Ведь мы только что договорились, что в нашей конструкции ничто ни по чему не катится, а зубцы просто отталкиваются друг от друга. А теперь желаем, чтобы они еще и катились друг по другу. И все же оказывается, что двум, на первый взгляд, столь противоречивым требованиям можно удовлетворить. Правда, от читателя мы ждем теперь, что он проявит максимум воображения.

Вспомним основное свойство качения. Мы говорим, что одна поверхность катится по другой в том и только в том случае, если две соприкасающиеся точки, как говорят инженеры, профилей этих поверхностей оставались неподвижными друг относительно друга.

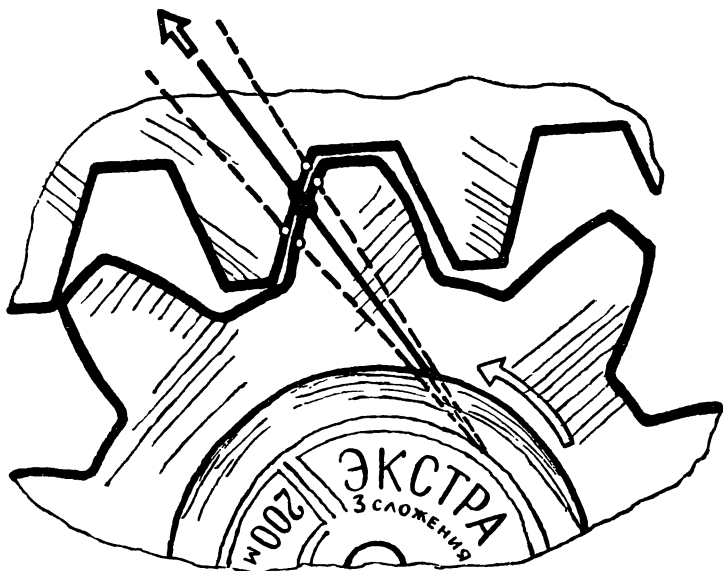
Поставленное нами требование распадается на два самостоятельных. Первое состоит в том, чтобы профили поверхностей зубца колеса и зубца рейки соприкасались в одной-единственной точке так же, как соприкасаются окружность и плоскость. Этому требованию удовлетворить относительно просто. Нужно сделать профили поверхностей зубцов криволинейными и выпуклыми. Это ясно из рисунка.



Второму требованию к относительной неподвижности соприкасающихся точек удовлетворить труднее. И все же попробуем это сделать. Возьмем и привяжем наши точки к нитке. Вот теперь читатель уже окончательно потерял терпение — ведь речь идет о мысленных точках, в которых соприкасаются геометрические кривые. Как можно привязать мысленную точку к нитке?

Но и нитка тоже может быть мысленной. А в общем, давайте попробуем. Вспомним только, что наше колесо, хоть оно и не круглое, все же остается колесом в том смысле, что оно вращается вокруг оси. Наденем на ось катушку, если угодно, тоже мысленную, и протянем нитку. А на нитке завяжем два соприкасающихся друг с другом узелка, которые пусть и представляют собой наши точки. Все это тоже изображено на рисунке.

Потянем нитку за свободный конец — и колесо повернет-



ся, поднимая вагончик по рейке. Нитка при этом разматывается с катушки и перемещается в пространстве. Ясно, что два узелка на одной и той же натянутой нитке неподвижны друг относительно друга.

Вот мы и решили задачу. Зубец колеса катится по зубцу рейки в том случае, если форма зубца, а точнее, его профиль, представляет собой именно ту кривую, которую описывает в пространстве узелок, завязанный на нитке, разматывающейся с катушки, при условии, что катушка вращается относительно той же оси, что и колесо. Подобные кривые называются эвольвентами, что в переводе на русский язык означает «разматывающиеся».

Можно было бы и не говорить, что форму профиля второго зубца — зубца рейки — опишет второй узелок, завязанный на той же нитке. Вот, оказывается, какие бывают колеса!

Перед тем как совсем распрощаться с квадратными колесами, испытаем еще раз прием, который мы уже применяли на страницах этого рассказа. Попробуем совместить, казалось бы, совершенно различные факты. Мы знаем, что трение качения можно уменьшить либо при езде по гладкой дороге,

например по железнодорожным рельсам, либо использовать колесо большого диаметра. А нельзя ли сделать так, чтобы дорога была одновременно и гладкой и не гладкой? А колесо — одновременно и большим и небольшим?

Загадка почти та же, что «пойди туда — не знаю куда, принеси то — не знаю что». Вернемся еще раз к уже неоднократно делавшемуся нами наблюдению. Поезд идет по рельсам. Спрашивается, нужны ли рельсы на всем пути следования поезда? И да и нет. В каждый данный момент рельсы нужны только в том месте, где имеется состав. Мы с вами уже таскали катки, таскали ледяные пластинки — потаскаем и рельсы. Как только поезд миновал очередной участок пути, подхватываем этот участок на плечи, обгоняем поезд и подкладываем рельсы под колеса локомотива.

Ну что же, с каждым разом приходится таскать все более громоздкие и тяжелые вещи. Но мы знаем, что таскать, в общем-то, не обязательно. Вместо этого согнем рельсовый путь в кольцо. Вот мы и совместили несовместимое: локомотив и вагоны своими колесами малого диаметра катятся по гладкому рельсовому пути, а колесо большого диаметра, которое представляет собой согнутый в кольцо рельсовый путь, катится по земной поверхности. Поверхность теперь может быть и не слишком ровной, поскольку колесо имеет очень большой диаметр. И не так уж страшно, что диаметр колеса велик. Ведь колесо не имеет даже спиц — оно состоит из одного обода.

С поездом, наверное, так не поступишь на самом деле, а вот с мотоциклами поступают. В журнале «Техника — молодежи» мы как-то прочитали такую заметку (приводим ее здесь почти без изменений):

Пассажир внутри колеса

Двадцать километров в час по бездорожью! Такое под силу разве что мощному трактору или транспорту на воздушной подушке. Да еще вот такому удивительному колесу.

Диковинную машину сконструировал Эдуард Мельников, житель деревни Янино, что в Ленинградской области. Гладкая дорога аппарату не нужна — полутораметровому колесу нипочем ямы и буераки. Внешний обод, по которому на подшипниках катится внутренний обод с двигателями и седоком, сам служит ровным покрытием.

Нет нужды и в особо мощном двигателе. Седок перемещением своего центра тяжести как бы накатывается на внешний обод и толкает его вперед. Помогает человеку двигатель, цепляясь зубчатой передачей за зубья, нарезанные на внутренней стороне внешнего обода.



Внешнее большое колесо, вообще говоря, не должно быть обязательно круглым. Это мы тоже знаем. Если сделать колесо из гибкого материала или составить его из отдельных секций, то его можно как бы сплющить сверху. В результате получится хорошо известная гусеница.

Вряд ли стоит описывать подробно гусеницу танка или гусеничного трактора. Ограничимся лишь замечанием, что принцип здесь таков: танк или гусеничный трактор как бы везет с собой дорогу, подкладывая ее под передние колеса и убирая из-под задних. А кроме того, вся гусеница — это сплошное колесо, но не круглое, а продолговатое. Колесо — хотя бы потому, что гусеница катится по земле, а не скользит по ней. Правда, гусениц у экипажа должно быть по меньшей мере две. Почему? Скоро узнаем.

А пока что, если вам кто-нибудь скажет, что вы изобрели квадратное колесо, не обижайтесь. Не обижайтесь и в том случае, если вам скажут, что вы изобрели велосипед.

ИЗОБРЕТАЕМ ВЕЛОСИПЕД

Нам предстоит познакомиться еще с одним свойством колеса. Вообще-то говоря, это свойство мы давно знаем. Только не все задумывались над его объяснением, а возможно, не связывали наблюдаемые факты именно с колесом.

А факты таковы. Когда вы катите обруч по дороге, он движется, оставаясь в вертикальном положении. Но как только движение прекращается, обруч падает на дорогу плашмя. То же самое происходит и с волчком. Пока волчок вращается, его края не касаются пола. Остановившись, волчок немедленно падает на пол.

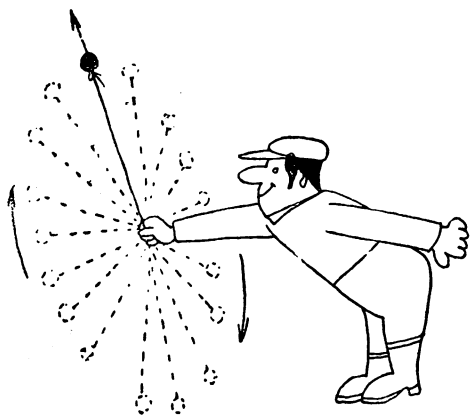
Обычно ось волчка остается вертикальной в течение всего времени вращения. Однако самые внимательные читатели наверняка заметили, что в отдельных случаях волчок вращается, покачиваясь, а его ось при этом как бы описывает поверхность конуса.

Если вдруг случилось, что кто-нибудь из вас в детстве не играл с волчком, нужно немедленно восполнить этот пробел. Сделайте себе волчок хотя бы из спички и небольшого картонного кружка и наблюдайте, что он вытворяет на столе.

А мы пока попробуем установить, чем же объясняется поведение волчка, обруча и вообще вращающихся тел. Для этого придется проделать еще один опыт. Идею опыта мы позаимствовали у Тома Сойера. Том вообще-то недолюбливал дохлых крыс, но считал, что, если накинуть на шею дохлой крысы веревочную петлю и раскручивать крысу вокруг головы, получаешь много удовольствия.

Не будем настаивать, чтобы в опыте использовалась обязательно дохлая крыса. Возьмите любой грузик и привяжите его к концу веревки. Нужно проследить лишь за тем, чтобы груз был привязан крепко, а веревка оказалась достаточно прочной. Иначе, оторвавшись, груз может наделать много бед, например разбить окно.

Теперь раскрутим груз. Не обязательно крутить вокруг головы. Наблюдать за поведением груза будет удобнее, если вращать его перед собой. Все мы не раз смотрели на пропеллер самолета или настольного вентилятора. Когда пропеллер



раскручивается, его лопасти как бы сливаются в один круг. Мы видим плоский полупрозрачный диск. Раскрутить грузик на веревке до такой скорости нам не удастся. И все же, проявив немного воображения, мы легко представим себе плоскость, в которой вращается грузик.

Представили?

Художник тоже представил себе такую плоскость и показал нам ее на рисунке.

А теперь начинаем наблюдать. Первый важный для нас вывод сделать очень просто. Груз вращается и веревка остается натянутой. Более того, вы ощущаете, что конец тянет за руку, причем в ту сторону, в которой находится груз. Этот факт хорошо известен, и вы наверняка знаете, что сила, с которой веревка тянет за руку, называется центробежной силой. Понятно и название: грузик все время пытается как бы отодвинуться, убежать от центра вращения, а веревка его не пускает.

Теперь давайте сосредоточимся. Попробуем во время вращения груза двигать рукой, держащей веревку. Можно не только двигать рукой, а попытаться самому понемногу отклоняться вправо и влево. Будьте только осторожны, чтобы вращающийся груз не ударил вас.

Проделав опыт несколько раз, вы обязательно придете к выводу, что при различных ваших движениях плоскость, в которой вращается груз, сохраняет свое положение в пространстве.

В центре купола Исаакиевского собора в Ленинграде прикреплен канат. Канат свешивается почти до полу, и на конце его закреплен груз. Все это, вместе взятое, представляет собой маятник, названный маятником Фуко. Когда маятник раскачивается, происходит то же самое, что и в нашем опыте. Ведь в обоих случаях имеется груз, привязанный к концу веревки (каната). Другой конец закреплен, и груз движется по окружности, то есть вращается. Разница лишь в том, что в нашем опыте, вращаясь, груз совершает полные обороты,

а маятник в Исаакиевском соборе при каждом колебании совершает лишь часть полного оборота.

Мы можем мысленно представить себе плоскость, в которой качается маятник. Если вы пробудете в Исаакиевском соборе достаточно долго, вы увидите, что плоскость, в которой колеблется маятник, очень медленно поворачивается относительно пола. Чтобы облегчить наблюдения, на полу собора изображен круг с делениями.

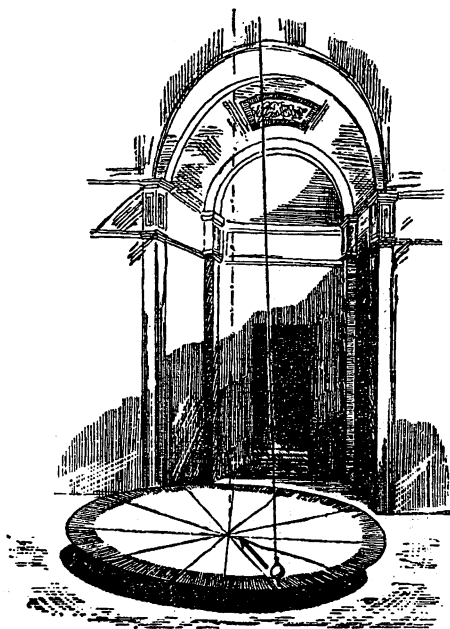
Казалось бы, два факта противоречат друг другу. Плоскость, в которой вращается грузик, стремится сохранить свое положение в пространстве, а плоскость, в которой колеблется маятник, изменяет свое положение, во всяком случае, относительно пола. На самом деле никакого противоречия нет. Плоскость, в которой колеблется маятник, именно сохраняет свое положение в пространстве, а перемещается пол собора, который вращается вместе с Землей.

Впервые такой опыт был поставлен знаменитым французским физиком и механиком Леоном Фуко в 1831 году. Свой маятник он привязал к куполу Пантеона в Париже. Опыт был поставлен именно для того, чтобы наглядно показать вращение Земли.

Факты установлены. Теперь попытаемся их объяснить. Вспомним сначала основные законы механики — законы Ньютона. Мы не раз ссылались на них по ходу рассказа, но пришла пора сформулировать их более точно.

Первый закон Ньютона гласит: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

По существу, все, что было написано выше, это

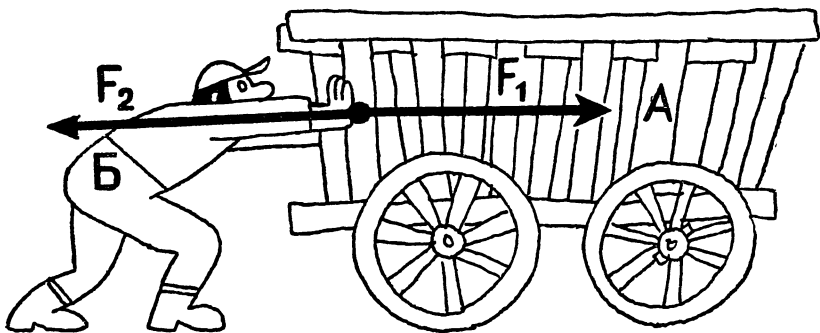


рассказ о первом законе Ньютона. Если тело (в нашем случае это был груз, который мы хотели переместить из пункта А в пункт Б) находится в состоянии покоя (в нашем случае неподвижно относительно поверхности Земли), то, чтобы заставить его совершать равномерное прямолинейное движение (из пункта А в пункт Б), необходимо воздействие со стороны других тел. Таким другим телом в случае с поездом будем считать локомотив.

Когда же груз движется прямолинейно и равномерно, он действительно стремится сохранить это состояние, а воздействие других тел, в нашем случае — трение, мешает такому сохранению. Мы изыскивали различные хитроумные способы свести к минимуму воздействие других тел, когда состояние равномерного прямолинейного движения было достигнуто. Правда, в пункте Б груз надо остановить или, иначе говоря, затормозить. Для этой цели мы снова вынуждены были привлекать воздействие других тел, то есть опять же трение.

Второй закон Ньютона гласит: изменение движения пропорционально приложенной силе и происходит в том направлении, в каком действует сила. Подчиняясь второму закону Ньютона, мы прицепляли к поезду локомотив, создавая тем самым силу, изменяющую состояние покоя на состояние движения. Ясно, что поезд движется именно в ту сторону, куда направлена сила тяги локомотива.

Третий закон Ньютона утверждает, что если некоторое тело *Б* воздействует на тело *А* с некоторой силой F_1 , то тело *А* в свою очередь воздействует на тело *Б* с силой F_2 , численно равной силе F_1 и направленной в противоположную сторону. И это мы наблюдали неоднократно.



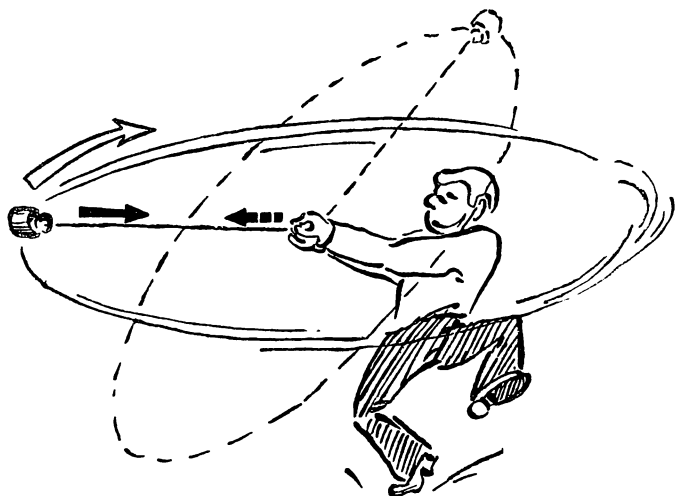
Если тело *Б* (человек) давит на тело *А* (телегу) с некоторой силой (для наглядности художник изобразил нам эту ситуацию), то и тело *А* (телега) действует на руки человека с силой той же величины, но направленной в противоположную сторону. Телега как бы отталкивает человека от себя. Согласно второму закону Ньютона, человек должен был бы начать двигаться в направлении действия силы, то есть в направлении от телеги. Чтобы не делать этого, он упирается ногами в поверхность дороги. И тут снова человек давит на дорогу в направлении от телеги, а дорога «возвращает» ему эту силу, но в противоположном направлении. В результате телегу удается сдвинуть с места.

Вернемся к нашему опыту. Грузик, привязанный к веревке, вращается, то есть движется по окружности. Всякое тело, как мы только что установили, стремится сохранить состояние равномерного и прямолинейного (именно прямолинейного!) движения. Ну, а грузик? Грузик тоже стремится. Убедиться в этом весьма просто. Достаточно в какой-то момент времени разрезать веревку. Грузик сразу станет двигаться по прямой линии. Именно об этой возможности мы и предупреждали вас, прося взять веревку покрепче и привязать грузик надежнее. Прямолинейно движущиеся тела легко могут попасть в окно, в голову вашего приятеля или вообще в какое-нибудь неподобающее место.

Значит, в нашем опыте двигаться прямолинейно и равномерно, то есть подчиняться первому закону Ньютона, грузику мешает веревка. Веревка тянет груз, то есть прилагает к нему силу, направленную к центру вращения. Такая сила и называется центростремительной. Под действием этой силы в полном соответствии со вторым законом Ньютона происходит изменение движения.

В данном случае, и это очень важно понять, изменение движения состоит не в изменении величины скорости: величина скорости вращения груза в течение долгого времени остается постоянной, — а в изменении направления движения (то есть направления скорости). Действительно, под действием центростремительной силы грузик все время изменяет направление своего движения: вместо того чтобы двигаться по прямой (посмотрите на рисунок!), поворачивает к центру и так, пока не совершит полный оборот.

Ну, а третий закон Ньютона? Если веревка тянет груз по направлению к центру, то груз тянет веревку с такой же точно силой, но направленной в противоположную сторону,



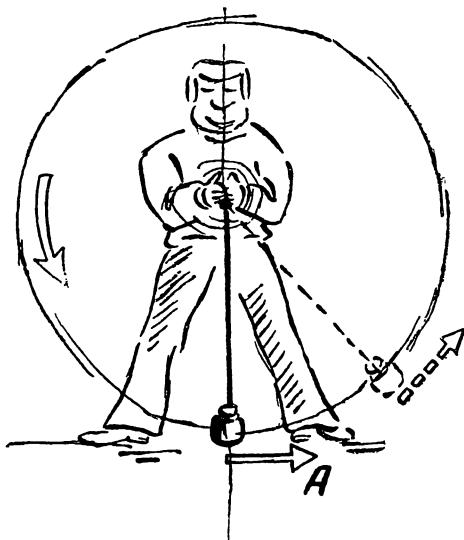
то есть от центра. Именно эту силу, названную центробежной, и испытывает рука, держащая веревку.

Сказанное наверняка вам давно известно. Мы повторили все это, подчиняясь третьему закону Ньютона, для того чтобы начать двигаться дальше, отталкиваясь от известных вещей. А теперь будем продолжать раскручивать грузик на конце веревки и наблюдать.

Грузик вращается в вертикальной плоскости. Пусть в некоторый момент времени он находится в самом нижнем положении. Все это изображено на рисунке (см. стр. 53).

Окружность на рисунке — это линия, или, как говорят, траектория, по которой движется груз. Плоскость, в которой совершается движение, в данном случае совпадает с плоскостью книжной странички. Точка в середине окружности — это центр вращения. Линия, направленная вертикально вниз, — веревка, и к ней привязан груз. Стрелка в середине окружности показывает направление вращения.

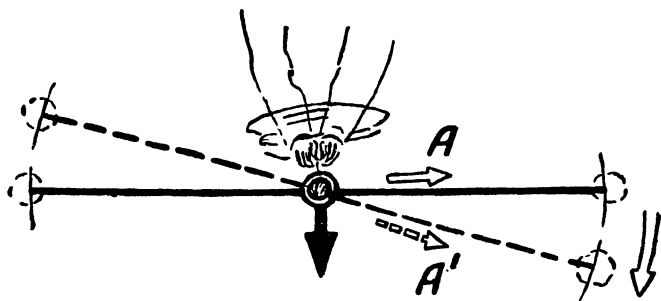
Каково направление движения груза? Если бы не было никаких сил, иначе говоря, если бы в рассматриваемый момент времени мы оборвали или разрезали веревку, груз стал бы двигаться в направлении стрелки А на рисунке, то есть в направлении горизонтальной прямой линии, расположенной в плоскости вращения. Равномерное (то есть с постоянной скоростью) движение вдоль этой линии и есть то состояние,



которое груз стремится сохранить в соответствии с первым законом Ньютона.

Мы уже установили, что под действием силы натяжения веревки груз изменяет направление своего движения. В частности, если мы посмотрим на нашу систему через некоторое время, то и сам грузик и направление его движения изменятся так, как показано на рисунке пунктиром. Теперь наглядно видно, что изменилось именно направление движения.

Теперь отдайте веревку приятелю и попросите его вращать груз в той же плоскости и с той же скоростью, а сами ложитесь на пол и посмотрите на плоскость вращения грузика снизу. То, что вы увидите, изображено на рисунке.



Окружность, по которой вращается грузик, представляется нам в виде отрезка прямой — для наглядности художник показал ее толстой линией. Направление движения грузика, когда он находится в самом нижнем положении, показано той же тонкой стрелкой A , что и в предыдущем случае.

Предположим теперь, что мы хотим повернуть плоскость, в которой вращается груз, вокруг вертикальной линии, проходящей через центр вращения. Эта линия показана на рисунке штрихпунктиром. Чтобы наглядно представить, что мы хотим сделать, перелистните страницу с предыдущим рисунком — она тоже повернется вокруг своей оси (корешка книги).

Итак, пытаемся повернуть плоскость, в которой вращается грузик. Ясно, что, если бы удалось это сделать, направление движения груза изменилось бы так, как показано пунктирной стрелкой A_1 . Но согласно второму закону Ньютона, изменить движение, в частном случае изменить направление этого движения, можно, лишь приложив соответствующим образом направленную силу.

Обдумав еще раз все, что мы узнали, легко приходим к следующему выводу: изменить направление движения грузика можно, лишь приложив силу, направленную так, как показано на рисунке, то есть перпендикулярно к плоскости вращения, а заодно и перпендикулярно к направлению веревки. Чтобы вы не запутались, художник изобразил силу толстой сплошной стрелкой.

Сделайте еще один опыт. Положите грузик на землю или на стол и дергайте за веревку вертикально вверх. Только строго вверх. Легко убедиться, что, поступая таким образом, можно заставить груз подниматься и опускаться, но нельзя сдвинуть его ни вправо, ни влево. Действительно, с помощью веревки невозможно создать силу, направленную перпендикулярно к тому направлению, в котором веревка натянута.

Теперь мы можем сделать несколько важных выводов. Во-первых, всякое вращающееся тело стремится сохранить неизменным положение в пространстве плоскости, в которой это тело вращается. И это не есть какой-то новый закон физики, а прямое следствие первого закона Ньютона: лежа на полу, мы сразу установили, что изменение положения в пространстве плоскости вращения сопровождается изменением направления движения груза, а следовательно, вообще изменением движения.

Во-вторых, для того чтобы изменить положение в прост-

ранстве плоскости вращения, необходимо приложить силу. Про эту силу мы знаем пока только то, что она должна быть направлена перпендикулярно плоскости вращения. Такая сила получила название кориолисовой, по имени французского математика Гюстава Гаспара Кориолиса. Кориолис прославился многими интересными работами в области математики и физики, причем одним из его наиболее значительных сочинений является математическая теория игры на бильярде.

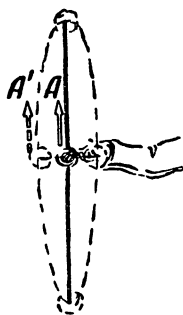
Наш первый вывод объясняет, почему не падает вращающийся волчок и катящийся обруч. И волчок и обруч стремятся сохранить неизменным положение в пространстве плоскости своего вращения. Причем в случае волчка эта плоскость расположена параллельно земной поверхности (полу), а в случае обруча — перпендикулярно земной поверхности.

Второй вывод подсказывает нам, как поступить для того, чтобы вращающийся волчок не упал. Нужно приложить силу, направленную перпендикулярно его плоскости вращения. Можем проделать такой опыт. На вращающийся волчок бросим сверху, например, маленький бумажный шарик. Если опыт удастся (а если нет, его стоит повторить несколько раз), то волчок не упадет. Просто ось его вращения перестанет быть направленной перпендикулярно полу, а начнет покачиваться, описывая в пространстве конус. Подобное явление пока что необъяснимо на основе сделанных нами выводов.

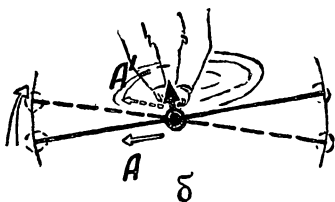
Попробуем рассуждать дальше. До сих пор мы рассматривали вращение грузика, привязанного к веревке, лишь в тот момент, когда грузик находился в крайнем нижнем положении. Будем наблюдать дальше. Выберем момент, когда груз находится в крайнем правом положении, когда веревка, удерживающая груз, направлена параллельно земле (вправо). Этот случай также показан на рисунке *a*, причем направление движения груза снова помечено стрелкой *A*.

Теперь не надо ложиться на пол. Снова попросив подержать веревку приятеля, зайдите с правой стороны и взгляните на грузик так, чтобы плоскость его вращения слилась в одну прямую линию. И снова представьте себе мысленно, что произойдет, если повернуть плоскость вращения грузика вокруг вертикальной линии, проходящей через центр вращения.

Картина, представшая нашему мысленному взору, весьма интересна (на всякий случай



a



посмотрите, как художник представил ее на бумаге). Оказывается, при таком положении грузика поворот плоскости вращения не сопровождается ни изменением направления движения, ни изменением скорости этого движения. Направление движения грузика

как бы переносится в пространстве параллельно самому себе. А раз движение не изменяется ни по скорости, ни по направлению, то, согласно второму закону Ньютона, нет необходимости в какой-то дополнительной силе.

Обнаружение столь интересного факта, естественно, побуждает нас продолжить наблюдения. Остановимся теперь на моменте, когда грузик находится в крайнем верхнем положении. Направление движения грузика изображено горизонтальной стрелкой, направленной влево.

Снова передаем приятелю веревку и взлетаем над объектом наблюдения. Тем, кому не удастся взлететь, можем посоветовать залезть на стул. Снова, в третий раз, представляем себе мысленно поворот плоскости вращения вокруг вертикальной линии, проходящей через центр вращения. Нужно договориться еще о том, в какую сторону вращать грузик. Точнее, нужно представить себе, что мы поворачиваем плоскость вращения в ту же сторону, что и при первом наблюдении (смотри рисунок б).

Поглядев теперь на рисунок, соответствующий первому наблюдению, мы увидим, что для наблюдателя, расположенного сверху, плоскость вращения поворачивалась по часовой стрелке. Мысленно повернув ее в ту же сторону, видим, что направление движения грузика снова меняется, а значит, снова возникает необходимость в приложении кориолисовой силы. Эта сила, как и прежде, перпендикулярна плоскости вращения, однако направлена в противоположную сторону. Если при самом первом наблюдении кориолисова сила была направлена к наблюдателю, рассматривающему страницу с рисунком, то теперь она направлена от наблюдателя.

Сделаем, наконец, четвертое наблюдение. Выберем момент, когда веревка, удерживающая грузик, направлена горизонтально и влево. Нашему подготовленному взору сразу бросается в глаза, что направление движения грузика не изменяется — оно лишь перемещается параллельно самому себе. Кориолисова сила снова отсутствует.

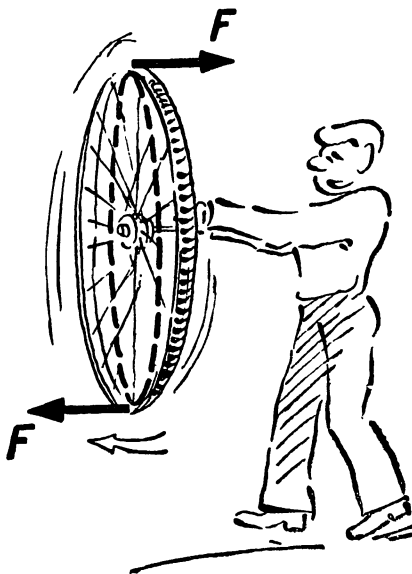
Теперь от нас требуется последнее усилие. Представим себе не грузик, привязанный к веревке, а колесо со спицами — обыкновенное велосипедное колесо. Пусть колесо вращается в вертикальной плоскости. Мысленно разделим колесо на небольшие части, например так, чтобы каждая часть примыкала к одной из спиц. Тогда каждую часть колеса мы можем уподобить грузику, привязанному к веревке.

Не надо специально выбирать моменты наблюдения, поскольку в любой момент у нас имеются части, расположенные и сверху, и снизу, и справа, и слева. Пока плоскость, в которой вращается колесо, сохраняет свое положение в пространстве, ничего особенного не происходит. Но если мы попытаемся повернуть плоскость вращения колеса опять-таки относительно вертикальной линии, проходящей через центр вращения (направление поворота плоскости вращения и здесь помечено стрелкой A), произойдет следующее.

Части колеса, расположенные справа и слева, не испытывают действия никаких сил. Части же колеса, расположенные сверху и снизу, испытывают действие сил, направленных так, как показано на рисунке черными стрелками, помеченными буквами F . Очевидно, что эти силы стремятся повернуть плоскость вращения колеса относительно горизонтальной линии, проходящей через центр.

Проделав еще один цикл наблюдений, аналогичный уже описанному, мы легко убедимся, что справедливо и обратное. Всякая попытка повернуть плоскость вращения относительно горизонтальной линии, проходящей через центр, приведет к появлению пары сил (сил Кориолиса), стремящихся повернуть ту же плоскость относительно вертикальной оси.

О том, что все сказанное справедливо, знает всякий, кому хоть раз приходилось ехать на велосипеде. Если вы разогнали велосипед по прямой, то при наличии достаточного опыта можете бросить руль и даже



встать на седло или сесть на него задом наперед. Велосипед будет продолжать двигаться строго по прямой и сохранять вертикальное положение. Происходит это потому, что оба колеса стремятся сохранить положение плоскости своего вращения в пространстве. Если вам надо повернуть, например, вправо, тоже необязательно братья за руль. Достаточно движением корпуса слегка отклонить велосипед вправо. Возникающие при этом силы Кориолиса повернут переднее колесо, а точнее, плоскость, в которой оно вращается, в нужном направлении.

А вот начинающему велосипедисту особенно важно знать следующее. Если вы едете на велосипеде и по какой-то причине он начал валиться набок, например влево, нужно срочно повернуть руль в ту же сторону. Если скорость вращения достаточна, возникающие при этом силы Кориолиса удержат вас от падения и помогут восстановить вертикальное положение велосипеда.

Узнав все это, мы легко ответим на вопрос: почему не падает набок описанный выше одноколесный экипаж? А вот если мы заменим в этом экипаже колесо гусеницей, подобной гусенице танка, ничего хорошего не получится. У танка и трактора предпочтительно иметь две гусеницы, расположенные по обеим сторонам корпуса. Дать полное объяснение этому факту мы предоставляем читателю. Намекнем только, что большая часть звеньев гусеницы не вращается, а движется по прямолинейным траекториям.

Многое еще можно было бы рассказать о колесе, но пора и честь знать. Заметим в заключение, что хотя само колесо было изобретено около шести тысяч лет назад, некоторые основные его свойства, такие, скажем, как наличие кориолисовых сил, были открыты лишь в середине прошлого века. Колесо в его современном виде — с резиновой шиной и шарикоподшипниками — появилось еще позже. А некоторые подробности, связанные с силами трения, досконально не изучены специалистами и по сей день. Впереди еще много несделанных открытий, связанных с колесом. Поэтому не надо стесняться — смело изобретайте велосипед.


РЫБОЛОВНЫЙ КРЮЧОК

КОЕ-ЧТО О ХАРАКТЕРАХ

В песне поется: «Калина красная, калина вызрела, я у за-леточки характер вызнала...» Из продолжения этих строк мы узнаем, что эксперимент с узнаванием или, если угодно, вы-знаванием характера принес в данном случае, как говорят, отрицательный результат.

В старину полагали так. Чтобы узнать характер человека, надо съесть с ним не меньше пуда соли. Со временем все прогрессирует, в том числе и методы узнавания характера. Сейчас узнают характер по почерку, по лицу, а также с помощью множества разнообразных тестов. В основном эти тесты сводятся к тому, что испытуемый отвечает на всевозможные, как правило, не относящиеся к делу вопросы, а испытующий представляет ему отметки, заглядывая при этом в специальную шпаргалку.

Есть и такой тест. Испытуемому предлагают думать по возможности о чем-нибудь постороннем и при этом машинально водить карандашом по листу бумаги. О характере судят по полученным рисункам. Излишне, наверное, говорить, что у человека, предпочитающего рисовать фигуры округлые, и характер признается мягким. А рисующий прямые линии и острые углы — человек волевой и целеустремленный. «Я с детства не любил овал! Я с детства угол рисовал!» — писал поэт Павел Коган, человек с твердым и решительным характером.

Скажем прямо, что мы, авторы этого рассказа, ну ничегошеньки не понимаем в распознавании характеров. Если бы вдруг возникла такая необходимость, мы, наверное, предпочли бы старый способ со съеданием пуда соли. И все-таки мы утверждаем,  что человек, впервые нарисовавший такую вот фигурку, был гениален. Возможно, он даже не нарисовал ее, а просто создал вещь с подобным контуром.

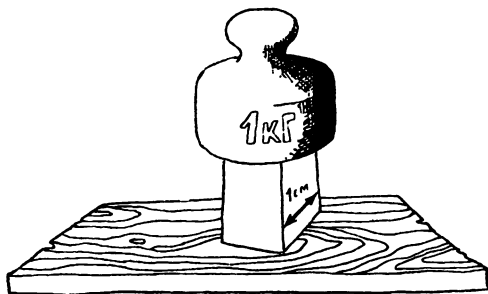
Чтобы не злоупотреблять любопытством читателя, скажем сразу это контур кончика рыболовного крючка. Как следует из заголовка, рассказ посвящен рыболовному крючку, а заодно его близким и дальним родственникам. Будет в этом рассказе и главная задача: как с помощью рыболовного крючка узнать, который час.

А пока в путь.

БЛИН НЕ КЛИН — БРЮХО НЕ РАСКОЛЕТ

Фигурка, которую мы нарисовали раньше, слишком сложна. Поэтому мы не будем сразу обсуждать ее целиком, а начнем с такой вот более простой фигурки Δ Это контур клина или, если угодно, лезвия ножа или топора. Не станем, как мы это делали в первом рассказе, гадать о том, кто первый изобрел нож. Читатель знает и без нас, что целая эпоха в ранней истории человечества названа каменным веком в честь появившихся в те времена каменных топоров, ножей и, возможно, костяных иголок.

Давайте разберемся, чем же так замечателен клин. Начнем, как всегда, с опытов. Предположим, что у нас есть прямоугольный брусок, сечение которого представляет собой правильный квадрат со стороной ровно один сантиметр. Возьмем какую-нибудь ненужную дощечку, положим ее на стол, сверху поставим брусок, а на него килограммовую гирию. Точно так, как нарисовано. Гирия будет давить своим весом на брусок, а брусок на дощечку. При этом вес гири равномерно распределится по площади соприкосновения бруска и дощечки, а эта площадь равна одному квадратному сантиметру.



Наша конструкция понадобилась для того, чтобы создать на дощечку давление, равное одному килограмму на один квадратный сантиметр. Что же здесь особенного? Да ничего. Точно такое давление создается окружающей нас атмосферой, и почти никто — ни предметы, ни живые существа — этого не ощущают. Ощущал только Остап Бендер, да и то в специальных условиях.

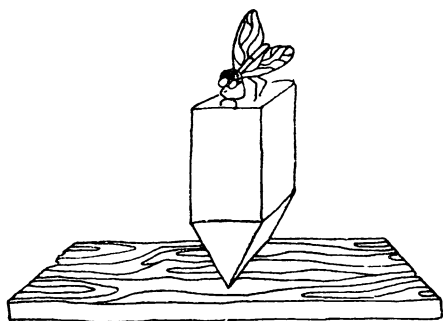
Повторим теперь опыт, взяв брусок с площадью сечения в половину квадратного сантиметра. Вероятно, опять ничего не произойдет, но мы будем знать, что если все остальные условия опыта остались неизменными, то мы создаем на дощечку давление в два килограмма на квадратный сантиметр.

Продолжаем опыт, беря каждый раз брусок все меньшего сечения. Когда мы дойдем до сечения в одну десятую квадратного сантиметра, то есть создадим давление в десять килограммов на квадратный сантиметр, конец бруска, наверное, выдавит в дощечке заметную выемку. Именно поэтому мы и предложили вам экспериментировать с ненужной дощечкой, а не, к примеру, с поверхностью полированного стола.

Попробуем обобщить полученные результаты. Условия опыта опишем так. Мы рассматриваем две соприкасающиеся поверхности. Одна поверхность прижимается к другой с неизменной силой. Опыт показывает, что в таких условиях воздействие одной поверхности на другую зависит не столько от полной величины силы, сколько от той части силы, которая приходится на единицу площади соприкасающихся поверхностей. Величину силы, отнесенную к единице площади, в физике называют давлением.

Опыты показывают нам, что чем больше давление, тем больше эффект. В проделанном эксперименте эффект состоял в том, что брусок выдавил ямку в материале дощечки. (Мы молчаливо предположили, что материал бруска тверже, чем материал дощечки.) Может быть и наоборот. Если в качестве бруска использовали спичку, а вместо дощечки — металлическую пластинку, то сомнется конец спички. Но всегда разрушения будут тем больше, чем больше давление.

Справедливо и обратное: чем меньше давление, тем меньше эффект. Не ходите в ботинках по глубокому снегу — прова́литесь наверняка. А на лыжах по снегу можно ходить сколько угодно. И ясно почему. Сила, которую создает наш вес, распределяется не по малой площади подметки, а по значительно большей площади поверхности лыжи. Давление меньше — меньше и разрушения снежного покрова.



А теперь поставим наш самый главный опыт. Дощечка и гирия пусть остаются, а вместо бруска возьмем клин. Будем предполагать, как это любят делать ученые, что условия опыта идеальные: поверхность дощечки — идеальная плоскость, а форма клина — две идеальные плоскости, сходящиеся на нет.

Такой клин и такая дощечка соприкасаются так, что поверхность их соприкасающихся частей представляет собой прямую линию. Все это изображено на рисунке.

Какова площадь соприкасающихся поверхностей? Это площадь прямой линии. А площадь линии равна нулю или, как тоже любят говорить ученые, стремится к бесконечно малой величине. Как там ни называй, но, чтобы подсчитать давление, мы должны поделить силу на площадь, а деление на нуль дает бесконечность. Причем, что самое интересное, эта бесконечность будет получаться независимо от величины силы.

Даже если вместо килограммовой гири мы посадим наверх клина муху, все равно вес мухи создаст бесконечно большое давление. И получится вот что: под действием очень маленькой силы на дощечке сразу появится борозда. Клин — это вещь, позволяющая создать сколь угодно большое давление, приложив при этом ничтожно малую силу.

К сожалению, на свете не бывает ни идеальных плоскостей, ни идеальных клиньев. Более того, если бы даже нам удалось изготовить клин, форма которого представляла бы собой пересечение двух идеальных плоскостей, то при первом же соприкосновении острия такого клина с дощечкой разрушилась бы не дощечка, а именно острие. Точнее, и то и другое.

Так было бы даже в том случае, если бы клин был изготовлен из сверхпрочного материала. Ведь, согласно третьему закону Ньютона, всякое действие равно противодействию, и, следовательно, не только клин оказывает давление на дощечку, но и дощечка на острие клина. Давление бесконечно, а размеры острия бесконечно малы.

сти. Силу, вызываемую давлением, мы можем разложить на две составляющие, одна из которых направлена горизонтально, а вторая — вертикально. Горизонтальную составляющую мы поместили на рисунке буквой F' , а вертикальную F'' .

Три стрелки, F , F' и F'' , составляют так называемый параллелограмм сил, знакомый нам по первому рассказу. Горизонтальная составляющая F' уравнивается такой же точно горизонтальной составляющей, получаемой при разложении силы, действующей на левую поверхность клина. Обе вертикальные составляющие — справа и слева — складываются и дают общую силу, которая, как мы это видим из рисунка, стремится вытолкнуть клин из дощечки. Эта сила уравнивается весом гири.

Мы по-прежнему считаем клин идеально острым. А это значит, что ничтожно малая сила, приложенная к острию, вызывает давление, во всяком случае, достаточное для деформации материала. Однако для простоты мы предполагаем, что на острие не действует никакая сила.

Что же мы узнали? Во-первых, силы давления на боковые поверхности клина тем больше, чем глубже погрузился клин в материал дощечки. Во-вторых, эти силы можно рассматривать как состоящие из вертикальных и горизонтальных составляющих. Причем нас интересуют только вертикальные составляющие, поскольку горизонтальные уравнивают друг друга.

Вообще-то вертикальные составляющие невелики и, более того, их величина тем меньше, чем меньше угол, под которым сходятся боковые поверхности в острие клина. Можно рассуждать и наоборот. Вспомним, что действие равно противодействию. Следовательно, боковые поверхности клиньев давят на материал дощечки с силой, равной той силе, с какой материал дощечки давит на клин, но направленной в противоположную сторону. Аналогичным образом, для того чтобы клин не выскочил из дощечки, мы должны нажать на него сверху с силой, равной по величине и противоположной по направлению вертикальным составляющим сил давления.

Иными словами, мы можем утверждать следующее. Если мы давим на клин с некоторой силой $2F'$, то боковые поверхности клина действуют на материал дощечки с силами F'' . Величина силы F'' , вообще говоря, больше, чем F' . Причем чем острее клин, тем большими будут силы F'' при одной и той же величине сил F' .

Например, если угол в острие клина равен примерно пол-

градуса, то силы F'' , с которыми боковые поверхности давят на материал дощечки, окажутся почти в сто раз больше общей силы, с которой мы сверху нажимаем на клин. Давление боковых поверхностей клина на материал дощечки будет равно, как и раньше, величине силы, поделенной на площадь соприкасающихся поверхностей.

Теперь мы можем сделать окончательный вывод. Клин или, точнее, вещь, имеющая форму клина, способен создавать большое давление при сравнительно малой величине приложенной к нему силы. Происходит это по двум не зависящим друг от друга причинам. На острие клина (даже если клин идеальный) давление велико, потому что величина соприкасающихся поверхностей мала. А в области боковых поверхностей давление велико потому, что велика сила.

Итак, мы установили, что клин обладает способностью увеличивать силу, приложенную к его основанию, причем тем больше, чем меньше угол у острия. Это свойство мы еще не раз используем в будущем.

ПРИВЫКЛИ РУКИ К ТОПОРАМ

Приделаем теперь к нашему клину ручку — получился топор. Размахиваемся и — раз! — ударяем острием топора по полену. Что происходит? Перед тем моментом, когда острие соприкасается с поленом, топор имеет определенную скорость. Всякое тело, движущееся с данной скоростью, обладает кинетической энергией, равной, как известно, $\frac{mv^2}{2}$, где m — в нашем случае масса топора, а v — его скорость.

Кинетическая энергия топора превращается в работу по раскалыванию полена. Работа в свою очередь равна преодолеваемой силе, умноженной на расстояние, которое топор проходит в материале полена. Средняя величина силы, как мы уже знаем, зависит от свойств материала полена, от площади острия топора и от угла, под которым сходятся поверхности клина. Этот угол называется углом заточки.

Для нашего топора и нашего полена все эти величины постоянны. Поэтому, приравняв работу к кинетической энергии, мы сразу приходим к выводу, что глубина проникновения топора в полено прямо пропорциональна квадрату скорости, которую имел топор непосредственно перед ударом.

Это наблюдение позволяет нам дать читателю несколько полезных советов. Когда вы колете дрова, не старайтесь ударить сильнее, а попытайтесь придать топору при размахе как можно большую скорость. То же самое справедливо и для забивания гвоздей. Все начинающие столяры обычно держат молоток слишком близко к его металлическому наконечнику. Оно и понятно. Так легче попасть по шляпке гвоздя. Но если вы хотите забивать гвозди быстро и без особых усилий, лучше немного потренироваться, выработать в себе меткость, а молоток держать за самый кончик ручки.

Присмотритесь внимательно, как движется молоток в вашей руке. Замахиваясь, вы сообщаете ему не прямолинейное, а вращательное движение. Скорость вращательного движения зависит от того, насколько быстро вы поворачиваете руку. А вот линейная скорость наконечника молотка, как известно, пропорциональна вращательной, или угловой, скорости, помноженной на радиус вращения. Следовательно, чем ближе к концу ручки вы держитесь, тем больше радиус вращения, тем больше линейная скорость и кинетическая энергия.

Вернемся, однако, к самому топору. Обсудим такой вопрос: каким должен быть угол при острие клина, или, как мы теперь его называем, угол заточки? Казалось бы, угол заточки всегда следует делать как можно меньше. Действительно, чем меньше угол, тем больше силы давления в нашем случае на материал полена, тем скорее оно расколется.

Все это верно. Но ведь мы имеем дело не с идеальным клином, а с реальным топором. А коли так, то следует учесть хотя бы два дополнительных соображения. Первое связано с прочностью. Конечно, сталь, из которой делают лезвия топоров, значительно прочнее дерева, которое мы своим топором рубим. Однако прочность зависит не только от свойств материала, но и от размера инструмента. Всем хорошо известно, что тонкую иголку, изготовленную из прочной стали, сломать легче, чем толстый гвоздь, сделанный из относительно мягкого железа. А чем меньше угол заточки, тем тоньше лезвие. Поэтому, если будем слишком уменьшать угол заточки топора, он станет совсем тонким. Значит, рано или поздно не полено станет раскалываться, а сломается лезвие топора.

Второе соображение связано с трением. Ясно, что, когда лезвие топора движется в материале полена, между боковыми поверхностями клина и деревом возникают силы трения скольжения. Вспомним, что мы говорили о трении скольжения в первом рассказе. Сила трения пропорциональна давлению,

которое оказывают друг на друга трущиеся поверхности, и некой постоянной величине, называемой коэффициентом трения.

Коэффициент трения стали о дерево есть величина постоянная, а вот давление между трущимися поверхностями, как мы убедились, тем больше, чем меньше угол заточки. Уменьшая угол заточки, мы можем в конце концов прийти к тому, что основной силой, которую придется преодолевать при проникновении лезвия топора в полено, окажется сила трения.

Для каждого инструмента и для каждого материала, который предполагается обрабатывать с помощью этого инструмента, существует некоторая наилучшая величина угла заточки. Наверное, вы обращали внимание на то, что у всех инструментов: ножей, топоров, стамесок и лезвий рубанков, предназначенных для работы с таким сравнительно мягким материалом, как дерево, угол заточки невелик. А у инструментов, предназначенных для работы с твердым материалом, например металлом или камнем, угол заточки большой.

Вообще трение между поверхностями режущего инструмента и обрабатываемого материала — фактор очень серьезный. Мы частенько говорим: «Вошел легко, как нож в масло». Действительно, тому, чей опыт в этом смысле ограничивается обеденным столом, представляется, что нет ничего легче, как разрезать ножом кусок масла.

Попробуйте, однако, разрезать ножом на две части кусок сливочного масла, который представляет собой куб со стороной, скажем, полметра. Именно с такой проблемой постоянно сталкиваются работники продовольственных магазинов. Оказывается, подобная задача практически неразрешима. Во всяком случае, для ее разрешения недостаточно возможностей одного, даже очень сильного человека, каким бы острым ни был нож.

Причина здесь состоит как раз в том, что, хотя острие ножа входит в масло почти без усилий, сила трения масла о боковые поверхности ножа оказывается чрезвычайно большой (и это для масла — того самого масла, которое повсеместно используется именно для уменьшения силы трения!).

Наблюдательные читатели, наверное, замечали, что в продовольственных магазинах большие куски масла и сыра режут не ножом, а тонкой стальной струной, к концам которой приделаны две ручки. Пусть площадь, по которой соприкасаются поверхности струны и масла, больше, чем в случае ост-

рия ножа, зато трение меньше. И струна, действительно, входит легко, «как нож в масло».

Вообще процессы, возникающие при обработке различных материалов острыми инструментами, чрезвычайно сложны. Например, в результате трения повышается температура инструмента, что опять-таки сказывается на его прочности. И еще: при обработке под действием огромных давлений между поверхностями соприкосновения режущего инструмента и обрабатываемого металла металл плавится или хотя бы размягчается точно так же, как плавится лед под лезвием конька.

Все эти процессы изучаются специальной наукой, которая так и называется — теория резания. Наука эта появилась сравнительно недавно, и до сих пор в ней есть много нерешенных вопросов. Снова мы сталкиваемся с поразительным обстоятельством. Человек изобрел нож и топор по меньшей мере несколько сот тысячелетий тому назад, а вот объяснить до конца, как работают эти простейшие инструменты, не сумел до сих пор.

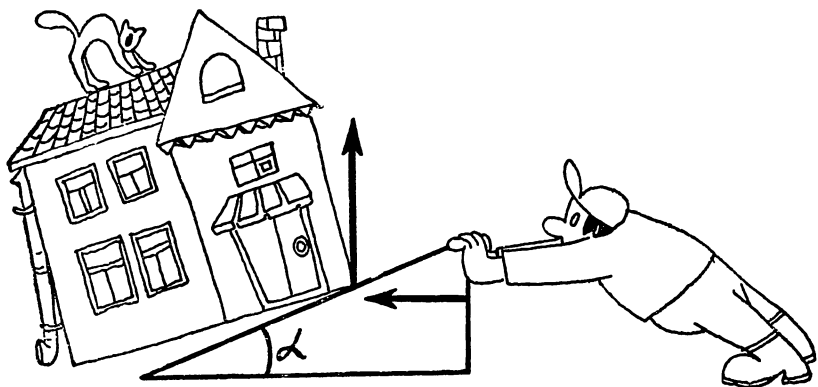
ПЕРЕВЕРНЕМ ЗЕМНОЙ ШАР

О топорах, ножах и их ближайших родственниках можно говорить очень много. Но наш рассказ не о том. С самого начала мы решили посмотреть, какие свойства придает предметам их форма. Ножи и топоры понадобились нам лишь для того, чтобы продемонстрировать замечательные свойства клина. Эти свойства еще не исчерпываются способностью резать и вообще обрабатывать материалы. Поэтому пойдем дальше.

В одной из своих увлекательных повестей норвежский ученый и писатель Тур Хейердал рассказывает, как по его просьбе жители острова Пасхи поделились с ним своими секретами создания и транспортировки огромных каменных статуй. В частности, для перемещения заготовок они использовали клинья.

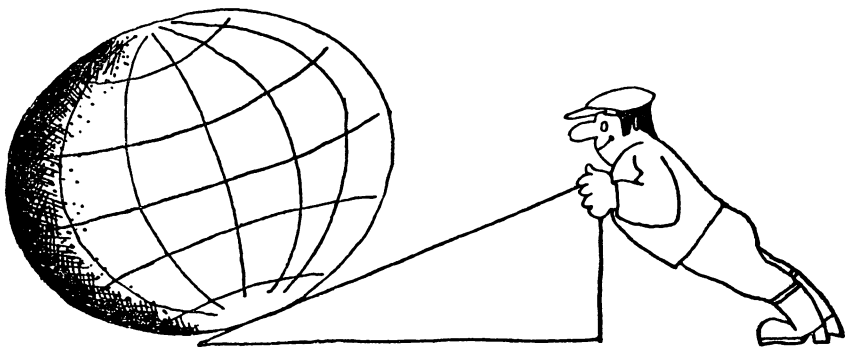
Рассмотрим и мы такую задачу. Пусть надо даже не переместить, а лишь чуть приподнять большой груз весом в несколько тонн, стоящий на плоской поверхности. Из всего, что мы уже знаем, ясно, что эту задачу можно решить с помощью клина или, точнее, полуклина. Все, что надо сделать, ясно из рисунка.

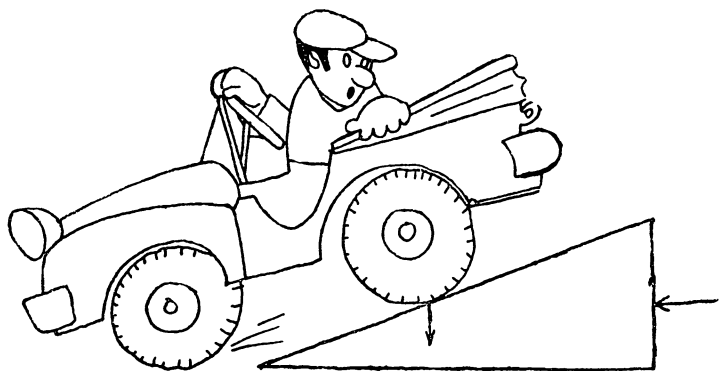
Мы давим на основание клина с относительно небольшой



силой (трением пренебрегаем), а наклонная поверхность клина давит на груз с силой, во много раз большей. Почему так происходит, мы знаем. Мы знаем также, что чем меньшим будет угол у острия клина, тем больше будет сила, действующая на груз. Сделав угол совсем маленьким, мы можем получить очень большую силу. С полным основанием мы могли бы воскликнуть вслед за Архимедом: «Дайте нам плоскость опоры, и мы перевернем земной шар!»

Ясно, что никаких чудес не происходит. Давайте рассмотрим близкую к жизни задачу. Нужно приподнять автомобиль, например, для того чтобы сменить у него колесо. Воспользуемся для этого клином, угол острия которого равен поло-





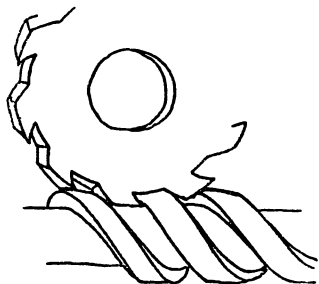
вине градуса. Мы уже знаем, что такой клин позволяет увеличить силу, действующую на его основание, примерно в сто раз. Это значит, что если автомобиль давит на наклонную поверхность клина с силой в одну тонну, то нажимать на основание клина мы должны с силой около десяти килограммов (трением по-прежнему пренебрегаем).

Пока вроде бы ничто не вызывает особых возражений. Хуже другое: для того чтобы приподнять автомобиль, скажем, на полметра, мы должны будем, как это легко посчитать, прогуляться вслед за клином на расстояние пятьдесят метров. И дело даже не в самой прогулке, которая, к слову сказать, будет происходить на свежем воздухе, дело в том, что трудно изготовить клин длиной пятьдесят метров, а еще труднее возить его с собой.

Значит ли это, что нельзя пользоваться клином для подъема автомобилей? Нет, можно. Просто надо проделать одну очень простую вещь — намотать клин на поверхность цилиндра. Что получится в результате такой операции, показано на рисунке.

Мы, конечно, не будем наматывать клин, а, напротив, проедем в поверхности цилиндра канавки по так называемой винтовой линии. Но если мысленно размотать эту линию, получится как раз клин, точнее, его верхняя наклонная поверхность. Сохраняются и все свойства клина.

Если мы обопрём груз на внутреннюю поверхность канавки винта, то сила, с которой эта поверхность будет давить на груз вверх, окажется тем большей, чем меньше угол наклона винтовой поверхности. Чтобы уменьшить влияние трения,



винт можно смазать. Можно даже полностью избавиться от трения скольжения, если катить по винтовой поверхности небольшое колесико.

Все эти свойства винта используются при конструировании специальных механизмов для подъема тяжестей, так называемых домкратов. С помощью домкрата можно приподнять не только автомобиль, но и целый дом.

Размышляя о винте, можно встретить много идей, уже знакомых нам по предыдущему рассказу. Там мы решали задачу перемещения грузов по горизонтали. Решив свернуть дорогу, по которой перемещается груз, в кольцо, мы пришли к идее колеса. Теперь нас заинтересовала также задача перемещения груза, но уже по вертикали. Для этого нам понадобилась наклонная дорога, и, намотав эту дорогу на поверхность цилиндра, мы получили винт.

С помощью винта можно не только поднимать грузы вверх, но и вообще транспортировать их в самых различных направлениях. Вспомним хотя бы винт у мясорубки, с помощью которого куски мяса подаются под нож. Вообще, помещая винт в трубу, мы получаем устройство, называемое транспортером. Транспортеры используются в элеваторах — для подъема зерна. В снегоочистительных машинах сгребаемый с мостовой снег поднимается специальным винтом и выбрасывается в кузов самосвала.

А гребной винт корабля? В отличие от уже знакомых нам винтов, у него винтовая поверхность не непрерывная, а состоит из нескольких, чаще всего трех отдельных лопастей.

Но принцип действия в точности тот же. Каждая лопасть — это винт, наклонная плоскость которого оказывает давление на воду и как бы отталкивается от нее. Точно так же работает винт самолета, только его лопасти отталкиваются не от воды, а от воздуха.

Наконец, говоря о винтах, нельзя не вспомнить о вертолетах, которые так и называют винтокрылыми машинами. Здесь винт, тоже состоящий из нескольких лопастей, используется для подъема грузов вертикально вверх, как в домкрате.

До самого последнего времени считалось, что идея вертолета принадлежит Леонардо да Винчи, который сделал первый эскиз этого аппарата. Однако недавно в Копенгагене была найдена старинная рукопись XIV века, в которой есть эскиз подобной конструкции. К сожалению, автор рукописи остался неизвестным.

КРИВОЕ РУЖЬЕ

Кривое ружье — это почти то же самое, что квадратное колесо. С помощью кривого ружья можно, например, стрелять из-за угла. Примерно такая же проблема возникала перед нами, когда к грузику, висящему на веревке, надо было приложить силу, направленную перпендикулярно к веревке. Тогда оказалось, что с помощью веревки эту проблему разрешить нельзя.

Клин решает и эту задачу. В наших попытках поднять автомобиль мы перемещали клин по горизонтали, а автомобиль поднимался вверх. В зависимости от того, что нам нужно, мы можем считать, что клин изменяет направление действия силы или направление движения.

Еще более сложную задачу мы решаем, когда накручиваем клин на цилиндр, получая винт. При этом вращательное движение винта преобразуется в прямолинейное или, как говорят, в поступательное. Винты, создаваемые именно для этой цели, называют ходовыми. Они широко используются в различных конструкциях, например в токарных станках для перемещения каретки, в которой установлен резец.

Можно использовать винт для превращения вращательного движения во вращательное, но так, чтобы оси вращения были перпендикулярны друг другу. Только для этого надо объединить винт с зубчатым колесом, уже знакомым нам по первому рассказу.

Заметим лишь, что, когда винт поворачивается на полный оборот, зубчатое колесо поворачивается на один зубец. Следовательно, одновременно с изменением направления оси вращения происходит и замедление этого вращения. Но во столько же раз, во сколько мы проигрываем в скорости, увеличивается вращающее усилие. Значит, винт, или, как его называют в этой новой роли, червяк, продолжает выполнять свою уже известную нам функцию преобразователя усилий.

Чрезвычайно интересна конструкция сверла, с помощью которого проделывают отверстия в металле. При всей своей простоте сверло совмещает в себе почти все свойства клина, которые мы до сих пор изучали по отдельности. Кончик сверла (посмотрите на предыдущий рисунок) состоит из двух лезвий — ножей. Когда сверло вращается, лезвия срезают с металла стружку. Здесь происходят все те процессы взаимодействия между острием клина и материалом, с которых был начат этот рассказ.

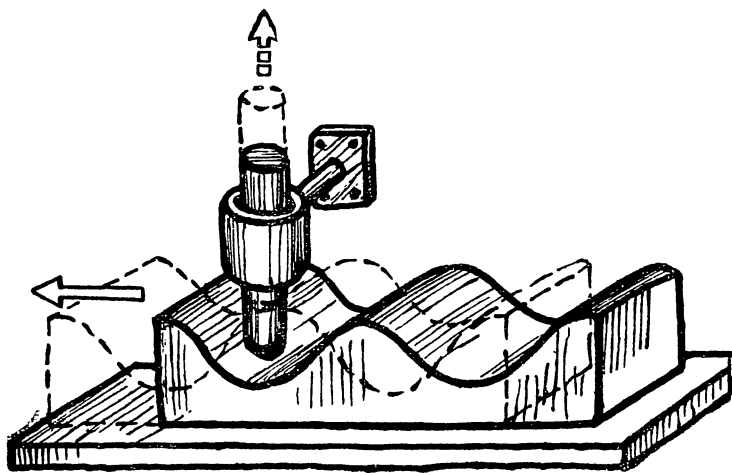
Срезанная стружка попадает в винтообразные канавки, имеющиеся на поверхности винта, и таким образом извлекается из отверстия, которое к тому времени уже просверлено. В этой своей части сверло работает, как транспортер.

ЗАГНАТЬ ЗВУК В БУТЫЛКУ

Поговорим еще немного о только что обнаруженной нами второй профессии винтов и клиньев, а именно — об их способности изменять направление движения. Что происходило, когда с помощью клина мы поднимали автомобиль? Сам клин перемещался в горизонтальной плоскости прямолинейно и равномерно. Автомобиль при этом перемещался также прямолинейно и равномерно, но вертикально вверх.

Заметим теперь, что прямолинейное и равномерное движение автомобиля определялось формой поверхности клина, по которой он скользил. Эта поверхность представляла собой плоскость — отсюда и равномерное движение. Посмотрим теперь на конструкцию, показанную на рисунке.

На горизонтальной плоскости лежит дощечка. Нижняя поверхность дощечки (на рисунке она показана в разрезе) также представляет собой плоскость. А вот верхняя поверхность совсем не плоская. Она вся состоит как бы из холмов и впадин. В верхнюю поверхность дощечки упирается штифт, ко-



торый благодаря подшипнику может совершать движения только вверх или вниз.

Под действием собственного веса кончик штифта прижимается к поверхности дощечки. Если мы начнем перемещать дощечку прямолинейно и равномерно в направлении, показанном стрелкой, то штифт будет двигаться хотя и прямолинейно, но отнюдь не равномерно. Он станет то подниматься, то опускаться, причем с различными скоростями.

Подобные конструкции получили название копиров. Копиры очень широко используются в различных областях техники, в частности, при конструировании металлообрабатывающих станков-автоматов. Когда нужно изготовить деталь очень сложной формы, делают сначала копир, форма которого в точности повторяет профиль детали. Затем при обработке настоящей детали заставляют резец перемещаться, следуя за профилем копира точно так же, как в нашем опыте с дощечкой и штифтом.

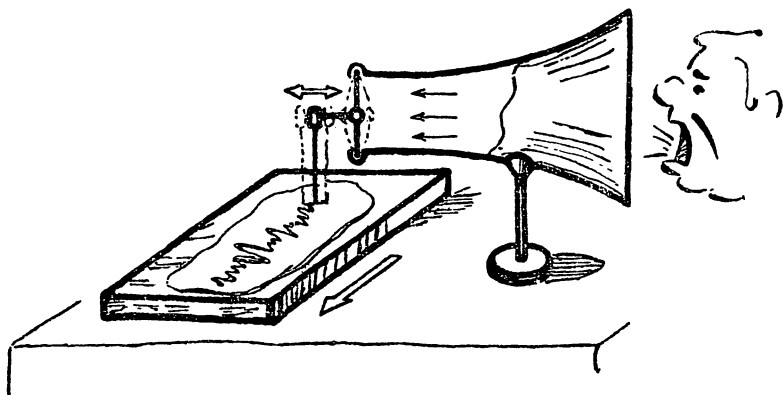
Но, пожалуй, самое интересное применение копиров — это запись звука. Здесь мы должны напомнить читателю, что звук, воспринимаемый нашими ушами, это колебания воздуха или, точнее, изменения давления воздуха. Эти изменения воспринимаются барабанной перепонкой уха: давление больше — перепонка прогибается больше, давление меньше — прогиб меньше. А колебания барабанной перепонки воспри-

нимаются нами как звуки. Таким же точно образом колеблется под действием звука любая тонкая и легкая пластинка. Подобные пластинки называют мембранами.

Рассмотрим следующую конструкцию. На рисунке изображен рупор, в узкой части которого установлена мембрана. Когда мы подносим рупор ко рту и произносим какие-либо слова, при каждом звуке мембрана колеблется под действием изменяющегося давления воздуха. Колеблется и рычажок, укрепленный в центре мембраны.

Возьмем теперь плоскую пластинку и покроем ее тонким слоем воска. Пластинку поместим так, как показано на рисунке, под иглой. Игла укреплена на конце рычажка, связанного с мембраной. Начинаем перемещать пластинку в горизонтальной плоскости прямолинейно и равномерно в направлении, перпендикулярном к перемещениям иглы. Игла прочертит на поверхности воска сложную кривую линию. Эта линия представляет собой не что иное, как точную запись колебаний мембраны, а следовательно, изменений во времени давления воздуха.

Правда, слышимые звуки заставляют воздух, а значит, и мембрану совершать до пятнадцати тысяч колебаний в секунду. Если мы хотим, чтобы записанный голос был разборчив и можно было узнать говорящего, мы должны сохранить хотя бы колебания, совершающиеся с частотой до пяти тысяч в секунду. Иначе говоря, мы должны записать на поверхности пластинки до пяти тысяч колебаний в секунду.



Запись мы производим с помощью острия иглы, вычерчивающего очень тонкую линию. Но все же размеры острия не могут быть слишком малыми, иначе игла сломается (вспомним, что мы говорили об острие клина). Пусть ширина линии, вычерчиваемой на пластинке, равна десяти миллионным долям метра, то есть десяти микронам. Тогда для записи одного полного колебания нам потребуется примерно сто микронов. Это значит, что в секунду пластинка должна переместиться на полметра. А чтобы записывать звук в течение минуты, нужно иметь пластинку длиной тридцать метров.

Читатель уже, несомненно, догадался, как можно решить подобную задачу. Возьмем вместо пластинки цилиндр и поставим конец иглы вычерчивать на его поверхности винтовую линию. Ось вращающегося цилиндра закрепим в неподвижных подшипниках, а рупор вместе с мембраной и иглой будем перемещать относительно цилиндра с помощью ходового винта.

Пластинка с нацарапанной на ней линией представляет собой не что иное, как уже известный нам копир или, точнее, два копира, сложенные вместе. Мы просто намотали копир на поверхность цилиндра, как раньше поступили с клином.

Для того чтобы услышать записанный звук, нам не нужно ничего нового. После окончания записи надо передвинуть рупор с мембраной и иглой в исходное положение, поместить иглу в начало прорезанной бороздки и заставить цилиндр вращаться. Кончик иглы будет следовать за изгибами бороздки, а противоположный конец рычажка заставит мембрану колебаться в точности так же, как она колебалась под воздействием звуков. Колебания мембраны передаются по воздуху, а воздух донесет их до нашего уха.

Все то, что было сказано до сих пор, это точное описание первого аппарата для записи звука, названного фонографом. Всем известно, что фонограф изобрел Томас Эдисон. Однако существует и другая версия. Весной 1877 года некий Шарль Кро подал во Французскую академию заявку с описанием аппарата для записи и воспроизведения речи, названного им палеофоном. А через несколько месяцев появилась статья с описанием изобретения Кро. В этой статье слово «палеофон» было заменено более благозвучным, по мнению автора, словом «фонограф». 10 декабря того же 1877 года Томас Эдисон получает первый в Америке патент на «усовершенствование инструмента для контролирования и воспроизведения звуков». На следующий день в журнале «Рапель»

появилась заметка под игривым заголовком «Господин Шарль Кро загнал звук в бутылку», посвященная фонографу Кро.

Правда, историю соперничества двух изобретателей можно считать законченной 17 декабря 1877 года, когда Эдисон подал в Париже заявку на фонограф и получил на него французский патент. Заявка Кро так и осталась пылиться в архивах французской академии.

Кто бы ни изобрел фонограф, но, за исключением мембраны, он использовал в нем все уже известные нам вещи и идеи. Здесь и острое, и ходовой винт, а главное — это идея намотать копия на поверхность цилиндра.

Современные аппараты для записи и воспроизведения звука, конечно, сильно отличаются от своего прародителя. Во-первых, в них используются не цилиндры, а плоские диски, на которых канавка, или, как теперь говорят, звуковая дорожка, располагается не по винтовой, а по спиральной линии. Запись производят по-прежнему на поверхность воска, но затем с помощью электрохимического процесса гальванопластики с поверхности воска снимают несколько последовательных металлических копий. С последней из этих копий (ее называют матрицей) штампуют пластмассовые граммофонные пластинки.

Записываемый звук сначала с помощью микрофона преобразуется в колебания электрического тока. Эти колебания усиливаются электронным усилителем и затем превращаются в механические колебания иглы. При воспроизведении звука колебания иглы снова преобразуются в колебания электрического тока, которые опять-таки усиливаются и затем уже приводят в действие громкоговоритель.

Качество получаемого таким образом звука, конечно, гораздо лучше, чем в первом фонографе. И все же мы легко отличаем звучание музыкального инструмента, воспроизводимое с пластинки, от реального звучания этого же инструмента.

Наверное, именно поэтому в конце тридцатых годов во всем мире были очень модными работы, связанные с так называемым рисованным звуком.

Изобретатели рисованного звука рассуждали примерно так. Создавая музыку, композитор записывает ее на бумаге с помощью нотных знаков. Затем музыкант исполняет музыку, и она снова превращается в рисунок, на сей раз рисунок звуковой дорожки граммофонной пластинки. А не проще

ли сделать так, чтобы композитор сразу записывал свое произведение не нотными знаками, а в виде отдельных фрагментов звуковой дорожки? На этом пути делалось много интересных опытов, однако серьезного развития рисованный звук все же не получил.

КОСЫЕ КЛИНЬЯ

Настала пора раскрыть читателю один небольшой авторский секрет. Еще в самом начале рассказа, рассматривая способы поднятия автомобиля, мы оговорились, что будем использовать для этого не клин, а полуклин. Однако тогда мы не стали давать по этому поводу никаких пояснений, считая, что время для них еще не настало. Теперь можно вернуться к ним.

Казалось бы, тут и нет особых секретов. Одной своей поверхностью клин лежит на земле или на дороге. Эту поверхность мы сделали перпендикулярной основанию клина, справедливо полагая, что упираться руками в вертикальную стенку удобнее, чем в наклонную. А та поверхность, которая обращена к автомобилю, составляет острый угол с основанием клина. Постепенно вдвигаясь под автомобиль, эта поверхность поднимает его.

Вроде бы и все. Но клин получился несимметричным. При чем такая несимметричная форма имеет свой смысл. И смысл этот — различное назначение поверхностей.

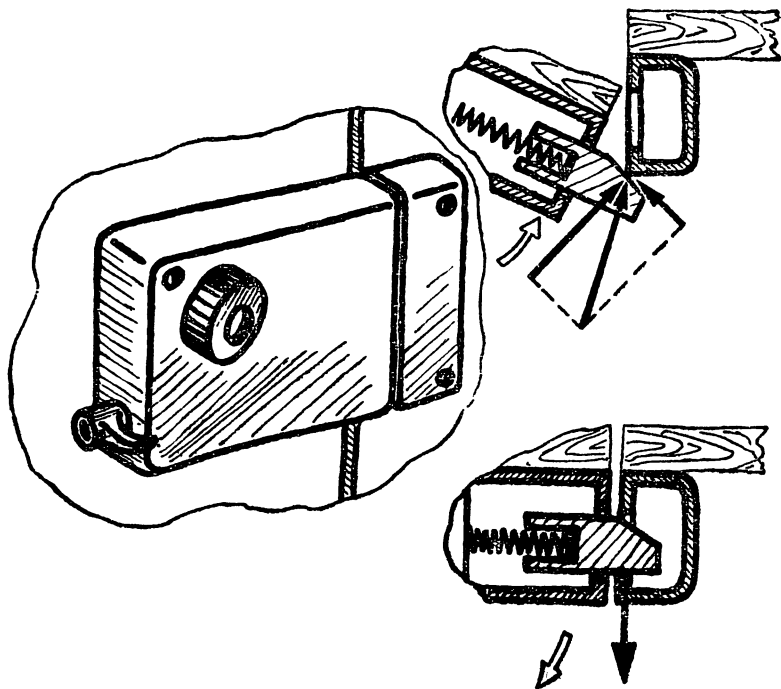
Оставим теперь автомобиль и займемся не менее интересной вещью — замком. Зачем вообще нужен замок? Замок нужен для того, чтобы дверь не мог открыть тот, кому это не положено. Тот, кому положено, может, конечно, открыть дверь, воспользовавшись ключом. Произнеся слово «ключ», мы испытали чрезвычайно большой соблазн поговорить о том, что бородка ключа представляет собой хорошо знакомый нам копир. Однако подобные аналогии заведут слишком далеко от главной темы рассказа. Читатель при желании может поразмыслить самостоятельно, мы даже подкинем ему пищу для размышлений: сейчас существуют замки, «узнающие» голос хозяина, — но на этом и остановимся.

Итак, замок нужен для того, чтобы создавать кому положено минимальные препятствия при открывании двери и непреодолимые препятствия тому, кому не положено. Но все это при открывании. А вот закрывать дверь желательно без всяких препятствий. Все эти соображения и отражены в кон-

струкции так называемого американского замка. Нас интересует, собственно, конструкция не всего замка, а лишь одной его детали — язычка. Язычок замка вместе с частью двери показан на рисунке в разрезе.

Мы его сразу узнали. Это наш несимметричный клин или полуклин. И что же? А вот что. Когда мы хотим открыть дверь, плоскость выдвинутого язычка, параллельная плоскости двери, упирается в косяк. При этом сила, которую мы прикладываем, пытаясь открыть дверь, оказывается приложенной перпендикулярно к возможному направлению перемещения язычка. Под действием этой силы язычок не будет перемещаться, как бы ни велика была эта сила. Единственная возможность открыть дверь — это убрать язычок с помощью ключа.

Когда мы закрываем дверь, все происходит совсем не так. Сила оказывается приложенной к скошенной части язычка. Как это бывает в случае клина, такая сила раскладывается



на две составляющие (посмотрите на рисунок). Одна из этих составляющих соответствует давлению на скошенную поверхность язычка и порождает силу трения, а вторая — заставляет язычок вдвинуться внутрь замка. После того как дверь полностью закрыта, пружина (она тоже показана на рисунке) снова выдвигает язычок в исходное положение, и дверь оказывается надежно запертой.

Рассуждая о замке, мы открыли для себя еще одно замечательное свойство вещей со сложными профилями. Если профиль несимметричен, то вещь, обладающая таким профилем, ведет себя по-разному при движении в различных направлениях. Наиболее ярко подобная идея проявляется в конструкции рыболовного крючка. Отсюда и название рассказа.

Что требуется от рыболовного крючка? Во-первых, процесс заглатывания крючка должен проходить для рыбы как можно незаметнее. Если заглатывание крючка будет связано с серьезными неудобствами, рыба просто не станет этого делать. Поэтому с внешней стороны крючок имеет полукруглую форму. А вот обратно из рыбьей пасти крючок должен по возможности не выскакивать.

Когда рыбак подсекает, кончик крючка погружается в тело рыбы. Этот процесс также совершается легко, поскольку кончик крючка острый. А вытащить крючок должно быть трудно. Для этого с обратной стороны острия имеется специальная зазубрина. Мы могли бы провести здесь те же рассуждения, что и в случае замка, и убедиться, что при вытаскивании крючка возникает сила, направленная перпендикулярно к плоскости зазубрины.

Такой же точно профиль, как у кончика рыболовного крючка, имеют наконечники острог и гарпунов, используемых при ловле крупной рыбы.

КОТОРЫЙ ЧАС?

Не будем, однако, продолжать эту жестокую тему. Сформулируем лучше (для этого как раз подошло время) центральную задачу нашего рассказа. Как с помощью рыболовного крючка узнать, который час?

Еще в глубокой древности человек стремился научиться измерять быстролетные часы жизни. Пожалуй, самый первый способ, придуманный людьми, состоял в том, чтобы мерить время с помощью расстояния. Средняя скорость ходьбы

всегда известна. Поэтому, пройдя, скажем, четыре километра, мы можем смело утверждать, что прошел час. Кстати, наверное, именно поэтому мы и говорим о времени «прошло».

Солнечные часы также позволяют судить о времени по расстоянию, пройденному концом тени, отбрасываемой каким-либо предметом. Существовали часы песочные и часы водяные. Большим распространением пользовались в свое время часы-лампады и часы-свечи: о количестве прошедшего времени судили по количеству масла, сгоревшего в лампадке, или по уменьшению длины свечи.

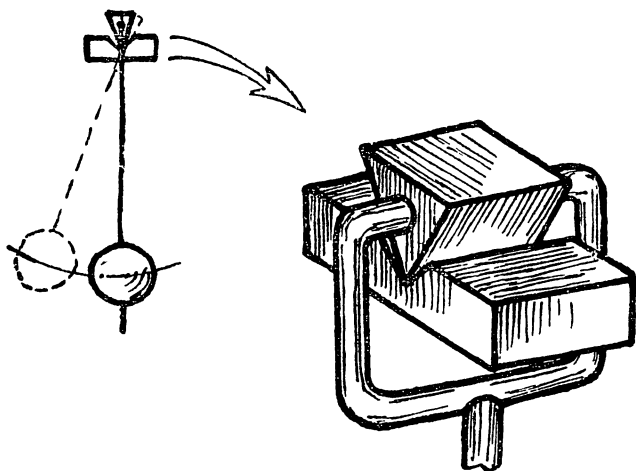
И вот наконец появились часы с маятником. Маятник — это груз, подвешенный на нити или на палке. Под действием земного притяжения груз стремится занять такое положение, когда поддерживающая его нить или палка направлены точно по вертикали. Это положение равновесия маятника. Однако, если отклонить маятник на небольшой угол от положения равновесия и затем отпустить, маятник начнет совершать колебания относительно положения равновесия, или попросту качаться.

Чем длиннее нить и чем тяжелее груз, тем медленнее качается маятник. Но вот замечательное свойство: каков бы ни был размах, один полный цикл колебаний, состоящий в том, что маятник сначала отклоняется от положения равновесия, например, вправо, затем изменяет направление движения, доходит до крайнего левого положения и снова возвращается в положение равновесия, совершается всякий раз строго за одно и то же время.

В этом мы можем легко убедиться, проделав простейшие опыты с небольшим грузиком, подвешенным на нитке. Если взять нитку достаточной длины и воспользоваться часами с секундной стрелкой, то можно убедиться даже в том, что длительность полного цикла колебаний не зависит от величины размаха. Она меняется только тогда, когда мы укорачиваем или удлиняем нить или подвешиваем другой груз — легче или тяжелее прежнего.

Маятник сам по себе уже часы. Однако пользоваться такими часами на практике мешают два обстоятельства. Во-первых, если мы хотим измерять промежутки времени, большие по сравнению с длительностью одного цикла колебаний, нужно все время глядеть на маятник и подсчитывать количество качаний. Это бы еще не страшно — хуже другое. Размах качаний маятника постоянно уменьшается, и в конце концов, если маятник не подталкивать, он остановится.

Причина этому — трение. Трение механическое, которое возникает при изменении формы нити, если маятник подвешен на жестком стержне, в точке, где закреплен стержень, и при трении груза о воздух. Чтобы уменьшить механическое трение, используют специальные конструкции подвеса. Одна из таких конструкций показана на рисунке.



Стержень маятника прикреплен к пластинке, имеющей форму треугольной призмы. Своим острием (снова острие!) призма опирается на неподвижную плоскость. Здесь механическое трение уступает место трению качения. Для уменьшения трения используется смазка. Чтобы уменьшить трение о воздух, грузу маятника придают обтекаемую чечевицеобразную форму с острыми краями. И все же, несмотря на все эти ухищрения, трение существует, и маятник, который мы однажды толкнули, рано или поздно остановится.

Обе проблемы: постоянное подсчитывание качаний и периодическое подталкивание маятника, необходимые для того, чтобы маятник не остановился, решаются в современных часах с помощью одного и того же механизма, получившего название анкерного хода. Анкерный ход показан на рисунке.

Уже при самом беглом взгляде на рисунок мы видим, что механизм состоит почти сплошь из знакомых нам элементов. Во-первых, это зубчатое колесо. Но не простое, а с зубцами,

имеющими форму полуклина, или несимметричного клина. Это, собственно, даже не зубчатое колесо. Просто взяли несколько полуклиньев и укрепили их на окружности обычного колеса. Почему здесь понадобились именно полуклинья, легко сообразить. Достаточно вспомнить, что стрелки любых часов всегда вращаются только в одном направлении — по часовой стрелке.

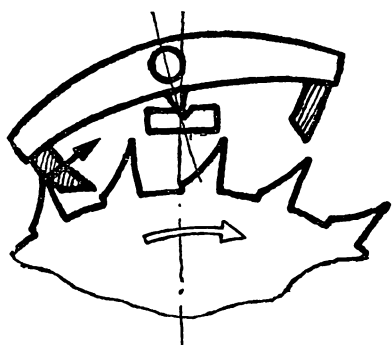


Вторая деталь анкерного хода, по имени которой он и получил свое название, это анкер. Анкер изображен в верхней части рисунка. Анкер — значит «якорь». Действительно, своей формой он напоминает корабельный якорь. Но, кроме того (и для нас это важнее), анкер напоминает два рыболовных крючка, связанных так, что они направлены остриями друг к другу.

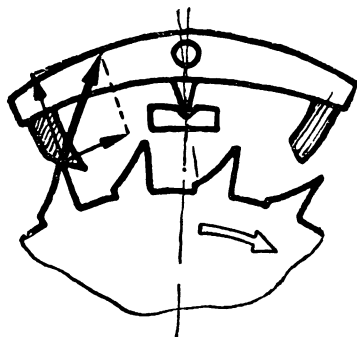
Острия анкера называют палетами. Обычно палеты делают из более прочного материала, чем сам анкер. В хороших часах палеты делают из драгоценных камней, чаще всего — рубинов. Зачем это надо, мы узнаем дальше. А пока посмотрим, как работает анкерный ход.

Анкер укреплен на той самой призме, которая служит опорой для маятника. Нужно помнить, что зубчатое колесо стремится повернуться по часовой стрелке. Для этого к колесу прикладывается усилие или, как говорят, крутящий момент. В часах это усилие создается либо с помощью гири, либо с помощью пружины. Мы попросили художника пока не изображать на рисунке ни гири, ни пружину. Надо просто все время помнить об усилии, приложенном к зубчатому колесу. Для полной ясности представим себе, что мы держим пальцем самый нижний зубец колеса и все время легонько подталкиваем его влево. А теперь в путь.

Чтобы разъяснить последовательность работы анкерного хода, художник нарисовал целую серию рисунков. Посмотрим сначала на рисунок, помеченный буквой *а*. Маятник находит-



a



б

ся в крайнем правом положении, и, соответственно, левая палета анкера опущена вниз. Зубец колеса своей плоской частью упирается в левую палету, и она не дает колесу поворачиваться.

Зубец давит на левую палету. Стрелкой показано на рисунке направление силы, которая порождается этим давлением. Обратите внимание — сила проходит через ось вращения анкера, которая в данном случае совпадает с острием призмы. Это значит, что усилие, вызываемое давлением зубца на палету, как бы стремится сдвинуть вправо анкер вместе с привешенным к нему маятником. Анкер, конечно, не сдвигается — усилие для этого слишком мало. В результате возникает лишь сила трения скольжения между зубцом и поверхностью левой палеты. Об этой силе мы еще поговорим в дальнейшем.

Самое важное для нас — то, что при расположении деталей анкерного хода, изображенном на рисунке *a*, давление зубца колеса на палету никак не влияет на маятник. Разве только чуть притормаживает его за счет трения скольжения.

Рисунок *a* соответствует крайнему правому положению маятника. Затем маятник сначала медленно, потом все быстрее начинает двигаться влево, и левая палета анкера постепенно поднимается вверх. Довольно долго ничего не происхо-

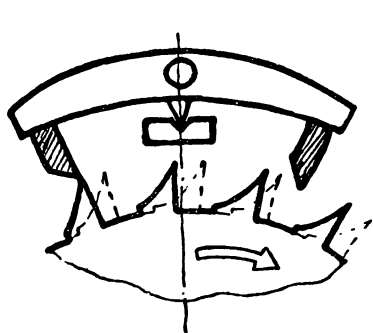
дит. Зубчатое колесо остается неподвижным, сила давления зубца на палету направлена так же, как на рисунке *а*.

Наконец детали анкерного хода занимают положение, показанное на рисунке *б*. Палета поднялась настолько высоко, что зубец колеса уже не плоской частью, а острием касается скошенной части палеты. Эта часть палеты представляет собой клин. Мы уже так много имели дел с клиньями, что теперь не задумываясь можем представить себе расположение сил. Вызываемая каким-нибудь давлением сила всегда направлена перпендикулярно к плоскости, на которую оказывается давление. Эту силу (смотри рисунок), как уже не раз до сих пор, мы можем разложить на две составляющие.

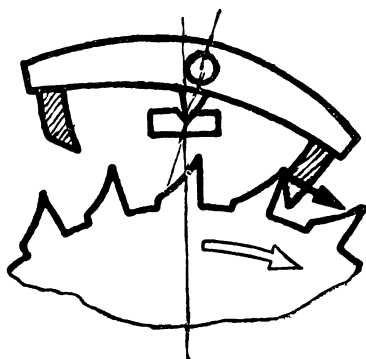
Одна из составляющих по-прежнему направлена в сторону оси вращения анкера и вызывает уже знакомое нам действие. А вторая составляющая направлена почти вертикально вверх. Легко увидеть, что именно она стремится повернуть анкер по часовой стрелке, а следовательно, подтолкнуть маятник влево.

Маятник продолжает двигаться. Левая палета скользит своей скошенной частью по острию зубца. Колесо по-прежнему неподвижно или почти неподвижно, и постоянно действует сила, как бы помогающая маятнику раскачиваться.

Так происходит до тех пор, пока детали анкерного хода не займут положения, показанного на рисунке *в*. Острие зуб-



б



в

ца достигло острия левой палеты... Еще мгновение, и зубец освободится. Вот он освободился. Колесо начало вращаться (вспомним, что оно все время стремится повернуться благодаря приложенному к нему усилию) и вращается до тех пор, пока другой его зубец не упрется своей плоской частью на этот раз в правую палету анкера.

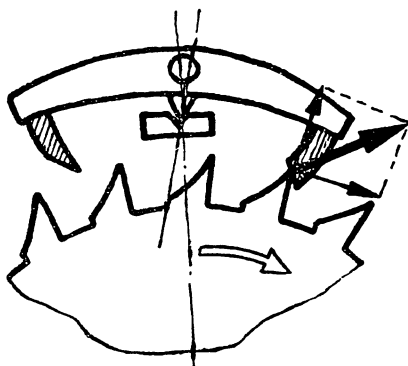
К сожалению, современная техника книгопечатания пока еще не дает возможности иллюстрировать книги не рисунками, а кинофильмами. Поэтому мы не можем увидеть все, что происходит в течение времени, протекшего между тем моментом, когда детали анкерного хода занимали положение, показанное на рисунке *в*, и моментом, когда они перешли в положение, показанное на рисунке *г*. Мы можем лишь представить себе это.

В интересующий нас промежуток времени в движении находились и анкер и колесо. Анкер по-прежнему поворачивался по часовой стрелке, а колесо вращалось (также по часовой стрелке). Правая палета анкера могла касаться или не касаться скошенной части того зубца колеса, который в это время находился под ней. Но даже если и касалась, это не препятствовало ни движению анкера, ни движению колеса. Здесь еще раз проявляется замечательное свойство несимметричных клиньев: разрешать то, что можно делать, и не разрешать того, чего делать нельзя. Точно так же, как и в замке.

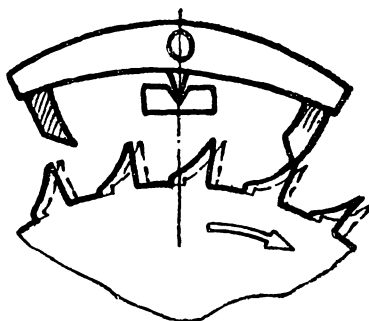
Посмотрим теперь на рисунок *г*. Маятник продолжает двигаться влево. Колесо снова неподвижно. Его зубец своей плоской частью упирается в правую палету анкера. Правая палета опускается вниз. Сила давления зубца на палету направлена так, как показано на рисунке. Прямая линия, по которой действует сила, снова проходит через ось вращения анкера, а это значит, что давление зубца на палету сказывается лишь в легком подтормаживании маятника.

И так будет происходить довольно долго. Снова призываем на помощь воображение. Маятник, постепенно замедляя скорость, продолжает двигаться влево. Достигает крайнего левого положения, останавливается на мгновение и начинает двигаться вправо. Соответственно правая палета анкера движется вниз, достигает крайнего нижнего положения, на мгновение задерживается и начинает подниматься вверх. Колесо все это время неподвижно. Сила давления зубца на палету направлена так же, как на рисунке *г*.

Наконец детали анкерного хода приходят во взаимное расположение, показанное на рисунке *д*. Что теперь происходит,



д



е

мы уже знаем. Острие зубца колеса соскальзывает на скошенную часть правой палеты. Снова раскладываем силу давления на две составляющие, одна из которых направлена почти вертикально вверх. Эта составляющая стремится повернуть анкер, а вместе с ним и маятник, на этот раз против часовой стрелки.

Снова давление зубца на палету как бы помогает маятнику совершать положенные ему движения, поскольку сам маятник движется теперь уже вправо. Эту помощь маятник испытывает до тех пор, пока детали анкерного хода не займут положения, показанного на рисунке *е*. Зубец вот-вот соскользнет с острия правой палеты. Мы знаем и все дальнейшее. Зубец освобождается, и колесо получает возможность двигаться до тех пор, пока очередной его зубец не упрется своей плоской частью теперь уж снова в левую палету анкера. Колесо останавливается, а маятник продолжает двигаться. Если подождать еще немного, маятник займет крайнее правое положение, и мы получим в точности ту же картину, что и на рисунке *а*. В точности, да не совсем! В левую палету анкера упирается теперь не тот зубец, что показан на рисунке *а*, но следующий за ним.

Что мы узнали? Маятник совершил полный период своего движения и вернулся в прежнее положение. В течение этого

периода колесо повернулось на один зубец и, кроме того, два раза маятник получил небольшие толчки, причем оба раза эти толчки как бы помогали ему раскачиваться.

Если длительность одного периода качания маятника сделать в точности равной секунде (достаточно лишь соответствующим образом подобрать длину стержня и вес груза) и использовать колесо с шестьюдесятью зубцами, то мы можем смело укреплять на оси колеса секундную стрелку. Колесо само будет подсчитывать число периодов качания маятника и совершать полный оборот точно за одну минуту. Для того чтобы измерять более крупные отрезки времени — часы, можно воспользоваться зубчатой передачей.

Мы еще рассмотрим полную конструкцию часов, а пока поговорим о другом. Начнем с того, что анкерный ход, во-первых, подсчитывает число качаний маятника, а во-вторых, подталкивает маятник (два раза за период), и благодаря этому маятник качается до тех пор, пока существует усилие, приложенное к колесу.

Мы обсудили пока лишь качественную сторону явления. Говоря проще, мы узнали, как работает анкерный ход, но не знаем пока, почему он так работает. И главное, чего мы не знаем, это почему маятник независимо от размаха колебаний завершает полный период всегда за одно и то же время?

Если немножко подумать, сразу станет ясно, что подобное свойство маятника, мягко выражаясь, не совсем обычно. Ведь маятник — это груз, укрепленный на нитке или на стержне. Мы имели дело с подобными вещами, когда крутили за веревочку крысу. И если сейчас повторить подобный эксперимент, то мы без труда заметим, что крысу можно крутить и быстро и медленно, причем в общем случае чем больше мы будем прикладывать усилий, двигая руками, тем быстрее будет вращаться крыса. По-прежнему, если вам не хочется иметь дело с дохлыми крысами, можете крутить гайку или любой другой грузик. Не забудьте только его привязать покрепче.

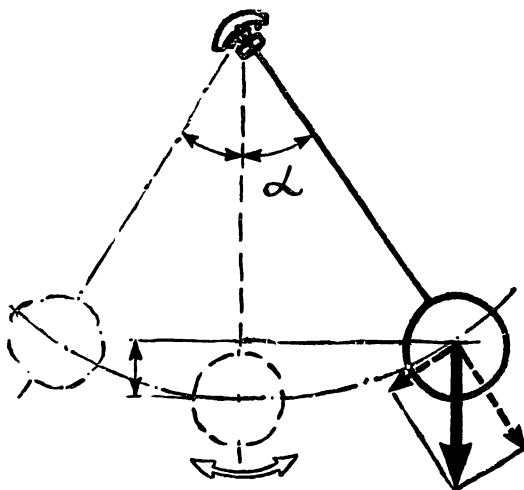
Но маятник мы тоже подталкиваем. Точнее, подталкивает его анкерный ход. А часы, во всяком случае хорошие часы, тем не менее ходят точно. В чем здесь дело? Авторы снова и снова не могут отказать себе в удовольствии поделиться с читателем интересным, на их взгляд, наблюдением.

Одним из первых использовал маятник для измерения промежутков времени арабский астроном Ибн-Юнус. Было это в X веке нашей эры. Первая попытка теоретически обосновать поведение маятника была сделана Галилеем

(1564—1642). Полную теорию, объясняющую поведение маятника, оказалось возможным создать лишь после открытия Ньютоном его знаменитых законов. А это уже конец XVII века. Снова потребовалось несколько сот лет для того, чтобы объяснить поведение вещи, которой люди преспокойно пользовались, не зная, как и почему она действует.

Но не станем уподобляться нашим предкам и постараемся ответить на все «почему». Посмотрим на рисунок, где изображен маятник, который кто-то или что-то отклонило в крайнее правое положение. К грузу маятника приложена сила веса, направленная вертикально вниз. Эту силу (заметьте, как легко мы теперь оперируем с разложением сил!) мы можем представить как состоящую из двух самостоятельных сил. Одна из них направлена по касательной к траектории движения груза и стремится отклонить маятник влево. Вторая составляющая лишь натягивает нить и никак не влияет на движение маятника.

Отметим и другое обстоятельство. Когда мы отклоняли маятник вправо, мы одновременно подняли его на некоторую высоту. Тем, кто знает тригонометрию, мы можем сказать, что высота подъема груза равна $l = 2r \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, где α — угол, на который мы отклонили маятник от положения равновесия; l — длина нити. Тот, кто еще не изучал тригонометрию, легко сообразит, посмотрев на рисунок, что высота подъема будет



тем больше, чем на больший угол мы отклоним маятник вправо.

Всякое тело, поднятое на определенную высоту, приобретает запас потенциальной энергии. Величина ее равна весу тела, умноженному на высоту подъема. Поскольку вес груза не меняется, можно утверждать, что количество накопленной потенциальной энергии маятника пропорционально высоте его подъема.

Теперь отпустим маятник и дадим ему возможность двигаться. Он идет влево до тех пор, пока его груз не займет самого нижнего возможного положения. Мы установили, что это положение есть положение равновесия. Если маятник не подталкивать, то рано или поздно под влиянием трения он займет положение равновесия и останется в нем неподвижным.

Но мы не будем дожидаться, пока маятник остановится, а проследим лишь некоторое время после выхода его из крайнего правого положения. Итак, маятник достиг положения равновесия. Поскольку это самое нижнее положение, запас потенциальной энергии здесь равен нулю. Вся потенциальная энергия, которую имел маятник в крайнем правом положении, перешла в кинетическую (трением мы пока пренебрегаем). Кинетическая энергия равна, как известно, половине произведения квадрата скорости на массу груза маятника. Масса остается постоянной, и мы можем утверждать, что квадрат скорости движения маятника, когда он находится в положении равновесия, пропорционален той высоте, на которую был поднят маятник, когда он находился в крайнем правом положении, а следовательно, пропорционален углу отклонения маятника.

И еще одно важное наблюдение. В положении равновесия направление силы веса маятника совпадает с направлением нити. Значит, в этом положении сила веса только натягивает нить и никак не влияет на движение. Благодаря запасу кинетической энергии маятник продолжает двигаться влево. Так будет до тех пор, пока вся кинетическая энергия не перейдет в потенциальную.

Поскольку потенциальная энергия должна быть равна кинетической, угол отклонения маятника влево пропорционален квадрату скорости, которую имел маятник в положении равновесия. Причем коэффициент пропорциональности остается таким же, как и в предыдущем случае. А это значит, что при отсутствии трения маятник отклонится влево в точности на тот самый угол, на который он был отклонен вправо, приобре-

тет тот же запас потенциальной энергии, который он имел в крайнем правом положении, и двинется в обратный путь.

А теперь самое главное. Чем больше скорость маятника в положении равновесия, тем на больший угол он отклоняется и, соответственно, проходит больший путь. Наоборот, чем меньше скорость маятника, тем меньше угол и, соответственно, путь. С большей скоростью маятник проделывает больший путь, с меньшей скоростью — меньший путь. А время, затрачиваемое на прохождение пути, остается неизменным. В этом и состоит замечательный секрет маятника.

Конечно, чтобы сделать рассуждение совершенно строгим, мы должны были бы рассматривать скорость не только в положении равновесия, но и в любой другой точке, в которой может находиться груз во время движения. Но и того, что сказано, вполне достаточно для понимания сути: маятник сохраняет длительность периода своего движения постоянной именно потому, что проходимый им путь зависит от скорости.

Ну, а трение? На преодоление трения затрачивается часть энергии. Поэтому, если мы отклоним маятник на какой-то угол вправо, то, завершив половину периода, маятник отклонится влево на несколько меньший угол. Разница в высотах подъема в крайнем правом и крайнем левом положениях и будет пропорциональна количеству энергии, затраченному на преодоление трения. Вернувшись из крайнего левого положения в положение равновесия, маятник будет иметь меньшую скорость и, следовательно, меньшую кинетическую энергию. Снова разница в значениях кинетической энергии будет равна количеству энергии, затраченному на преодоление трения. Но постепенное уменьшение скорости в положениях равновесия приведет к тому, что маятник каждый раз будет отклоняться на все меньшие углы, проходя при этом все меньшие отрезки пути. А длительность периода при этом остается неизменной.

Приходим к очень важному выводу. Трение не влияет на длительность периода качания маятника — никакое трение, в том числе и трение палет о зубцы колеса в анкерном ходе.

Осталось разобраться в том, что происходит с маятником, когда его подталкивают. В частности, что происходит с маятником, когда его подталкивает сила взаимодействия острия зубца колеса со скошенной частью палеты. И здесь выясняется чрезвычайно интересное обстоятельство. Оказывается, все зависит от того, в какой именно момент или, точнее, в какую часть периода качания происходит подталкивание.

Посмотрим снова на рисунки, поясняющие принцип действия анкерного хода. Перечитав еще раз все пояснения к этим рисункам, мы увидим, что анкерный ход подталкивает маятник примерно тогда, когда он проходит через положение равновесия. Сила, с которой острый зубца действует на палету, совершает определенную механическую работу. Величина механической работы, как известно, равна величине силы, помноженной на путь, который проходит тело под действием этой силы. В нашем случае механическую работу совершает лишь та составляющая силы, которая направлена вверх и стремится повернуть анкер. Вторая составляющая силы, направленная в сторону оси вращения анкера, уравнивается силой давления призмы на опору и, как уже отмечалось, никакого влияния на движение маятника не оказывает.

Под действием вертикальной составляющей плечо анкера (правое или левое) поднимается вверх и проходит определенный путь. Произведение вертикальной составляющей силы на этот путь и равно той механической работе, которую совершает колесо. Эта механическая работа целиком затрачивается на увеличение энергии маятника. В нашем случае, когда маятник находится недалеко от положения равновесия, он обладает кинетической энергией и, следовательно, увеличивается именно кинетическая энергия. Иными словами, под влиянием действия острого зубца колеса на скошенную часть палеты слегка увеличивается скорость маятника в положении равновесия. А коли так, то затем маятник отклонится на больший угол. Приобретая большую скорость, он пройдет больший путь, а длительность периода останется неизменной.

Значит, если подталкивать маятник в тот момент, когда он проходит через положение равновесия, длительность периода не изменится, даже если мы будем подталкивать с разной силой. Говоря проще, если увеличить вес гири маятниковых часов, скажем, вдвое, размах качаний маятника увеличится, но на точность хода это не повлияет.

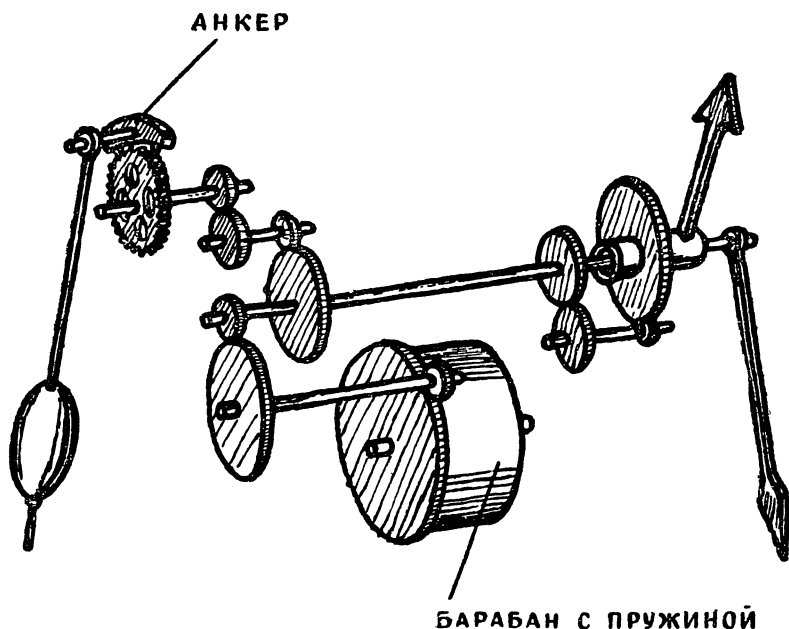
Забегаю несколько вперед, заметим, что, конечно, вес гири у часов можно и не менять. Но вот у часов пружинных сила пружины — а именно эта сила в конечном счете преобразуется в силу взаимодействия зубца с палетой — зависит от того, насколько плотно закручена пружина. У только что заведенных часов сила пружины в несколько раз больше, чем тогда, когда пружина почти раскрутилась. И все же часы продолжают ходить точно. Таково замечательное свойство механизма, состоящего из маятника и анкерного хода.

Предположим теперь, что мы несколько изменили конструкцию анкерного хода, так что он подталкивает маятник не в положении равновесия, а в каком-нибудь другом положении. Например, в тот момент, когда маятник находится в крайнем правом или в крайнем левом положении. Снова в анкерном ходе совершается некоторая работа, и она затрачивается на изменение энергии маятника. Изменение энергии в конечном итоге приводит к изменению скорости движения груза. А вот путь, во всяком случае та его часть, которую маятник проходит из крайнего положения в положение равновесия, остается неизменным, поскольку мы подталкиваем в тот момент, когда груз уже достиг крайнего положения.

В этом случае длительность периода, а следовательно, и скорость хода часов, конечно, изменится. Если у вас есть ходики, можете проделать такой простейший опыт. Поставьте какой-нибудь упор, например книгу, так, чтобы маятник удара о него, чуть-чуть не доходя до одного из своих крайних положений. Когда маятник касается упора, он давит на него с некоторой силой и, как мы это неоднократно устанавливали, с такой же точно, но направленной в противоположную сторону силой упор давит на маятник, то есть подталкивает его. Вы легко убедитесь, что при наличии упора ходики начинают спешить. У всех хороших часов анкерный ход сделан так, чтобы подталкивания маятника совершались только тогда, когда маятник проходит через положение равновесия.

Теперь мы знаем почти все о маятниковых часах. Знаем и ответ на самый главный вопрос: как определить, который час, с помощью рыболовного крючка? Надо взять два таких крючка, соединить их между собой, и получится анкер. Остальные шестьдесят крючков натывать в обод колеса остриями наружу. Получится анкерный ход. Правда, нужно добавить еще и маятник.

Теперь ответим на один из вопросов, поставленных по ходу изложения: почему палеты анкера хороших часов делают из рубинов? При полном обороте колеса каждый его зубец лишь один раз соприкасается с палетой. А палета за то же время шестьдесят раз испытывает трение зубцов. Поэтому если бы палеты и зубцы колеса изготавливались из равнопрочного материала, палеты снашивались бы в шестьдесят раз быстрее, чем колесо. Естественно желание делать палеты из более прочного материала. Рубины используются не потому, что они драгоценные (к слову сказать, в современных часах используют искусственные рубины, которые стоят не так уж



дорого), а потому, что, как и большинство драгоценных камней, они очень прочны. Недаром для резки стекла, тоже очень твердого, хотя и хрупкого материала, используется алмаз.

А вот в дешевых часах анкер вместе с палетами представляет собой просто изогнутую стальную пластинку. Снашивается такой анкер довольно быстро. Если вам в руки попадается старый механизм от ходиков или будильника, не торопитесь его выбрасывать, лучше аккуратно разберите, постарайтесь понять, что к чему, и соберите вновь. Для тех, кому такой механизм никогда не попадал в руки, художник схематически изобразил полный часовой механизм.

Добавить к этому рисунку почти что нечего. Заметим только, что зубчатое колесо, укрепленное на барабане с пружиной, сцеплено не с колесом анкерного хода, а с самым дальним от анкерного хода колесом зубчатой передачи. Кроме всего прочего, это уменьшает количество оборотов, на которые раскручивается пружина, а следовательно, позволяет заводить часы раз в сутки или еще реже.

Маятниковые часы хороши уже тем, что мы теперь до конца понимаем, как и почему они работают. Есть у них много других достоинств. Но есть и недостатки. Главный из этих недостатков состоит в следующем. Вспомним, что маятниковые часы работают хорошо лишь тогда, когда анкерный ход подталкивает маятник точно в момент прохождения маятником положения равновесия. Положения равновесия маятник достигает тогда, когда его стержень направлен по вертикали, то есть к центру Земли. Значит, весь механизм должен быть определенным образом ориентирован относительно направления к центру Земли. Достаточно слегка изменить эту ориентацию, то есть чуть сдвинуть, например, часы, висящие на стене, как они начнут спешить или отставать, а может быть, просто остановятся. Именно поэтому очень хорошие дорогие маятниковые часы никогда не делают настенными. Их ставят на пол. Правда, и пол может со временем перекошиться.

А как быть с ручными часами? Если делать ручные часы с маятником, то руку все время придется держать неподвижно, сориентировав ее точно на центр Земли. Слов нет, удовольствие небольшое. Надо придумать что-то еще.

Авторы не скрывают, что они питают определенное пристрастие к колесу. Они не одиноки. Несколько тысячелетий подобное пристрастие питает все человечество. Читатель еще не раз встретит колесо на страницах этой книги, и все же, перевернув последнюю страничку, он может быть уверен, что остались еще тысячи самых различных, иногда совершенно неожиданных применений колеса, которым не нашлось места в наших рассказах.

Как же можно заменить маятник колесом? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны вспомнить кое-что. Во-первых, наш недавний вывод о том, что работа маятника основана на непрерывных преобразованиях кинетической энергии в потенциальную и наоборот. Поднимаясь, груз маятника накапливает потенциальную энергию, а опускаясь — кинетическую. Потенциальная энергия накапливается потому, что груз притягивается к Земле или, как говорят, находится в гравитационном поле Земли.

А кинетическая энергия определяется скоростью, с которой маятник вращается относительно точки подвеса, и, конечно, массой груза. Другими словами, движущийся маятник обладал бы кинетической энергией и в том случае, если бы мы его

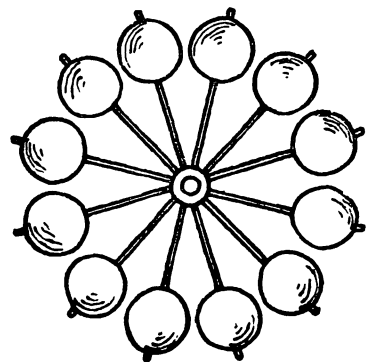
переместили с Земли в далекий космос, где нет или почти нет никаких сил.

Во-вторых, вспомним кориолисовы силы. В первом рассказе мы тоже сначала имели дело с грузом на веревочке, а потом, взяв много таких грузов, образовали из них колесо со спицами. Сейчас мы возьмем много маятников и расположим их так, как показано на рисунке.

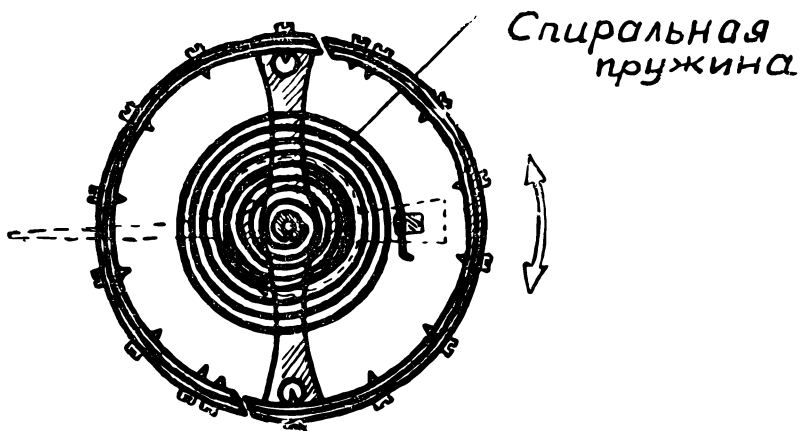
Маятники имеют общую ось вращения. Если заставить их всех вместе двигаться, то каждый маятник приобретет кинетическую энергию, численно равную половине произведения квадрата скорости на массу груза. Вся конструкция в целом также будет обладать кинетической энергией, равной энергии одного маятника, помноженной на количество маятников.

Но ведь конструкция, изображенная на рисунке, есть не что иное, как колесо! Вот мы и открыли еще одно свойство колеса: вращающееся колесо обладает запасом кинетической энергии. А накапливать потенциальную энергию в гравитационном поле колесо не умеет. И понятно, почему. Если мы снова посмотрим на рисунок и выделим два маятника, один из которых расположен слева от вертикальной линии под определенным углом к ней, а второй — справа под таким же точно углом, то сможем установить следующее. На оба маятника действует сила веса. Но если сила, приложенная к левому маятнику, стремится закрутить колесо против часовой стрелки, то сила, приложенная к правому маятнику в той же степени пытается закрутить колесо по часовой стрелке. А суммарное действие обеих сил равно нулю.

Следовательно, колесо при вращении вокруг оси способно накапливать потенциальную энергию. У хорошего или, как говорят, хорошо сбалансированного колеса в отличие от маятника отсутствует положение равновесия. Если раскрутить колесо вокруг горизонтальной оси, после того как запас его кинетической энергии израсходуется на преодоление трения, оно остановится в любом положении.



Чтобы превратить колесо в маятник, нужно добавить к нему нечто, что могло бы высту-

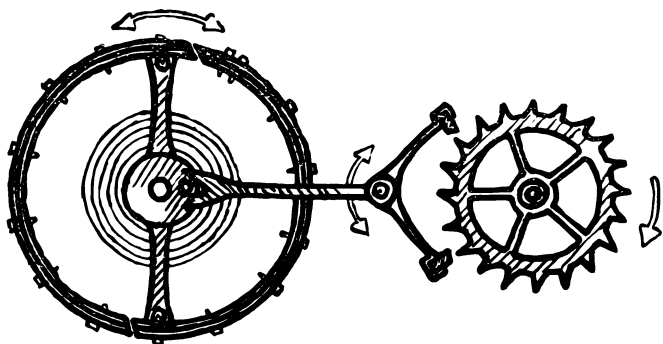


пать в роли накопителя потенциальной энергии. В качестве такого «нечто» можно использовать спиральную пружину. В результате получается конструкция, показанная на рисунке и называемая балансом.

Баланс имеет положение равновесия. Это положение, в котором пружина не напряжена, то есть имеет форму, приданную ей в процессе изготовления. Повернем колесо на некоторый угол, например, по часовой стрелке. Пружина закрутится, и возникнет сила, стремящаяся вернуть баланс в положение равновесия. Когда мы закручивали колесо, мы совершили работу по преодолению этой силы. Работа перешла в потенциальную энергию баланса.

Если теперь отпустить колесико баланса, под действием силы пружины оно начнет вращаться в обратном направлении. Когда будет достигнуто положение равновесия, потенциальная энергия пружины полностью перейдет в кинетическую энергию колеса. Запас кинетической энергии заставит колесо вращаться дольше, и оно будет крутиться до тех пор, пока не повернется на такой же точно угол, на этот раз против часовой стрелки. Кинетическая энергия колеса перейдет в потенциальную энергию пружины и так далее.

Все, что мы говорили о маятнике, справедливо и для баланса. На рисунке изображен анкерный ход баланса. Анкер соединен не с маятником, а с рычажком. На конце рычажка имеется вилка, в которую входит выступ, укрепленный на колесе баланса. Все остальное понятно без пояснений. Часы с балансом не надо никак ориентировать относительно верти-



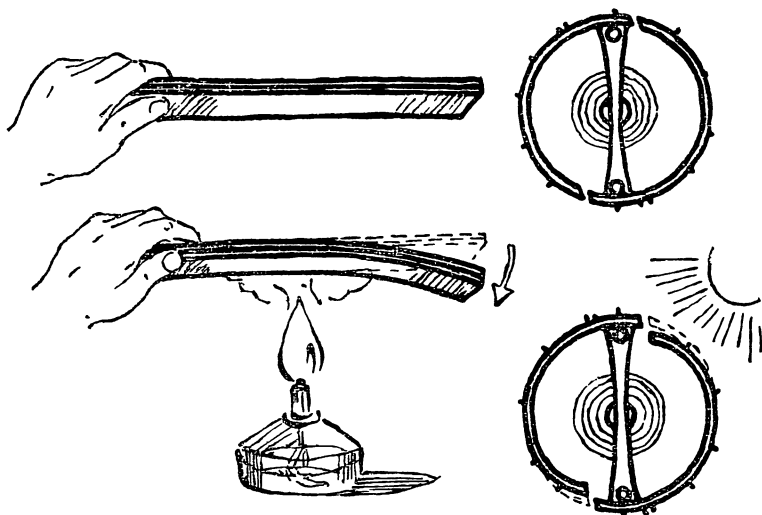
кали, а в остальном они обладают теми же свойствами, что и маятниковые.

Говоря о часах, не забывай о времени. Наверно, уже настал момент распрощаться с часами, и все же авторы не могут отказать себе в удовольствии решить еще одну интересную задачку. Большинство твердых тел при нагревании расширяется. Если нагреть металлическое, например бронзовое, колесо, его диаметр увеличится. Все это хорошо известные факты.

Представим себе, что мы имеем дело не просто с колесом, а с колесиком баланса часов. Для нас по-прежнему колесико баланса — это как бы множество маятников, составленных вместе. Увеличить диаметр колеса в таком случае все равно, что увеличить длину стержня каждого маятника. А мы уже знаем, что с увеличением длины стержня длительность периода колебаний маятника увеличивается. Это справедливо и для колеса. Значит, если нагреть часы с балансом, они начнут отставать. Если колесико баланса представляет собой просто бронзовое колесо, то так и будет получаться на самом деле.

Как сделать, чтобы металлическое колесико при нагревании расширилось, а его диаметр при этом оставался неизменным? Мы легко решим и эту задачу, если используем свойство так называемых биметаллических пластин.

Известно, что различные металлы при нагревании до одной и той же температуры расширяются неодинаково. Говорят, что они обладают различными коэффициентами теплового расширения. Возьмем две пластинки одинаковых размеров: одну — из металла с малым коэффициентом теплового расширения, а другую — из металла с большим коэффициентом теп-



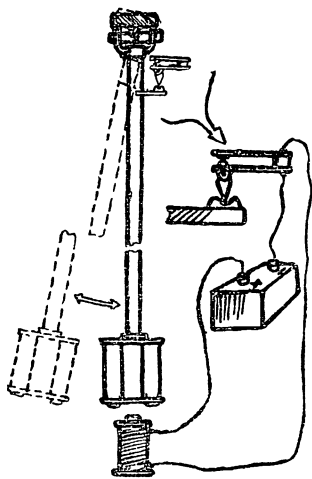
лового расширения. Сложим их вместе и спаяем, сварим или склепаем. Сварку или клепку нужно провести настолько тщательно, что, на первый взгляд, перед нами будет как бы одна цельная пластина. Ее называют биметаллической, то есть состоящей из двух металлов.

А теперь будем эту пластинку нагревать. Одна половина пластинки расширяется от нагревания больше, а другая меньше. В результате пластинка изгибается, как показано на рисунке, причем внутри изгиба оказывается та ее сторона, которая имеет меньший коэффициент теплового расширения.

Сделаем обод колесика баланса из биметаллических пластин так, как показано на рисунке. Нагреем это колесико. Под влиянием тепла спицы колеса удлинятся, а свободные концы пластин загнутся внутрь. Средний диаметр колеса останется неизменным.

ВСЕ НАОБОРОТ

В детстве авторы этого рассказа дружили с одним парнем. Как-то мы ехали вместе в трамвае. Стояли, как и положено, на площадке. Обычно механизм автоматического открывания и закрывания дверей трамвая скрыт за закрытым кожухом.



Но у этого трамвая кожух оказался открытым. «А ну-ка, скажите, как открываются двери у трамвая?» — спросил наш друг. Вместо ответа нам пришлось смущенно переглянуться.

«Поражаюсь, как некоторые могут жить среди интереснейших вещей, не видеть их и не стремиться понять, как они действуют!» Эта, возможно, случайно брошенная фраза во многом определила дальнейшую жизнь авторов. Но вспомнили мы ее сейчас в связи с одним частным случаем.

Прошло много лет, и вот однажды один из авторов сидел в приемной высокого начальства, дожидаясь заветного слова секретарши: «Пройдите, пожалуйста!» Но когда слово

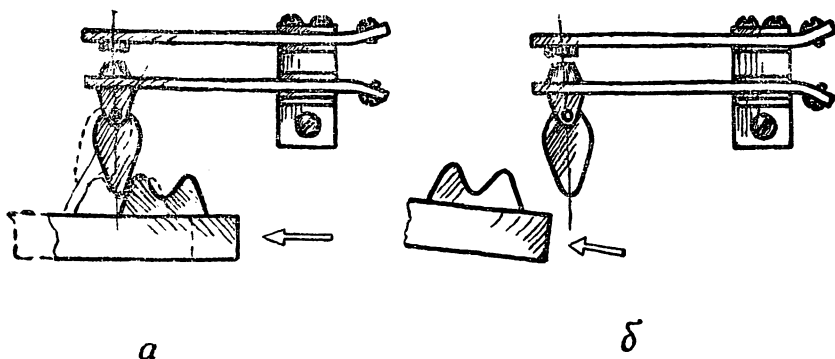
было наконец произнесено, сидящий не сдвинулся с места. Не сдвинулся он после второго и третьего напоминания. Все его внимание было приковано к висящим на стене часам. Это были не просто часы, а так называемые **ГЛАВНЫЕ** часы целой системы, состоящей из множества часов, развешанных по всем коридорам и помещениям большого учреждения. Все они соединялись общей электрической проводкой с главными часами.

Устройство главных часов оказалось настолько необычным и увлекательным, что оторвать от них взгляд, не поняв до конца, в чем дело, было поистине невозможно. Они почти целиком состояли как бы из одного маятника. Сам маятник — относительно толстый цилиндр, к нижнему концу которого прикреплен груз, внешне напоминающий велосипедную педаль (посмотрите на рисунок).

К нижнему концу цилиндрического стержня перпендикулярно к нему прикреплена железная пластинка. К корпусу часов под цилиндром привинчен электромагнит. Верхний конец маятника надет на ось, свободно вращающуюся в подшипниках. Примерно в одной четверти длины, считая сверху, к цилиндрическому стержню прикреплена металлическая пластинка, торчащая от стержня вбок. Эта пластинка заканчивается довольно высоким выступом, посередине которого имеется канавка.

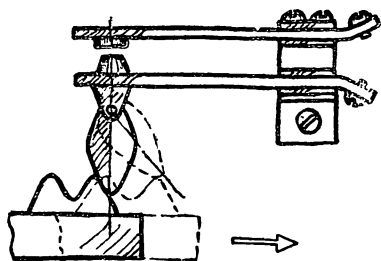
Точно над пластинкой к корпусу часов прикреплена пара электрических контактов. На самом конце нижнего контакта укреплена ось, а на ней висит серьга. Серьга может свободно качаться вправо и влево. Нижний конец серьги заточен на клин. Именно этот клин и послужил основной причиной описанного нами эпизода.

Маятник раскачивается, и каждый раз, когда он приближается к крайнему левому положению, серьга касается выступа на пластинке, прикрепленной к стержню. Здесь и заключен главный секрет. Поэтому давайте посмотрим новую серию рисунков, где художник изобразил нам лишь выступ на пластинке, серьгу и контакты. То есть ту часть предыдущего рисунка, которая обведена кружком. Внимание, начали!

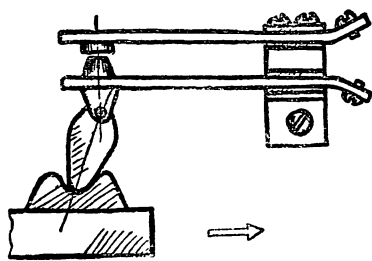


Сначала маятник движется справа налево. На рисунке, помеченном буквой *a*, серьга только коснулась выступа. Маятник продолжает двигаться. Серьга скользит по выступу, ее острый конец попадает во впадину, выходит из нее, проходит за выступ. Этот момент изображен на рисунке, помеченном буквой *б*.

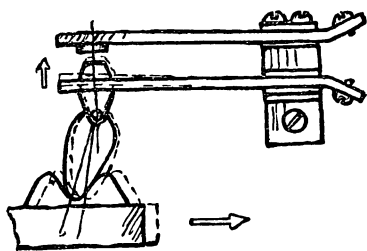
Маятник проходит еще дальше, доходит до крайнего левого положения и начинает двигаться слева направо. Серьга касается выступа с другой его стороны, отклоняется (рисунок *в*), скользит по выступу, оказывается с другой стороны и повисает свободно.



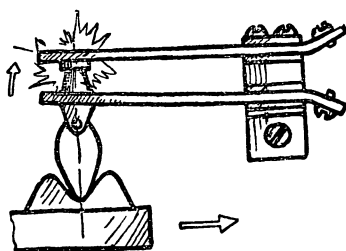
b



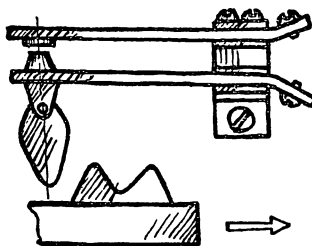
z



d



e



ж

Казалось бы, ничего не происходит. Но наберемся терпения. С каждым периодом размах качаний маятника уменьшается. И вот наступает момент, когда маятник достигает крайнего левого положения, а острие серьги при этом оказывается точно во впадине выступа (рисунок *г*). Когда теперь маятник начинает двигаться слева направо, острие серьги остается во впадине и следует за ее движением. Серьга поворачивается на своей оси, и ось вместе с серьгой начинает подниматься вверх (рисунок *д*).

Поднимается вверх и контакт. А когда серьга располагается почти вертикально, нижний контакт замыкается с верхним (рисунок *е*).

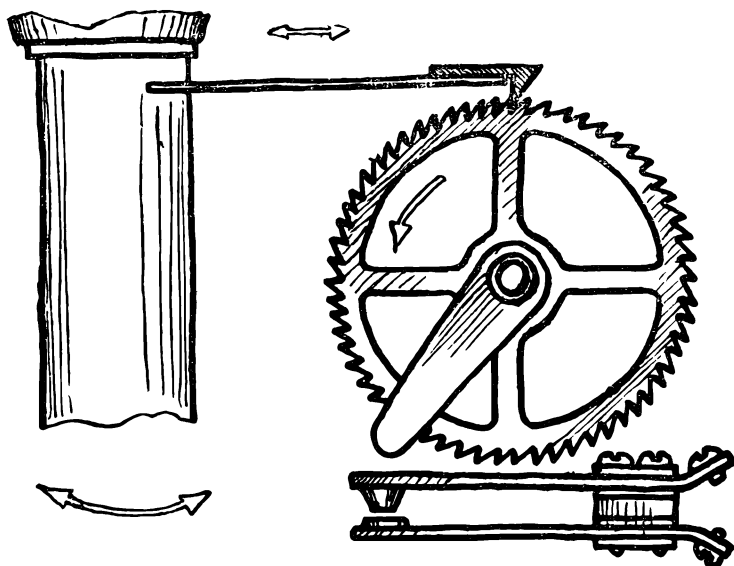
Контакты замыкают электрическую цепь электромагнита, расположенного под маятником. Электромагнит притягивает к себе пластинку (якорь), прикрепленную к концу маятника, и под действием силы притяжения маятник испытывает толчок.

Затем по мере движения маятника слева направо серьга поворачивается, контакты размыкаются, а затем острие серьги выходит из впадины (рисунок *ж*). Маятник получил толчок, поэтому размах его качаний увеличился. Острие серьги больше не застревает во впадине, и так происходит до тех пор, пока под действием трения размах качаний снова уменьшается.

Скажем прямо, что мы стали описывать главные электрические часы только ради того, чтобы показать механизм, состоящий из серьги и выступа. Ведь здесь в совершенно новой роли выступает наш излюбленный клин. Но уж коли начали, доведем рассказ до конца.

В чем основное отличие только что описанного механизма от анкерного хода? Механизм, состоящий из выступа, серьги и контактов, выполняет лишь одну из двух функций анкерного хода. Он подталкивает маятник, но не подсчитывает числа периодов. Отличие и в том, что работу по подталкиванию совершают не механические силы, а силы магнитного поля.

Но самое главное то, что маятник испытывает не два толчка за период, как в случае анкерного хода, но лишь один толчок примерно за десять периодов. Причем толчок этот совершается именно тогда, когда нужно, то есть когда размах колебаний маятника становится малым. Если по каким-либо причинам, например после свежей смазки, потери на трение уменьшились, то и толчки происходят реже. А между толчками маятник качается совершенно свободно.



Итак, мы убедительно доказали, что, если толчок совершается в тот момент, когда маятник проходит через положение равновесия, он не влияет на длительность периода качаний. Это, конечно, верно. И все ж... Чем свободнее качается маятник, чем меньше внешних сил на него действует, тем точнее ход часов. При прочих равных условиях главные электрические часы ходят примерно в десять раз точнее, чем часы с таким же точно маятником и анкерным ходом.

Но как движутся стрелки? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны раскрыть еще одну маленькую подробность, о которой мы сознательно умолчали вначале. К стержню маятника в верхней его части прикреплена совсем маленькая пластинка, на конце которой имеется несимметричный клин (смотри рисунок). Под пластинкой находится зубчатое колесо, и его зубцы опять-таки имеют форму несимметричных клиньев. Снова внимание!

Маятник движется слева направо. Наклонная поверхность клина, укрепленного на пластинке, легко скользит по наклонной поверхности клина зубца. Колесо при этом не движется, а пластинка лишь слегка изгибается вверх. Маятник движет-

ся справа налево — противоположная крутая поверхность клина, укрепленного на пластинке, цепляется за такую же крутую поверхность клина зубца. Колесо поворачивается на один зубец.

На оси колеса укреплен кулачок, который один раз за полный оборот замыкает пару электрических контактов. При этом образуется электрический импульс, или сигнал, который по проводам передается ко всем часам, соединенными с главными. Если длительность периода качаний маятника равна одной секунде, а колесо имеет шестьдесят зубцов, то контакты замыкаются каждую минуту. Через каждую минуту стрелки на всех часах, связанных с главными, перескакивают на одно деление.

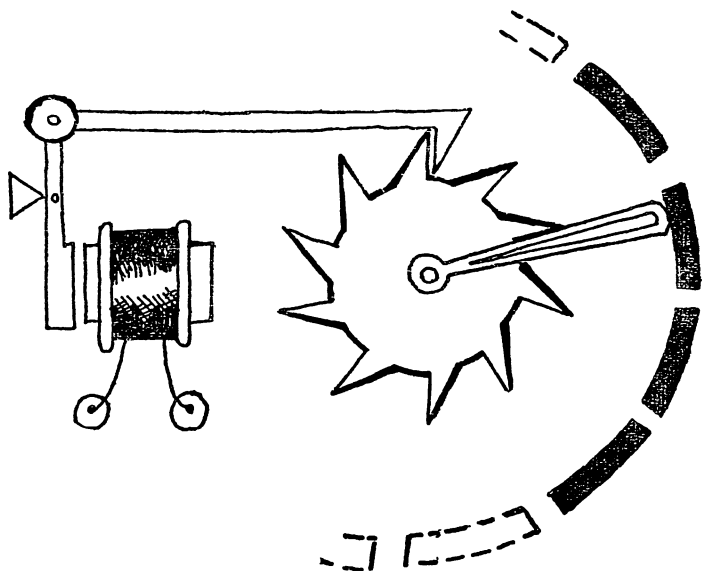
Теперь мы можем окончательно распрощаться с часами. Заметим лишь, что пластинка с клином на конце называется собачкой. Колесо с зубцами, имеющими форму несимметричных клиньев, — храповым колесом. Все, вместе взятое, — храповым механизмом. Снова клинья и колеса, и снова в новой роли: на этот раз — детали храпового механизма часов.

АЛЛО, КТО ГОВОРИТ?

Храповые механизмы сами по себе имеют великое множество применений. Мы рассмотрим сейчас еще одно из них: в автоматических телефонных станциях.

Вы вращаете диск-номерабирабель телефонного аппарата. Пока вы ведете диск пальцем, ничего не происходит. А когда диск возвращается обратно, периодически замыкаются и размыкаются два электрических контакта. Была набрана цифра 1 — одно замыкание, набрана цифра 2 — два замыкания и так далее. Каждое замыкание порождает электрический импульс, поступающий по проводам на телефонную станцию. На телефонной станции имеется множество различных приборов, но главным является так называемый шаговый искатель. А основная часть шагового искателя — храповой механизм.

Здесь собачка храпового механизма связана не с маятником, а с электромагнитом (смотри рисунок). Сквозь обмотку электромагнита пропускаются те самые электрические импульсы, которые вы создаете, вращая диск-номерабирабель. Один импульс — собачка притягивается один раз и поворачивает храповое колесо на один зубец. Два импуль-

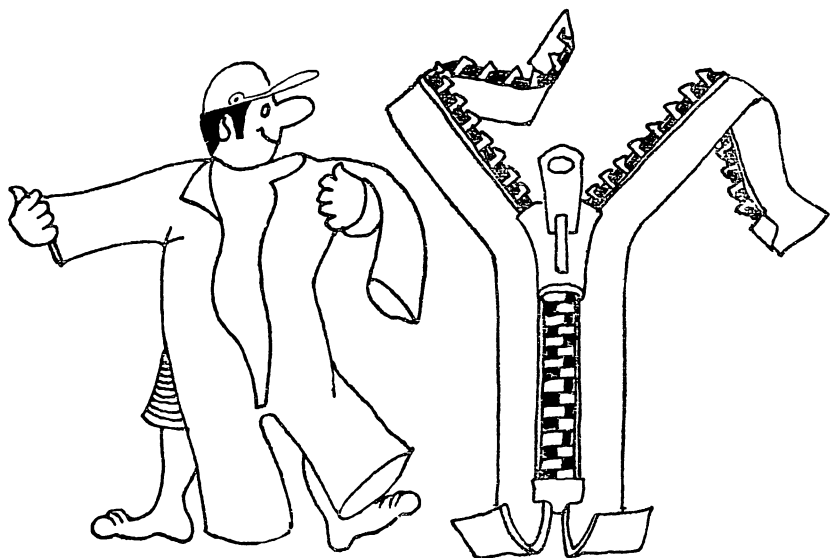


са — храповое колесо поворачивается на два зубца и так далее.

На оси храпового колеса укреплена щетка, которая скользит по контактам. К контактам подведены провода от телефонных аппаратов. Вы набрали номер 3. Щетка остановилась на третьем контакте, значит, вы соединены с абонентом, аппарат которого подключен именно к третьему контакту. Обычно аппаратов гораздо больше, чем десять, а набираемый вами номер состоит не из одной, а из большего числа цифр. Как удастся и в этом случае установить правильное соединение, догадайтесь сами.

УКРОТИТЬ МОЛНИЮ

Не пугайтесь! Речь пойдет всего лишь о застёжке-«молнии». Конструкция такой застёжки показана на рисунке, и вряд ли мы можем что-нибудь сюда добавить. Молния состоит все из тех же деталей, имеющих форму кончика рыболовного крючка. Когда «молнию» застёгивают, детали входят в зацепление друг с другом (нижняя часть рисунка). Когда «молнию» расстёгивают, полоски материи, на которых укреплены зубцы,



раздвигаются, зубцы также слегка раздвигаются и выходят из зацепления.

Интересна история изобретения застежки-«молнии». Никто не знает, как и почему родилась у американца Виткомба Джудсона идея такой застежки, на которую он с 1893 по 1905 год взял пять патентов. Поразительно, что у него не только не было предшественников, но не было и соперников: за эти двенадцать лет никто, кроме него, не подавал заявок на что-либо подобное.

Однако коммерческого успеха Джудсону не удалось добиться. Хотя он и основал фирму по производству застежек своего изобретения, их упорно отказывались покупать. Так дело тянулось до 1913 года, когда один из инженеров, работавших в фирме Джудсона, сообразил: застежка должна быть гибкой, поэтому сцепляющиеся элементы надо делать как можно меньших размеров.

Новая продукция, несмотря на массу достоинств, по-прежнему сначала не находила сбыта. Лишь после того как американский флот заказал десять тысяч застежек для комбинезонов морских летчиков, а одна из обувных фирм стала выпускать боты с застежкой-«молнией», широкая публика наконец признала ее достоинства.

Наш рассказ о форме вещей был бы неполным, если бы мы не упомянули об одной из самых близких родственниц клина — иголке. Иголka — это тот же клин, только круглый. Острие иголки, как и острие клина, позволяет при малом усилии создавать очень большие давления, поэтому обычная иголка легко проникает не только в мягкую материю, но и в кожу, пластмассу и другие достаточно твердые материалы, если только протыкаемый лист не очень толстый.

В отверстие, проделанное острием, протаскивается сама иголка, а за ней и нитка. Куда иголка — туда и нитка, — гласит русская пословица. А бывает ли наоборот? Чтобы нитка двигалась перед иголкой? Задав такие вопросы, мы не можем не поговорить о швейной машине.

Обычно историю изобретения швейной машины связывают с именем американского изобретателя Зингера. Рассказывают, кстати, что Зингер настолько хитроумно оформил патент на швейную машину, что все последующие изобретатели других конструкций никак не могли обойти его основную заявку. Смысл этой заявки состоял в том, что швейная машина — это устройство, использующее иглу с ушком, расположенным вблизи острия.

На самом деле история изобретения швейной машины несколько иная. В марте 1846 года берлинцы, взявшие в руки газету «Иллюстрирте цайтунг», могли прочесть любопытную заметку: *«Из Парижа сообщают, что портной Тимонье показывает в Вильфранше сконструированную им швейную машину, в реальности которой можно сомневаться, если не видеть ее собственными глазами. Любой ученик может уже через несколько часов научиться шить на ней. Передают, что на этой машине можно делать двести стежков в минуту. Все это и многое другое, известное о конструкции, граничит с фантастикой».*

Но еще за полтора десятка лет до этого сообщения один австрийский портной придумал подобную машину. Увы, к столь необычному изобретению враждебно отнеслись его коллеги — портные, боящиеся конкуренции. Препятствия чинили и недалековидные бюрократы-чиновники. Они требовали от бедного портного неимоверно высокой суммы за патент. Талантливый изобретатель, вконец разорившись, умер в приюте для нищих.

Патент на швейную машину получил в 1846 году амери-

канец Хоу. Знал ли он об аналогичной машине, демонстрировавшейся в том же году во Франции, никому неизвестно. Хоу, можно сказать, сказочно повезло. Его изобретением заинтересовались финансисты США, где в это время бурно развивалась текстильная и швейная промышленности. Изобретатель стал миллионером.

Предприимчивый Зингер наладил серийное производство швейных машин и экспортировал их во многие страны. Марка его стала всемирно известной.

Двести стежков в минуту — эта скорость считалась в прошлом веке фантастической. Сегодня швейные машины делают четыре тысячи стежков в минуту. Задумывался ли кто-нибудь из читателей, как работает швейная машина? А как человек шьет вручную?

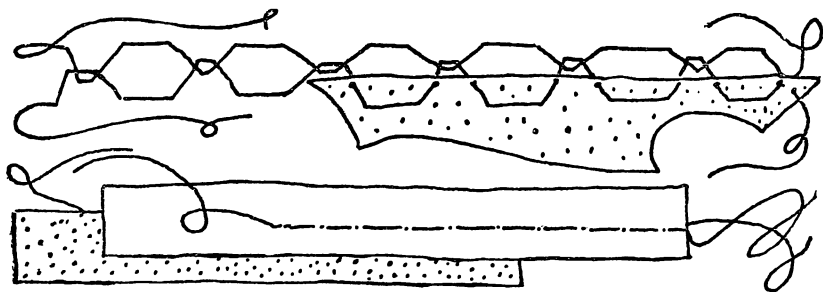
Чтобы сделать стежок, надо проткнуть иголку с одной стороны ткани и вытащить ее с другой стороны. Кроме того, вы еще держите сшиваемую ткань. Значит, последовательность действий должна быть следующей. Одной (обычно правой) рукой вы протыкаете иголку примерно до половины, затем отпускаете иголку, которая удерживается в материале только силой трения, перемещаете руку так, чтобы она оказалась с другой стороны ткани, вытаскиваете иголку и продолжаете движение руки, пока вся нитка не протянется сквозь образовавшееся отверстие. Потом вы протыкаете ткань снизу, переводите руку наверх и вытаскиваете иголку с ниткой уже сверху ткани. Описанная последовательность действий повторяется много раз.

Основная проблема, возникающая при автоматизации подобного технологического процесса, состоит в том, что вряд ли можно мыслить себе станок, в котором рабочий инструмент (игла) хотя бы на некоторое время оказывался полностью свободным, то есть механически не связанным с какими-либо другими деталями станка, как это происходит в то время, пока мы переносим руку от одного конца иголки к другому.

Аналогичная ситуация возникает также в ткацких станках или, если приводить совсем уж современные примеры, в автоматических станках для намотки тороидальных сердечников, широко используемых в радиоэлектронной аппаратуре. В двух последних случаях челнок с ниткой или проводом, пока вы перехватываете, не удержится силой трения, поэтому при ручной намотке сердечников приходится работать двумя руками, а сердечник закрепляется с помощью специального механического приспособления.

Существует и вторая проблема, связанная с длиной нитки, тянущейся за иголкой. Каждый, кому хоть один раз пришлось пришивать себе пуговицу, хорошо знает, что, если взять нитку подлиннее, она обязательно запутается. А если сделать нитку покороче, то пуговицу придется вскоре пришивать заново.

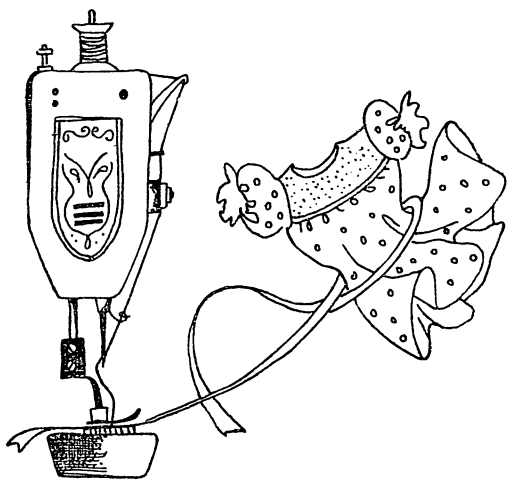
Как же решаются обе эти проблемы в швейных машинах? Начнем с того, что для выполнения шва в машине используется не одна нитка, а две. Каким получается шов, видно из рисунка. Однако если читатель попробует выполнить такой шов вручную, он немедленно убедится, что без перехватывания иголки снова не обойтись.



Швейная машина — это очень сложный механизм, содержащий множество узлов. Посмотрим, как изобразил конструкцию машины художник. Он выделил только те узлы, которые необходимы для описания принципа действия. Одна из двух ниток, составляющих шов, намотана на катушку. Катушка свободно вращается на оси, укрепленной в верхней части машины. Сматываясь с катушки, нитка огибает тормоз, затем поднимается вверх, проходит сквозь ушко нитенатягивающего рычага, снова опускается вниз и проходит сквозь отверстие в иглке.

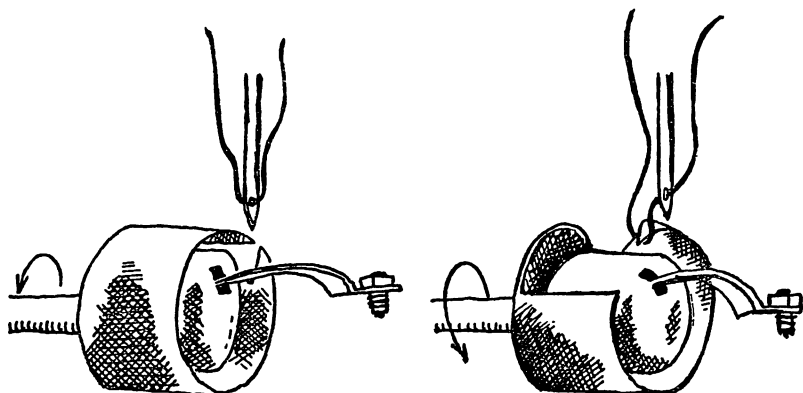
Весьма интересно, что в данном случае отверстие в иглке (ушко) расположено вблизи острия иглки, а не с противоположной стороны, как это делается в иглках, которыми шьют вручную.

Вторая из двух ниток, составляющих шов, намотана на катушку специальной конструкции, называемую шпулькой.



Шпулечный механизм состоит как бы из двух горшков, вложенных один в другой (посмотрите на рисунок). Внешний горшок жестко укреплен на оси и вращается с постоянной скоростью от общего привода швейной машины. Внутренний горшок расположен во внешнем так, что между их стенками имеется зазор — в этот зазор проходит нитка.

Внутренний горшок не вращается. Для того чтобы внешний горшок при своем вращении не увлек внутренний, послед-

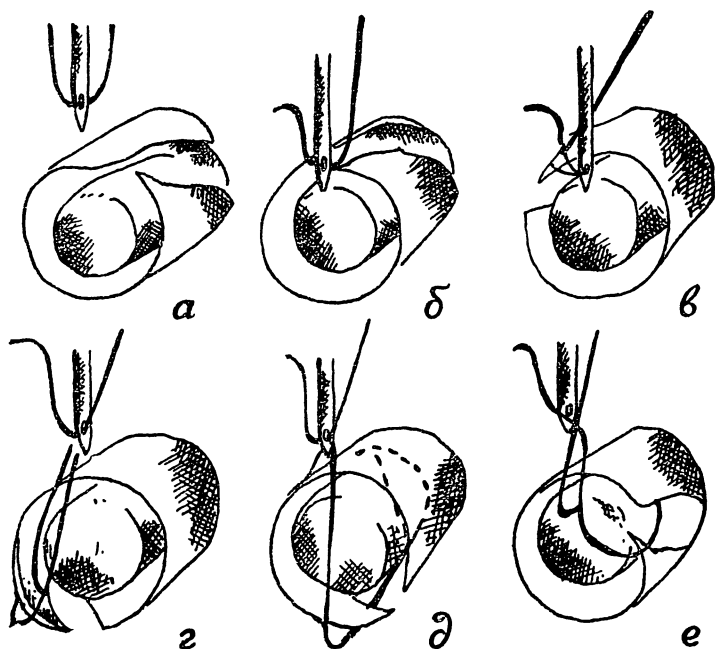


ний удерживается специальным рычагом, конец которого входит в вырез в стенке внутреннего горшка. Но между концом рычага и вырезом опять-таки имеется зазор.

Третий узел, который представляет для нас интерес, это столик, на который кладется сшиваемый материал. В столике имеются специальные направляющие, передвигающие ткань после каждого стежка. Кроме того, в столике имеется отверстие, сквозь которое проходит иглолка. Рабочий столик хорошо виден на рисунке.

Для того чтобы понять, как работают все эти узлы, посмотрим на следующий рисунок, где показано несколько промежуточных положений основных деталей механизма швейной машины. На рисунке *а* иглолка и нитенатягивающий рычаг находятся в своих верхних положениях. Это и есть исходное положение.

Начиная с исходного положения, иглолка движется вниз,



протыкает сшиваемую ткань и занимает крайнее нижнее положение. Заметим, что все время, пока двигалась иголка, нитенатягивающий рычаг оставался неподвижным в верхнем положении. Внешний горшок шпулечного механизма повернулся при этом на некоторый угол. Положение всех деталей после завершения описанных действий показано на рисунке б.

Из положения б иголка начинает подниматься, а нитенатягивающий рычаг опускается. Это приводит к тому, что нитка, проходящая сквозь ушко иголки, освобождается и образует небольшую петлю. В эту петлю входит зуб, который имеется на внешнем горшке. Положение всех деталей механизма, соответствующее только что описанным действиям, показано на рисунке в.

Далее иголка продолжает подниматься, а нитенатягивающий рычаг — опускаться. Свободная петля нитки увеличивается, и ее увлекает за собой зуб внешнего горшка (смотри рисунок г). Часть петли при этом входит внутрь внешнего горшка и огибает внутренний. Положение деталей механизма, соответствующее крайнему верхнему положению иголки и крайнему нижнему положению нитенатягивающего рычага, показано на рисунке д.

Теперь иголка остается неподвижной, нитенатягивающий рычаг начинает подниматься вверх, а внешний горшок шпулечного механизма вместе с зубом продолжает вращаться. Петля нитки, увлекаемая зубом, продолжает охватывать внутренний горшок. Одно из промежуточных положений деталей показано на рисунке е.

Когда внешний горшок шпулечного механизма совершает примерно три четверти оборота, петля нитки, захваченная зубом, освобождается. Благодаря действию нитенатягивающего рычага, который продолжает двигаться вверх, она вытягивается из внутренней полости внешнего горшка. Процесс завершается, когда все детали снова оказываются в положении, показанном на рисунке а.

Легко видеть, что весь описанный процесс привел к получению нового стежка, потому что внутренний горшок вместе с заключенной в нем шпулькой был как бы проташен сквозь петлю верхней нитки.

На самом деле все, конечно, происходит наоборот. Внутренний горшок остается неподвижным, а петля нитки, увлекаемая зубом внешнего горшка, огибает его, как бы пропуская сквозь себя.

Конечно, это весьма упрощенное описание работы механизма швейной машины. Реальный механизм содержит, кроме того, большое количество фигурных деталей — отражателей, направляющих движение петли нитки так, чтобы она не запутывалась. Нитка, сматываемая со шпульки, удерживается специальной тормозной пружиной, которая обеспечивает правильное натяжение нити.

Совместное действие всех деталей, показанных и не показанных на наших рисунках, приводит к тому, что каждый участок нитки описывает чрезвычайно сложную траекторию, а результатом всего этого является то, что шпулька, расположенная во внутреннем горшке, вместе с внутренним горшком проходит сквозь петлю.

Рассказ третий

ВЕРХОМ НА ПУШЕЧНОМ ЯДРЕ

САМЫЙ ПРАВДИВЫЙ ЧЕЛОВЕК НА СВЕТЕ

Размышлять о вещах нам часто помогают литературные герои, и в первую очередь дети. Оно и понятно — ведь любая, даже самая простая вещь, какая-нибудь палочка или камушек, таит в себе бесчисленное множество разнообразнейших и подчас совершенно неожиданных свойств. Но вещи молчаливы. Сами они не рассказывают о себе. Вещь начинает говорить лишь тогда, когда она сталкивается с человеческим разумом. И чем больше любопытства в этом разуме, чем меньше он находится в плену привычных понятий и представлений, тем больше рассказывают вещи.

Мир взрослых скучен. О чем, например, может думать взрослый человек, глядя на чайную ложечку? Да ни о чем. Он просто размешивает ею сахар в чае или ест варенье. А вот Никита из «Детства Никиты» Алексея Толстого долго глядел на чайную ложечку и думал, что если сломать ее пополам, то из одной части получится лодочка, а из другой ковырялка — чего-нибудь ковырять.

Или чайник. Кто из нас станет размышлять о чайнике? А вот английский изобретатель Джеймс Уатт, правда, не литературный, а настоящий, по свидетельству биографов, будучи мальчишкой, любил подолгу наблюдать, как подпрыгивает у кипящего чайника крышка. Со временем эти размышления привели его к изобретению паровой машины. Целый мир неожиданных вещей открывает нам жюльверновский Сайрус Смит, герой «Таинственного острова».

Но кто может помочь любознательному читателю лучше самого правдивого человека на свете — барона Мюнхгаузена? Его помощь понадобится нам не раз. А пока вспомним, как лихо он слетал в неприятельский лагерь верхом на пушечном ядре и тем же способом вернулся обратно.

В первом рассказе мы «изобрели» телегу. Мы сделали все возможное, чтобы, перевозя груз из пункта А в пункт Б, затратить минимум усилий. Во втором рассказе с помощью клина мы научились поднимать тяжелые вещи, опять-таки затрачивая минимум усилий. Но ведь и минимум усилий не всегда хочется затрачивать, да дело не только в усилиях.

Представьте себе, что вы живете в Москве где-нибудь в районе Северного Измайлова, а ваш приятель — в Медведково. Расстояние между этими районами — около тридцати километров. Пусть груз — тот, который надо переместить, — ваше собственное тело. С телегой или без нее вы затратите на преодоление пути около шести часов. И это в пределах одного города. Мало что изменится, если запрячь в телегу лошадь.

Читателю уже стало ясно, к чему мы клоним. Мы хотим поставить на телегу двигатель, чтобы преодолевать расстояние побыстрее и, по возможности, без затраты сил. Не нам первым пришла в голову такая мысль. Наши соотечественники, уральские механики отец и сын Черепановы, не только придумали, но и осуществили свою идею в 1833 году. То же самое, лишь немного раньше (в 1829 году), сделал англичанин Стефенсон. Современники Стефенсона не сразу приняли подобное новшество. У многих появление самодвижущихся телег вызвало беспокойство и даже страх. В Англии был издан специальный закон, согласно которому разрешалось пользоваться паровозом лишь при условии, что перед движущейся машиной будет идти человек с фонарем.

Нам тоже не очень нравится паровоз, точнее, сама идея устанавливать на телегу паровой двигатель. Мы даже не станем описывать, как работает паровая машина. А объяснить, почему, собственно, она нам не нравится, по-видимому, придется.

Двигать телегу — значит выполнять механическую работу. Паровая машина использует для совершения работы тепловую энергию, выделяющуюся при сгорании топлива. Например, при сжигании килограмма дров выделяется две тысячи килокалорий, а при сгорании килограмма бензина — в пять раз больше (до одиннадцати тысяч килокалорий).

Вопрос в том, как тратятся эти калории. Топливо, сжигаемое в топке парового двигателя, сначала нагревает воду

в котле. Правда, нагревается не только вода, но также стенки котла и окружающий воздух. Часть, и довольно большая, полученной при сгорании энергии уходит, таким образом, буквально на ветер. Недаром известный немецкий ученый Нернст говорил, что, если бы ему пришлось заняться сельским хозяйством, он стал бы разводить рыб, а не кур или других теплокровных животных. Температура тела курицы выше температуры окружающей среды. Значит, определенная часть корма тратится на то, чтобы нагревать атмосферу.

Но пойдем дальше. Полученный в результате нагревания воды пар передается по трубам к паровой машине. Трубы при этом нагреваются и тоже отдают часть тепла в атмосферу. После использования в цилиндре паровой машины пар, имеющий еще достаточно высокую температуру, выбрасывается в атмосферу или в специальный холодильник. Опять потери. Лишь совсем немного, не больше десяти процентов энергии, полученной при сжигании топлива, превращается в полезную работу.

Поневоле задумаешься: нельзя ли сократить столь длинный путь и сжигать топливо именно там, где получается работа? И сразу в голову приходит Мюнхгаузен с его идеей путешествия верхом на пушечном ядре.

ВЫДУМЫВАЕМ ПОРОХ

«Этот пороха не выдумает!» — говорят о людях, не отличающихся живостью ума. Ну, а кто выдумает? История не донесла до нас имен первых изобретателей пороха. Известно, что в Европе порох появился в XIV веке, когда монах-францисканец Бертольд Шварц, посаженный в тюрьму за колдовство, продолжая свои опыты, получил состав огромной разрушительной силы. Однако еще в VII веке порох был известен в Египте, а еще раньше рецепт его из Индии попал в Китай.

Современные взрывчатые вещества — это довольно сложные химические соединения, и нам ни к чему разбираться в их составе. А вот первый, так называемый дымный порох представлял собой просто смесь трех веществ: серы, селитры и угольного порошка. Смесь из серы и угля сгорает, отдавая при этом большое количество тепла. А селитра при нагревании разлагается, выделяя кислород, необходимый для горе-

ния. Именно поэтому порох может гореть в закрытом сосуде без воздуха. Сгорает он не очень быстро по сравнению с некоторыми взрывчатыми веществами и все же достаточно быстро по сравнению, скажем, с дровами в печке. Например, заряд пороха, заключенный в винтовочном патроне, полностью сгорает за 0,023 секунды.

Перейдем теперь к пушке. Пушка — это полый цилиндр, который принято делить на две части: большая часть его называется стволом, а небольшой участок самой задней части цилиндра — казенной частью, казенником. Казенник закрывается прочной, герметической крышкой — затвором. Перед тем как закрыть затвор, в цилиндр помещают снаряд или ядро, коль уже мы решили повторить опыт Мюнхгаузена, а затем заряд или гильзу, заполненную порохом.

Затвор закрывается, и порох поджигают с помощью специального капсюля. В результате сгорания пороха образуется большое количество газов, нагретых до очень высокой температуры. Горячие газы имеют огромное давление. Они давят на доньшко снаряда и с большой скоростью выбрасывают его из ствола.

Вот так в пушке решается задача перемещения груза (снаряда) из пункта А в пункт Б. Для современных орудий расстояние между пунктами А и Б может составлять десятки километров.

Самое главное для нас то, что в пушке топливо сжигается именно там, где совершается работа. Лишь сравнительно небольшая часть тепловой энергии затрачивается на нагревание ствола. Правда, еще некоторая часть энергии тратится на так называемую отдачу. Ведь газы давят не только на дно снаряда, но и в противоположную сторону — на затвор. В результате ствол орудия после выстрела откатывается назад. И все же коэффициент полезного действия пушки значительно выше, чем у паровой машины.

Очень заманчиво использовать пушку для транспортировки грузов. Но мы не станем, следуя Мюнхгаузену, садиться верхом на артиллерийский снаряд. Не будем делать этого хотя бы потому, что тогда нам никак не удастся использовать колесо. А колесо — читатель уже давно это понял! — неменный герой наших рассказов.

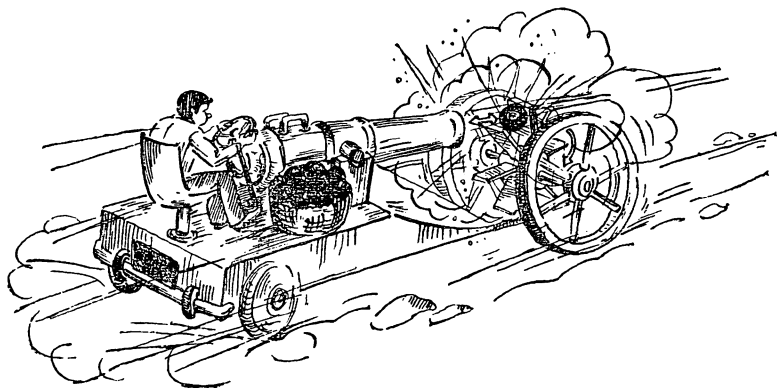
Попробуем найти какой-нибудь иной выход.

Марк Твен писал, что в жизни каждого человека наступает период, когда он безудержно начинает искать клады. В наш технический век многое изменилось. Теперь в жизни каждого человека наступает период, когда ему безудержно хочется что-нибудь изобрести. Не миновал этот период и нас. Поэтому мы смело предлагаем читателю наш проект самодвижущегося экипажа под названием ПУШКОМОБИЛЬ. Устройство пушкмобиля настолько просто (этим мы очень гордимся) и ясно из рисунка, что нам почти нечего добавить.

На оси больших передних ведущих колес точно посередине между ними укреплено колесо с лопатками наподобие ветряной мельницы. Сзади экипажа установлена пушка, стреляющая ядрами.

Стреляем из пушки. Ядро ударяется в лопатку колеса, колесо крутится, и мы несемся по дороге. Запас ядер хранится в предусмотрительно укрепленной сзади экипажа корзине. При желании все колеса экипажа можно снабдить резиновыми шинами. Чтобы менять направление, надо поворачивать с помощью руля задние колеса.

Можно было бы снабдить машину кузовом современной обтекаемой формы. Но, как любят говорить некоторые изобретатели, наше дело предложить идею, а остальное пусть делают инженеры. И не надо указывать нам на недостатки, например на то, что ядро, отскочив от лопатки (мы по-прежнему свято чтим третий закон Ньютона), может попасть в лоб



водителю. Пусть инженеры рассчитывают конструкцию настолько точно, чтобы ядро, отскочив от лопатки, попадало обратно в ствол пушки. Тогда, кстати сказать, не понадобится и запас ядер в корзине.

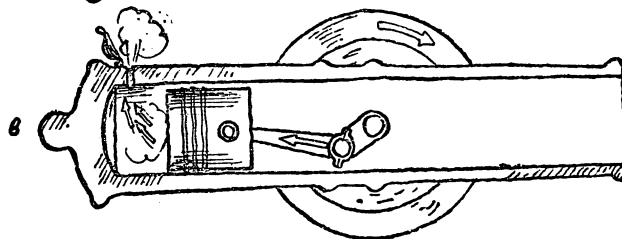
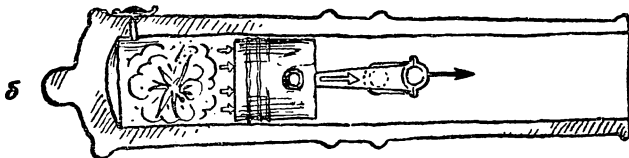
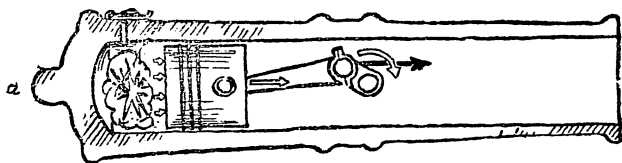
Стоп! А ведь это, пожалуй, опять хорошая мысль. Видите, что значит прислушаться к критике? Правда, тут не совсем сходятся концы с концами. Порох, сгорая, передает часть своей энергии ядру. Ядро приобретает кинетическую энергию, долетает до лопатки, ударяется о нее и опять-таки передает часть кинетической энергии колесу, а следовательно, экипажу. Значит, обратно оно полетит уже с меньшим запасом энергии и может не долететь до ствола.

И все же постараясь думать дальше. Во-первых, совсем не обязательно, чтобы ядро вылетало из ствола. Достаточно упереть в ядро палку, а второй конец палки упереть в лопатку колеса. Заряд пороха подбирать таким, чтобы силы взрыва хватило лишь на продвижение ядра на относительно небольшое расстояние внутри ствола. Правда, теперь вместо запаса ядер нам понадобится запас палок. И опять же остается нерешенным вопрос: как затолкать ядро на место перед следующим взрывом?

Но зачем все изобретать самим? Давайте воспользуемся еще одним замечательным изобретением человечества, так называемым кривошипом. Конструкция пушкостолика с кривошипом показана на рисунке. Мы не изобразили на рисунке всякие второстепенные детали, как, например, колеса или сиденье водителя. Но все то, что касается собственно двигателя, показано как можно более подробно. Поэтому пушка и нарисована в разрезе.

Ядро в новом пушкостолике имеет форму не шара, а полого цилиндра с доннышком, и называется он поршнем. Ствол пушки из-за его формы мы будем называть цилиндром. Внутри поршня расположена ось или, как ее называют, палец. Роль палки, использованной в предыдущей конструкции, играет стержень с двумя отверстиями на концах. Этот стержень называется шатуном. Одно отверстие шатуна надето на палец поршня, а другое — на кривошип. Что это именно кривошип, вы уже, конечно, догадались сами.

Ну-ка, посмотрим, что происходит (рисунок а). Поджигаем пороховой заряд, расположенный за поршнем. Заряд вспыхивает, образуются горячие газы, и своим давлением они толкают поршень вперед. Сила давления газов через шатун передается кривошипу. Посмотрите, как направлена эта



сила. Она явно стремится повернуть ось кривошипа, а вместе с ней и не показанные на рисунке колеса.

Казалось бы, все в порядке. Но подождем радоваться. Поворачиваясь, кривошип рано или поздно займет положение, показанное на рисунке б. Теперь сколько ни стреляй, сила давления газов, передаваемая через шатун кривошипу, а точнее, направление действия этой силы будет проходить через ось кривошипа. А мы не раз убеждались (вспомните анкерный ход), что сила, направленная таким образом, не вызывает никакого действия. Она лишь уравнивается равной ей и противоположно направленной силой, с которой подшипники давят на ось кривошипа.

Мы в буквальном смысле этого слова уперлись в кривошип. Где искать помощи? Ну конечно, у колеса. Поистине неисчерпаемо это колесо! Рассматривая часы с балансом, мы установили, что вращающееся колесо обладает запасом кинетической энергии. Причем этот запас тем больше, чем больше масса колеса, или, попросту, чем колесо тяжелее. Однажды раскрутив тяжелое колесо, мы сообщаем ему запас

кинетической энергии, а потом можем использовать его на что-нибудь полезное.

Колеса, специально предназначенные для запасаения энергии, называют маховиками. Утверждают, что маховик был изобретен одновременно с колесом. Но мы уже договорились не вмешиваться в споры археологов. Давайте лучше возьмем тяжелое колесо — маховик — и насадим его на ось кривошипа. Новая конструкция показана на рисунке в.

Стреляем. Давление газов через поршень, шатун и кривошип раскручивает маховик. К моменту, когда кривошип окажется в положении, так смутившем нас раньше (это положение действительно не из лучших, поэтому в технике оно получило название мертвой точки), маховик как раз приобретает максимальную скорость и, следовательно, получает наибольший запас кинетической энергии. Благодаря наличию этой энергии, или, как говорят, по инерции, маховик продолжает вращаться. Посмотрите на рисунок: теперь уже кривошип давит на шатун и шатун заталкивает поршень обратно в цилиндр.

Но хватит ли нам запаса кинетической энергии, накопленной в маховике? Ведь какую-то часть ее надо расходовать и на движение экипажа. Не беспокойтесь, хватит. Пока мы вели рассказ, газы в цилиндре успели охладиться, а давление холодных газов во много раз меньше, чем горячих, и сжать их гораздо легче.

Можно поступить еще проще. Наш цилиндр, хоть мы его и называли цилиндром, по-прежнему — пушка. А у пушки сзади затвор. Как только поршень начнет двигаться назад, откроем затвор, и газы, даже если они не совсем охладились, спокойно выйдут наружу. Будем держать затвор открытым до тех пор, пока поршень не займет крайнего заднего положения. Это положение тоже, кстати, представляет собой мертвую точку, но с маховиком нам не страшны никакие мертвые точки.

Не станем закрывать затвор еще некоторое время. Быстренько насыплем порох и вот теперь только закрываем. Пока мы насыпали порох, поршень успел продвинуться немножко вперед, и шатун с кривошипом вышли из мертвой точки. Пора производить выстрел, что мы и делаем. Теперь даже самый строгий критик не придерется к конструкции нашего пушкмобиля.

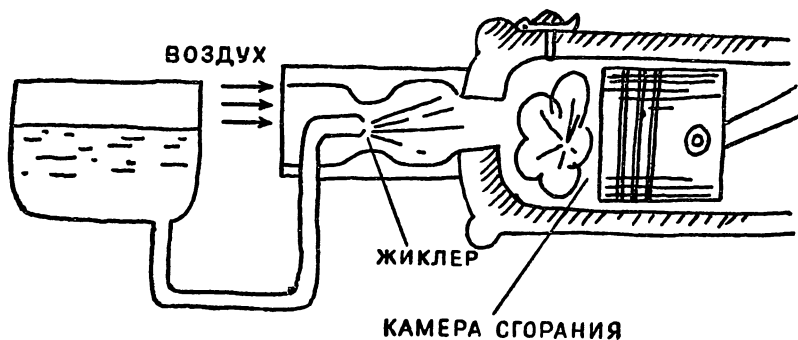
Вот только порох! Если хранить запас пороха в той самой корзине, которую мы сначала приспособили под ядра, то во-

датель пушкoмобиля будет сидеть, в буквальном смысле этого слова, на пороховой бочке. Но и здесь, конечно, есть выход. Всем ясно, что порох — это не единственное вещество, способное гореть, давая продукты сгорания — горячие газы. Тем же свойством обладает, к примеру, обыкновенный бензин. Но бензин требует для горения кислород. Вот мы и будем заполнять казенную часть пушки, или, как мы ее уже называли по-новому, цилиндра, смесью паров бензина с воздухом. Кстати, именно поэтому нам особенно удобен бензин, который легко испаряется.

Давайте окончательно распрощаемся с пушкой, убрав из нее затвор. Сделаем заднюю стенку цилиндра сплошной и немножко выпуклой. Выпуклой она должна быть для того, чтобы осталось свободное пространство, которое заполнится бензином, когда поршень перейдет в крайнее заднее положение. Это пространство так и называется — камера сгорания.

Для того чтобы камеру сгорания заполнять горючей смесью, просверлим в ней небольшую дырку. С наружной стороны к ней прикрепим трубку. Все это показано на рисунке. Кажется бы, нам осталось выполнить две довольно сложные операции: смешать пары бензина с воздухом в нужной пропорции и каким-то образом затолкать эти пары в камеру сгорания.

Но, оказывается, как раз об этом-то мы можем заботиться меньше всего. Нужно только знать и разумно использовать свойства газа. Посмотрим еще раз на рисунок и представим себе, что под действием маховика (все того же спасительного колеса!) поршень движется вперед. Или, точнее, слева направо, если смотреть на рисунок. Пространство за



поршнем остается пустым. Пустым в полном смысле этого слова. Но, как известно, природа не терпит пустоты. Поэтому под действием атмосферного давления в пространство за поршнем через трубку начнет врываться воздух.

В трубке создастся поток воздуха, движущегося с большой скоростью. Мы ведь собираемся ездить на нашем пушкoмoбилe быстро. Тогда нам придется вспомнить одно известное физикам свойство газа: в газовой струе давление всегда ниже, чем в окружающем неподвижном газе; чем больше скорость в струе, тем меньше давление.

В учебниках по физике и в научно-популярных книжках описывается множество опытов, подтверждающих это обстоятельство. Например, если небольшую трубку изогнуть так, чтобы конец ее торчал вертикально вверх, на отверстие трубки, смотрящее вверх, положить легкий шарик и подуть в другой конец трубки, то шарик подпрыгнет над отверстием, но не отклонится в сторону, а будет все время приплясывать на одном месте. Происходит это потому, что в струе давление меньше и более высокое давление окружающего воздуха не выпускает шарик из струи. Можно сделать иначе. Привязать шарик на нитку и придвинуть его к струе воздуха, выходящего из трубки, — шарик сразу втянется внутрь.

Нам осталось совсем немного. Вставим внутрь большой воздушной трубы маленькую трубку, изогнув ее так, как показано на рисунке. Трубку соединим с резервуаром, в который налит бензин. Установим резервуар так, чтобы уровень бензина в трубке как раз доходил до ее отверстия, но не переливался через него. Вот и вся премудрость.

Когда поршень движется слева направо, в воздушной трубе создается ток воздуха, давление падает и струя втягивает в себя бензин из маленькой трубки. Бензин сразу испаряется, поэтому в цилиндр поступает бензино-воздушная смесь. Нужно лишь так подобрать диаметр отверстия в маленькой трубке, чтобы бензина поступало именно столько, сколько надо: примерно одна часть на две части воздуха. Маленькая трубка называется жиклером, а вся конструкция вместе — карбюратором.

Нас поджидает еще одна трудность. Бензиновые пары в воздухе при атмосферном давлении сгорают очень быстро. Мы в этом легко убедились бы, если бы поднесли горящую спичку к открытой горловине бензобака. Но ни в коем случае не надо этого делать. Лучше просто поверить нам, что бензино-воздушная смесь при атмосферном давлении горит быст-

ро, но все-таки значительно медленнее, чем порох. Оно и понятно: порох твердый, а бензино-воздушная смесь все-таки газ.

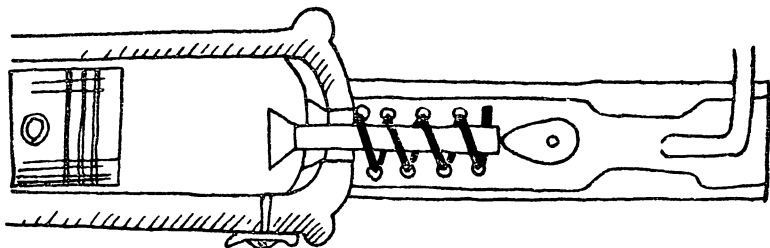
Процесс будет происходить значительно быстрее, и двигатель разовьет гораздо большую мощность, если смесь перед нагреванием сжать. Казалось бы, новое препятствие, а на самом деле — нет. Давайте разбираться.

Цилиндр полностью заполнится бензино-воздушной смесью, когда поршень окажется в крайнем правом положении. Стрелять или, иначе, поджигать бензино-воздушную смесь в этот момент бессмысленно. Кривошип находится в мертвой точке, и никакой пользы от взрыва не будет. Приходится опять обращаться к маховику. Пусть уж он еще немного потрудится, сделает пол-оборота и вернет нам поршень в крайнее левое положение.

Вот теперь самый момент поджигать: и бензино-воздушная смесь сжата и поршень на месте. Зажигаем. Поршень под давлением горючих газов устремляется вперед, но часть газов при этом вырывается назад через воздушную трубку да еще пролетает мимо трубки с бензином. Нехорошо. Надо думать дальше.

Прикроем отверстие в задней стенке круглой пластинкой. К пластине приделаем стержень и пружинку так, как показано на рисунке. Чтобы края пластинки плотно прилегали к краям отверстия, сточим их... ну, конечно же, на клин. Совсем новый, круглый, но все же хорошо знакомый нам клин. Точно такую же форму придадим и краям отверстия.

Теперь все в порядке. Когда надо засосать в цилиндр бензино-воздушную смесь, то есть когда поршень движется слева направо, нажимаем на стержень (кстати, этот стержень называется стеблем, а вся конструкция — клапаном) — и цилиндр свободно заполняется смесью. Поршень стал двигаться справа налево; отпускаем стержень, и клапан закры-



вается. Он остается закрытым и после того, как мы поджигаем смесь.

Вся энергия, выделившаяся в результате сгорания бензина, будет использована на то, чтобы придать поршню, а вместе с ним через шатун и маховику необходимую скорость. Маховик раскрутился и готов к дальнейшим действиям. Первое, что ему предстоит, это вернуть поршень в крайнее левое положение. Хорошо бы заодно очистить цилиндр от продуктов сгорания. Это можно было бы сделать, снова нажав на стембель и открыв клапан. Но не совсем хорошо, когда продукты сгорания проходят через карбюратор мимо трубки с бензином. Поэтому сделаем в задней стенке цилиндра второй клапан точно так же, как первый.

Наконец-то мы полностью завершили новую, усовершенствованную конструкцию пушкмобиля. Существенно облегчилась и задача водителя. Что должен делать водитель? Начнем с самого начала, то есть представим себе, что пока ничего не происходит. Пушкмобиль стоит на месте, а поршень находится в крайней левой мертвой точке. В бак, конечно, залит бензин. Водитель сидит на своем месте. Правда, на первых порах придется немножко помочь водителю. Подойдем к пушкмобилю и слегка подтолкнем его сзади. Пушкмобиль двинется вперед, колеса, а вместе с ними и маховик начнут вращаться, поршень в цилиндре пойдет в направлении слева направо. Теперь водитель должен не мешкать и нажать на клапан. Клапан открыт, и цилиндр заполняется бензино-воздушной смесью. Так продолжается до тех пор, пока маховик не поворачивается точно на пол-оборота и цилиндр не заполняется полностью.

Все, что происходит в течение половины оборота маховика, называется тактом. Пока что мы рассмотрели первый такт работы двигателя пушкмобиля, который называется тактом всасывания или просто **ВСАСЫВАНИЕМ**.

Продолжаем подталкивать пушкмобиль. Маховик вращается, а кривошип через шатун передвигает поршень справа налево. Водитель не зазевался и вовремя отнял палец от стембля клапана. Клапан закрыт, и бензино-воздушная смесь постепенно сжимается в цилиндре, пока вся не оказывается в сжатом виде в камере сгорания. Этот такт называется тактом сжатия или просто **СЖАТИЕМ**.

В конце такта сжатия водитель, опять-таки не зазевавшись, должен поджечь бензино-воздушную смесь. Как? Это мы тоже предусмотрели. В самом центре задней стенки ци-

линдра укреплена фарфоровая втулка, а через нее пропущена проволочка. Против конца этой проволочки имеется другая проволочка, соединенная с металлическим корпусом цилиндра. Водителю остается подсоединить к цилиндру и концу проволочки, выступающей из фарфоровой втулки, источник высокого напряжения — примерно пятнадцать — двадцать тысяч вольт. Между концами проволочек внутри цилиндра проскакивает искра — и бензино-воздушная смесь взрывается.

Теперь мы можем с чистой совестью отойти от пушккомобиля. Силы взрыва хватит и на то, чтобы пушккомобиль продолжал двигаться, и на то, чтобы накопить в маховике необходимый запас кинетической энергии. Движение поршня под действием давления газов совершается в течение третьего, так называемого РАБОЧЕГО такта.

В конце рабочего такта водитель нажимает на стебель второго клапана. Под действием маховика цилиндр движется справа налево, и продукты сгорания, или, как их иначе называют, отработавшие или выхлопные газы, выбрасываются наружу. Четвертый, и последний, такт называется ВЫХЛОПОМ.

Четыре такта: всасывание, сжатие, рабочий ход и выхлоп. В их честь двигатель пушккомобиля получил название четырехтактного. После завершения четвертого такта снова начинается всасывание, и так далее. За четыре такта водитель должен два раза нажимать на клапаны и один раз замкнуть электрический контакт для поджигания смеси.

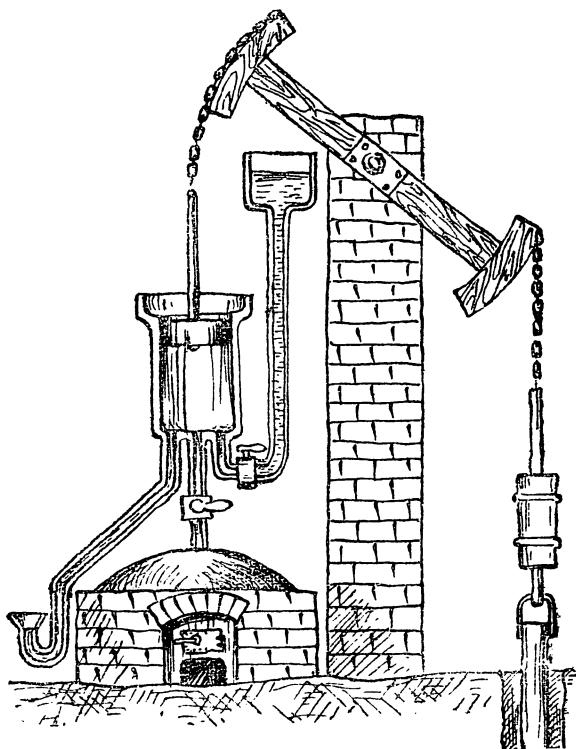
Читатель, наверное, давно задает себе вопрос: почему мы продолжаем называть описываемую нами конструкцию пушккомобилем, когда ясно, что речь идет о хорошо всем известном четырехтактном двигателе внутреннего сгорания? А вот и нет! Хотя пушка уже не пушка, а цилиндр; ядро — не ядро, а поршень и взрывается в пушке не порох, а бензино-воздушная смесь, — но заряжает эту бензиновую пушку, стреляет из нее, выбрасывает стреляные, то бишь выхлопные, газы по-прежнему человек, правда, с некоторым содействием маховика.

Вряд ли можно позавидовать этому человеку! Предположим, что диаметр передних колес пушккомобиля чуть больше тридцати сантиметров, а ехать мы хотим с относительно небольшой скоростью — тридцать шесть километров в час. В таком случае водитель должен нажимать на клапаны и поджигать смесь десять раз в секунду. А надо еще и за дорогой следить!

Подумаем, как помочь водителю. Размышления приводят нас совсем к другой истории, которая произошла в Англии в начале XVIII века. В ту пору были распространены так называемые паровые машины Ньюкомена, использовавшиеся главным образом для откачки воды из угольных шахт.

Машина Ньюкомена имеет очень много общего с двигателем пушкмобиля. У нее есть и цилиндр, и поршень с шатуном и кривошипом, и маховик. Отличие лишь в том, что вместо бензино-воздушной смеси пространство цилиндра за поршнем заполнялось горячим паром из парового котла. Пар впускался по трубе, а для того чтобы его можно было впускать лишь тогда, когда нужно, труба снабжалась краном.

Вместо того чтобы выпускать отработанный пар из цилиндра, цилиндр просто поливали холодной водой. Пар охлаждался, превращался в воду, и объем его резко умень-



шался. А холодная вода для поливания цилиндра поступала из особого бака по трубке, тоже снабженной краном.

Управлял работой машины Ньюкомена человек. Он глядел на кривошип и в нужные моменты открывал и закрывал краны. Работа простая и скучная. Поэтому владельцы угольных шахт для выполнения ее обычно нанимали мальчишек.

Представьте себя на месте такого мальчишки. Четырнадцать часов в день (да-да, четырнадцать! Такова была продолжительность рабочего дня в те времена) только и делай, что смотри на кривошип да открывай краны. Зазевался — окрик мастера, а то и оплеуха. А вокруг — мир, полный неизведанных чудес. И вот один такой английский мальчишка, звали его Гемфри Поттер, совершил поступок, которому до сих пор не могут надивиться маститые ученые в разных странах. Создатель кибернетики Норберт Винер, рассуждая о поступке Гемфри, вывел даже целую теорию о том, что лень является матерью большинства изобретений.

Не будем спорить с великими. Хотя, на наш взгляд, здесь сыграла роль не столько лень, сколько свойственная всем мальчишкам живость характера. Вернемся лучше к самому поступку. Он был до удивления прост. Гемфри связал веревкой кривошип с краном. Машина спокойно продолжала работать, а Гемфри, наверное, убежал гонять голубей, а может быть, крутить за веревочку дохлую крысу. Вот и вся история.

Нам тоже остается сделать не много: соединить веревочками кривошип пушкотила с клапанами и контактами. Конечно, в настоящем двигателе внутреннего сгорания никаких веревочек нет. Но важна идея. Да-да, есть идеи, умолчать о которых просто невозможно. Пожалуй, наиболее всеобъемлющая из них — и не только в технике, а повсеместно, во всем, что создает человек, — это идея обратной связи.

В простейшем случае можно рассуждать так. Человек идет домой, а квартира его расположена, скажем, на двенадцатом этаже. При желании он может подняться на двенадцатый этаж пешком по лестнице. Тут все понятно, хотя не каждому совершать такое физическое упражнение доставляет большое удовольствие.

Можно воспользоваться лифтом. Представьте себе лифт, в котором вместо привычных кнопок есть рычаг с тремя положениями: «вверх», «вниз», «стоп». Вы входите в кабину, аккуратно закрываете за собой двери и переводите рычаг в положение «вверх». Лифт начинает двигаться, а вы внимательно смотрите в окошечко. Когда против него оказывается циф-

ра «12», вы переводите рычаг в положение «стоп» и кабина останавливается. Такие лифты существуют еще и до сих пор во многих европейских городах. Управление рычагом требует определенных навыков, поэтому в лифтах с рычагами обычно работают лифтеры.

Что здесь важно? Вместо затраты своей мускульной энергии вы используете какой-нибудь другой вид энергии, например электричество. Электрическая энергия с помощью электродвигателя преобразуется в механическую энергию вращения барабана. На барабан наматывается трос, и этот трос поднимает кабину лифта.

Итак, функция совершения механической работы передается от человека к двигателю. А вот другую функцию — функцию управления — человек полностью оставляет за собой. Он следит за положением кабины и в нужный момент совершает управляющее действие — переводит рычаг в положение «стоп».

В современных лифтах все происходит иначе. На каждом этаже установлены электрические контакты, которые размыкаются, когда кабина оказывается на нужном этаже. Нажимая кнопку с номером 12, вы вводите в действие электрическую цепь контакта двенадцатого этажа. Кабина поднялась на двенадцатый этаж, цепь разомкнулась, двигатель остановился. Здесь мы выделяем два различных действия. Прямое совершается человеком — он нажимает кнопку и тем самым включает двигатель. Обратное действие выполняет система, которая «следит» за положением кабины. Когда кабина оказывается на двенадцатом этаже, она сама нажимает на контакты, вызывая тем самым остановку двигателя. Обратное действие совершается цепью обратной связи.

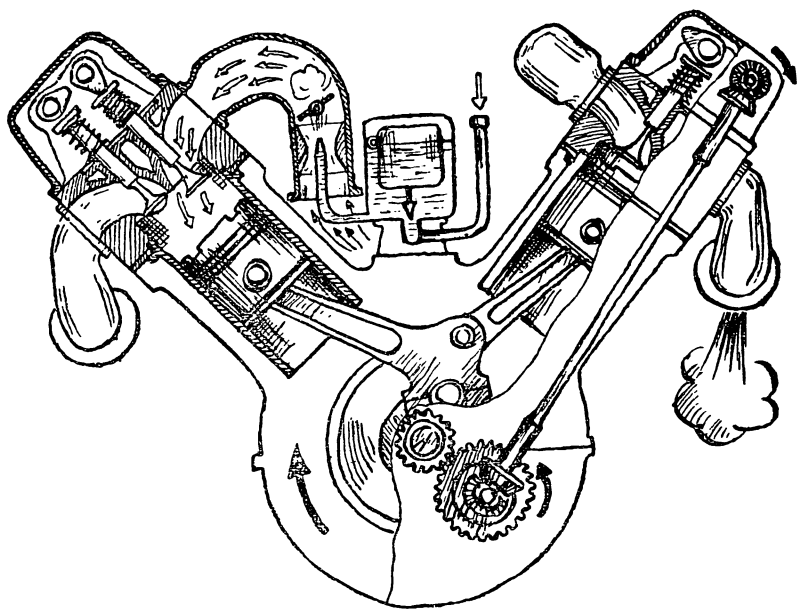
Пока все достаточно просто. Но можно привести и другой пример. Вы подходите к картине неизвестного художника. При беглом осмотре картина вам понравилась, и вы начинаете смотреть на нее внимательно. При более внимательном рассмотрении вы открываете мелкие детали, которые делают впечатление от картины более полным и усиливают чувство восхищения произведением искусства. Все это заставляет вас смотреть на картину еще более пристально. Снова обратная связь.

И, наконец, последний пример. Актер произносит со сцены пламенный монолог. Зрительный зал покорен. Актер видит, как блещут глаза зрителей, чувствует их напряженное внимание, и это заставляет его играть еще более вдохновенно.

Изучением действия обратных связей не только в машинах, но и в живых организмах занимается наука кибернетика. Мы с удовольствием продолжили бы беседу об обратных связях, но не станем отвлекаться от нашей темы. А коль так, посмотрим на рисунок, где художник изобразил нам полную конструкцию бензинового двигателя внутреннего сгорания.

Почти все на рисунке нам знакомо. Два цилиндра, поршни, кривошип, на оси которого насажен маховик, трубка, по которой от карбюратора подается горючая бензино-воздушная смесь, клапан, который, открываясь, позволяет очистить цилиндр от продуктов сгорания (он называется впускным), и, наконец, трубка (выхлопная), через которую продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Новыми для нас на рисунке являются лишь две пары шестерен и два кулачка.

Кстати, кулачок — это снова колесо. Но колесо не круглое, а почти круглое — с выступом. Когда кулачок поворачивается выступом вниз, выступ нажимает на стебель клапана, и клапан открывается. Вместо веревки Гемфри Поттера функции обратной связи выполняют шестеренки и кулачки.



Зачем понадобились шестеренки? Давайте подумаем. За время полного рабочего цикла поршень два раза путешествует вниз (всасывание и рабочий ход) и два раза вверх (сжатие и выхлоп). Кривошип вместе с насаженным на его ось маховиком совершает за это время два полных оборота. Значит, если бы мы укрепили кулачок на оси кривошипа, каждый из клапанов открывался бы за время цикла два раза. А нужно, чтобы каждый клапан открывался только один раз: впускной — во время такта всасывания, выпускной — на время такта выхлопа. На каждые два оборота маховика вал с кулачком должен совершать всего один оборот. Поэтому, как хорошо видно из рисунка, шестеренка, укрепленная на той же оси, что и кулачок, имеет вдвое большее число зубцов, чем шестеренка, укрепленная на оси маховика.

Мы чуть было не забыли еще об одной операции. Чтобы в нужный момент воспламенить смесь, надо подключить свечу к источнику высокого напряжения. Это делает кулачок (на рисунке он не показан), укрепленный на той же оси, что и кулачок, управляющий выпускным клапаном. Только выступ у него направлен в другую сторону. Когда выступ этого кулачка поднимается вверх, замыкаются электрические контакты. Остальное понятно.

Оговоримся лишь, что мы имеем не одну, а две обратные связи: механическую — для открывания клапанов и электрическую — для поджигания смеси. А когда нужно поджигать смесь? Описывая пушккомобиль, мы говорили, что смесь надо поджигать в самом начале рабочего хода, когда поршень только начал двигаться вниз. Сохраняется ли это условие и в настоящем двигателе внутреннего сгорания? Давайте подумаем. А сначала займемся простым подсчетом.

У современного двигателя внутреннего сгорания, например автомобильного, в нормальных условиях вал с маховиком вращается со скоростью около трех тысяч оборотов в минуту. Это значит, что полный оборот совершается за одну пятидесятую долю секунды, а половина оборота, в течение которой совершается рабочий ход, длится одну сотую долю секунды.

Мы отмечали, что пороховой заряд полностью сгорает примерно за две сотые доли секунды. Сжатая бензино-воздушная смесь сгорает, может быть, немного быстрее, но время горения не меньше одной сотой доли секунды. Значит, если поджечь смесь, когда поршень уже начал двигаться вниз, то процесс горения разовьется и давление горячих газов до-

стигнет максимального значения к тому времени, когда поршень будет находиться почти внизу, и подталкивать его дальше не имеет никакого смысла.

Смесь воспламеняется электрической искрой несколько раньше, в конце такта сжатия, когда поршень только подходит к верхней мертвой точке. Это называется опережением зажигания.

Интересно, возникло ли у читателя впечатление, что мы довольно долго говорим о чем-то, ему очень знакомом? Неужели нет? Ну как же, а маятник? Маятник часов раскачивается от одного крайнего положения к другому. По мере подхода к каждому из крайних положений скорость маятника уменьшается, потом на мгновение он застывает в неподвижности и начинает двигаться в обратную сторону.

В точности то же самое происходит с поршнем. Для того чтобы маятник не переставал качаться, его надо подталкивать. Подталкивать приходится и поршень. Причем подталкивает его сила давления горячих газов. Скорость движения маятника приобретает максимальное значение тогда, когда он находится примерно посередине между двумя крайними положениями. В равной степени это справедливо и для поршня.

И вот мы снова приходим к вопросу о том, когда же нужно подталкивать. Рассуждая о часах, мы установили, что маятник нужно подталкивать в тот момент, когда его скорость максимальна. Достаточно простые рассуждения покажут нам, что это правило справедливо и для поршня бензинового двигателя.

Вместе с нами читатель уже столько раз занимался разложением сил, что теперь без труда поймет смысл трех нарисованных художником картинок. На первой, помеченной буквой *а*, поршень изображен в начале рабочего хода. Сила давления газов на дно поршня через шатун передается кривошипу. Эта сила разложена на две составляющие, одна из которых стремится повернуть кривошип, а другая проходит через ось вращения кривошипа и уравнивается силой, с которой подшипники давят на ось. Из рисунка видно, что лишь ничтожно малая часть общей силы давления раскручивает маховик, а все остальное тратится впустую.

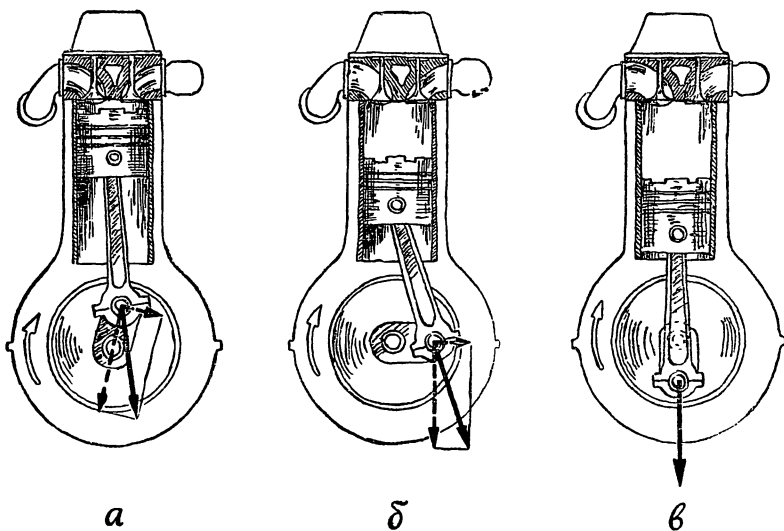
На рисунке *б* поршень показан в среднем положении. Здесь, наоборот, большая часть силы давления газов стремится повернуть кривошип и лишь совсем маленькая сила давит на подшипники. Наконец, на рисунке *в* поршень показан

в конце рабочего хода. О чем говорит этот рисунок, читатель легко догадается сам.

У нас не осталось никаких сомнений, что давление газов должно достигать своего максимального значения именно тогда, когда поршень находится в среднем положении. В этом случае наибольшая часть потенциальной химической энергии, заключенной в топливе, переходит в механическую энергию маховика.

Момент зажигания, когда между проволочками свечи проскакивает электрическая искра, выбирают таким образом, чтобы процесс горения полностью развился и горячие газы создавали максимальное давление как раз в тот момент, когда поршень находится в среднем положении. Для этого кулачок, замыкающий электрический контакт, соответствующим образом устанавливают на оси.

Но снова сомнения. Расчет скорости движения поршня мы проводили для случая, когда кривошип с маховиком вращается со скоростью три тысячи оборотов в минуту. Однако маховик может вращаться и медленнее. Предположим, что его скорость всего тридцать оборотов в минуту. Тогда время, в течение которого поршень перемещается от одной мертвой точки до другой, составит две секунды. А бензино-воздушная



смесь по-прежнему сгорает за одну сотую долю секунды. Если сохранить то же опережение зажигания (поджигать смесь в конце такта сжатия), взрыв смеси ни в коей мере не будет способствовать вращению маховика, а, наоборот, оттолкнет его назад.

Отсюда очевидный вывод: для каждой скорости вращения следует устанавливать свое опережение. Причем для малых скоростей вместо опережения требуется, наоборот, запаздывание. Иными словами, при малой скорости смесь нужно поджигать тогда, когда поршень проделал часть рабочего хода.

Правда, здесь возникает вопрос: а нужно ли, чтобы маховик двигателя внутреннего сгорания вращался с различными скоростями? Стремление ответить на этот вопрос приводит нас еще к одному интересному рассуждению. На сей раз рассуждению о мощности.

Начнем с самого начала. В двигателе внутреннего сгорания химическая энергия, заключенная в топливе, преобразуется в механическую энергию вращения маховика. За каждый взрыв выделяется некоторое количество энергии, пропорциональное количеству топлива, которое к моменту взрыва находилось в камере сгорания. Количество топлива, в свою очередь, зависит от диаметра цилиндра и длины хода поршня или, иначе говоря, от объема той части цилиндра, которая оказывается над поршнем в момент, когда он занимает самое нижнее положение. Ясно, что этот объем, а следовательно, и количество топлива зависят от размеров двигателя. Количество энергии, выделяющейся в течение одного взрыва и передаваемой маховику, тоже зависит от размеров двигателя и совершенно не зависит от скорости вращения.

Мощностью любого двигателя называется количество энергии, которое можно получить от этого двигателя в единицу времени, например в одну секунду. Вывод однозначен: мощность двигателя внутреннего сгорания тем больше, чем больше взрывов совершается в одну секунду или, иными словами, чем больше скорость вращения маховика. Поэтому, если мы хотим получать от двигателя большую мощность (а согласитесь сами, что получать от двигателя мощность меньшую, чем он может дать при данных размерах, а следовательно, и при данной стоимости, нет никакого смысла), мы должны стремиться повышать его скорость. Величина скорости ограничивается лишь соображениями прочности. У современных двигателей она доходит до пяти тысяч оборотов в минуту.

Казалось бы, каждый двигатель должен всегда работать при одной определенной скорости и нет никаких оснований ее понижать. Так обычно и делают. У автомобилей двигатель почти все время работает на одной и той же скорости, во всяком случае, если она и меняется, то в небольших пределах. А когда надо изменять скорость связанных с двигателем колес автомобиля, например при трогании с места или торможении, тогда используют специальное устройство понижения скорости: между валом двигателя и осями задних колес включают зубчатые передачи, которые так и называются коробками скоростей.

В тепловозах поступают иначе. Там двигатель внутреннего сгорания связан с динамо-машиной, вырабатывающей электрическую энергию. Электрическая энергия подается к электродвигателям, вращающим колеса. Скорости электродвигателей регулируются при передаче электрической энергии от динамо-машины к этим двигателям.

Казалось бы, таким образом полностью решается вопрос с опережением зажигания, так как скорость двигателя внутреннего сгорания всегда постоянна или меняется в небольших пределах. И все же остается одно НО. Двигатель не может работать непрерывно. Его надо когда-то останавливать, а затем снова запускать. А вот запускать двигатель внутреннего сгорания можно, только предварительно раскрутив его вал. Хотя бы на один оборот, в течение которого бензино-воздушная смесь сначала засосется в цилиндр, а потом сожмется.

Раньше шоферы автомобилей раскручивали двигатель ручкой. Теперь для этого используются специальные электродвигатели — стартеры. Но и стартер не в состоянии раскрутить двигатель до максимального числа оборотов. Для этого он сам должен быть немногим меньше двигателя. Значит, хотя бы в момент запуска вместо опережения зажигания надо давать запаздывание.

Все это приводит нас к необходимости ввести еще одну обратную связь, третью по счету. Так оно и делается на самом деле. В отличие от кулачков, управляющих клапанами, кулачок, управляющий контактами зажигания, укрепляется на распределительном валу не жестко. Он может поворачиваться относительно оси вала на небольшой угол. На том же валу устанавливается измеритель скорости — тахометр, — который в зависимости от величины скорости управляет положением кулачка.

Мы не станем обсуждать конструкцию тахометра, так как

это завело бы нас слишком далеко от сути рассказа. Но читатель, знакомый с регулятором Уатта хотя бы из школьного курса физики, легко сообразит, что к чему.

Конечно, читатель, знакомый с принципом действия автомобильного мотора, а таких наверняка большинство, может подумать, что все разговоры об установке пушки на телегу мы завели лишь для пущей увлекательности. И зачем надо было начинать рассказ с пороха, если всем известно, что автомобиль использует в качестве топлива бензин?

Но исторически все происходило именно так, как в нашем рассказе. В 1678 году некий аббат Отфейль предложил проект машины для подъема воды, действующей взрывами пороха. И лишь более чем через сто лет, в 1799 году, другой француз, Лебон, придумал способ готовить из каменного угля горючий, или, как его тогда называли, светильный газ. Лебон взял патент на «новые способы более выгодного потребления горючих веществ как для теплоты, так и для света». В этом патенте он предложил «проект машины, действующей взрывами смеси светильного газа и воздуха». Более того, он даже высказал мысль о необходимости сжатия смеси газа и воздуха перед взрывом. Потребовалось еще шестьдесят лет, и вот, наконец, третий француз, Лемуан, в 1860 году построил первый газовый двигатель внутреннего сгорания.

В конце XIX века проекты четырехтактных двигателей внутреннего сгорания, действующих на керосине, были разработаны почти одновременно Яковлевым в России и Отто в Германии. В Петербурге построили два завода, выпускавших в больших количествах двигатели Яковлева. Примерно тогда же появились и первые бензиновые двигатели.

Саму идею двигателя внутреннего сгорания мы начали обсуждать после того, как убедились, что в паровой машине лишь ничтожное (не больше десяти процентов) количество тепла, получаемого при сгорании топлива, используется для выполнения механической работы. Чего же мы достигли, построив двигатель внутреннего сгорания?

При взрыве бензино-воздушной смеси в камере сгорания температура газов довольно высокая. Она может превышать тысячу градусов Цельсия. Но как расходуется это тепло? Около сорока процентов тепловой энергии взрыва идет на нагревание стенок цилиндра и поршня. Во-первых, это чистая потеря энергии. Во-вторых, если не принять специальных мер, цилиндр быстро нагреется, и двигатель выйдет из строя. Поэтому во всех двигателях внутреннего сгорания принима-

ются меры для охлаждения цилиндра. Обычно для этой цели используют воду, заполняющую специальные полости в теле цилиндра — так называемую водяную рубашку.

Но вода тоже нагревается. Поэтому с помощью особого насоса воду непрерывно перегоняют между рубашкой цилиндра и радиатором. Радиатор представляет собой множество тонких трубок, протекая по которым вода отдает тепло окружающему воздуху.

Чтобы процесс охлаждения шел быстрее, с помощью вентилятора через радиатор мимо трубок прокачивают воздух — создают искусственный ветер. И вентилятор, прокачивающий воздух, и насос, заставляющий воду циркулировать, приводятся в действие от того же двигателя. Происходит то самое, чего так не хотел немецкий ученый Вальтер Нернст: целых сорок процентов тепловой энергии, получаемой от топлива, затрачивается в конечном итоге на нагревание окружающего воздуха.

Но это еще не все. Во время рабочего хода поршня газы, совершив механическую работу, охлаждаются. Но они не успевают охладиться до температуры окружающей среды. Поэтому около двадцати пяти процентов энергии топлива уносится с отработавшими газами.

Заметим, что стенки поршня должны плотно прилегать к стенкам цилиндра, иначе газы будут прорываться в образующиеся щели. Поэтому и трение скольжения поршня о цилиндр достаточно велико.

Простой подсчет приводит нас к выводу, что лишь около двадцати пяти процентов исходной энергии топлива используется в виде полезной работы. Действительно, коэффициент полезного действия бензиновых двигателей внутреннего сгорания, как правило, оказывается близким к двадцати пяти процентам. Мало, конечно, но все-таки не десять процентов.

ПОЧЕМУ?

Почему же лишь столь небольшую часть полученной при сгорании топлива энергии удастся выделить в виде полезной работы? С этого «почему» начинается всякое творческое мышление. Здесь, как в медицине, правильный диагноз во многом способствует успешному лечению болезни. К сожалению, ответов на наши «почему» слишком уж много, но один из них заслуживает внимания.

Вспомним, что бóльшая часть тепла уходит на нагревание стенок цилиндра. Конечно, нелепо было бы мечтать о том, чтобы стенки цилиндра вообще не нагревались, соприкасаясь с газами, температура которых, как уже говорилось, превышает тысячу градусов. Но хотя бы несколько уменьшить количество тепла, отдаваемого стенкам, все-таки можно.

Присмотритесь внимательно, как загорается спичка. Сначала, сразу после того, как вы чиркнули о стенку коробка, светящаяся точка появляется лишь на самом кончике головки спички. Головка сделана из специальной смеси, в состав которой входит легковоспламеняющееся вещество — сера. Когда мы чиркаем спичкой о стенку коробка, вещество головки нагревается от трения, достигает температуры воспламенения и воспламеняется или, проще говоря, загорается. Но загорается лишь та часть головки, которая непосредственно касалась стенки при чиркании. Теперь температура вещества поддерживается уже за счет горения. Нагреваются близлежащие слои и воспламеняются, таким образом процесс горения распространяется на всю головку. На то, чтобы горение охватило все вещество головки, требуется определенное время. Зажгите несколько спичек — и вы убедитесь, что все происходит именно так, как мы только что рассказали.

То же самое происходит и в камере сгорания двигателя. После проскакивания электрической искры нагреваются и воспламеняются лишь те части бензино-воздушной смеси, которые оказываются в непосредственной близости от свечи. Они в свою очередь нагревают близлежащие слои, и так далее, пока процесс горения не охватит всю смесь, находящуюся в камере сгорания. На это также требуется определенное время. Поэтому мы и говорили об опережении зажигания.

Пока горение охватывает лишь небольшую часть смеси, находящуюся около свечи, давление газов практически не повышается, и поршень может еще некоторое время подниматься. Аналогичным образом изменяется и температура бензино-воздушной смеси. Она относительно невелика, когда процесс горения только начинается; достигает своего максимального значения, когда горением охвачена вся смесь, и начинает снова понижаться, когда часть бензина в смеси уже сгорела, а остатки, как говорится, догорают.

Нагревание бензино-воздушной смеси и газов, которые образовались в результате сгорания, сопровождается, как мы уже не раз говорили, повышением давления этих газов. Давление совершает механическую работу.

Так что же происходит? В результате горения мы получаем, по существу, два хоть и тесно связанных между собой, но в то же время самостоятельных явления. С одной стороны, повышается температура, с другой стороны, повышается давление. Рассуждая с точки зрения коэффициента полезного действия, мы могли бы сказать так: то, что повышается температура, — это плохо, потому что именно благодаря высокой температуре газов тепло передается стенкам цилиндра, а затем уходит в атмосферу. А вот то, что повышается давление, — это хорошо. Давление выполняет полезную для нас работу. Идеальным был бы такой двигатель, в котором давление повышалось бы, а температура — нет. Но это невозможно. Смысл работы двигателя внутреннего сгорания в том и состоит, что именно тепловая энергия, получаемая от топлива, преобразуется в механическую.

Можно поставить вопрос иначе. Раз уж мы не в состоянии (точнее, почти не в состоянии) влиять на температуру, то давайте попробуем получить хотя бы максимально возможное количество механической работы. Мы знаем, что количество механической работы, совершаемой движущимся телом, численно равно произведению расстояния, на которое передвинулось тело, на силу, действующую на это тело.

В нашем случае движущееся тело — это поршень. Расстояние, на которое передвигается поршень, от нас не зависит, оно определяется конструкцией двигателя, а точнее, длиной кривошипа. А сила? Из всего сказанного нами следует, что сила, с которой газы давят на поршень, все время меняется. Она мала в начале рабочего хода, достигает своего максимального значения примерно в середине и затем постепенно убывает по мере приближения поршня к нижней мертвой точке. Ясно, что, если бы эта сила все время оставалась постоянной, количество совершенной поршнем работы увеличилось бы.

И вот тут мы подходим к самому главному. Вспомним еще раз про спичку. Момент зажигания спички мы можем устанавливать как угодно: пока не чиркнули — спичка не горит, чиркнули — загорелась. Но после того как чиркнули, дальнейшие процессы полностью выходят из-под нашего контроля. Воспламенение головки происходит само по себе и определяется составом вещества, из которого сделана головка, и его концентрацией.

То же самое происходит в камере сгорания. Момент зажигания устанавливаем мы, располагая должным образом

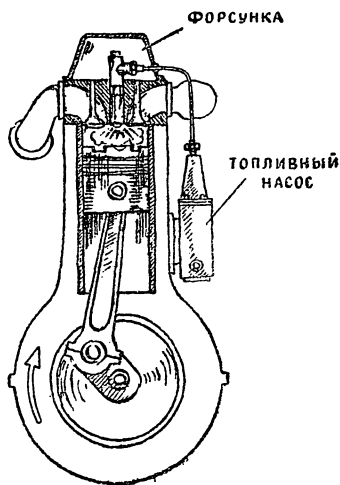
кулачок на распределительном валу. А дальше процесс воспламенения происходит как бы сам по себе. Отдельные капельки бензина в смеси загораются и, нагреваясь, поджигают соседние. Ясно лишь одно: чем ближе расположены друг к другу отдельные капельки бензина в смеси или, другими словами, чем больше степень сжатия, тем скорее воспламенится вся смесь.

Казалось бы, мы нашли очень простой рецепт. Надо больше сжимать горючую смесь во время такта сжатия, как говорят, повышать степень сжатия. Тогда процесс горения будет происходить быстрее и коэффициент полезного действия повысится.

Однако не тут-то было. В который раз на страницах наших рассказов мы вынуждены напечатать большими буквами НО, сопроводив его большим восклицательным знаком. В данном случае это НО состоит в следующем. Большинство процессов в природе обладает так называемым свойством обратимости. Нагреваем воду — она превращается в пар. Пар отдает тепло, охлаждается и снова превращается в воду. Поднимаем камень — затрачиваем на это работу, которая превращается в потенциальную энергию. Отпускаем камень — он падает и совершает работу, например, по выдавливанию лунки в земле, расходуя накопленную потенциальную энергию. Подобных примеров можно было бы привести много.

До сих пор работа всех наших двигателей, начиная с двигателя пушкмобиля, основывалась на том, что, если нагреть газ, его давление повышается. Справедливо и обратное: если сжимать газ, повышая тем самым его давление, одновременно будет повышаться и температура газа.

К свойству обратимости мы еще вернемся, а пока ясно следующее. Когда во время такта сжатия бензино-воздушная смесь сжимается, повышается ее давление, а следовательно, и температура. Если температура повысится слишком сильно, бензино-воздушная смесь вспыхнет сама по себе,



причем совсем не в тот момент, когда это нужно. Подобное явление в бензиновых двигателях получило название детонации. Именно поэтому в четырехтактных бензиновых двигателях степень сжатия нельзя увеличивать выше четырех-пяти.

Как же быть? На этот вопрос ответил немецкий инженер Рудольф Дизель, сконструировавший свой двигатель (двигатель Дизеля, или просто дизель) в конце XIX века. Двигатель Дизеля показан на рисунке.

Почти все здесь нам знакомо. Есть поршень, цилиндр, шатун, вал с кривошипом и маховиком, впускной и выпускной клапаны. Все эти механизмы взаимодействуют точно так же, как в бензиновом двигателе, поэтому мы попросили художника не показывать на рисунке шестеренку с кулачками, приводящую в движение клапаны.

Дизель, как и бензиновый двигатель, совершает те же четыре такта: всасывание, сжатие, рабочий ход, выхлоп. Отличие лишь в том, что во время такта всасывания в камеру сгорания засасывается не бензин, а чистый воздух. Затем следует такт сжатия, в процессе которого воздух сжимается, причем не в четыре-пять раз, как в бензиновом двигателе, а значительно больше: раз в одиннадцать-двенадцать.

В результате столь сильного сжатия температура воздуха поднимается до 500—600 градусов Цельсия. И вот теперь, когда поршень уже почти достиг крайнего верхнего положения, с помощью специального насоса (посмотрите снова на рисунок) через устройство, смонтированное в крышке камеры и называемое форсункой, в камеру впрыскивается топливо. Топливо вспыхивает от соприкосновения с горячим воздухом, а дальше — рабочий ход, затем выхлоп отработавших газов.

Детонации не происходит потому, что до самого последнего момента в камере сгорания просто нечему гореть. Кроме того, в камеру сгорания подаются не пары топлива, а жидкое топливо. Поэтому и топливо может быть, как говорят инженеры, более тяжелым, то есть хуже испаряющимся. В качестве топлива для дизелей обычно используют керосин со специальными добавками (его так и называют — дизельное топливо), а для очень мощных дизелей — нефть или мазут.

Разве может что-нибудь существенно измениться от того, зажигаем мы горючую смесь электрической искрой или за счет соприкосновения с горячим воздухом? Оказывается, может, и очень существенно. Во-первых, в дизелях топливо воспламеняется не постепенно (как головка спички), а сразу.

Действительно, ведь здесь нет необходимости передавать тепло от одной частицы топлива к другой. Каждая частица соприкасается с горячим воздухом и вспыхивает сама по себе, независимо от своих соседей.

Во-вторых, и это самое главное, топливо вводится в камеру сгорания постепенно. Поэтому давление в камере сразу достигает своего максимального значения и сохраняет это значение почти до самого конца рабочего хода. В течение всего рабочего хода сила, вызываемая давлением, остается постоянной. Температура та же, а количество получаемой механической работы, соответственно, увеличивается.

И вот результат: коэффициент полезного действия у дизелей доходит до тридцати восьми — сорока процентов. Кажется бы, немного. Сорок — вместо двадцати пяти, или на пятнадцать процентов больше, чем у бензинового двигателя. Но давайте подсчитаем. В 1975 году добыча нефти в нашей стране достигла 500 миллионов тонн. Если повысить коэффициент полезного действия двигателей на пятнадцать процентов, то, соответственно, пятнадцать процентов общего количества нефти будет затрачиваться на совершение полезной работы, а не на нагревание атмосферы. Пятнадцать процентов от пяти-сот миллионов — это семьдесят пять миллионов тонн — целое море нефти.

НЕСКОЛЬКО СЛОВ О КРАСОТЕ

Альберт Эйнштейн говорил, что всякая правильная физическая теория должна обладать двумя свойствами: внутренним совершенством и внешним оправданием. Говоря о внешнем оправдании, Эйнштейн имел в виду, что выводы теории должны подтверждаться результатами экспериментов.

Что же такое внутреннее совершенство? Физическая теория внутренне совершенна, если она изложена кратко, при этом ясна и не противоречива, а говоря одним словом, красива.

Попробуем взглянуть с этих же позиций на вещи, которые до сих пор фигурировали в наших рассказах. Они, безусловно, отвечают требованию к внешнему оправданию, потому что служат человеку и приносят ему пользу. Но если мы посмотрим еще внимательнее, то увидим, что большинство вещей, с которыми мы сталкивались, также и внутренне совершенны. Действительно, можно ли представить себе вещь более простую, четкую и непротиворечивую, чем, например, колесо или

клин? И простота совсем не мешает колесу таить в себе множество разнообразнейших свойств.

А четырехтактный бензиновый двигатель или дизель? Не скроем, что, описывая обе эти вещи, мы все время испытывали удовлетворение, если не радость, оттого, что они почти полностью состоят из таких хорошо знакомых и полюбившихся нам деталей, как колеса и клинья. И все-таки можем ли мы считать, что четырехтактный бензиновый двигатель отвечает требованию Эйнштейна к внутреннему совершенству?

Герой романа английского писателя Джона Б. Пристли «Затемнение в Гредли» не поленился проехать тысячу миль, чтобы сказать старому конструктору, что его мост — совершенство. Здесь очень хорошо отражается одно из главных качеств настоящего инженера: умение видеть красоту вещей, созданных человеческими руками, и восхищаться этой красотой.

Снова посмотрим на четырехтактный бензиновый двигатель. Первое, что бросается в глаза, это четыре такта, из которых лишь один рабочий. Только в течение одной четверти рабочего времени двигатель действительно работает по своей прямой специальности, то есть создает движение. В течение трех остальных тактов он лишь потребляет кинетическую энергию маховика.

Казалось бы, такты всасывания, сжатия и выхлопа тоже совершаются с пользой. Во время этих тактов делается все необходимое для того, чтобы основной такт совершился как можно эффективнее. Камера сгорания очищается от ненужных выхлопных газов, затем в нее засасывается топливо, это топливо сжимается, чтобы получить как можно более высокую температуру для вспышки. И все же не слишком ли много времени уходит на подготовительные операции?

Второй пример. Вал маховика через зубчатую передачу приводит в движение еще один вал, называемый распределительным. На распределительном валу укреплены кулачки, толкающие сгребки клапанов. Даже рассказ об этом занимает много времени, а сколько же времени надо, чтобы изготовить все эти шестеренки, валы и кулачки из металла?

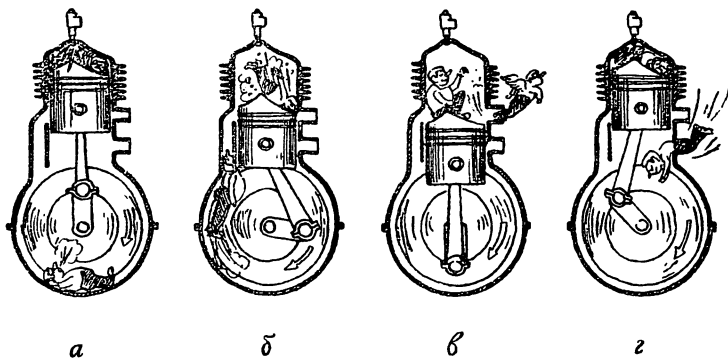
Металлические детали обладают свойством ломаться. Недаром ни один благоразумный шофер не отправится в дальнее путешествие, не заполнив предварительно большую часть багажника запасными частями. Наверное, точно так же рассуждали многочисленные инженеры, стремившиеся усовершенствовать четырехтактный бензиновый двигатель. Они хо-

тели уменьшить количество тактов и по возможности избавиться хотя бы от клапанов.

Одним из этапов на таком пути был двухтактный двигатель внутреннего сгорания. Читатель готов прочесть ставшую ему уже привычной фразу: «Посмотрите на рисунок», но на рисунок мы смотреть не станем. Вспомним вместо этого, что мы уже не раз сталкивались с одним интересным свойством твердых тел, называемым инерцией. Брошенный камень продолжает лететь по инерции, когда приведшая его в движение сила давно перестала действовать. Маховик вращается по инерции и не только вращается сам, но и приводит в действие поршень, преодолевая при этом значительную силу во время такта сжатия. Свойством инерции обладают не только твердые тела, а вообще любые тела, имеющие массу, в том числе и газы.

Если с помощью вентилятора создать воздушную струю, или искусственный ветер, то после выключения вентилятора воздух будет продолжать двигаться еще некоторое время в том же направлении. Правда, движение воздуха прекратится значительно скорее, чем полет камня, потому что удельный вес воздуха меньше. Но свойством инерции газы все-таки обладают. А теперь посмотрим на рисунок, точнее, на четыре рисунка, помеченные буквами *а*, *б*, *в*, *г*. На этих рисунках изображены четыре различных положения поршня двухтактного двигателя.

Сначала рисунок *а*. Отметим в первую очередь знакомые нам детали: вал, кривошип, маховик, шатун, цилиндр и пор-



шень. Видны и отличия. До сих пор мы изображали цилиндр закрытым только с одной стороны, где располагалась крышка с клапанами и свечой. Здесь мы видим эту крышку со свечой, но без клапанов. На новом рисунке цилиндр закрыт и снизу. Он переходит в круглую камеру, в которой вращается кривошип. Эта камера называется картером. Вообще-то говоря, картер существует и у четырехтактных двигателей, но там его роль не столь существенна, и поэтому мы просили художника для простоты картер не рисовать. А вот в двухтактном двигателе без картера не обойдешься.

Несколько необычен поршень. Сверху к дну поршня прикреплена какая-то загогулина. Она называется отражателем. Совсем уж необычны для нас отверстия и каналы, прорезанные в стенке цилиндра.

Давайте разбираться, что к чему. На рисунке *а* поршень показан в положении, соответствующем верхней мертвой точке. Предположим, что каким-то пока неизвестным для нас образом в пространство над поршнем, которое по-прежнему называется камерой сгорания, попала бензино-воздушная смесь и, более того, эту смесь удалось сжать. Можно начинать рабочий ход, что мы и сделаем, пропустив искру между электродами свечи. Смесь вспыхивает, и начинается рабочий ход.

Поршень движется вниз. На рисунке *б* показан момент времени, когда поршень, совершающий рабочий ход, прошел чуть больше половины расстояния от верхней мертвой точки до нижней. Что изменилось? Открылись два отверстия в стенке цилиндра, которые раньше были закрыты поршнем. Образовалась газовая струя, или газовый ветер. Но благодаря наличию в верхней части поршня отражателя, газовая струя оказалась направленной не вертикально вниз, а под небольшим углом вправо. Как только открылось выхлопное отверстие, газы по инерции устремились в него. Таким образом совершается выхлоп.

Но это еще не все. Мы должны предположить вдобавок, что каким-то опять неизвестным пока способом перед началом рабочего хода нижняя часть цилиндра, картер, оказалась заполненной бензино-воздушной смесью, находящейся под атмосферным давлением. Пока поршень двигался вниз от положения, показанного на рисунке *а*, до положения, показанного на рисунке *б*, бензино-воздушная смесь сжималась, поскольку цилиндр закрыт снизу картером так же герметично, как и сверху крышкой.

Но стоит только в стенке цилиндра открыться отверстию, изображенному слева, как через этот канал бензино-воздушная смесь, которая к этому моменту уже достаточно сжата, устремляется в камеру сгорания. Сам канал называется перепускным.

Посмотрим теперь на рисунок *в*. Поршень уже завершил свое путешествие от верхней мертвой точки до нижней и начинает подниматься вверх. За время, пока поршень двигался между положениями, показанными на рисунках *б* и *в*, отработавшие газы почти полностью покинули камеру сгорания, а избыток бензино-воздушной смеси через перепускной канал поступил в камеру сгорания.

Теперь поршень движется вверх, увлекая за собой газы, находящиеся в камере сгорания. Эти газы, противясь сжатию, стремятся распространиться во все стороны. Какая-то часть их (очень небольшая) через перепускной канал возвращается в картер, а другая часть (также небольшая) устремляется к выхлопному отверстию, гоня перед собой остатки отработавших газов. Таким образом совершается как бы дополнительная вентиляция камеры сгорания.

И, наконец, последний рисунок, помеченный буквой *г*. Поршень уже прошел чуть больше половины расстояния между нижней и верхней мертвыми точками. Выхлопное отверстие и отверстие перепускного канала закрыты поршнем. Бензино-воздушная смесь над поршнем может только сжиматься. В картере, наоборот, создается разрежение и через отверстие в стенке цилиндра в картер устремляется свежая бензино-воздушная смесь из карбюратора. Мы попросили художника не рисовать карбюратор, потому что он такой же, как и в четырехтактном двигателе.

Нам осталось подождать, пока поршень поднимется до верхней мертвой точки, и можно снова смотреть на рисунок *а*. Начинается новый рабочий ход, с той только разницей, что мы знаем, откуда в камере сгорания взялась сжатая горючая смесь и каким образом картер заполнился бензино-воздушной смесью.

Два такта или один полный оборот маховика. В течение первой половины оборота (первого такта) совершаются рабочий ход и выхлоп (заодно и перепуск горючей смеси). В течение второй половины оборота (второго такта) совмещаются всасывание и сжатие. И никаких клапанов. Их функции выполняет сам поршень, закрывая и открывая отверстия в стенках цилиндра.

Красиво, не правда ли? Действительно, мы должны признаться, что двухтактный двигатель в отличие от четырехтактного в большей степени отвечает требованиям к внутреннему совершенству. А как насчет внешнего оправдания? Здесь дело обстоит, к сожалению, хуже.

Во-первых, поршень подвергается давлению горячих газов лишь в продолжение части рабочего хода — до тех пор пока не открылось выхлопное отверстие. Во-вторых, степень сжатия тоже не удастся получить достаточно большой, потому что горючая смесь начинает сжиматься лишь после того, как закроются выхлопное и перепускное отверстия.

Поэтому коэффициент полезного действия двухтактного двигателя в общем случае несколько меньше, чем у четырехтактного. Двухтактные двигатели изготавливают лишь для тех случаев, когда от них требуется небольшая мощность, например, для лодочных моторов и мотоциклов.

А коль мощность невелика, можно особенно не заботиться об охлаждении цилиндра. В цилиндре двухтактного мотоциклетного двигателя отсутствует водяная рубашка. Цилиндр охлаждается окружающим воздухом. А чтобы поверхность соприкосновения стенок цилиндра с воздухом была больше, к верхней части цилиндра приделаны специальные ребра. Эти ребра показаны на рисунке, хотя читатель и без того, конечно, обращал внимание на них, разглядывая мотоциклы.

И еще одно замечание. В работе двигателя внутреннего сгорания большую роль играет трение. На него затрачивается около десяти процентов общей энергии, а это очень много. Например, если двигатель автомобиля имеет мощность сто лошадиных сил (вспомним, что это всего двадцать пять процентов от общих затрат химической энергии топлива), простой подсчет показывает нам: на трение уходит сорок лошадиных сил. Значит, если бы не было трения, удалось бы сэкономить количество топлива, достаточное для питания еще одного мотоцикла с мотором мощностью десять лошадиных сил.

Но поскольку трение все-таки присутствует, эти сорок лошадиных сил уходят на нагревание трущихся поверхностей. Поэтому двигателям внутреннего сгорания необходима интенсивная смазка. У четырехтактных двигателей автомобиля картер заполняется смазочным маслом и, кроме того, имеется еще дополнительный насос (опять затраты энергии), который подает масло под давлением к особо ответственным частям. Если этот насос сломается, автомобильный двигатель буквально в течение нескольких минут выйдет из строя.

В двухтактных двигателях масло поступает в картер, а оттуда в камеру сгорания вместе с горючей смесью. Топливо двухтактных двигателей — это смесь бензина и смазочного масла.

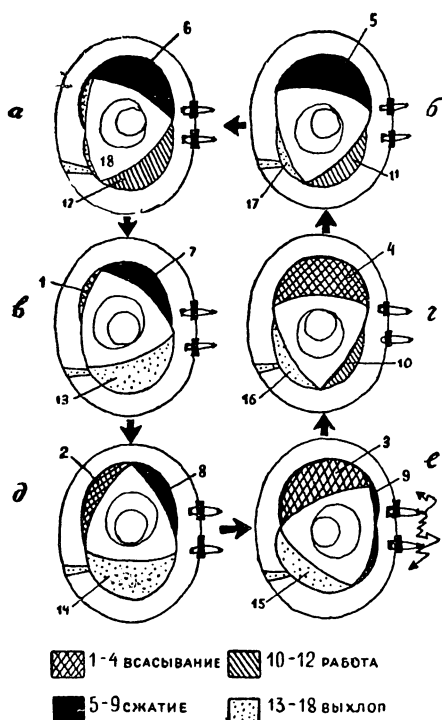
Как же все-таки быть с недостатками двухтактного двигателя? Неужели мы вынуждены констатировать, что инженерная мысль, создав четырех- и двухтактные двигатели, остановилась на этом, предоставив человечеству выбирать между экономичным, но сложным четырехтактным и простым, но неэкономичным двухтактным двигателем? Конечно, нет.

«Неприметный с виду РХ-2 обнаруживает на шоссе такой темперамент, какой можно было бы ожидать лишь от мощной спортивной машины... Даже при 5500 оборотах в минуту у двигателя достаточно избыточной мощности, чтобы послать машину вперед еще быстрее, до скорости 195 километров в час». Так отзывались об автомобиле «Мазда РХ-2» западногерманские журналисты, проводившие по заданию журнала «Хобби» испытания «маленького японского чуда». Подобная резвость у небольшого автомобиля удивительна сама по себе. Еще больше поражает другое: «мазда» — серийный автомобиль, оснащенный роторным двигателем системы «НСУ/Ванкель».

Нет, пожалуй, другой технической новинки, которая вызвала бы столько споров, надежд, разочарований, сколько бесক্রивошипный двигатель немецкого инженера Феликса Ванкеля — патент на него получен в 1929 году. Второе рождение «ванкеля» состоялось в 1959 году, когда фирма НСУ заинтересовалась исследованиями настойчивого инженера и начала интенсивные разработки промышленных моделей.

Но хотя пресса преподносила новинку как нечто революционное, могущее перевернуть в ближайшее же время все автомобилестроение, специалисты высказывались более осторожно. «О будущем «ванкеля» пока нельзя сказать многого, — заявил тогда главный конструктор фирмы НСУ. — Твердо установлен его принцип. Сейчас должны быть выяснены области его применения, что потребует времени».

К числу предприятий, сделавших ставку на обнадёживающую новинку, принадлежала японская фирма «Тоёо Когио». Судя по всему, она не оказалась в накладе: если к концу 1970 года с конвейера сошло около тридцати пяти тысяч «мазд», то в начале 1971 года выпуск достиг шестидесяти тысяч автомобилей. Ныне по дорогам мира бежит более двухсот тысяч японских машин с двигателем Ванкеля.



Бескривошипный роторно-поршневой двигатель. Первый же взгляд на рисунок убеждает нас, что в нем нет ни цилиндра с поршнем, в привычном понимании этого слова, ни шатуна, ни кривошипа. Есть только овальная, чуть суженная в середине камера и... колесо. Ну конечно же, колесо! Только на этот раз треугольной формы и, если именовать его полным титулом, колесо эксцентрическое.

Внутри колеса имеется круглое отверстие с зубцами — если угодно, зубчатое колесо наизнанку. Зубцы отверстия все время находятся в зацеплении с зубцами другого зубчатого колеса, на сей раз обычного, которое расположено внутри отверстия в треугольном колесе и укреплено на вращающемся валу. На этом же валу име-

ется маховик, который для простоты на рисунке не показан.

Пришлось попросить художника изобразить шесть последовательных положений треугольного колеса. Понадобилось это для того, чтобы стало ясно, в каком бы положении ни находилось треугольное колесо, оно всегда плотно прижимается всеми тремя своими углами к стенкам овальной камеры. Для этого и понадобилось сложное сочетание из двух зубчатых колес: одного обычного, а другого «наизнанку».

Наличие зубчатого зацепления обеспечивает взаимодействие между треугольным колесом и валом. Колесо, вращаясь, увлекает за собой вал, а вал в свою очередь увлекает за собой колесо. Слева на всех рисунках имеются знакомые нам свечи (почему их две, узнаем позднее), а справа — два отверстия. Верхнее — соединено с карбюратором (как у четырехтактного и двухтактного двигателей), а нижнее — выхлопное.

Теперь по порядку. Трудно, правда, решить, с какого из шести рисунков начинать. Начнем, например, с левого верхнего. На всякий случай художник все же пометил его буквой *а*. На этом рисунке треугольное колесо — ротор — расположено так, что оно плотно закрывает оба отверстия — впускное и выхлопное — и оставляет в камере две свободные полости, сверху и снизу.

Верхняя полость заполнена пока неизвестно откуда взявшейся бензино-воздушной смесью. Нижняя — также неизвестно откуда взявшимися продуктами сгорания, горячими газами.

Газы сохраняют еще некоторое давление и заставляют треугольное колесо — ротор — вращаться по часовой стрелке. Почему именно по часовой? Давайте подумаем. Мы не раз устанавливали, что сила давления всегда направлена перпендикулярно к той поверхности, на которую осуществляется давление. Ось вращения треугольного колеса всегда совпадает с осью вращения вала. Мысленно проведем линию, перпендикулярную к нижней поверхности ротора и проходящую через центр вала.

Провели? Теперь легко видеть, что эта линия делит нижнюю поверхность ротора на две неравные части. Большая расположена правее нашей линии, а меньшая — левее. Но при одном и том же давлении сила, вызываемая давлением, тем больше, чем больше площадь поверхности, на которую оказывается давление. Теперь без дальнейших объяснений понятно, что сила, стремящаяся повернуть ротор по часовой стрелке, больше.

Переходим к рисунку *б*. Ротор повернулся на небольшой угол, однако этого поворота оказалось достаточно, чтобы открыть выхлопное отверстие. Продукты сгорания устремились в выхлопное отверстие. Ротор продолжает вращаться по часовой стрелке под воздействием лишь маховика.

Отметим еще две важные подробности. Полость, расположенная сверху и левее ротора, слегка уменьшилась. Это значит, что находящаяся в ней бензино-воздушная смесь сжимается. В то же время сверху и левее ротора образовалась еще одна полость, в которую засасывается бензино-воздушная смесь из карбюратора.

Перейдем к рисунку *в*. Ротор опять повернулся по часовой стрелке на небольшой угол. Продукты сгорания продолжают выходить через открытое выхлопное отверстие. В полость, расположенную сверху и левее, продолжает засасы-

ваться бензино-воздушная смесь, а в полости, расположенной вверху и правее, продолжается сжатие.

Если мы снова проведем мысленную линию через центр вращения перпендикулярно левой верхней поверхности ротора, то станет ясно, что сила давления сжатой бензино-воздушной смеси стремится повернуть ротор против часовой стрелки. Этой силе противодействует сила, создаваемая вращающимся маховиком. Так и должно быть: сжатие смеси происходит за счет энергии, накопленной маховиком за время рабочего хода.

Переходим к рисунку *г*. Полость, расположенная ниже ротора, заметно уменьшилась в размерах. Процесс выхлопа отработавших газов идет полным ходом. В полость, расположенную выше ротора, продолжает засасываться свежая бензино-воздушная смесь. А вот две крохотные полости, расположенные правее ротора, заполнены сжатой до предела бензино-воздушной смесью.

Именно в этот момент к свечам подводится высокое напряжение, между их электродами проскакивает искра, смесь вспыхивает и начинается рабочий ход. Если бы ротор в этот момент остановился, а мы провели бы наш эксперимент с мысленной линией, проведенной через центр вала перпендикулярно левой поверхности ротора, оказалось бы, что сила давления вспыхнувшей смеси, стремящаяся повернуть ротор по часовой стрелке, равна силе давления, стремящейся повернуть ротор против часовой стрелки. Но ротор не стоит на месте, а вращается. К тому времени, как процесс горения полностью разовьется и давление газов станет максимальным, ротор уже займет положение, показанное на рисунке *д*.

Снова проводим мысленную линию и убеждаемся, что в данном случае почти вся часть поверхности ротора, на которую давят горячие газы, расположена ниже нашей линии. Следовательно, в этот момент сила давления целиком используется на то, чтобы вращать ротор, а с ним и маховик по часовой стрелке. Это положение соответствует положению поршня четырехтактного двигателя посередине рабочего хода.

Бросив прощальный взгляд на рисунок *д*, убедимся, что процесс выхлопа (нижняя правая полость) близок к завершению, а процесс всасывания закончился: верхняя полость имеет наибольшие возможные размеры, острый край ротора начинает закрывать впускное отверстие.

И, наконец, рисунок *е*. В верхней полости начинается процесс сжатия. В нижней правой полости все так же находят-

ся горячие газы, продолжающие вращать ротор, правда, уже с меньшей силой, чем в положении, показанном на рисунке *д*. Выхлоп все еще продолжается. Теперь нам остается вернуться к рисунку *а* и убедиться, что практически все четыре знаковых нам такта: всасывание, сжатие, рабочий ход и выхлоп — полностью свершились, причем одновременно за одну треть оборота ротора.

Вот какие чудеса может натворить треугольное колесо! Обратите внимание, что пока мы не встретились ни с одним из недостатков, свойственных четырехтактным и двухтактным двигателям. Степень сжатия здесь может быть сколь угодно большой и ограничивается лишь возникновением детонации. Рабочий ход занимает половину полного цикла, что позволяет целиком использовать силу горячих газов. Заметим, кстати, что наши рассуждения с использованием мысленной линии были не совсем справедливы. Мы проводили их, считая, что газы в полости неподвижны и давление одинаково по обе стороны линии. На самом деле это не совсем так. Газы увлекаются вращающимся ротором, возникает как бы газовый ветер, движение которого направлено в ту же сторону, что и вращение маховика.

Конечно, конструирование и эксплуатация роторно-поршневых двигателей также связаны с определенными трудностями. Стенки камеры надо охлаждать. Для этого в них так же, как и в четырехтактных двигателях, делается водяная рубашка, а охлаждающая вода прокачивается через нее насосом. Серьезные трудности связаны с тем, чтобы обеспечить полную герметичность в местах соприкосновения острых краев ротора со стенками камеры. Для этого используют специальные уплотнители, которые прижимаются к стенкам силами давления газов и вдобавок еще центробежными силами. Но эти уплотнители быстро изнашиваются. В полной степени сохраняется проблема трения, влекущая за собой проблему смазки. Требуются механизмы, обеспечивающие образование в нужный момент электрической искры.

Но вот окончательные результаты. Роторно-поршневой двигатель содержит почти на сорок процентов меньше деталей, чем обычный поршневой четырехтактный. Пока нет окончательных данных о коэффициенте полезного действия роторно-поршневых двигателей. Известно лишь, что при испытаниях машина «мазда» расходовала в среднем пятнадцать литров бензина на сто километров. Для автомобиля, способного развить скорость 195 километров в час, это совсем немного.

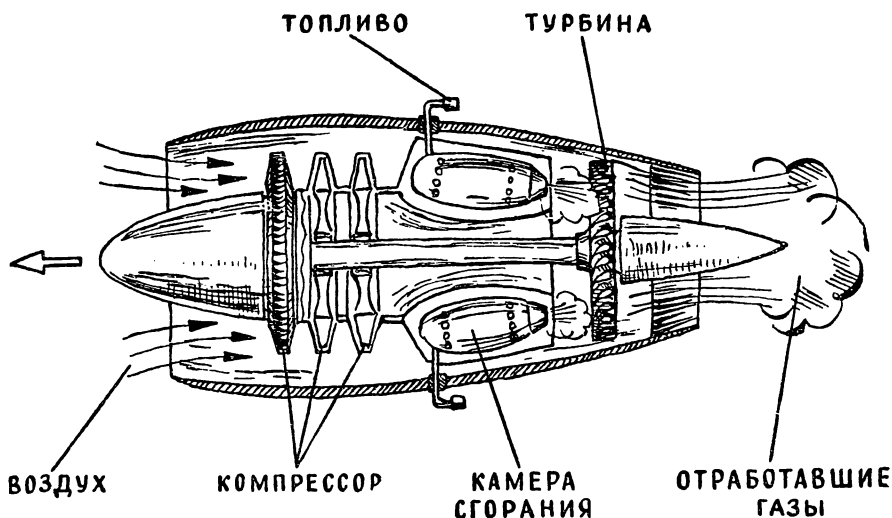
Окинем мысленным взором весь путь, пройденный нами с первых строк этого рассказа. Что мы сделали на этом пути? Уже в самом начале была решена задача передвижения если не на, то, во всяком случае, с помощью пушечного ядра. Затем мы заменили порох бензином, ядро — поршнем, колесо с лопатками — кривошипом и добавили еще одну деталь — шатун. Начиная с этого момента мы занимались только тем, что удаляли из двигателя пушккомобиля все лишнее.

Сначала убрали водителя, заменив его распределительным валом с кулачками, клапанами и свечой (точнее говоря, мы ввели свечу с источником напряжения и контактами — все это, вместе взятое, называется системой зажигания). Затем убрали клапаны вместе с распределительным валом. Еще один шаг — и мы убрали кривошип с шатуном, а поршень заменили треугольным колесом.

Конструкция роторно-поршневого двигателя настолько проста, что кажется невозможным убрать из нее еще что-нибудь. И все же попробуем. Вернемся к пушккомобилю в его первоизданном виде. Снова стрельнем из пушки, ядро попадает в лопатку колеса — пушккомобиль срывается с места. Вот только это ядро! Вспомните, что главным поводом ко всем усовершенствованиям было для нас опасение, а не попадет ли ядро, отскочив от лопатки, в лоб водителю? В свое время мы решили упереть в ядро палку, а другой конец палки упереть в лопатку. Так родился шатун. А нужно ли нам ядро вообще? Может быть, стоит поступить иначе: подкатить пушку поближе к колесу с лопатками и не заряжать ее никаким ядром. Пусть горячие газы, вырываясь из жерла пушки, давят непосредственно на лопатки колеса. Точно так же, как обычный ветер давит на лопасти колеса ветряной мельницы, заставляя его вращаться.

И ведь что самое интересное — нам теперь не нужно следить за моментом зажигания. Пусть порох или, если угодно, бензин горит в пушке непрерывно. В любой момент на пути газов, вырывающихся из жерла пушки, окажется очередная лопатка колеса (снова колесо!). А чтобы часть газов не проходила мимо лопатки, повернем ось колеса на девяносто градусов, совместив ее с осью пушечного ствола, а само колесо поместим в жерло пушки.

Как же так? Ведь теперь газы будут не ударять в лопатку, а обтекать ее? И это не страшно. Достаточно придать ло-



патке форму клина. Наконец-то авторы могут вздохнуть с облегчением. Построен двигатель, в котором нет ничего, кроме колеса и клина. Такой двигатель называется газовой турбиной.

Посмотрим на рисунок, где на этот раз художник изобразил конструкцию турбо-винтового самолетного двигателя. Не правда ли, как все просто? Весь двигатель — это труба (или, если угодно, жерло пушки), по оси которой проходит вал с несколькими колесами. Лопатки колес не имеют формы клина — они просто повернуты на некоторый угол по отношению к оси вала. Но эффект тот же. Помните, что мы говорили в предыдущем рассказе о свойстве клина, а заодно и всякой наклонной плоскости изменять направление действия силы?

В самой середине трубы расположена камера сгорания. Сюда непрерывно поступает топливо и сгорает, образуя поток горячих газов. Топливо поступает через форсунки и поджигается электрической свечой. Но, в отличие от предыдущих конструкций, искра в свече проскакивает здесь один-единственный раз — в момент запуска двигателя.

Струя горячих газов движется слева направо (смотрите на рисунок), обтекая лопатки колеса. Сила давления газов на лопатки также направлена слева направо, но лопатки наклон-

ные, и поэтому, благодаря уже известному нам свойству, направление действия силы изменяется на девяносто градусов. Нет никаких мертвых точек, поэтому подобный двигатель может обходиться без маховика.

В правой части рисунка тоже изображено колесо с лопатками, но его назначение совсем иное. С помощью этого колеса воздух засасывается в камеру сгорания. Колесо называется компрессором. Интенсивность горения топлива в газовой турбине настолько велика, что без принудительной подачи воздуха здесь не обойтись. На оси двигателя укрепляется воздушный винт — пропеллер, создающий силу тяги.

Подобные двигатели полностью заменили на самолетах поршневые четырехтактные. Они позволяют развивать скорость до 900 километров в час, а мощность их доходит до 6500—7500 лошадиных сил. Весьма интересно и еще одно обстоятельство. Вспомним, что в четырехтактном двигателе двадцать пять процентов исходной энергии уходило в атмосферу вместе с выхлопными газами. Ровно столько же, сколько затрачивалось на полезную работу. Здесь же выхлопные газы также используются на дело, создавая дополнительную реактивную тягу.

Заговорив о реактивной тяге, трудно удержаться хотя бы от намека на то, что если убрать из нашей последней конструкции вал вместе с колесами и оставить одну трубу, то оставшаяся часть все равно будет представлять собой двигатель. На этот раз просто реактивный, или, как его называют полностью, прямоточный воздушный реактивный двигатель. Но реактивным двигателям у нас посвящен специальный рассказ.

В последние годы делаются попытки устанавливать газовые турбины не только на самолетах, но и на автомобилях. Здесь встречаются свои инженерные трудности, из которых мы отметим лишь одну: газовая турбина мощностью, скажем, в двести лошадиных сил получается настолько маленькой, что ее оказывается трудно сделать достаточно прочной. Опыты с газотурбинными автомобильными двигателями дают основание надеяться, что в недалеком будущем они заменят поршневые, как это произошло на самолетах.

В заключение рассказа рассмотрим еще одну необычную задачу. Условия таковы: имеется стакан воды, требуется превратить эту воду в лед, вылив в кастрюлю и поставив кастрюлю на огонь. Ну, как? Наверное, даже самые проницательные из наших читателей сочтут подобную задачу просто безумной.

Правда, если этот рассказ читает кто-нибудь из жителей среднеазиатских республик, например Узбекистана, то условия задачи наверняка напомнят ему, что нет лучше средства от сильной жары, чем пиала горячего чая. Жители Москвы и даже более северных городов тоже хорошо знают: какая бы жара ни стояла на улице — подует ветерок, и становится прохладнее.

Почему? Всякая жидкость, испаряясь, охлаждается. Когда ветер обдувает нашу кожу, испарение жидкости (пота) с поверхности кожи становится более интенсивным, сильнее сказывается и охлаждение.

Жидкости испаряются по-разному. Когда температура жидкости, например воды, достигает точки кипения, начинается процесс парообразования. Что происходит в чайнике, стоящем на плите? Из носика сильной струей вырывается пар. Однако температура воды в чайнике (пока он весь не выкипит) остается постоянной — сто градусов Цельсия. Охлаждения не происходит, просто дополнительное тепло, требуемое для парообразования, получается от огня, на котором стоит чайник.

Но вода может испаряться и при температурах, значительно меньших точки кипения. При этом процесс испарения происходит тем интенсивнее, чем меньше давление над поверхностью воды. С этим, кстати, связана довольно распространенная загадка: можно ли сварить яйцо на Марсе? Ответ отрицательный. Атмосферное давление на Марсе значительно ниже, чем на Земле. Поэтому вода кипит там при более низкой температуре, недостаточной для затвердевания яичного белка.

Когда ветер обдувает влажную кожу, давление в струе воздуха меньше (мы уже сталкивались с этим, обсуждая карбюратор), жидкость испаряется интенсивнее. Но особенно важно другое. Когда вода или иная жидкость испаряется «сама по себе», она отнимает тепло, необходимое для парообразования, от окружающей среды.

Усвоив все сказанное, мы можем теперь смело подойти к решению нашей основной задачи и начать конструировать «безумную» кастрюлю. Любители детективных книг давно уже свыклись с пустыми каблуками и чемоданами с двойным дном. Так вот, у нашей кастрюли дно не двойное, а тройное. Точнее, это кастрюля с двойным дном, в которую помещена еще одна кастрюлька, меньших размеров. Кроме того, у «безумной» кастрюли необычно большая ручка, сплошь покрытая отверстиями. А теперь посмотрите на рисунок и давайте разбираться подробнее.

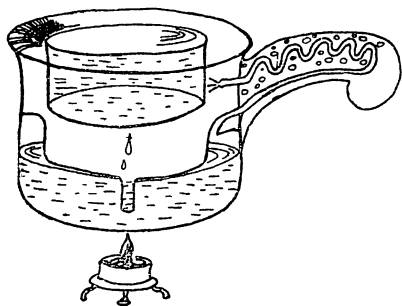
Между настоящим и фальшивым дном налита какая-либо жидкость, испаряющаяся при относительно невысокой температуре, например эфир. Вода, которую надо превратить в лед, налита в маленькую кастрюльку. Ставим «безумную» кастрюлю на слабый огонь и смотрим, что будет происходить.

Эфир нагревается и начинает испаряться. Пары эфира поступают в расположенную в ручке изогнутую трубку — змеевик. Здесь происходят одновременно два процесса. Во-первых, давление паров в змеевике повышается, так как туда непрерывно поступают новые порции пара из кастрюли. Во-вторых, пары через стенки змеевика отдают свое тепло окружающему воздуху (для этого в ручке проделаны дырки) и охлаждаются. В результате пары снова превращаются в жидкость, которая, двигаясь по змеевику, постепенно приобретает температуру окружающего воздуха, как говорят, комнатную температуру.

Жидкость достигает маленького отверстия в конце змеевика и выбрасывается из него струей. Вспомним, что давление в змеевике высокое за счет паров, поступающих из кастрюли. Когда жидкость вырывается из отверстия в конце змееви-

ка окружающее давление оказывается значительно меньшим, и эфир снова испаряется. Процесс испарения сопровождается охлаждением. Иначе говоря, пары отбирают тепло из внешней среды, а ею в данном случае является маленькая кастрюлька.

Обтекая холодные стенки маленькой кастрюльки, пары постепенно конденсируются, снова превращаются в жидкость



и каплями стекают на фальшивое дно, а оттуда через трубку в промежуток между фальшивым дном и настоящим. Описанный процесс непрерывно повторяется. Вот и весь секрет.

Теперь можно признаться, что с помощью только что описанной «безумной» кастрюли вряд ли удастся решить задачу до конца, то есть превратить воду в лед. В лучшем случае можно понизить температуру воды на несколько градусов. Однако в целом принцип действия «безумной» кастрюли совпадает с принципом действия некоторых домашних холодильников так называемого адсорбционного типа (например, холодильник «Север-2»).

Отличие лишь в чисто технических деталях. Так, вместо легкокипящей жидкости там используется раствор аммиака в воде. Используются и дополнительные ухищрения для того, чтобы заставить жидкость и газ циркулировать в нужном направлении. Но главное сохраняется: жидкость, газ или смесь жидкости и газа (в холодильниках эти вещества называются хладагентами) сначала, нагревая, доводят до испарения. Затем испаренный хладагент снова охлаждают в теплообменнике (змеевике), заставляя его отдавать избыток тепла окружающему воздуху. И, наконец, на последнем этапе хладагент снова испаряется, отнимая при этом тепло у охлаждаемого предмета.

Можно поступить и проще. Не нагревать хладагент, а накачивать его в змеевик с помощью компрессора, совершая при этом механическую работу. Оказавшись в змеевике под давлением, хладагент превращается в жидкость, а дальше происходит все то же самое, что и в нашей «безумной» кастрюле. Холодильники, построенные по этому принципу, называют компрессорными.

Но почему рассказ о двигателях мы решили завершить описанием «безумной» кастрюли? Вот почему. Все рассмотренные нами двигатели, как бы они ни отличались один от другого, обладали одним общим свойством. В них осуществлялась передача тепла от более горячего тела к более холодному. В двигателях внутреннего сгорания таким более горячим телом оказывалось горящее топливо, а более холодным — окружающая атмосфера, в которую рано или поздно попадают выхлопные газы.

Рассматривая разнообразные конструкции, мы могли прийти к выводу, что хотя бы для двигателей внутреннего сгорания существует один общий закон: процесс передачи тепла от более горячего тела к более холодному может сопровож-

даться выделением механической энергии и, соответственно, совершением механической работы. На самом деле этот закон справедлив не только для двигателей внутреннего сгорания, но и для всех без исключения так называемых тепловых машин, куда относятся, в частности, и паровые машины.

Можно сформулировать тот же закон в еще более общем виде: процесс передачи тепла от более горячего тела к более холодному сопровождается выделением энергии (в нашем случае механической). Но мы уже намекали выше, что многие явления природы обратимы. Обратим и только что сформулированный закон. В своем «обращенном» виде он будет звучать так: передача тепла от более холодного тела к более тепловому возможна лишь при условии затраты дополнительной энергии.

Это обстоятельство и демонстрирует наша «безумная» кастрюля. Она получает энергию от огня, на котором стоит. Часть этой энергии змеевиком передается в атмосферу, а другая часть используется на то, чтобы передать тепло от более холодного (точнее, охлаждаемого) тела, то есть маленькой кастрюльки, к более тепловому, то есть опять-таки в атмосферу. В компрессионных холодильниках на то же самое затрачивается не тепловая, а, например, электрическая энергия, приводящая в действие компрессор.

И самое последнее замечание. Лишь часть тепла в «безумной» кастрюле затрачивается на охлаждение воды. Следовательно, у «безумной» кастрюли точно так же, как у пушкострелы и других двигателей, коэффициент полезного действия всегда меньше единицы.

Рассказ четвертый

В КОСМОС

ЛЮДИ НА ЛУНЕ

21 июля 1969 года 5 часов 56 минут. Затаив дыхание, мы сидим у телевизора. На экране астронавт Нейл Армстронг покидает лунную кабину и медленно, очень медленно спускается по лесенке. Несколько мгновений — и нога космонавта касается припорошенного пылью лунного грунта.

Интересно, понимаем ли мы до конца, сколь грандиозно событие, происходящее на наших глазах? Если ты, дорогой читатель, родился, как мы предполагаем, где-то в начале 1960-х годов, то всей своей жизнью ты был подготовлен к восприятию этого события. Первый советский искусственный спутник Земли был запущен задолго до твоего рождения. А о героических полетах первых космонавтов Юрия Гагарина, Германа Титова, Павла Поповича, Андрияна Николаева и других тебе рассказывали в детском саду. И так получилось, что космические полеты стали для тебя столь же привычными, как для нас — людей старшего поколения — путешествие на самолете.

В твоем возрасте о полете на Луну, Марс, Венеру мы могли только мечтать. Мечтать, как мечтали наши далекие предки. Мечтать и строить планы.

НА ПТИЦАХ

В середине третьего тысячелетия до нашей эры вавилоняне и ассирийцы научились писать на плоских кусках глины, а затем для прочности обжигать свои таблички на огне. Получив столь надежный материал для хранения информации, они стали записывать древние сказания и поэмы о богах и героях, передававшихся до той поры только устно. В одной из поэм, к примеру, рассказывается, как герой по имени Этана полетел на небо на орле (перевод В. К. Шилейко):

Орел изрекает ему, Этане:
«Я тебя понесу на небо к Ану¹.
На мою спину положи свою грудь,
На концы моих крыльев положи свои длани.
На мои крылья положи свои руки».
На его спину кладет он грудь,
На концы его крыльев кладет он длани,
На его крылья кладет он руки.
Стала тяжелой, возросла его ноша.
Один уже час они в дороге.

И орел изрекает ему, Этане:
«Посмотри-ка, мой друг, какова там земля?» —
«Словно горка земля, море — словно колодец».
Другой уже час они в дороге.
И орел изрекает ему, Этане:
«Посмотри-ка, мой друг, какова там земля?» —
«Сделалось море, как садовничья лейка».

Орел и Этана поднялись на небо бога Ану. Но еще выше есть другое небо — небо прекрасной и могучей богини Иштар. Туда предлагает орел снести своего друга, и Этана, колеблясь, соглашается. Все выше и выше поднимаются они:

«Посмотрите-ка, мой друг, какова там земля?» —
«Различаю я землю не яснее пылинки,
А широкого моря не видеть моим взорам.
Не хочу я, мой друг, подыматься на небо,
Удержи свой полет, опусти меня долу».

Далеко же залетел Этана! Теперь-то мы знаем, что Земля может показаться величиной с пылинку лишь с расстояния по меньшей мере в несколько десятков миллионов километров.

На самодельных крыльях, скрепленных воском, отправился к Солнцу герой древнегреческого мифа Икар. Существует легенда о том, как Александр Македонский пытался полететь в небо на живых грифонах.

¹ Бог неба в древневавилонских мифах.

Проходят тысячелетия, но люди продолжают мечтать о том же. Задолго до начала века пара и электричества, в 1638 году, английский писатель Фрэнсис Годвин издает книгу «Человек на Луне». Его герой, Доминго Гонзалес, попадает на остров Святой Елены и улетает оттуда на Луну в коляске, запряженной прирученными лебедями.

Злой шутник и остроумный рассказчик Савиньен Сирано де Бержерак примерно двадцатью годами позже предлагает сразу несколько способов достижения нашего верного спутника — Луны. Можно обвязаться склянками с росой, которую притягивает Солнце. Можно построить магнитный корабль и подбросить вверх металлический шар. Когда корабль притянется к шару, шар снова подбрасывают вверх, и так много раз. Наконец, если построить двадцатигранный хрустальный корабль, то его будет толкать вперед сила сгустившегося света.

Наверное, самый простой способ путешествовать в космическом пространстве придумал немецкий естествоиспытатель А. Кирхер. Как утверждается в его книге «Экстазное небесное путешествие», изданной в 1656 году, надо просто произнести магическое заклинание, нечто вроде «крибле-крабле-бумс» — и ты сразу окажешься там, где пожелаешь.

Проходит еще 200 лет, и король фантастов Жюль Верн сначала приводит нас на заседание Пушечного клуба, а затем делает свидетелями полетов к Луне и вокруг Луны в пушечном ядре. Сейчас все, кому не лень, упрекают великого провидца в том, что в данном случае он допустил промашку. Не в пушечном ядре, а на ракете следовало лететь Импи Барбикену, капитану Николю и Мишелю Ардану. Оно, конечно, верно, но тот, кто внимательно читал роман Жюль Верна «Вокруг Луны», мог обратить внимание на следующий абзац:

«Между прочим, Николь тогда утверждал, что при ударе о Луну снаряд разобьется, как стекло, а Ардан ему возражал, что он задержит падение при помощи ракет, расположенных надлежащим образом. И в самом деле, ракеты, имея точкой опоры дно снаряда и вылетая наружу, должны были вызвать обратное движение снаряда и тем самым до некоторой степени замедлить скорость его падения. Правда, топливо ракет должно гореть в безвоздушном пространстве, но за кислородом дело не станет, если в качестве топлива использовать порох...»

О ракетах у нас речь впереди, а пока напомним читателю еще об одном способе путешествия на Луну, наверное, самом остроумном, который предложил... ну конечно же, барон Мюнхгаузен. Он просто посадил в землю бобовое зернышко. Бобы, как известно, растут очень быстро. Не прошло и суток, как вершина растения коснулась Луны. Барону осталось только взобраться по стеблю. Здесь, правда, мы не можем удержаться от критики. Самый правдивый человек на свете явно не проявил на этот раз всей своей находчивости. Зачем было ждать, пока вырастет боб, а затем карабкаться по тонкому стеблю? Разве не проще было бы сразу уцепиться за верхушку и подниматься вместе со стеблем? Но об этом тоже речь впереди.

НА РАКЕТАХ

Китайская легенда утверждает, что около 1500 года нашей эры изобретатель Ван Гу построил пилотируемый ракетный летательный аппарат. Для этого он взял два коробчатых воздушных змея, соединил их с помощью фермы, а на ферму установил сиденье. К нижней части змеев Ван Гу привязал сорок семь пороховых ракет. Сорок семь человек одновременно поджигали ракеты. Во время одного из запусков Ван Гу погиб. На Луне есть кратер, который назван именем Ван Гу.

Использовать ракеты для полетов в космическое пространство предлагали многие. Тот же Сирано де Бержерак (мы нарочно умолчали об этом раньше) описал полет на Луну в коляске, к которой были привязаны ракеты. Правда, сам автор наверняка считал этот проект ничуть не менее фантастическим, чем склянки с росой. Ракетный летательный аппарат описан в книге французского писателя Ашиля Эро «Путешествие на Венеру» (1865 год).

Русский изобретатель, народоволец-революционер Николай Иванович Кибальчич, в 1880 году создал первый в мире научно обоснованный проект ракетного летательного аппарата для полета человека. Именем Кибальчича также назван один из кратеров на Луне.

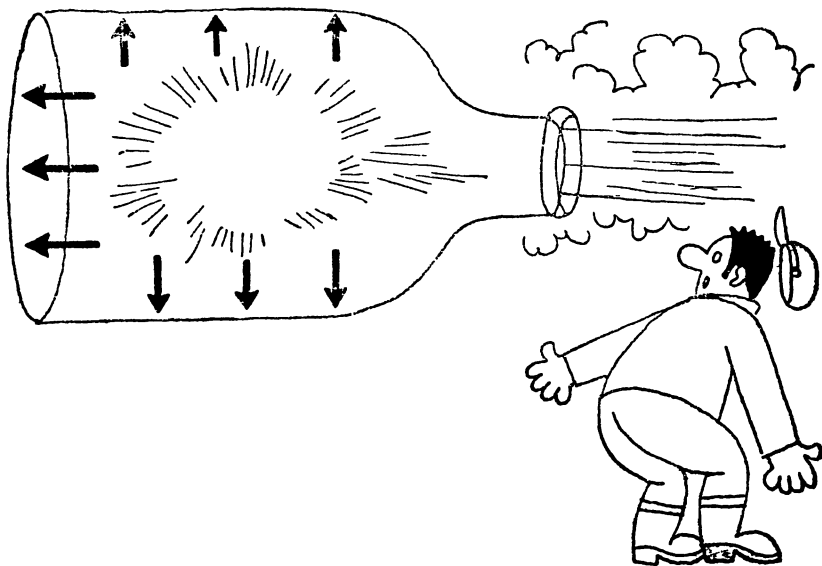
В 1903 году появилась работа замечательного русского ученого Константина Эдуардовича Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами». В этой работе Циолковский строго обосновал возможность использования ракет для межпланетных сообщений. Многотысячелетняя мечта человечества превратилась в реальность.

ЧТО ТАКОЕ РАКЕТА?

На подобный вопрос сегодня может ответить каждый школьник. Если говорить очень просто, то ракета — это бутылка с открытым горлышком. Бутылка заполнена таким топливом, которое может гореть без использования наружного воздуха, например, порохом.

Когда порох поджигают, образуются продукты сгорания — газы. Газы с одинаковой силой давят во все стороны. Силы давления газов на стенки бутылки уравниваются друг друга. А сила давления газов на дно ничем не уравнивается, потому что с противоположной стороны находится открытое горлышко. Газы вырываются через горлышко, а неуравновешенные силы давления на дно толкают бутылку. Как говорят, создается сила тяги. Если бутылку ничто не удерживает, она полетит дном вперед и будет двигаться со все возрастающей скоростью, пока не сгорит топливо.

Подобные явления читатель, конечно, много раз наблюдал в своей жизни. А если нет, то он может сделать это очень просто. Достаточно взять обычный воздушный шарик и раз-



вязать нитку, затягивающую отверстие, через которое шарик надувают. Воздух или газ, наполняющий шарик, будет выходить через отверстие, а сам шарик станет, вероятнее всего, беспорядочно метаться по комнате. Приглядевшись, мы увидим, что как бы ни двигался шарик, он всегда летит в сторону, противоположную открытому отверстию.

Заметим заодно, что для создания простейшей ракеты совсем не обязательно пользоваться таким опасным веществом, как порох. Для получения тяги нужен не сам порох, а те газы, которые образуются в результате его горения. Именно они создают давление. В случае с шариком роль таких газов выполняет сжатый воздух.

Теперь мы знаем, что для построения ракеты или, скажем точнее, ракетного двигателя необходимы, по крайней мере, три компонента: во-первых, сосуд, закрытый со всех сторон, кроме одной, и, во-вторых, вещество, наполняющее этот сосуд. Такое вещество называется рабочим веществом ракетного двигателя, и это совсем не обязательно должен быть газ. Можно налить в бутылку воды или какой-нибудь другой жидкости. Наконец, в-третьих, нужен источник энергии, который создавал бы давление в рабочем веществе и заставлял бы его вырываться через отверстие в сосуде и давить на противоположную сторону сосуда, создавая силу тяги.

Принцип ракетного двигателя известен человечеству уже более двух тысяч лет. Еще во втором веке до нашей эры Герон Александрийский изобрел свою паровую машину. Под котлом с водой раскладывали костер. Пар, образовывавшийся в результате нагревания воды, поступал по трубе в полый шар, укрепленный на горизонтальной оси. Из этого шара пар вырывался через две изогнутые трубки. Под действием, как мы теперь говорим, реактивной силы шар вращался в направлении, противоположном выходящему пару.

Еще до изобретения парохода существовал проект механического судна. На этом судне предполагалось иметь резервуар с водой и с помощью насоса выбрасывать эту воду через трубку, расположенную на корме. Ясно, что судно при этом должно было двигаться вперед.

Наконец, Исаак Ньютон (1643—1727) предложил установить котел с водой и топку на четырехколесной повозке. Из котла выходила трубка, направленная назад, а повозка, соответственно, должна была двигаться вперед. Так был создан проект первого реактивного автомобиля.

Пока один из нас (может быть, стоит напомнить читателю, что эти рассказы пишут два автора) допечатывал строчки о реактивном автомобиле Исаака Ньютона, второй рылся в большой кипе журналов и научно-популярных книг, скопившейся на столе. Именно в этот момент мы посмотрели друг на друга с сомнением.

— Зачем мы пишем обо всем этом? — спросил один из нас. — Смотри, ведь сейчас почти не встретишь ни одной книжки о космических полетах и ни одной мало-мальски солидной статьи, где не поминались бы и Сирано де Бержерак с его проектами, и жюльверновские путешественники, и все прочее, о чем мы только что написали.

— Может быть, остались где-нибудь, — робко возразил второй, — мальчишка или девчонка, которые впервые и именно от нас узнают ну хотя бы о проекте барона Мюнхгаузена?

— Нет, так не годится. Во-первых, барона Мюнхгаузена читали все. Во-вторых, мы пишем рассказы для любознательно-го читателя, который с нетерпением ждет почтальона с очередным номером журнала «Техника — молодежи» или «Знание — сила», а получив его, не успокаивается, пока не прочитает все, от первой страницы до последней.

— А не думаешь ли ты, что такой читатель, в который раз прочитав о склянках с росой, притягивающихся солнечным светом, возьмет и отложит наш рассказ в сторону?

— Это будет, конечно, обидно.

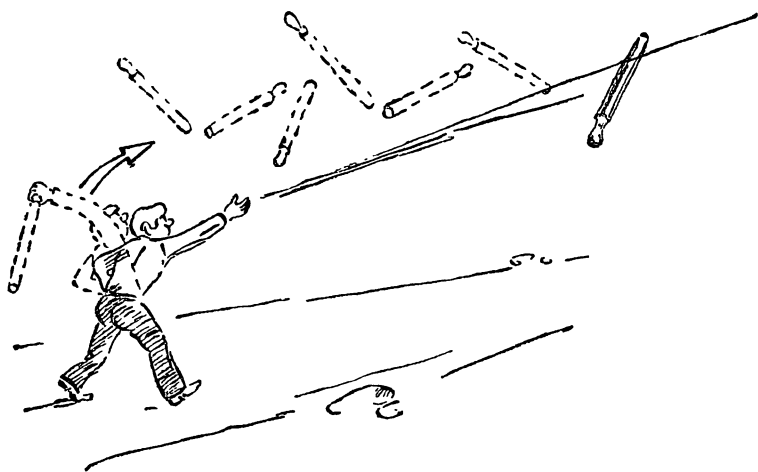
Так мы поспорили еще некоторое время. И, поспорив, согласились на том, что по крайней мере этот рассказ мы пишем для читателя, который твердо убежден: единственное средство перемещаться в космосе — это ракетный двигатель или, короче, ракета. На все прочие проекты такой читатель смотрит с иронией и испытывает при этом легкое чувство собственного превосходства.

Сами мы убеждены в этом ничуть не меньше читателя и поэтому можем сообщить ему следующее: на самом деле ракета никогда и никуда не движется. А если сказать еще точнее, ракета движется, оставаясь неподвижной.

Обосновать только что сделанное утверждение будет сложнее, чем разработать проект какой-нибудь «безумной» кастрюли. И все же попробуем. Только начать придется очень и очень издали. Сначала, как всегда, — эксперимент. Выберем за домом удобное место, где поблизости нет оконных стекол, прохожих и играющей малышни — лучше всего на спортивной площадке. Выбрали? Теперь подбираем подходящую палку — не очень тяжелую и не очень легкую, длиной чуть поменьше метра. Возьмем палку за один конец, размахиваемся как следует и бросаем.

Для того чтобы эксперимент получился, нужно чтобы палка не только полетела туда, куда ее бросали, но при этом вращалась в воздухе. Наверное, так и будет, если, размахиваясь, держать ее именно за один конец.

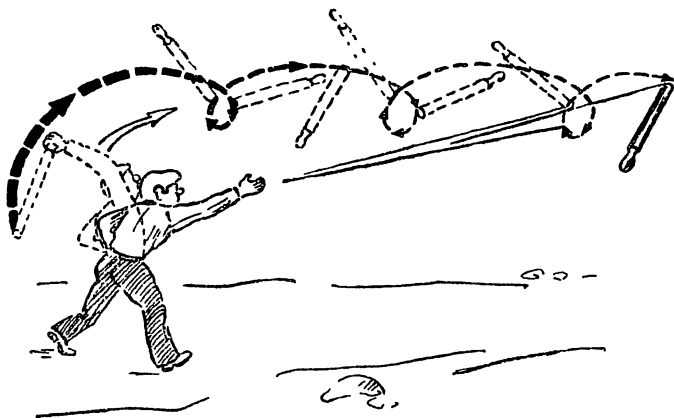
А теперь вспомним (который уже раз на страницах наших рассказов) все тот же первый закон Ньютона: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока другое тело... Попробуем применить этот закон к палке. Сначала палка находилась в сос-



тоянии покоя (относительно поверхности Земли) и сохраняла это состояние до тех пор, пока другое тело (ваша рука) не заставило ее изменить это состояние.

Начиная с того момента, когда конец палки расстался с вашей рукой, палка должна сохранять другое состояние, а именно состояние равномерного прямолинейного движения. Посмотрим теперь на рисунок. Мы попросили художника сделать две почти одинаковые картинки. Почти, но не совсем. На первой показано, как летит брошенная палка. Чтобы было видно, как именно она летит, художник изобразил несколько последовательных положений палки.

Посмотрите внимательно на эту картинку и сравните ее с проделанными вами экспериментами. Правда, все совпадает? Когда вы бросали палку, она летела точно так, прямо туда, куда вы целились. Согласно первому закону Ньютона, палка (тело) должна лететь (двигаться) прямолинейно и равномерно. А вот теперь сделаем самое главное наблюдение: разные части палки совершают, вообще говоря, различные движения. Чтобы убедиться в этом, мы и попросили художника нарисовать вторую картинку, где изображено то же самое, что и на первой, но последовательные положения одного из концов палки, того, за который вы держались, когда бросали, художник соединил пунктирной линией. Чтобы не



перепутать концы, он нарисовал на одном из них ручку (заодно так и бросать удобнее).

Вглядитесь внимательно в оба рисунка, чтобы убедиться в том, что здесь нет никакого подвоха. Если остались сомнения, бросайте палку еще несколько раз. Убедились — пойдём дальше. А рассуждая дальше, нам не остается ничего иного, как констатировать, что конец палки движется отнюдь не прямолинейно. Он совершает в воздухе весьма сложную траекторию, и, что самое невероятное, в отдельные моменты времени он движется не вперед, то есть в том направлении, куда летит вся палка, а назад. Это те моменты времени, когда пунктирная линия — траектория — образует петли.

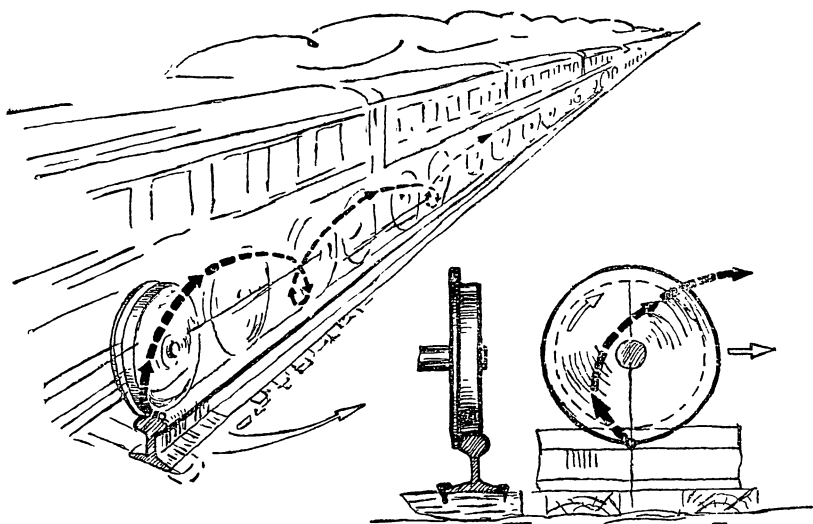
Палка летит вперед, а конец ее при этом летит назад! Поскольку конец палки — это та же палка, нам опять не остается ничего другого, как констатировать, что палка может лететь вперед и в то же самое время назад. Может быть, все дело в том, что мы взяли не обычную палку, а палку с ручкой, решили обмануть читателя, подсунув ему вместо обычной палки нечто вроде бумеранга?

Попробуйте проследить самостоятельно траекторию другого конца палки, на котором нет ручки. Или, еще и еще раз повторив эксперименты с бросанием палки без ручки, сделать то же самое, что сделал художник, — нарисовать траекторию движения одного из концов палки, который нужно как-то отличить от другого, например пометить крестиком или покрасить в другой цвет.

Вы убедились, что все остается без изменений? Палка летит вперед, а один из ее концов в отдельные моменты времени движется назад. И уж, во всяком случае, конец палки движется не прямолинейно и не равномерно (о какой равномерности может идти речь, если он движется то вперед, то назад).

Изобрели «безумную» палку? Нет, таким же свойством обладает и колесо. Правда, не всякое, а вот, например, колесо железнодорожного вагона. У железнодорожных колес сделаны специальные бортики, которые называются ребордами. Эти бортики нужны для того, чтобы колеса не соскакивали с рельсов. Выберем какую-нибудь точку на реборде и посмотрим, как она движется, когда колесо катится по рельсам. Траектория этой точки показана на рисунке.

Опять мы видим знакомые петли. И снова приходим к тому же выводу: с какой бы скоростью ни мчался по рельсам железнодорожный вагон, всегда найдутся такие части этого



вагона, точнее, не всего вагона, а его колес, которые в данный момент времени движутся не вперед, то есть туда, куда идет весь вагон, а в обратном направлении.

ТАК В ЧЕМ ЖЕ ДЕЛО?

— Действительно, в чем дело? — спросит нас вконец сбитый с толку и рассерженный читатель. — Если вы сумели опровергнуть первый закон Ньютона, так сказали бы об этом сразу.

Ни в коем случае. Более того, на страницах этого рассказа мы еще поговорим о некоторых попытках опровергать фундаментальные законы механики. Читатель получит возможность убедиться, насколько серьезно мы относимся к этим законам.

Дело вот в чем. Перед тем как рассуждать о движении физического тела, сначала надо четко договориться о том, что следует понимать под словами «движение тела», если речь идет о теле достаточно больших размеров, например о палке. Перед тем как начать договариваться, вернемся к нашим экспериментам, точнее, к рисунку, где изображены после-

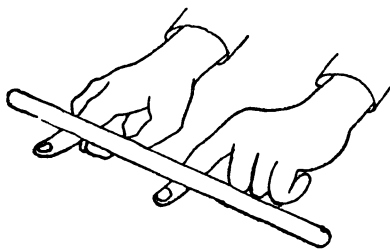
довательные положения летящей палки. Снова проследим за траекториями движения различных частей палки. Художнику пришлось нарисовать еще один рисунок, во всем похожий на два предыдущих, за исключением линий, соединяющих последовательные положения различных частей летящей палки.

И вот теперь мы видим, что среди множества траекторий имеется, по крайней мере, одна (художник показал ее не пунктирной, а сплошной линией), которая представляет собой прямую. Значит, имеется и такая часть палки, которая движется прямолинейно. Если бы мы следили за полетом палки с секундомером в руках, то легко убедились бы, что эта часть палки движется не только прямолинейно, но и равномерно, то есть за равные промежутки времени проходит равные расстояния.

Значит, первый закон Ньютона все-таки справедлив. Но справедлив не для всей палки, а лишь для одной ее части, и если говорить совсем строго, для одной точки. Что же это за точка? Чтобы ответить на вопрос, давайте пометим на последнем рисунке часть палки, подчиняющуюся закону Ньютона, крестиком и перейдем к следующей серии экспериментов.

БЛАГОРАЗУМНАЯ ТОЧКА

Возьмем палку, по возможности ту же самую, которую мы перед этим бросали, и положим ее концы на указательные пальцы раздвинутых рук так, как показано на рисунке. Сдвигаем пальцы. Стараемся делать это самыми различными способами. Например, сначала перемещаем оба пальца одновременно, затем оставляем палец, скажем, левой руки неподвижным и приближаем к нему палец правой руки. Наоборот, палец правой руки неподвижен, а палец левой движется. Наконец, снова двигаем оба пальца, но стараемся один перемещать быстрее, а второй медленнее. Рано или поздно мы убеждаемся в том, что, несмотря ни на какие ухищрения, если только не подталкивать палку сверху вниз, пальцы всегда сходятся в одном и том же месте. В том самом, которое в свое время мы пометили крестиком.



Более того, когда пальцы

уже сошлись, палка не падает, а остается лежать на сдвинутых пальцах, даже если мы очень крепко прижимаем их друг к другу. Почему палка не падает, догадаться легко. Это значит, что конец палки, оказавшийся слева от пальцев, весит ровно столько же, сколько конец палки, оказавшийся справа.

Сила веса правого конца стремится повернуть палку по часовой стрелке, а сила веса левого конца — против часовой стрелки. Поскольку эти силы равны, палка остается неподвижной. Та часть или та точка палки, в которой сошлись пальцы, является центром тяжести, или, точнее, центром масс.

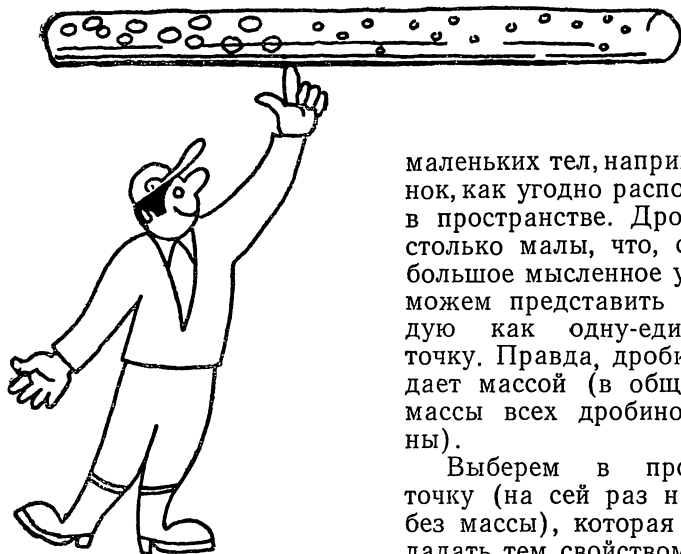
Если толщина палки по всей длине одинаковая, центр масс окажется точно посередине. А если толщина неодинакова? Можно повторить только что проделанные эксперименты с другой палкой, у которой один конец заведомо тяжелее другого, например с детской лопаткой. Убеждаемся немедленно, что результаты экспериментов остались неизменными. Только пальцы сходятся в точке, расположенной ближе к тому концу, который тяжелее. Это снова центр масс.

И, наконец, последняя серия опытов. Будем класть палку на пальцы так, чтобы они с самого начала оказывались на разных расстояниях от концов. Если палка не падает (это значит, центр масс оказался между пальцами), то и результаты эксперимента будут теми же: пальцы сходятся в центре масс.

Если кому-нибудь из читателей только что полученные результаты показались необычными, спешим раскрыть секрет. Посмотрим на рисунок, где показана палка, лежащая на пальцах. На этом же рисунке обозначено положение центра масс (предположим, что мы определили его в результате проделанных экспериментов). Палка давит сильнее на тот палец, который расположен ближе к центру масс. Это положение нам еще предстоит доказать. Но если пока мы примем его на веру, понять все остальное не составит труда.

Мы уже знаем, что чем больше давление одного тела на другое, тем больше сила трения скольжения между этими телами. А значит, вопреки всем нашим ухищрениям, скользить относительно палки всегда будет тот палец, который встречает меньшее сопротивление со стороны трения, а следовательно, тот палец, который расположен дальше от центра масс. И так до тех пор, пока пальцы не сойдутся именно в центре масс.

Как же определить, что такое центр масс? Представим себе, что мы имеем дело не с палкой, а с множеством



маленьких тел, например дробинок, как угодно расположенных в пространстве. Дробинки настолько малы, что, сделав небольшое мысленное усилие, мы можем представить себе каждую как одну-единственную точку. Правда, дробинка обладает массой (в общем случае массы всех дробинок различны).

Выберем в пространстве точку (на сей раз настоящую, без массы), которая будет обладать тем свойством, что расстояние от этой точки до каждой данной дробины обратно пропорционально массе этой

дробинки. Эта точка и будет центром масс всех дробинок, или, выражаясь более научно, центром масс системы, состоящей из множества дробинок.

Мы можем по-разному перемещать дробины и даже насыпать их в стеклянную трубочку. Получится нечто вроде палки, и, воспользовавшись только что изложенным правилом, мы можем определить, хотя бы примерно, где находится центр масс подобной системы (на массу самой стеклянной трубочки не станем обращать внимания).

Надеемся, что читатель поупражняется в определении местоположения центра масс, хотя бы для самых простых систем. Чтобы помочь ему, художник изобразил на рисунке трубку с дробишками. Из рисунка видно, что центр масс располагается ближе к тому концу трубочки, где оказалась более массивная (более тяжелая) дробинка.

А теперь целиком заполним трубочку дробишками и осторожно нагреем ее на огне. Свинцовые дробишки расплавятся и сольются воедино. Но и после этого правило относительно определения положения центра масс останется тем же самым. Точнее говоря, центр масс у трубочки с расплавленным свин-

цом останется в том же месте, где находился центр масс в трубке с дробинками (если, конечно, частицы свинца в процессе расплавления не перемешались). Осталось остудить трубку, разбить стекло и выбросить осколки. Получилась палка (свинцовая), и мы теперь точно знаем, где находится центр масс этой палки. Понятно также, почему он располагается ближе к тяжелому концу (тому самому, где перед расплавлением находилась самая массивная дробинка).

Что здесь важно уяснить? Законы Ньютона, записанные в том виде, как мы это делали раньше, справедливы для движения не всего тела, а одной только точки выбранного тела — его центра масс. Если тело мало по сравнению с теми расстояниями, которые оно проходит в своем движении, мы можем не заботиться о точности формулировок, что и делалось в предыдущих рассказах. А если тело достаточно велико или если интересующие нас расстояния не очень велики по сравнению с размерами тела, то законы Ньютона нужно формулировать несколько иначе.

В частности, интересующий нас сейчас первый закон нужно формулировать так: центр масс всякого тела сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока какое-нибудь другое тело (теперь правильнее сказать — какая-нибудь посторонняя сила) не выведет его из этого состояния.

Заметим, что, сформулировав таким образом закон Ньютона, мы одновременно объяснили одно обстоятельство, которое раньше, обсуждая опыты с палкой, просили читателя принять на веру. Предлагаем читателю самому разобраться до конца, что здесь к чему, подкинув ему в помощь только две подсказки. Во-первых, конец палки, который оказался справа от сдвинутых пальцев, мы можем рассматривать как отдельную палку, у которой есть свой центр масс. То же самое справедливо и для конца палки, оказавшегося слева от сдвинутых пальцев. Во-вторых, той посторонней силой, которая стремится вывести палку из состояния покоя, является сила земного притяжения.

КРУЧЕННЫЕ МЯЧИ

Мы настойчиво советуем читателю поразмыслить обо всем, что он узнал, перед тем как приступать к дальнейшему чтению. Возможно, таким образом удастся найти объяснение

множеству явлений, с которыми читатель сталкивается и которые пока что оставались непонятными.

Мы тоже попробуем сделать кое-какие выводы из экспериментов с палкой и последовавшей за ними новой формулировки первого закона Ньютона. Главный вывод таков: говоря о движении тела, мы должны принимать во внимание, по меньшей мере, два различных движения или, если угодно, два вида одного и того же движения. Первое — движение центра масс. Как было установлено, центр масс движется (или остается неподвижным) в полном соответствии со вторым законом Ньютона.

Второй вид движения — это движение тела относительно центра масс. Второй вид движения, конечно, также совершается в полном соответствии с основными законами механики. Секрет в том, чтобы научиться применять эти законы по отдельности к движению центра масс и к движению относительно центра масс. Последнее замечание приводит нас к одному важному наблюдению.

Говоря, что состояние покоя или равномерного прямолинейного движения может быть нарушено воздействием какого-либо другого тела, мы не уточняли, каким именно образом совершается подобное воздействие. Теперь мы видим, что последнее также весьма существенно. Всякое взаимодействие двух тел может быть оценено величиной и направлением силы взаимодействия. Мы столько говорили о силе взаимодействия, что теперь читатель поймет нас с полуслова.

Так вот, весь вопрос в том, как направлена сила взаимодействия? Если направление этой силы проходит через центр масс, изменения коснутся только движения центра масс. Движение тела относительно центра масс останется неизменным. Лучшим примером может послужить метатель копья. Если вам доводилось наблюдать этот интересный вид спорта, вы наверняка обратили внимание, что перед броском копье свободно лежит в руке метателя, оставаясь параллельным или почти параллельным поверхности земли. Из опытов с палкой мы уже знаем: так бывает, если держать палку в месте, где находится центр масс. После броска все точки копья движутся по одной или почти по одной и той же траектории.

Иначе будет обстоять дело, когда направление силы взаимодействия не проходит через центр масс. Вспомним, что мы сознательно просили экспериментатора держать палку перед броском за один из ее концов. Когда сила взаимодействия не проходит через центр масс, возникает сложное движение:

центр масс движется по заданной траектории, а, кроме того, палка вращается вокруг своего центра масс.

Так же объясняется секрет крученых мячей в футболе и волейболе. Игрок сознательно ударяет мяч таким образом, чтобы направление силы удара не совпало с центром масс, который, к слову сказать, находится в геометрическом центре мяча. В результате мяч устремляется вперед и, кроме того, начинает вращаться вокруг своего центра масс. Взаимодействуя с окружающим воздухом, он может описать весьма замысловатую траекторию и, как результат, ускользнуть от рук неопытного вратаря.

НЕПОДВИЖНАЯ РАКЕТА

Теперь мы, пожалуй, готовы к тому, чтобы вплотную подойти к главному вопросу: движется ракета или нет? Для этого нам понадобится провести еще один опыт и снова следует выбрать для него подходящее место. Если в опытах с палкой мешали окна и пешеходные дорожки, сейчас нам помешает весь земной шар, создающий силу земного притяжения. Поэтому давайте заберемся куда-нибудь подальше в открытый космос, прихватив с собой ракету.

Вспомним, что ракета для нас с вами — просто бутылка, наполненная веществом, способным гореть без участия окружающего воздуха (ведь мы находимся в открытом космосе). А вы не забыли захватить с собой спички? Нет? Тогда можно приступить к эксперименту.

Предоставим ракете свободно и неподвижно висеть в пространстве (для этого нам и понадобился открытый космос), то есть сообщим ей состояние покоя. А теперь подожжем порох, на всякий случай стараясь быть при этом подальше от бутылки. Готово! Из горлышка ударила струя ослепительно-го пламени. А что происходит с ракетой — движется она или нет?

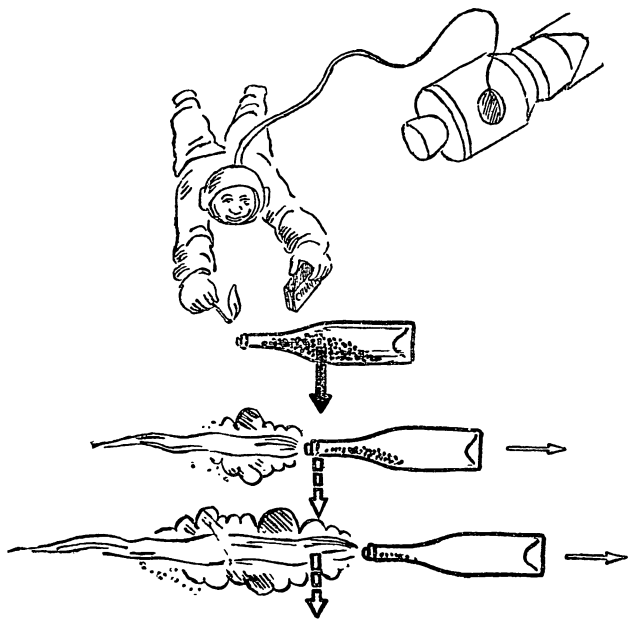
Весь вопрос в том, что понимать под словами «ракета» и «движется». Если под словом «ракета» понимать систему, состоящую из бутылки и наполняющего ее топлива, а под словом «движется» понимать движение центра масс, ответ совершенно очевиден: конечно, нет. До того как мы подожгли порох, центр масс системы находился в состоянии покоя. Он будет сохранять это состояние и после того, как порох подожгли. Ведь не было никакого другого тела или никакой дру-

гой силы взаимодействия, которые могли бы вывести центр масс из состояния покоя.

Итак, центр масс ракеты остается неподвижным. Попробуем представить теперь под словом «движение» — движение отдельных частей системы относительно центра масс. Такое движение действительно будет совершаться. Не станем пока говорить о законах, которым подчиняется движение относительно центра масс, а понаблюдаем, что происходит.

Сама бутылка движется в одном направлении, а струя выброшенных из ее горлышка газов — продуктов сгорания пороха — в противоположном. Художник изобразил все это на очередном рисунке, снова показав для наглядности несколько последовательных положений бутылки и газовой струи.

Глядя на рисунки, мы можем легко вывести и закон движения. Нужно лишь представить себе, что бутылка состоит из множества частиц, обладающих массой, — молекул или, если угодно, дробинок, как в прошлом примере. Струю



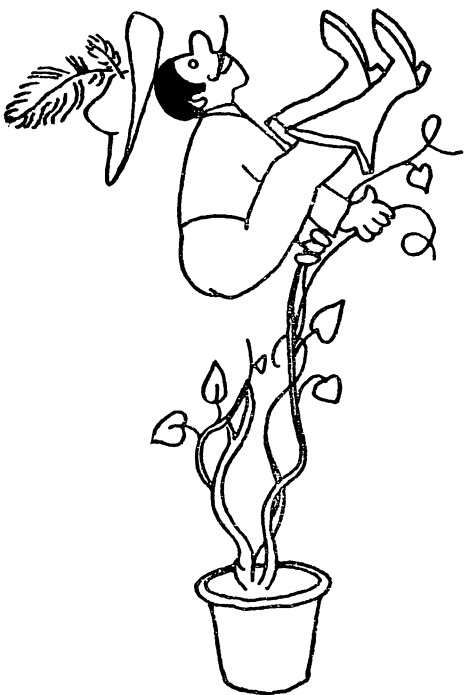
газа также нужно представить себе состоящей из подобных частиц.

Теперь ясно, какому основному закону должно подчиняться движение всей системы. Бутылка может двигаться лишь таким образом, при котором, во-первых, расстояние от любой ее частицы до центра масс будет обратно пропорционально массе этой частицы и, во-вторых, расстояние от любой другой частицы системы, в том числе и частицы выброшенных газов, до центра масс системы также будет обратно пропорционально массе этой частицы.

Поясним сказанное более простым примером. Для этого заметим, что единственное свойство ракеты, которое мы смогли подметить, разглядывая рисунок, — это свойство изменять свои размеры, как бы растягиваться в пространстве. Если к тому же вспомнить, что все сказанное раньше относительно центра масс справедливо для любого тела, состоящего из частиц, — твердого, жидкого или газообразного, — то мы можем смело уподобить ракету палке, которая под воздействием *ВНУТРЕННИХ* сил может увеличивать свою длину. Поместив такую палку в открытый космос на место ракеты, мы не увидим ничего нового. Палка начала удлиняться, ее центр масс остается на месте, а концы отодвигаются от центра масс в разные стороны.

Можно сказать и больше. Если один из концов палки по каким-то причинам оказался тяжелее, он отодвинется на меньшее расстояние, а более легкий конец — на большее расстояние. Сама же палка, понимаемая как единое целое, будет оставаться неподвижной. Зафиксируем некоторый момент времени. К этому моменту легкий конец палки отодвинулся от центра масс несколько дальше, чем тяжелый конец. Но с момента начала эксперимента до момента, в который мы произвели только что сделанные наблюдения, прошло определенное количество времени. За этот период легкий конец прошел большее расстояние, а тяжелый меньшее. Значит, при «ракетном», реактивном, движении более легкое тело или более легкие частицы движутся с большей скоростью.

Все только что сказанное представляет собой словесную формулировку знаменитой формулы Циолковского. Но мы твердо решили обойтись в наших рассказах без математических формул. Заметим лучше другое: из всех литературных героев, перечисленных нами в начале рассказа, ближе всех к решению проблемы путешествия на Луну оказался все-таки барон Мюнхгаузен. Разве ствол растущего бобового



растения — не то же самое, что растущая палка?

Переходим к третьему, и последнему эксперименту. Выбрасываем из облюбованного нами уголка открытого космоса растущую палку и помещаем туда цветочный горшок с землей, в которую мы только что посадили бобовое зернышко. Вот оно проросло, вот появляются первые листочки. Длина ствола, как это свойственно бобовым, быстро увеличивается. И что же дальше? Да все то же самое. Центр масс остается неподвижным. В данном случае он расположен где-то внутри цветочного горшка. Ствол отодвигается в одну сторону от центра масс, а горшок — в другую. Но горшок во много раз тяжелее, поэтому он проходит значительно меньшее расстояние и движется с меньшей скоростью.

А легкий ствол и движется быстрее, и конец его уходит дальше. В точности так, как нарисовал художник.

Теперь осталось только посадить на кончик ствола самого барона Мюнхгаузена, и смелый путешественник отправится в путь. Все законы реактивного движения при этом сохраняются. Чтобы не портить, как говорят физики, чистоту эксперимента, иными словами, чтобы добавление к системе барона Мюнхгаузена не подействовало на положение центра масс, попросим нашего героя на время полностью лишиться массы: самый правдивый человек на свете умел вытворять штучки и похлеще.

БОБОВАЯ МОДЕЛЬ

На примере цветочного горшка с бобовым семенем мы установили основные законы реактивного движения. Но этим законам должен подчиняться и любой другой аппарат, дейст-

вующий по принципу реактивного движения. Мы даже не станем сейчас давать такому аппарату имя, хотя выбор достаточно велик. Можно было бы назвать его и просто ракетой, и ракетоносителем, и космическим кораблем, и любым другим именем, заимствованным со страниц популярной или серьезной научной литературы. Важно для нас одно: в сходных условиях аппарат, действующий по принципу реактивного движения, будет вести себя точно так же, как и горшок с бобовым семенем.

А коли так, то изучать это поведение мы можем на примере цветочного горшка. Как говорят ученые, цветочный горшок с бобовым семенем может служить для нас моделью (бобовой) реактивного движущегося аппарата. Знаем мы теперь и главный закон. Он гласит так: при отсутствии взаимодействия с другими телами отдельные части системы «цветочный горшок — бобовое растение» могут совершать лишь такие движения, при которых положение центра масс останется неизменным.

Предположим теперь, что вместе с цветочным горшком, наполняющей его землей и семенем мы занесли в открытый космос муравья. Муравей быстро освоился с непривычными для него условиями и начал путешествовать по стеблю. Но муравей такая же частица системы, как и все остальное. Поэтому любое его перемещение по стеблю немедленно должно сопровождаться перемещением всех остальных частиц системы, сохраняющим неизменным положение центра масс.

Проще говоря, сдвинется муравей — сдвинется и горшок вместе со стеблем. Конечно, масса муравья ничтожно мала по сравнению с массой горшка, наполненного землей. Поэтому если муравей переместится немного, то горшок с землей совершит в ответ совсем уж незаметное движение. Важно другое: сейчас мы хотим привлечь внимание читателя не столько к самому движению, сколько к его направлению.

Действительно, предположим, что мы хотим использовать нашу бобовую конструкцию для того, чтобы доставить барона Мюнхгаузена на Луну. Из всего, что было сказано, ясно: никаких принципиальных препятствий к этому нет. Но есть одно условие. С самого начала, когда семечко еще не стало расти, мы должны сориентировать горшок так, чтобы стебель растения в конце концов уперся в Луну. Предположим, что мы знаем, как это сделать, но дальше все становится совсем плохо...

Любое небольшое движение внутри системы (не надо да-

же муравья — просто у бобового растения вырастает очередной листочек) — и ориентация всей системы в пространстве изменяется. Ничего нельзя исправить, ведь самое главное условие состоит в том, чтобы система не подвергалась никаким внешним воздействиям. Все, что нам остается, это, плавающая в космосе рядом с горшком, наблюдать за неудачей так хорошо начавшегося путешествия.

Возможно, многим из вас бобовая модель кажется слишком уж фантастической и поэтому малодостоверной. Но на самом деле все происходит именно так. Представим себе космический корабль, каким он обычно описывается в научно-фантастических романах. Корабль нацелен носом к какой-нибудь Тау Кита и с работающим двигателем совершает свой нелегкий путь. Так вот, достаточно одному из пассажиров не то что перейти в другое помещение, а хотя бы немного поерзать в своем кресле, нос корабля немедленно отклонится от заданного направления. Ничтожно малое отклонение обязательно скажется в конечном счете, учитывая огромное расстояние, которое предстоит преодолеть, — корабль пролетит мимо цели.

Все эти затруднения были хорошо знакомы реальным конструкторам реальных движущихся аппаратов. Реактивный двигатель, способный вынести достаточный груз, если не в космос, то хотя бы в верхние слои атмосферы, был построен почти одновременно в нашей стране, Германии и США еще в начале тридцатых годов XX столетия. Именно в это время конструкторы столкнулись с очень серьезными проблемами. При всем своем многообразии они сводились в основном к двум: двигатели часто взрывались, а аппараты с исправными двигателями не хотели лететь туда, куда нужно.

Первую проблему удалось решить тогда, когда инженеры и ученые — химики, металлурги и технологи — создали подходящие сорта топлива и подходящие материалы, способные выдерживать огромные давления и температуры. А вот о второй следует поговорить особо.

РАКЕТА НА КОЛЕСАХ

История ракетостроения изобилует всевозможными, подчас довольно яркими примерами, когда какой-нибудь летающий снаряд, не совершив и половины пути до цели, спокойно разворачивался и направлялся прямо в то самое место, отку-

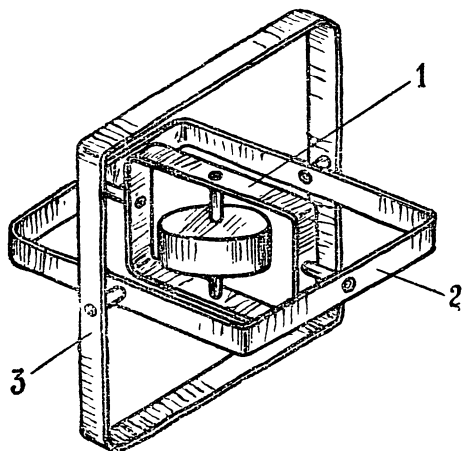
да был запущен. Согласитесь, что впечатление от такого эксперимента нельзя назвать слабым. Причина нам теперь хорошо известна, поэтому, услышав подобные рассказы, мы можем отнестись к ним с полным доверием. Достаточно было чему-то переместиться внутри аппарата, например топливу в баке, как менялось и направление полета. Конечно, существенную роль в подобных неудачах играло и то обстоятельство, что двигались эти аппараты не в открытом космосе, а хотя бы частично в земной атмосфере. Небольшой порыв ветра или просто изменение плотности воздуха — и в результате изменение курса.

Интересно, что к тому же выводу о неустойчивости направленного движения реактивного аппарата мы могли бы прийти и не прибегая к бобовой модели. Можно рассуждать так, как мы это делали в самом начале рассказа. Ракетный двигатель — это бутылка, а силу тяги в нем создает давление газов на ее дно. Сила давления, как мы в этом неоднократно убеждались, всегда направлена перпендикулярно плоскости, на которую оказывается давление, а значит, в нашем случае — перпендикулярно донышку и параллельно оси бутылки. Куда направлена ось ракеты, туда и тянет ее сила давления газов. Изменилось направление оси — газы столь же исправно начинают тянуть ракету в новом направлении.

Каков же выход из создавшегося положения? Если вернуться к бобовой модели, то выход отыщется довольно просто. Барону Мюнхгаузену, если он твердо решил добраться до Луны, нужно на время превратиться в муравьиного пастуха. Пополз муравей не туда — отклонилось направление роста бобового растения. Надо заставить муравья совершить такой же точно путь в обратном направлении, и все вернется на место.

Можно производить и более сложные эволюции, нужно лишь знать правильное направление. К услугам современных космонавтов, производящих вручную стыковку космических объектов, имеются специальные маломощные рулевые реактивные двигатели. Они работают точно так же, как муравей, перегоняемый с места на место или в крайнем случае отбрасываемый прочь от космического корабля. Но все это возможно лишь тогда, когда объект, с которым надо состыковаться, находится в зоне видимости и когда относительная скорость сближения стыкуемых объектов не очень велика.

Для полетов вне земной атмосферы гораздо более типичны случаи, когда скорости огромны, а космонавт не видит цели.



Наконец, космонавта на борту корабля просто может и не быть. И вот тут-то на помощь приходит колесо. В первом рассказе мы уже познакомились с замечательным свойством колеса стремиться сохранять неизменным направление оси своего вращения. Теперь мы можем еще раз использовать это свойство. Нужно лишь поместить колесо в конструкцию, называемую

кардановым подвесом. Эта конструкция показана на рисунке.

Ось колеса вращается в подшипниках, укрепленных в первой, внутренней рамке. Две другие стороны рамки также имеют оси, которые, в свою очередь, вращаются в подшипниках, укрепленных во второй рамке, внешней по отношению к первой. Если мы станем вращать вторую рамку, положение первой рамки с закрепленным в ней колесом останется неизменным. Вторая рамка также снабжена осями, закрепленными в подшипниках третьей рамки. Это позволяет поворачивать третью рамку в горизонтальной плоскости, оставляя положение второй неизменным. Теперь как следует раскрутим колесо — и получим конструкцию, названную гироскопом. Как бы мы ни перемещали гироскоп в пространстве, направление оси вращающегося колеса останется неизменным. Ось может только сдвигаться параллельно самой себе.

Вторая из отмеченных выше проблем оказалась успешно разрешенной, когда на борту реактивных летательных аппаратов установили гироскопы и автоматические приборы. Эти приборы способны улавливать различие между направлением собственной оси и направлением, указываемым гироскопом. Ежели такая разница обнаружена, приводятся в действие рулевые устройства.

А мы с вами, дорогой читатель, можем испытывать чувство глубокого удовлетворения от одного того факта, что и на ракете нельзя обойтись без колеса.

Второй раз на протяжении этого рассказа авторы решили поделиться с читателями своими сокровенными замыслами. Герои наших рассказов — это вещи. Так же, как и в рассказах о людях, мы пытаемся показать, как наши герои рождаются, растут и мужают. Как они взаимодействуют друг с другом, как относятся к совершающимся вокруг них событиям. Все было просто, пока героями рассказов были вещи, достигшие весьма солидного возраста. Нам оставалось лишь проследить их жизненный путь.

Иное дело межпланетный или вообще космический корабль. Днем его рождения во всем мире принято считать 4 октября 1957 года — день выхода на околоземную орбиту первого искусственного спутника Земли, запущенного в Советском Союзе. Для вещи это поистине младенческий возраст. И хотя наш «младенец» совершил уже немало подвигов: успел побывать не только на Луне, но и на Марсе, Венере, — он все равно остается младенцем.

Поразмыслив, мы решили не описывать краткую биографию нашего героя. Тем более, что ей посвящено столько книг, рассказов и статей, что невозможно избежать повторений. Мы решили поступить иначе — попробовать посмотреть на современные космические аппараты глазами наших отдаленных потомков. А потомки, такова уж неумолимая логика истории, будут смотреть на наших сегодняшних любимцев, как мы смотрим на доисторическую телегу или на первый автомобиль с паровым двигателем.

Для начала давайте посмотрим, какую задачу решает космический корабль и в чем состоят основные отличия этой задачи от задач, решаемых другими транспортными средствами, например автомобилем или самолетом. Сама по себе эта задача нам хорошо известна: необходимо доставить некий груз из пункта А в пункт Б. Мы уже знаем из предыдущих рассказов, что если оба пункта А и Б расположены на земной поверхности, то общая задача разбивается на следующие частные подзадачи. Мы считаем, что до начала решения груз находится в пункте А в состоянии покоя. Поэтому первая подзадача, решаемая автомобилем или самолетом, состоит в том, чтобы придать грузу (под словом «груз» мы подразумеваем как перевозимый объект, так и экипаж, используемый для перевозки) необходимую скорость, преодолев при этом силы инерции.

После достижения заданной скорости груз движется, как мы говорим, равномерно и по возможности прямолинейно. Вторая подзадача, возникающая на этом этапе, состоит в том, чтобы в течение времени, необходимого для преодоления расстояния от пункта А до пункта Б, при данной скорости движения поддерживать эту скорость постоянной. Мы знаем, что такая подзадача будет решена, если на протяжении всего пути будут преодолеваются силы трения.

Наконец, третья подзадача состоит в том, чтобы затормозить груз и в пункте Б снова привести его в состояние покоя. Эта подзадача также связана с преодолением сил инерции.

Только что перечисленные подзадачи во многом отличаются друг от друга. А третья вовсе противоположна первой. Общим для них является то, что во всех трех случаях решение связано с преодолением сил. Но преодолеть силу можно только силой. Значит, решая каждую из подзадач, мы должны прикладывать к грузу некоторую силу. Но действие равно противодействию — гласит неумолимый третий закон Ньютона. Какую бы силу мы ни прикладывали к грузу, такую же точно, но направленную противоположно силу груз приложит к нам. Поэтому еще в первом рассказе мы установили окончательно и бесповоротно: решение задачи о перемещении груза из пункта А в пункт Б возможно лишь в том случае, если мы будем отталкиваться от дороги.

Мы даже говорили, что, в общем-то, все равно, отталкиваем ли мы груз от дороги или дорогу от груза. Поэтому еще более кратко задача транспортировки может быть сформулирована так: осуществить транспортировку груза — значит установить силовое взаимодействие между объектами «груз» и «дорога». В случае автомобиля слово «дорога» можно понимать буквально, а в случае, например, самолета под словом «дорога» понимается окружающая его атмосфера.

Космический корабль решает ту же самую задачу перемещения груза из пункта А в пункт Б. Пункт А находится на земной поверхности, и перед началом решения груз находится в этом пункте в состоянии покоя. Пункт Б не находится на земной поверхности. Для упрощения дальнейших рассуждений не станем забираясь слишком далеко — выберем в качестве пункта Б какую-нибудь точку на поверхности Луны.

Задача, стоящая перед космическим кораблем, также разбивается на отдельные подзадачи. Их четыре. Первая пол-

ностью совпадает с первой подзадачей, решаемой автомобилем: необходимо вывести груз из состояния покоя, сообщив ему необходимую скорость. Для этого надо приложить к грузу силу, противодействующую силе инерции. Вторая подзадача, существующая только для космических кораблей, — это преодоление силы притяжения Земли. Третья подзадача по своей постановке совпадает со второй подзадачей автомобиля: на всем пути от пункта А до пункта Б необходимо поддерживать скорость груза, достаточную для преодоления этого пути за разумное время.

Имеются здесь и существенные отличия. Во-первых, расстояние между пунктами А и Б существенно больше, чем расстояния, с которыми мы можем столкнуться на земной поверхности. Поэтому при прочих равных условиях скорость также должна быть больше. Во-вторых, в космическом пространстве корабль движется без трения. После того как заданная скорость достигнута, корабль продолжает двигаться, не преодолевая никаких противодействующих сил. Четвертая подзадача — торможение. Отличие от автомобиля или самолета состоит здесь в том, что при торможении необходимо противодействовать не только силам инерции, но и силе притяжения Луны.

Четыре подзадачи — и при решении, по крайней мере, трех из них необходимо противодействовать силам. А вот этого-то как раз в случае космического корабля мы не можем сделать. В космосе не во что упереться. Отсутствует дорога, от которой можно было бы оттолкнуться или которую можно было бы оттолкнуть от себя. Поэтому вместо «движущихся» автомобилей и самолетов вы выбрали «неподвижную» ракету. Не откажем себе в удовольствии еще раз напомнить читателю, что из всех литературных героев, решавших задачу путешествия на Луну, правильное решение предложил один лишь барон Мюнхгаузен. В космосе не от чего оттолкнуться, а значит, нельзя и двигаться, поэтому единственная возможность достигнуть поверхности Луны — это поместить в космос неподвижный предмет (ракету или горшок с бобовым семенем) и заставить его увеличиваться в размерах.

Остановимся ненадолго на второй подзадаче космического корабля. Для того чтобы вырваться из цепких объятий земного притяжения, космический корабль должен приобрести скорость 11,2 километра в секунду. Это очень важное условие. Оказывается, в отличие от автомобиля и самолета требования к скорости здесь определяются не только временем

преодоления пути, но и необходимостью преодолеть земное притяжение. Даже если мы не спешим, все равно, решая вторую подзадачу, мы обязаны придать космическому кораблю скорость, не меньшую, чем вторая космическая.

А теперь передаем слово потомкам. Нынешние космические корабли — это ракеты, работающие на химическом топливе. На первый взгляд, химическое топливо очень удобное. Оно содержит одновременно и источник энергии, необходимый для придания отдельным частям системы нужных скоростей, и источник вещества (продукты сгорания), из которого строится стебель нашей бобовой модели. Но есть у химического топлива очень серьезный недостаток — малая скорость истечения горячих газов из сопла ракетного двигателя. По нашим земным масштабам эта скорость достаточно велика, но она очень мала по сравнению со второй космической.

Вернемся еще раз к бобовой модели. Центр масс системы остается неподвижным. Он будет находиться там же, где он был к началу решения, то есть в пункте А. Часть системы, расположенная по одну сторону от центра масс, вообще говоря, может двигаться быстрее части системы, расположенной по другую сторону от центра масс. Это обстоятельство мы не раз подчеркивали. Но при этом необходимо, чтобы часть системы, двигающаяся с меньшей скоростью, обладала, соответственно, большей массой.

В случае космического корабля по одну сторону от центра масс оказывается сам корабль, а по другую — облако газов, продуктов сгорания. Значит, в любой момент времени масса облака газов должна быть во столько же раз больше массы самого корабля (с остатками несгоревшего топлива), во сколько раз скорость корабля больше скорости истечения газов из сопла двигателя.

Скорость истечения газов из сопла двигателя зависит от многих причин, но прежде всего от скорости сгорания топлива. Эту скорость, вообще говоря, можно было бы увеличить, как это мы делали, например, переходя от бензинового двигателя к дизелю, но лишь до определенной степени. Иначе получается не горение, а взрыв. И вот результат: сам корабль «Аполлон», доставивший на Луну Нейла Армстронга и его спутников, весил около сорока четырех тонн, а вес всей системы, когда она находилась в пункте А (на космодроме мыса Кеннеди), доходил до трех тысяч тонн.

Предоставляем читателю пофантазировать также и на тему о том, что получится, если мы вздумаем расположить

пункт Б не на Луне, а на какой-нибудь планете земного типа. Если там заранее не оборудован космодром с запасами горючего, придется тащить на себе все горючее, необходимое для обратного старта на Землю. Каков в этом случае будет стартовый вес ракетной установки? Это легко подсчитать, пользуясь все той же бобовой моделью. Мы же просто не решаемся приводить здесь получающиеся астрономические числа.

РАКЕТА-ПАРОВОЗ

— Химическое топливо, — скажут потомки, — совершенно непригодно для межпланетных кораблей. Его главное преимущество — совмещение в одном веществе запаса энергии и запаса рабочего вещества — таит в себе и главный недостаток: ограниченную скорость образования рабочего вещества.

Как же следует поступать? В предыдущем рассказе рассуждения о коэффициенте полезного действия привели нас к созданию двигателя внутреннего сгорания. Такого двигателя, где одно и то же исходное вещество порождает и энергию и рабочее тело, приводящее в движение поршень или колесо турбины. Мы оговорились там же, что ракетный двигатель на химическом топливе — это типичный двигатель внутреннего сгорания. Его недостатки в случае космического корабля очевидны.

Может быть, попытаемся сделать наоборот — отделить источник энергии от рабочего тела? Заметим сразу же, что в качестве рабочего тела можно использовать любое вещество: твердое, жидкое, газообразное. Все, что требуется от рабочего тела, это способность покидать космический корабль с как можно большей скоростью. Причем чем больше будет эта скорость, тем меньшими могут быть запасы рабочего вещества на борту корабля.

Отметим еще одно обстоятельство. Во всяком случае, при дальних космических перелетах рабочее вещество теряется безвозвратно. Поэтому использовать надо то, чего на Земле много, например воду. Предлагаем на суд читателя один из возможных проектов космического корабля будущего. Не станем обсуждать его в деталях, ясно одно: на корабле установлен котел, заполненный водой. Вода в котле нагревается, превращается в пар, и этот пар выбрасывается из сопла двигателя точно так же, как у современных кораблей выбрасываются горячие газы.

Скорость истечения пара может быть достаточно большой, если нагреть его до высокой температуры и создать в котле большое давление. Остается решить, чем топить котел. Дровами? Конечно, нет. Ясно также, что никакое химическое топливо, даже самое высококалорийное, здесь не подходит. Получается совсем глупо: беря с собой запас подобного топлива, мы используем только половину его возможностей — способность поставлять энергию. А вот, к примеру, атомный реактор подходит для нашей цели вполне.

Проект корабля завершен. Атомный реактор выделяет энергию, передает ее рабочему веществу (воде), а рабочее вещество приводит в движение всю систему. Очевидны и преимущества: запас топлива для атомного реактора при одном и том же количестве потребной энергии весит значительно меньше, чем соответствующий запас химического топлива. Получаем сразу два выигрыша. На борт корабля можно взять меньше топлива (атомного) и меньше рабочего вещества, поскольку этому рабочему веществу мы можем придать теперь большую скорость.

ГОРШКОМ ВПЕРЕД

Рассуждая с позиций бобовой модели, наш проект атомно-водяного корабля — это не что иное, как движение горшком вперед. Как мы думали вначале? Стебель растения легче горшка с землей. Раз он легче, значит, он может приобрести большую скорость. Пусть стебель (космический корабль) быстро движется к Луне, а горшок (облако продуктов сгорания) медленно отходит в обратную сторону. Но нам не нужно идти к Луне чересчур быстро. Все, что требуется, это сообщить кораблю вторую космическую скорость. Поэтому, если удастся заставить рабочее вещество покидать корабль со скоростью большей, чем вторая космическая, мы охотно перевернем нашу модель задом наперед.

Пусть теперь горшок — это корабль, движущийся к Луне, а стебель — рабочее вещество, движущееся в противоположном направлении. Заметьте, что подобная модель оказывается и более правдоподобной, ведь вещества, необходимые для роста, стебель получает из горшка. Раньше мы сознательно умолчали об этом обстоятельстве, считая его несущественным.

Первая же попытка отделить источник энергии от рабочего вещества принесла нам значительный успех. Попробуем рас-

суждать дальше. Впопыхах мы выбрали первое попавшееся рабочее вещество и первый пришедший нам в голову источник энергии. Убедившись, что мы на правильном пути, продолжим поиски. Что касается источника энергии, остановимся пока на атомном реакторе. Посмотрим, какие требования предъявляются к рабочему веществу. Требование единственное — способность покидать сопло двигателя с наибольшей скоростью. Чем больше скорость, тем меньшим будет потребный запас рабочего вещества.

Что происходит, когда в качестве рабочего вещества используется вода? Нагревая воду в котле, мы сообщаем молекулам дополнительную кинетическую энергию, то есть увеличиваем скорость их движения. Чем выше температура, тем больше скорость. В этом смысле все как будто идет как надо. Вспомним, однако, что скорость движения любой материальной частицы, в том числе молекулы воды, имеет не только величину, но и направление. Молекулы воды или нагретого водяного пара движутся хаотически, то есть в самых различных направлениях. Пока пар находится в котле или движется по трубе к соплу, молекулы, ударяясь о стенки котла или трубопровода, передают им часть своей энергии. Стенки испытывают давление и нагреваются. Плохо не только то, что часть энергии реактора расходуется впустую. Чтобы противостоять высокой температуре и давлению, стенки котла и трубопровода должны быть сверхпрочными, а следовательно, тяжелыми.

Нельзя ли сделать так, чтобы скорости отдельных молекул сразу принимали нужное нам направление — в сторону, противоположную движению космического корабля? Оказывается, можно. Вспомним, что молекулы любого вещества состоят из атомов, а каждый атом представляет собой ядро, имеющее положительный электрический заряд, и движущиеся вокруг ядра отрицательно заряженные электроны. Если каким-то образом разделить молекулы на отдельные атомы, а атомы лишить хотя бы части их электронных оболочек, получатся положительно заряженные частицы, называемые ионами.

Электрический заряд обладает способностью взаимодействовать с электрическим полем. Находясь в поле, он испытывает силу, направление которой совпадает с направлением поля. Под действием этой силы заряд начинает двигаться с ускорением, и, если поле достаточно мощное, а заряд находится в нем достаточно долго, он может приобрести сколь угодно большую скорость (конечно, не больше скорости све-

та). Самое главное в том, что заряженные частицы в электрическом поле движутся не хаотически, а строго в одном направлении — направлении поля или, грубо говоря, от плюса к минусу.

Таким образом, возникают три самостоятельные задачи: разбить молекулы на атомы, лишить атомы части их электронных оболочек и то, что получится, поместить в достаточно мощное электрическое поле. Вообще-то говоря, первую задачу можно и не решать, если с самого начала воспользоваться каким-нибудь веществом, лучше всего газом, молекулы которого состоят из отдельных атомов. Простейшее вещество, обладающее таким свойством, — водород.

Вторая задача может быть решена с помощью того же электрического поля. Если в газе с самого начала имеется хотя бы несколько свободных электронов, то, двигаясь под действием поля с большими скоростями, эти электроны сталкиваются с атомами и выбивают другие электроны с их оболочек. Один первичный электрон может таким образом лишить оболочки или, как говорят, ионизировать несколько атомов. Освободившиеся в результате ионизации вторичные электроны немедленно включаются в работу. В результате атомы газа, находящегося в достаточно мощном электрическом поле, почти полностью ионизируются. Газ, состоящий из ионизированных атомов, называется плазмой. Для решения третьей задачи так же, как и для решения второй, достаточно создать мощное электрическое поле.

Незаметно мы подошли к проекту космического корабля номер два: корабль с ионным, или плазменным, двигателем. На борту корабля установлен атомный реактор и бак с жидким водородом. Атомный реактор вырабатывает электроэнергию точно так же, как это делается в наземных атомных электростанциях. Электроэнергия используется для создания мощных электрических полей. Водород поступает по трубе из бака, превращаясь по дороге из жидкости в газ и проходя затем через электрическое поле, ионизируется, а ионы, приобретая нужную скорость (все в одном направлении!), выбрасываются из сопла двигателя.

Подобный метод позволяет достичь огромных скоростей истечения рабочего вещества. Огромных по сравнению со скоростями газов — продуктов сгорания — или водяного пара. Наша идея движения горшком вперед продолжает приносить плоды.

Казалось бы, мы достигли предела возможного. Ионный двигатель космического корабля позволяет, во всяком случае принципиально, получить любую скорость (повторяем — меньше скорости света) истечения рабочего вещества, к тому же обеспечивает еще и добавочное условие: все частицы рабочего вещества с самого начала двигаются в одном направлении. Чего еще желать? Но аппетит приходит во время еды. Поэтому давайте рассуждать дальше. Говоря о требованиях к рабочему веществу, мы ограничились одним-единственным: наибольшая скорость истечения.

Является ли это требование действительно единственным? Чтобы ответить на такой вопрос, вернемся к бобовой модели. Вот он, наш цветочный горшок, летящий к Луне, и стебель, стремительно растущий в противоположном направлении. Центр масс, как всегда, неподвижен и находится в точке А. До сих пор нам хотелось одного: чтобы стебель рос как можно быстрее. Предположим, что мы достигли предела своих желаний, иными словами, достигли некоторой предельной для нас скорости роста стебля. Не будем пока говорить, какова эта скорость. Подумаем, не стоит ли нам пожелать чего-нибудь еще.

Посмотрим на бобовую модель в некоторый фиксированный момент времени. Горшок движется с постоянной скоростью и имеет в этот момент времени заданную массу. Стебель также движется с постоянной скоростью (равной установленному пределу желаний). Масса стебля во столько же раз меньше массы горшка (в данный момент времени), во сколько раз скорость роста стебля больше скорости движения горшка. Масса меньше, но все же чему-то равна. Другими словами, определив скорость, мы тем самым определили и массу стебля, то есть выброшенного из сопла двигателя на данный момент времени рабочего вещества. Чем больше эта масса (при данных скоростях), тем дальше улетел горшок — вспомним основное правило определения центра масс.

Так чего мы хотим? Мы хотим, чтобы горшок улетел дальше, а значит, чтобы масса стебля была больше. Но стебель вырастает из горшка, а горшок мы хотим сделать легче — тогда он будет двигаться быстрее и улетит дальше. Мы хотим, чтобы рабочее вещество имело как можно меньшую массу, пока оно еще находится в баках корабля, и как можно большую массу, когда оно окажется по ту сторону центра

масс. Иначе говоря, мы хотим, чтобы одно и то же количество вещества имело различную массу.

Безумное желание? Конечно, безумное. На наш взгляд, сама по себе ракета вещь настолько безумная — она и движется и остается неподвижной, — что продолжать искать безумное в безумном — это уж слишком. Но, может быть, стоит рискнуть?

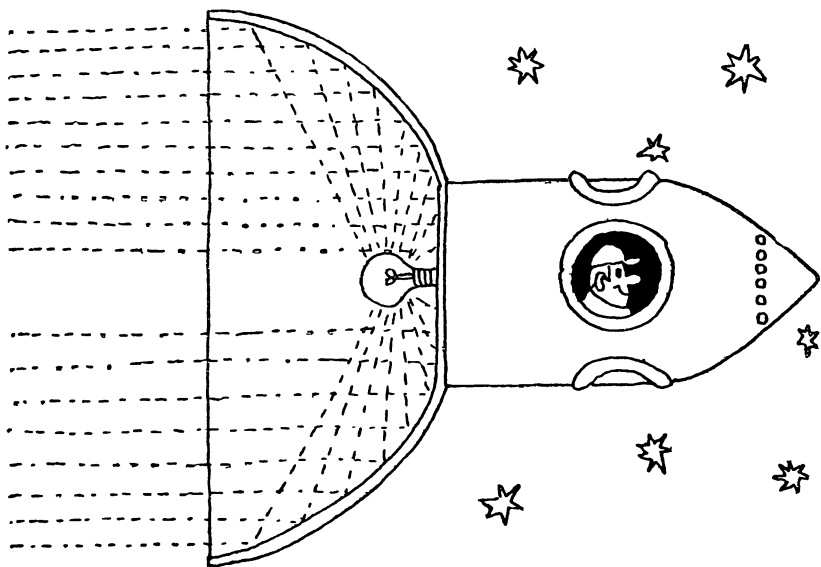
Предъявляем к рабочему веществу следующее требование: пусть оно имеет меньшую массу, пока находится в баках корабля, и большую массу, когда оно отлетит от сопла двигателя и переберется на ту сторону центра масс. Или иначе: используем в качестве рабочего вещества вещество, обладающее меняющейся массой.

Задачу-то поставили, но есть ли у нее решение? Конечно, есть. И нашел его не кто иной, как Сирано де Бержерак. Помните двадцатигранный хрустальный корабль, который толкает вперед сила сгустившегося света? Мы не настаиваем на том, чтобы корабль был именно двадцатигранным. Пусть это будет обычный космический корабль, а его баки мы заполним сгущенным светом. Не станем пока задумываться о том, как это сделать, а вместо этого посмотрим, что получится.

Свет состоит из фотонов — частиц, движущихся с наибольшей возможной в природе скоростью. Что же, скорость нас устраивает вполне. Если отражать свет от параболического зеркала-рефлектора, все фотоны будут двигаться в одном направлении — в направлении светового луча. Это нас также вполне устраивает. Движущиеся фотоны обладают массой.

Это обстоятельство было впервые экспериментально продемонстрировано русским физиком П. Н. Лебедевым. Он не только показал, что луч света, падающий на легкую металлическую пластинку, оказывает на нее давление, но измерил это давление. И, наконец, последнее. Фотон в отличие от других частиц, таких, как, например, электрон, не обладает массой покоя. Иначе говоря, если удастся остановить фотон, он полностью потеряет свою массу.

Вот оно — идеальное рабочее вещество! Сгущенный свет Сирано де Бержерака — это не что иное, как остановленные, находящиеся в покое фотоны. Но стоит выпустить их на свободу, они сразу приобретут все необходимые нам свойства: и скорость, больше которой не бывает, и массу, и нужное направление движения. Плохо только одно. До сих пор никому



в мире не удалось остановить фотон — остановленный фотон просто исчезает.

Но если нельзя взять фотоны с собой, придется получать их прямо на месте, на борту космического корабля. Приходим к проекту номер три: на борту корабля установлен все тот же атомный реактор, вырабатываемая реактором энергия превращается в электрическую, электрическая энергия питает лампочку, расположенную в фокусе параболического зеркала-отражателя, укрепленного на корме корабля (смотрите рисунок), лампочка порождает фотоны, которые, отражаясь от зеркала, устремляются назад, а корабль, как ему и положено, движется вперед. Все хорошо в этом проекте, кроме одного — никакая лампочка не даст нам нужного количества фотонов. Надо получать фотоны каким-нибудь другим способом.

Каким? Например, из ничего.

И вот настал момент, когда лопнуло терпение у самого хладнокровного читателя. Как это так — из ничего? Но почему же, в таком случае, спросим мы читателя, ты не возмущался, услышав, что остановленный фотон исчезает? А если нечто может исчезнуть, то есть превратиться в ничто, почему

бы ему снова не появиться из ничего? На самом деле все, конечно, не так просто. Окончательно решить безумную задачу нам помогут дополнительные сведения, почерпнутые из мира элементарных частиц.

Современная физика точно установила, что у многих давно известных элементарных частиц, таких, как электроны и протоны, имеются противоположные им по свойствам античастицы. Например, для электрона античастицей является позитрон. Позитрон имеет те же размеры и массу, что и электрон, но в отличие от электрона он заряжен положительно. Самое интересное происходит тогда, когда частица сталкивается со своей античастицей. Если электрон столкнется с позитроном, обе частицы исчезнут или, как говорят физики, аннигилируют. Исчезнут в полном смысле этого слова — перестанут существовать или превратятся в ничто. Но из этого «ничто» немедленно рождается фотон, причем фотон с очень высокой энергией. Масса электрона и протона полностью превращается в энергию в соответствии со знаменитым уравнением Эйнштейна.

Теперь наш проект номер три завершен, а заодно лишился каких бы то ни было фантастических подробностей. На корабле два бака: один заполнен электронами, а второй — позитронами. Электроны и позитроны тоненькими струйками выпускаются из баков по трубкам. Эти струйки встречаются в фокусе зеркала-отражателя. Происходит аннигиляция, образующиеся в ее результате фотоны отражаются от зеркала, а дальше все, как уже было описано.

Пока мы не знаем, откуда брать позитроны и как хранить их в баке. Но ясно одно: позитроны существуют, они неисчислимо количество раз наблюдались в самых различных экспериментах. Кроме того, позитроны, а заодно и некоторые другие античастицы можно получать искусственным путем. Это не раз проделывали советские и зарубежные ученые, проводя опыты с ускорителями элементарных частиц. Остановка пока что лишь за техническими подробностями. Но не будем забывать, что весь рассказ мы ведем от лица потомков.

Во всех предыдущих рассуждениях кроется одно серьезное противоречие. С одной стороны, мы убеждаемся, что космос пуст, в нем не за что зацепиться и не от чего оттолкнуться. Поэтому единственная возможность привести в движение объект, находящийся в космосе, — использовать реактивный двигатель, проще говоря, ракету. И это совершенно справедливо.

С другой стороны, оказывается, приводить в движение космический аппарат надо, в сущности, не в космосе, а на Земле — в нашей пресловутой точке А. Если космический корабль не приобретет нужной второй космической скорости в 11,2 километра в секунду, он не сможет покинуть пределов Земли. А если он приобрел нужную скорость, он может достигнуть Луны уже без всякого двигателя. Точнее, двигатель ему понадобится для торможения при посадке на Луну и еще немного — на тот случай, если надо будет подправить направление. И это тоже совершенно справедливо.

Возникает естественное сомнение: может быть, не так уж необходим реактивный или ракетный двигатель? Может быть, проще бороться с земным притяжением именно земными, а не космическими средствами? Преимущество подобного решения очевидно. На Земле мы располагаем практически неограниченными запасами энергии и вещества. И что самое главное, от Земли можно оттолкнуться. Как это сделать? С помощью пушки — подсказывал же нам подобное решение великий провидец Жюль Верн.

Но полет из пушки на Луну невозможен. Это доказывалось тысячу раз. Во-первых, потому, что невозможно построить такую пушку. А во-вторых, потому, что, если даже мы произведем выстрел из некоей фантастической пушки, способной сообщить снаряду необходимую начальную скорость в 11,2 километра в секунду, все живое внутри снаряда будет погублено колоссальными перегрузками.

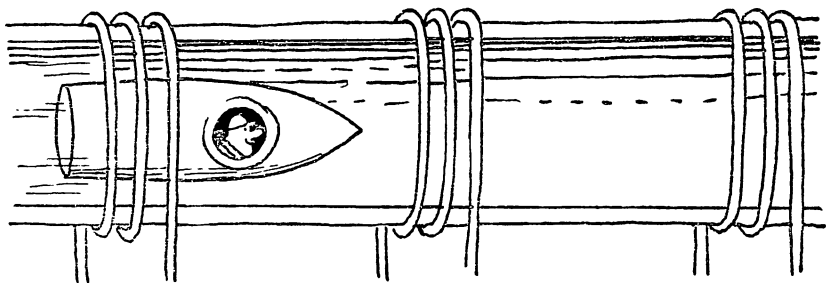
И тем не менее продолжим наши рассуждения. Вспомним, как путешествовали на Луну Нейл Армстронг и его спутники. Сначала их корабль с помощью мощного ракетносителя был выведен на орбиту искусственного спутника Земли. Для этого, кстати говоря, требуется скорость всего восемь километров в секунду. Хоть и не намного меньше, но все-таки... На орбите искусственного спутника Земли были включены собственные двигатели корабля, которые увеличили его ско-

рость до необходимой величины. Только отсюда начался путь собственно на Луну.

Теперь займемся подсчетами. Предположим, что мы сумели сконструировать пушку с очень длинным стволом и к тому же такую, что все время, пока снаряд находится внутри ствола, он испытывает постоянное ускорение. Пользоваться для создания такого ускорения пороховыми газами трудно и неудобно. Но ведь есть же и другие способы. Посмотрим, например, на конструкцию электромагнитной пушки, нарисованной для нас художником.

Ствол пушки — очень длинная труба. На трубу через равные промежутки надеты соленоиды, то есть катушки с намотанным проводом. В момент старта через ближайший к казенной части (первый) соленоид пропускается электрический ток. Образуется магнитное поле, которое втягивает в себя снаряд-корабль, выполненный из магнитного материала (вспомним снова Сирано де Бержерака). Сила магнитного притяжения сообщает снаряду необходимое ускорение. Как только снаряд достигает первого соленоида, этот соленоид немедленно отключается, а вместо него включается второй, и так далее на всем пути следования снаряда внутри ствола.

Предположим, что в снаряде-корабле путешествуют люди и они хотят путешествовать с комфортом. Например, чтобы перегрузки не превышали двукратной земной. Простой расчет говорит нам, что это условие может быть удовлетворено, если длина ствола составит что-то около трех тысяч километров. Слов нет, многовато. Не только для современной техники, но и для техники будущего. Но вспомним, что на Луну можно путешествовать и с пересадкой. Отправим сначала на орби-



ту искусственного спутника Земли отдельные части космического корабля. Затем — контейнеры с топливом.

Выстреливаемые из пушки неодушевленные предметы способны испытывать значительно большие перегрузки, чем люди. В частности, спускаемые аппараты советских автоматических межпланетных станций «Венера» испытывали без какого-либо ущерба для себя четырехсоткратные перегрузки.

Увеличим эту цифру еще в несколько раз и убедимся, что для выстреливания на орбиту искусственного спутника Земли неодушевленных предметов вполне подойдет пушка с длиной ствола, скажем, один километр. А это уже доступно для современной техники.

Пассажиров, которые смонтируют на орбите корабль, а потом отправятся на нем в путь, придется доставлять на орбиту старым способом — с помощью ракетопосылителей. Но теперь их уже ждет там все необходимое. Согласитесь, что отправить на орбиту искусственного спутника Земли пассажира в легкой капсуле весом около ста килограммов несравненно проще, чем запустить туда же космический корабль весом в несколько десятков тонн.

Так или иначе, но мы знаем теперь, что существует хотя бы принципиальная возможность разделиться с земным притяжением земными средствами.

К слову сказать, на орбите искусственного спутника Земли тоже можно смонтировать электромагнитную пушку, которая будет выстреливать корабль-снаряд дальше в космос.

НА СВЕТОВОМ ЛУЧЕ

Вернемся еще раз к фотонному реактивному двигателю и попробуем посмотреть на него с несколько иной точки зрения: не с позиций бобовой модели, а с позиций модели ракеты-бутылки. В бутылке сгорает топливо и образуются продукты сгорания — горячие газы. Газы давят равномерно во все стороны. Силы давления на боковые стенки взаимно уравновешиваются, силу давления на дно уравновесить нечем — с противоположной стороны открытое горлышко. Поэтому сила давления на дно заставляет бутылку двигаться дном вперед.

Что происходит в фотонном двигателе? Фотоны, образу-

шиеся при аннигиляции электронов и позитронов, разлетаются равномерно во все стороны. Те из них, которые летят в сторону отражателя, ударяются о него, изменяют направление движения и летят назад. Суммарная сила ударов фотонов создает ничем не уравновешенное давление на отражатель. Это давление, в свою очередь, порождает силу, движущую космический корабль. Но обязательно ли необходимо, чтобы источник фотонов находился на самом корабле? Все, что требуется от фотонов, это удариться об отражатель и отскочить назад. Откуда берутся фотоны, совершенно безразлично, точно так же, как в опытах Лебедева было совершенно безразлично, измерять ли давление от солнечного луча или от электрической лампочки, стоявшей на лабораторном столе.

И вот мы приходим еще к одной конструкции. На Земле установлен мощный источник света. Его свет собирается в параллельный луч и направляется напрямик на Луну. Все это мы умеем делать уже сейчас, освещая Луну лучами лазеров. Только мощность источника света, конечно, должна быть неизмеримо больше. Если на пути луча попадет отражатель, все будет точно так же, как и в фотонном двигателе: луч отразится и вернется на Землю, а отражатель, испытывая давление светового луча, создаст силу, увлекающую космический корабль на Луну, а если надо, и дальше.

Кстати, действующий макет маленькой лазерной ракеты уже построен советскими физиками. Для настоящих ракет пока еще нет столь мощных лазеров, но построить их — это лишь дело времени.

РАЗГОВОР С ПОТОМКОМ

И вот теперь, придумав столько замечательных конструкций, наберемся смелости и поведем прямой разговор с нашим отдаленным потомком.

— Послушай, братец, — скажем мы ему, — надеемся, теперь ты убедился, что и мы, твои прапрадедушки и прапрабабушки, тоже не лыком шиты? Правда, наш сегодняшний уровень техники позволяет пока что использовать лишь примитивные космические корабли с химическим топливом, но, как видишь, мы не только предвосхитили идеи ваших совершенных конструкций, в наших лабораториях уже сегодня успешно испытываются макеты лазерных ракет и ионных двигателей. До фотонных двигателей тоже не слишком далеко — движет-

ся же пластинка в опыте Лебедева. Осталось увеличить мощ-
ность — увеличим! Это нам не впервой. А надо — вообще
будем путешествовать по световым дорогам, энергию для
которых станем получать с Земли.

— Дорогие наши предки, а зачем вас вообще понесло
в космос и на другие планеты?

— То есть как — зачем? Разве не интересно походить
собственными ногами по поверхности Луны или Марса, по-
трогать собственными руками лунные камни, посмотреть соб-
ственными глазами на венерианские пейзажи?

— Собственными глазами, говорите вы? А разве переда-
чу по телевидению о посадке космонавтов на Луну вы видели
не собственными глазами?

— Собственными-то собственными, да видно было
плохо.

— Так совершенствуйте телевидение. И вообще давайте
разберемся: вы говорите «потрогать лунные камни собствен-
ными руками». Но трогать-то вы их будете не руками, а пер-
чатками скафандра. Перчатка даст вам ощущение, так пусть
это ощущение передает вам прямо на Землю какое-нибудь
устройство вроде телевизора. Разобрались наконец, к чему я
клоню? Отправьте на Луну или куда хотите робота, снабжен-
ного всеми «органами чувств». Вы ему посылаете по радио
приказы: пойдти туда-то, сделай то-то, посмотри туда-то.
А он вам в ответ, тоже по радио передает ощущения. И на
Венере побываете, и из собственного кабинета выходить
не надо.

— Тоже нашел чем удивить, а еще потомок! Все это уже
давно проделали советские «Луноходы».

— Так в чем же дело? Вот и совершенствуйте свои «Луно-
ходы», «Марсоходы», «Венероходы».

— Дело в том, что самим побывать хочется.

— Ну, если так уж невтерпеж побывать самим, так возь-
мите и передайте самих себя на Луну или на Марс по радио.
Это не я придумал, а ваш современник Норберт Винер. Ведь
что такое человек? Как он ни сложен, но состоит из опреде-
ленного количества разных молекул. Каждая молекула име-
ет свое место. Вот возьмите, пересчитайте молекулы, укажи-
те, где каждая из них должна находиться, и все это описание
или, если угодно, чертеж передайте по радио. А на Марсе из
подходящих молекул по чертежу построят точную копию вас
самых. Гуляйте и любуйтесь на здоровье марсианскими пейза-
жами...

На этом месте диалог оборвался по техническим причинам. Авторам остается лишь добавить от себя, что за слова потомка они никакой ответственности не несут.

БЕЗУМНОЕ И НЕВОЗМОЖНОЕ

Человеку всегда хотелось верить в невозможное. В наш век стремительного развития науки и техники тяга к невозможному ощущается особенно сильно. Сама жизнь приучает нас сегодня верить в то, что вчера еще казалось недостижимым. Наверное, поэтому все чаще наряду с истинными научными и техническими достижениями мы сталкиваемся со всякого рода «сенсациями». Появляются описания экспериментов и немедленно предлагаются теории, «объясняющие» эти эксперименты.

Не станем ввязываться в споры — их и без того было достаточно. Но есть одна вещь, которую мы не можем обойти молчанием, потому что она имеет непосредственное отношение к рассказу. Это так называемый безопорный движитель Дина.

В 1963 году американец Норман Дин ухитрился получить патент на конструкцию безопорного движителя, иначе говоря, конструкцию, способную перемещаться в пространстве за счет одних только внутренних сил. Конструкцию, работавшую в нарушение третьего закона Ньютона. Несмотря на то, что теоретические выводы Дина вскоре были опровергнуты, а в самой конструкции найден принципиальный порок, у Дина, к сожалению, появились последователи и число их продолжает увеличиваться.

О движителях Дина писалось довольно много. Скажем лишь, что в каждом отдельном случае повторялась почти без изменений одна и та же история. Сначала очередной «изобретатель» ставил эксперимент, в котором якобы получал перемещение центра масс объекта за счет одних лишь внутренних по отношению к этому объекту сил. Затем появлялась теория, объясняющая явление и, следовательно, опровергающая законы Ньютона.

С теориями дело обстоит довольно просто: каждая из них пытается опровергнуть законы Ньютона, исходя из тех же самых законов Ньютона. А коль так, то эти теории просто содержат ошибки, обнаружить которые каждый раз не со-

ставляло особого труда. Но вот как быть с результатами эксперимента?

Каждый ученый знает: если результат эксперимента находится в противоречии с теорией, изменяй теорию. Не станем приводить даже отдельных, самых впечатляющих экспериментов с безопорными движителями. В чем тут загвоздка, легко понять из одного очень простого примера. Представим себе железнодорожную платформу, стоящую на рельсах. Вы находитесь на одном конце этой платформы и перебегаете к другому. Поскольку центр масс системы «вы — платформа» должен остаться неподвижным, платформа передвинется на некоторое расстояние в направлении, противоположном тому, в котором двигались вы. Весь наш опыт подтверждает, что так и будет на самом деле.

Теперь давайте ляжем на пол платформы и медленно-медленно, без толчков поползем назад к тому краю, с которого начался эксперимент. Снова наш опыт подсказывает: платформа не сдвинется с места. Вот вам и движитель Дина! Залезаем на платформу сбоку — и бегом справа налево, потом ползком слева направо. Платформа движется слева направо за счет одних только внутренних сил? Так ли это?

Существует еще сила трения между колесами и рельсами и внутри подшипников колес, хотя, может быть, очень небольшая, но она существует. Когда вы бежите бегом, вы отталкиваетесь ногами от дна платформы с большой силой, преодолевающей силу трения. А когда вы медленно ползете обратно, сила, с которой вы отталкиваетесь от платформы, соответственно меньше и трения не преодолевает. А платформа движется в полном соответствии с законами механики так же, как и всякий экипаж — отталкиваясь колесами от рельсов. Точно так же объясняются все без исключения эксперименты с безопорными движителями: в каждом из них присутствует опора, даже если она представляет собой тонкую нить, на которой подвешена конструкция. Не верите — убедитесь сами.

В заключение этого рассказа нам хочется поделиться с читателем собственным убеждением. Фундаментальные законы природы, такие, как законы механики Ньютона, потому и фундаментальны, что они обобщают огромный опыт, накопленный человечеством к моменту формулирования этих законов. Сам Ньютон говорил о себе, что он мог видеть далеко, потому что стоял на плечах гигантов. После того как фундаментальный закон сформулирован, он проверяется еще бесчисленное множество раз.

Фундаментальный закон природы нельзя опровергнуть — его можно лишь развить, причем вся история науки говорит нам, что фундаментальные законы распространяются на те области природы, которые ранее по различным причинам оставались недоступными для экспериментов. Так было, например, когда Эйнштейн развил и дополнил законы механики Ньютона.

Как же отличить безумную задачу от задачи невозможной? Почему ракета движется, оставаясь неподвижной, и создать такое движение — задача возможная, хотя и безумная? А вот создать безопорный движитель просто невозможно. Мы не беремся предлагать здесь совет на все случаи жизни. Рекомендуем лишь читателю ко всякому очередному «чуду», точнее, к словесному объяснению этого «чуда» подходить с позиции критерия Эйнштейна: всякая правильная физическая теория должна обладать внешним оправданием и внутренним совершенством.

Рассказ пятый

МОЗГ В ПОРТСИГАРЕ

ДЕЛО ОБ УБИЙСТВЕ

— К вам клиент, шеф, — сказала, приоткрыв дверь, Делла Стрит, личный и особо доверенный секретарь известного адвоката Перри Мейсона.

— Проси, — коротко бросил Мейсон, не поднимая глаз от бумаг, разложенных на столе.

Дверь отворилась, и в кабинет вошел представительный, слегка сутулый мужчина средних лет. Его походка была твердой, движения уверенными, но в серых глазах — Перри Мейсон сразу подметил это — проглядывало выражение не то страха, не то отчаяния.

— Эдгар Смит, — представился вошедший, — председатель правления «Кейз бэнк оф Калифорния».

— Чем могу служить? — спросил Мейсон, указывая посетителю на мягкое кресло и протягивая ему открытую пачку «Честерфилда».

— Произошло убийство. Правление банка просит вас, советник, расследовать это дело.

— Рассказывайте, — потребовал Мейсон, затянувшись сигаретой, — по порядку и по возможности кратко.

Несколько секунд посетитель о чем-то напряженно размышлял. Это было видно по глазам, хотя лицо его оставалось совершенно бесстрастным.

— Знаете что, советник, — сказал он наконец, — давайте отправимся сразу же на место преступления. Там вы многое увидите сами. Да и разговаривать нам будет легче.

— О'кей! — сказал Мейсон, поднимаясь из-за стола.

Двадцать минут езды по забитым машинами лос-анджелесским улицам — и вот адвокат в сопровождении клиента прошел через огромную дубовую дверь, услужливо распахнутую перед ним швейцаром, миновал операционный зал, где за каждым окошечком виднелись любопытные глаза клерков обоего пола. Прошел несколько коридоров и оказался перед

стальной дверью, около которой стоял часовой с большой желтой кобурой на поясе.

Эдгар Смит набрал несколько цифр на диске, напоминающем телефонный, дверь медленно и бесшумно распахнулась. Они вошли в большое помещение, залитое светом люминесцентных ламп. Части трупа выглядели очень элегантно: матово отсвечивали панели благороднейшего серого цвета, кое-где за стеклами виднелись раскрашенные в яркие цвета катушки с магнитной лентой, светились лампочки на панелях управления. Все вокруг производило впечатление спокойствия. И все же компьютер (да, да, жертвой преступления на этот раз оказался не человек, а электронная вычислительная машина — компьютер!) был окончательно и безнадежно мертв.

— Теперь вы видите, советник, — сказал Смит, — здесь не помогут полицейские фотографии и специалисты по отпечаткам пальцев. А что касается судебно-медицинской экспертизы, о ней мы уже позаботились. Прошу вас пройти в эту дверь.

Указанная Смитом дверь привела в небольшой кабинет, совершенно пустой, если не считать письменного стола и стоящих перед ним двух удобных кресел. Из-за стола поднялся маленький, почти совсем лысый человечек и, сильно прихрамывая, направился навстречу вошедшим.

— Разрешите вас познакомить, — сказал Смит. — Джон Бредбери — ведущий программист нашей фирмы, Перри Мейсон — адвокат.

— Виски или джин? — осведомился Бредбери.

После небольшой паузы, заполненной приготовлением смеси льда, тоника и спиртного, все трое с бокалами в руках расположились в креслах.

— А теперь разрешите изложить вам суть дела, — начал Смит. — Компьютер, который вы только что видели, наш банк приобрел около шести лет тому назад. Целый год ушел на наладку и составление программ. Нашему другу Бредбери с огромным штатом программистов пришлось поработать на славу. Но когда вся система была запущена в работу, ее возможности превзошли наши самые смелые ожидания. Оказалось, компьютер не только в силах полностью взять на себя выполнение расчетов, связанных с вкладами клиентов банка, но и вообще всю без исключения канцелярскую работу. Расчеты с различными фирмами, ведение личных дел служащих банка, начисление им заработной платы и многое-многое

другое — все это делал компьютер, так сказать, по совместительству с выполнением основной работы.

Сначала мы не очень-то доверяли технике: дублировали многие операции, периодически проверяли результаты. Но работа машины оказалась настолько безупречной, что примерно три года тому назад мы уволили почти всех служащих, оставив только клерков, которых мы видели в операционном зале. Да и работа клерка стала во много раз легче. Вместо того чтобы рыться в картотеках и заниматься подсчетами, клерку достаточно лишь набрать на клавиатуре номер текущего счета клиента. В ответ он мгновенно получал все необходимые сведения, и ему оставалось только выдать или принять деньги, да и то лишь в тех случаях, когда расчеты производились наличными, или просто внести необходимые пометки в чековую книжку. Операции настолько ускорились, что мы получили возможность уволить и часть клерков.

Все это принесло банку огромные доходы. Мы уже начали подумывать об открытии нескольких филиалов в других городах Калифорнии. И вдруг позавчера, то есть в ночь на пятницу 13 мая, случилось непоправимое. Полагаю, об этом вам лучше расскажет непосредственный участник трагедии — мистер Бредбери.

— Я думаю, — начал Бредбери, — что вы, советник, несмотря на вашу огромную эрудицию, все же не очень хорошо разбираетесь в тонкостях техники компьютера. Поэтому не обижайтесь, если я начну с небольшой лекции.

Основная и самая главная часть компьютера — его память. Объем памяти современных компьютеров огромен. Она способна хранить сотни миллиардов так называемых байт. Байт — это примерно то же самое, что одна буква обычного алфавита или одна цифра. Чтобы вам стало еще яснее, в памяти компьютера может храниться столько же информации, что и в пятидесяти тысячах томов Британской энциклопедии, если бы в ней действительно насчитывалось столько томов.

Из байтов составляются машинные слова. Машинное слово в среднем содержит четыре байта. Каждое машинное слово хранится в специальной ячейке памяти, имеющей свой порядковый номер, или, как мы, программисты, говорим, адрес. Цепочки машинных слов составляют записи. Любую такую запись можно практически мгновенно извлечь из памяти. Для этого нужно лишь указать машине адрес ячейки, где хранится первое слово записи, и число, показывающее, сколько слов должно следовать за начальным. Извлеченное из памяти сло-

во может быть изменено самой машиной (часть машины, занимающуюся изменением слов, называют центральным процессором), а затем снова помещено в те же самые или любые другие ячейки памяти.

А теперь самое главное. Работа компьютера происходит по программе. Программа в свою очередь состоит из отдельных команд. Каждая команда разделяется на две части. Первая — указывает на то, что надо сделать с записью, а вторая — говорит, откуда взять запись, подлежащую изменению, и куда поместить результат. Любую сколь угодно сложную операцию над одной или множеством записей можно представить как последовательную запись команд. Такая последовательность и называется программой.

Программы бывают различные: они составляют, как мы говорим, иерархическую структуру. Есть программы, непосредственно выполняющие операции, то есть все то, что я вам только что рассказывал. Есть программы, которые решают вопрос о том, какую именно из программ более низкого ранга надо включить в действие при данных обстоятельствах. То есть нужно ли, например, включить программу, начисляющую деньги на счет клиента, программу, снимающую деньги с этого счета, или, наконец, программу, аннулирующую счет и вычеркивающую имя данного клиента из общего списка.

Программы высшего ранга решают более общие вопросы. Например, нужно ли в данный момент заниматься расчетами с клиентами или проверять список личного состава служащих. Множество вспомогательных программ занимается контролем правильности выполняемых операций. Именно благодаря наличию этих программ мы и получили возможность в течение последних трех лет доверять компьютеру, может быть, даже больше, чем самому себе.

Вы уже заметили, получается как бы пирамида, в которой программы, находящиеся на более высоком уровне, управляют действием программ, находящихся ниже, или контролируют их работу. И вот на самой вершине этой пирамиды расположена программа, которую мы называем супервайзером или надсмотрщиком. Эта программа организует работу всего компьютера. Стоит любому из клерков нажать кнопку на своем пульте, супервайзер тут же откликается и выдает распоряжения своим «подчиненным».

Программы хранятся в памяти компьютера точно так же, как и все другие данные, то есть в ячейках, имеющих адреса. При желании мы можем извлечь из памяти любую часть лю-

бой программы, за исключением разве только супервайзера, и внести в нее любые изменения. Так и делается при работе компьютера, потому что среди программ встречается очень много похожих, отличающихся лишь отдельными командами. Например, программа, ведущая текущий счет клиента А, во всем совпадает с программой, ведущей счет клиента Б, за исключением имени самого клиента. Нет никакого смысла иметь на каждого клиента, а у нас их несколько десятков тысяч, по специальной программе. Вместо этого в машине имеется одна-единственная программа ведения текущих счетов, в которой на месте имени клиента, точнее, адреса ячейки памяти, где хранится это имя, стоит пропуск. Перед тем как пустить программу в действие, компьютер извлекает эту программу из памяти, заполняет пропуск и возвращает ее на место. После завершения операции адрес ячейки, где хранится имя клиента, уничтожается, или, как мы говорим, стирается...

— Я не утомил вас, советник? — прервал свои разъяснения Бредбери.

— Нет-нет, все это очень интересно, — ответил Мейсон, прихлебывая из бокала, — но нельзя ли ближе к сути?

— А мы уже подошли к ней. Вы поняли, какую огромную ценность имеют записи, хранящиеся в памяти компьютера? Ведь если, скажем, кому-нибудь удастся увеличить сумму своего счета (эта сумма, естественно, также записана в памяти), то нам не останется ничего другого, как выплатить ему все денежки полностью. Поэтому, как вы заметили, помещение, где установлен компьютер, охраняется, может быть, еще более строго, чем подвалы, где находятся деньги и ценности. В машинный зал имеет право входить лишь строго ограниченное число людей. Это некоторые члены дирекции, ваш почкорный слуга и дежурные программисты.

Дежурство у машины круглосуточное, так как сама она также работает непрерывно. По ночам, когда операции с клиентами не производятся, машина выполняет работы, не связанные с этими операциями: составляет различные отчеты, приводит в порядок личные дела служащих банка, занимается самоконтролем.

В роковую ночь на 13 мая около машины дежурил я сам. Все было совершенно нормально. Несмотря на позднее время, было очень душно, и я позволил себе отлучиться на десять минут — забежал в расположенный напротив и открытый ночью кабачок выпить пива. В мое отсутствие в зал никто не

входил. Это с абсолютной достоверностью подтверждается как показаниями охранника, так и системой сигнализации, в надежности которой у нас нет никаких оснований сомневаться. И все же, когда я вернулся, компьютер был мертв.

— Что значит мертв? — спросил Мейсон.

— У компьютера оказалось стертым все содержимое памяти, — с безнадежностью в голосе ответил Бредбери. — Из моих объяснений вы, наверное, поняли, что компьютер работает только тогда, когда есть программа, заставляющая его работать. Уничтожь программу — и компьютер превращается в пустой шкаф. К слову сказать, если на место стертых ввести другие программы, то компьютер может полностью сменить свою специальность. Скажем, вместо банковских расчетов заняться вычислением орбит искусственных спутников Земли или решением кроссвордов.

Но самое страшное не в этом — программу можно восстановить. Стертыми оказались и все другие данные. Теперь мы не знаем, сколько денег хранится на счету у каждого клиента. Любой может выписать нам чек на любую сумму, и мы не можем проверить, имеется ли подобная сумма на его текущем счету.

— Неужели нет ни малейшей возможности восстановить утерянную информацию? — спросил Мейсон.

— Такая возможность есть, — ответил Смит, который до сих пор сидел с совершенно безучастным видом и, казалось, даже не слушал рассуждений ведущего программиста. — К счастью, компьютер, кроме прочих своих обязанностей, печатал ежедневные сводки произведенных операций. Я уже отмечал, что на первых порах такие сводки регулярно проверялись. Но за последние три года мы полностью доверились компьютеру, так как он не сделал ни одной ошибки, а сводки просто переплетали и складывали в сейфы.

За три года накопилось изрядное количество томов. Чтобы теперь разобраться в них и восстановить всю информацию, потребуется месяц работы не менее ста квалифицированных бухгалтеров. На этот месяц банк должен полностью прекратить все операции. Последуют иски с требованиями неустоек. По скромным подсчетам банк понесет большие убытки.

Найдите нам злоумышленника, дорогой советник! Вы один можете это сделать. Не стесняйтесь в расходах. — Смит вынул из кармана, видимо, заранее приготовленный листок и протянул его Мейсону: — Вот чек. Сумму можете проставить по своему усмотрению.

— Но зачем вам злоумышленник, — спросил Мейсон, — вы собираетесь взыскать с него убытки?

— О нет! — ответил Смит с грустной улыбкой. — Мы не допускаем и мысли, что диверсию совершил человек, способный заплатить сто миллионов долларов. Дело совсем не в этом. Банк застрахован: с тех пор как почти все большие банки перешли на обслуживание с помощью компьютеров, участились и злоупотребления. Ведь достаточно нажать не ту клавишу или пробить одно лишнее отверстие в перфокарте, и сумма счета клиента может быть легко изменена. Поэтому сейчас появилась целая наука о том, как защищать компьютеры от подобных злоупотреблений. Газеты изобилуют подобными примерами. Так, один молодой инженер, задавшись целью «взломать» компьютер, стал наведываться в одну фирму. Первый раз он представился там как журналист. Второй раз — как будущий клиент. За два визита ему удалось узнать о делах фирмы не слишком много, но достаточно для того, чтобы с помощью обыкновенного телефона, у которого номер набирается нажатием кнопок, составить код, открывающий доступ к программам компьютера. Сначала с помощью этого кода он сделал небольшой заказ, получив его, он стал делать заказы на все более крупные суммы. К тому времени, когда его поймали, в компьютере на подставном адресе значилась задолженность примерно в миллион долларов.

Подобные случаи насчитываются сейчас сотнями. Страховые фирмы заключают контракты на страхование от убытков, возникающих в результате преступлений или несчастных случаев. Но в нашем случае, выражаясь языком юристов, отсутствует мотив преступления. Оттого, что память компьютера оказалась стертой, никто не получит ни малейшей личной выгоды. Поэтому любой мало-мальски грамотный адвокат докажет в суде как дважды два четыре, что мы сами стерли память нашего компьютера с целью получить страховую премию, а возможно, и для того, чтобы уклониться от уплаты налогов.

Если вы обнаружите злоумышленника, вы тем самым можете нам получить страховую премию. Излишне добавлять, что ведение дела в суде мы также поручаем вам...

Наступило молчание. Слышно лишь было, как позвякивают кусочки льда в почти опустевших бокалах. Молчание нарушил Мейсон.

— Скажите, — спросил он, — мог ли стереть память компьютера кто-либо из ваших служащих?

Смит взглянул на Бредбери, и тот заговорил медленно, с видимой неохотой.

— Чтобы ответить на ваш вопрос, советник, нужно прочесть еще одну небольшую лекцию. Не все команды в компьютере одинаковы. Большинство может написать и ввести в компьютер любой программист, но существуют так называемые привилегированные команды. Они входят в состав только супервайзера и небольшого количества непосредственно подчиненных ему программ. Если привилегированная команда встречается в составе обычной программы, компьютер не выполняет ее, а вместо этого подает сигнал тревоги. Есть, правда, и еще одна возможность: привилегированная команда может быть введена в компьютер непосредственно с главного пульта управления, который находится в этом помещении. Команда на стирание всей памяти и является такой привилегированной командой.

Если бы она случайно оказалась в составе супервайзера, трагедия произошла бы значительно раньше. Остается единственная возможность — команду на стирание подал кто-то из имеющих доступ к главному пульту. Но это полнейший абсурд. Все мы, имеющие такой доступ, являемся акционерами банка и понесем убытки в первую очередь.

Снова наступило молчание, и на этот раз его прервал Бредбери:

— Мне пришла в голову совершенно фантастическая мысль. Я уже говорил вам, что все без исключения команды, в том числе и привилегированные, хранятся в памяти компьютера и могут изменяться в процессе его работы. Если бы какая-нибудь из программ работала неправильно, она могла бы изменить одну из команд другой программы и превратить ее в привилегированную команду стирания.

Более того, кроме команд, по которым совершаются какие-либо действия над исходными данными, существуют так называемые команды передачи управления. Говоря простым языком, такая команда означает следующее: перестань делать то, что ты делал до сих пор, и начинай делать то, что предписывает команда, хранящаяся в ячейке с таким-то адресом. Команды передачи управления опять-таки бывают двух типов: безусловные и условные. Безусловная команда передачи управления выполняется всегда. Условная команда передачи управления может выполняться или не выполняться. Она выполняется в том случае, когда удовлетворяется некоторое поставленное ранее условие.

Например, программа проверки счета клиента заканчивается командой условной передачи управления. Проверка счета сводится к вычислению суммы, находящейся на этом счете. Если сумма больше нуля, управление передается программе, выполняющей дальнейшие операции. Если сумма равна нулю, управление передается другой программе, аннулирующей счет.

Представьте себе такую фантастическую цепь событий. Одна программа в результате содержащейся в ней ошибки сформировала привилегированную команду стирания всей памяти и поместила ее в данную ячейку. Другая программа, опять-таки в результате ошибки, имела в своем составе команду условной передачи управления в эту самую ячейку. Наконец, третья программа, и снова в результате ошибки, создала условия, в результате которых состоялась передача управления.

Все, что я говорю, есть лишь некоторая теоретическая возможность. На самом деле за прошедшие пять лет все без исключения программы нашего компьютера исполнялись бесчисленное множество раз во всех возможных сочетаниях. Если названные мною ошибки и имели место, они бы обнаружились значительно раньше...

Наступившее после этих слов молчание длилось особенно долго. Наконец Перри Мейсон медленно, как очень усталый человек, поднялся на ноги, сделал несколько шагов по кабинету, а потом резко повернулся к своим собеседникам.

— Я берусь за ваше дело, — сказал он.

— Желаю вам успеха, советник, — ответил Смит, но в голосе его не чувствовалось особой уверенности.

...Начался третий день слушания в суде штата Калифорния дела об иске фирмы «Кейз бэнк оф Калифорния» к фирме «Бэйкинг иншуренс компани» о выплате страховой премии. С самого начала дело представлялось настолько безнадежным, что даже вездесущие журналисты перестали посещать заседания суда. Больше всех поражало присутствующих поведение адвоката Перри Мейсона. На перекрестных допросах многочисленных свидетелей он или просто молчал, или задавал вялые, не относящиеся к делу вопросы.

Адвокат противоположной стороны, вначале заметно побаивавшийся столь грозного противника — знаменитого Перри Мейсона, теперь открыто и снисходительно улыбался. Разочарованная публика переживала близкое поражение своего любимца. И вот закончился допрос последнего свидетеля.

— Ваша честь, — сказал Мейсон, поднявшись с места и обращаясь к судье Тэчеру. — От своего имени и имени моих клиентов я вношу два ходатайства. Во-первых, я прошу вызвать в качестве свидетеля некоего Джима Гордона Эллиса, бывшего служащего «Кейз бэнк оф Калифорния».

— Ходатайство удовлетворено, — промолвил судья после краткого раздумья.

— Во-вторых, ваша честь, — продолжал Мейсон, — я прошу объявить перерыв на два часа, чтобы установить в зале суда необходимую аппаратуру.

— Протестую! — вскочил с места адвокат противной стороны. — Согласно закону, вещественные доказательства должны представляться перед началом суда.

— Это не вещественное доказательство, — возразил Мейсон. — Это лишь техническое средство, необходимое для проведения перекрестного допроса.

— Ходатайство удовлетворено, — произнес судья, поднимаясь с кресла, показывая тем самым, что суд прерывает заседание.

Только на заседаниях суда Перри Мейсон был пассивен, да и то лишь внешне. Недели, прошедшие до суда, были заполнены лихорадочной деятельностью. Пол Дрейк — владелец частного сыскного агентства и постоянный помощник Мейсона, приказал большей половине своих сотрудников следить за всеми служащими «Кейз бэнк оф Калифорния», имевшими хоть малейшее отношение к компьютеру. Детективы копались в личных делах, следили за ними на улицах и, насколько это допускалось законом, в домашней обстановке. Сам Мейсон дни и ночи проводил в своем рабочем кабинете.

На книжной полке, где раньше стояли только справочники по юриспруденции, появились учебники программирования. Делла Стрит не раз впускала к шефу какого-то юношу в потертых джинсах и с копной рыжих волос — по виду студента колледжа. Женщина, приходившая убирать кабинет по утрам, выбрасывала целые горы окурков, накопившихся в пепельницах, а также странные полосы бумаги с отверстиями по краям, отпечатанные вроде бы на пишущей машинке. Однако, вглядываясь — что греха таить, женщины народ любопытный, — она встречала в ровно отпечатанных строчках, кроме обычных букв и цифр, таинственные знаки, которых нет ни у одной пишущей машинки. Запавшие щеки и покрасневшие веки Мейсона свидетельствовали с очевидностью, что новая наука дается ему нелегко.

Но вернемся в зал суда. Все участники процесса уже заняли свои места после перерыва, а на столе перед судьей появился загадочный предмет прямоугольной формы. Он был прикрыт от любопытных взоров пластиковым чехлом.

— Свидетель Джим Эллис, — торжественно провозгласил судья Тэчер, — займите свидетельский стенд. Вы видите, перед вами лежит Библия. Поднимите правую руку и повторите за мной: клянусь говорить правду, одну только правду и ничего, кроме правды. Предупреждаю вас, что за дачу ложных показаний вы понесете уголовную ответственность по законам штата Калифорния. У вас есть вопросы к суду?

— Нет.

— Тогда приступим к делу. Ваше слово, советник, — обратился судья к Мейсону.

Резким движением Мейсон поднялся с кресла. Былой апатии как не бывало.

— Скажите, Эллис, сколько времени вы находились на службе в «Кейз бэнк оф Калифорния»?

Джим Эллис, грузный мужчина с одутловатым лицом, в сверкающей всеми цветами радуги рубашке и джинсах, над которыми свешивалось солидное брюшко, не проявлял никаких признаков беспокойства.

— Могу вам ответить совершенно точно, — проговорил он, слегка растягивая слова и с наглой усмешкой глядя на адвоката. — Я работал в этой фирме программистом с 26 марта 19... года по 12 мая нынешнего года — ровно шесть лет с небольшим. Не пытайтесь пришить мне это дело, док, у меня железное алиби. В ночь на 13 мая я находился в двухстах милях от Лос-Анджелеса, и это могут подтвердить десятки людей.

— Свидетель, вы должны отвечать только по существу вопроса, — вмешался судья Тэчер.

— Ничего, ваша честь, доберемся и до существа, — сказал Мейсон. — Итак, Эллис, вы покинули фирму по собственному желанию?

— Ничего подобного, — зло ответил Эллис. — Эти мерзавцы вышвырнули меня, как использованную половую тряпку. Когда дело пошло на лад, способные программисты стали им не нужны. Эллис сделал свое дело, а теперь с машиной может справиться любой недоумок, работающий на половинном окладе. А знали бы вы, что я пережил за эти шесть лет: то работаю слишком медленно, то ошибка в программе. Как будто в нашем деле можно обойтись без ошибок!

— Так вы считаете себя способным программистом, Эллис?

— Еще бы нет! Пусть только платят хорошие денежки — могу заставить машину писать стихи или выступать на суде адвокатом, не в обиду вам будь сказано, советник.

— Правильно ли мне говорили, — задал очередной вопрос Мейсон, — что хорошему программисту не обязательна программа, записанная на бумаге? Во всяком случае, простейшие программы он может составлять в уме и сразу вводить их в компьютер с помощью клавиатуры?

— А вы как думали? Была бы здесь машина, я бы вам показал, что значит хороший программист.

— Именно это я и собираюсь сделать. — Произнося эти слова, Мейсон подошел к судейскому столу и снял пластиковый чехол, под которым оказался обыкновенный телетайп. — Подойдите сюда, свидетель. Вот телетайп, соединенный непосредственно с компьютером, установленным в «Кейз бэнк оф Калифорния». Прошу вас, прикажите компьютеру извлечь из памяти и выдать на печать содержимое ячеек памяти, начиная с номера 1596 и по номер 18930. Надеюсь, составить такую простейшую программу в уме вам под силу?

Эллис заметно изменился в лице и нетвердыми шагами подошел к аппарату.

— Не вздумайте жульничать, — предупредил Мейсон, — я внимательно слежу за каждым вашим движением, а кроме меня здесь имеются эксперты, профессиональные программисты.

— Ваша честь, я заявляю протест! — вскочил адвокат противной стороны. — Свидетель на суде должен отвечать на вопросы, а не производить какие-либо действия!

— Дождемся конца эксперимента, — с улыбкой ответил судья Тэчер, явно посвященный в смысл происходящего. — Возможно, после этого вы снимете свой протест.

Эллису не оставалось ничего другого, как приступить к делу. В течение нескольких минут тишина в зале суда нарушалась лишь щелчками нажимаемых клавиш. После того как была нажата последняя клавиша, телетайп заработал и из-под резинового валика поползла бумажная лента.

Прочтя первые строки, Эллис покачнулся и, чтобы не упасть, ухватился за край судейского стола.

— Дьявольщина! — воскликнул он. — Ведь эта растреклятая память должна быть стерта начисто!

Ни один мускул не дрогнул на лице Перри Мейсона. Ко-

гда аппарат кончил работать, Мейсон аккуратно оторвал выступающую из-под валика бумажную полосу с отпечатанными строчками.

— Теперь я прошу свидетеля, — обратился он к судье Тэчеру, — пояснить вам, ваша честь, и особенно присяжным смысл вот этого текста. Наибольший интерес здесь представляет команда, помеченная номером 18884.

— Нечего тут пояснять! — огрызнулся Эллис, по лицу которого текли струйки пота. — Признаюсь, я стер эту дьявольскую память. А вы, док, — повернулся он к Мейсону, — попробуйте найти закон, запрещающий мне это сделать. Да и память, как видите, оказалась целехонькой.

— Закон я отыщу после, — сказал Мейсон все так же спокойно, — когда из свидетеля вы превратитесь в обвиняемого. А пока прошу суд учесть только что сделанное свидетелем заявление, которое с полной очевидностью решает дело в пользу «Кейз бэнк оф Калифорния». Могу заявить заодно, что память компьютера, принадлежащего этой фирме, действительно стерта полностью. Мне просто удалось восстановить фрагмент содержимого этой памяти и ввести его в память совсем другого компьютера, с которым и соединен наш телетайп.

Если бы Эллис был действительно высококвалифицированным специалистом, за которого себя выдает, он обязательно заметил бы отличия, ибо два разных программиста не могут написать две совершенно одинаковые программы.

Как мы уже говорили, журналисты не присутствовали на заключительном заседании суда. Поэтому, как ни кусал себе локти редактор, вечерний выпуск газеты «Лос-Анджелес ньюс» вынужден был ограничиться лишь следующей краткой заметкой:

«Один оператор компьютера, принадлежащего «Кейз бэнк оф Калифорния», сделал в программе совершенно незначительные и никем не замеченные изменения. Но когда этого служащего уволили, в машину была послана команда вычеркнуть его фамилию из памяти. Компьютер выполнил эту команду, но одновременно, подчиняясь дополнению в программе, сделанному бывшим оператором, она стерла все, что было записано в ее гигантском запоминающем устройстве. Месть свершилась!»

Только что прочитанная вами детективная история почти целиком выдумана. Почти, но не совсем. В капиталистическом мире, где все продается и покупается, где страсть к наживе подчас затмевает все остальные чувства, случаи взлома и ограбления электронных мозгов повторяются все чаще и чаще. Один такой случай был описан в газете «Неделя». Заметка эта и была положена нами в основу сюжета. Оттуда же взят и последний абзац истории.

Электронный мозг — вещь. Значит, существуют такие вещи, которые можно ограбить или убить. Точнее говоря, ограблению подвергаются не сами вещи, а их владельцы. Но так или иначе, наша история, а она, как мы сказали, построена на фактах, приводит к определенному выводу: вещь может запоминать информацию. Скажем даже больше. Такая вещь, как электронный мозг, может рассуждать (мы нарочно используем слово «рассуждать», а не «мыслить»).

Но давайте разбираться по порядку. Сам факт, что вещи могут «помнить», при всей своей кажущейся необычности на самом деле не содержит ничего удивительного. Ведь когда какой-нибудь недотепа вырезает на стволе дерева надпись типа «Коля здесь был», он как раз рассчитывает на то, что дерево «запомнит» это из ряда вон выходящее событие и не только запомнит, но будет добросовестно сообщать о нем всем прохожим.

Лист бумаги — тоже вещь. Когда мы записываем что-либо на листе бумаги, он «запоминает» и «помнит» сделанную запись достаточно долго. Итак, вещи способны помнить. Это знали еще наши далекие предки. Но могут ли вещи рассуждать?

Когда люди знали об окружающем мире еще относительно немного, они пытались восполнить недостаток знаний рассуждениями о природе вещей. Тогда же было замечено, что лучший способ рассуждений — это споры. Правда, споры были и такими: Земля представляет собой плоский диск, покоящийся на спинах трех огромных слонов, — говорили одни; ничего подобного, Земля — это половина дракона, — утверждали другие. Герой разрубил дракона поперек. Из одной части получилась земля, а из другой — небо. Конечно, если дискуссия сводится лишь к утверждениям подобного рода, ее можно продолжать до бесконечности и совершенно без всякой пользы для дела.

В настоящем споре каждая из сторон пытается доказать или, иначе говоря, обосновать свою точку зрения. Доказать — значит сделать так, чтобы твои рассуждения убедили не только противников в споре, но вообще всех слушателей.

Но что значит «убедить»? Вряд ли вы сможете убедить кого-нибудь в том, что вчера встретили очень высокого человека совсем маленького роста. Вряд ли вам удастся найти сторонников, если вы станете утверждать, что Луна гораздо важнее Солнца. Ведь Солнце светит днем, когда и без того светло, а Луна, хотя и слабо, но все же рассеивает ночную темноту.

Таких примеров можно было бы привести множество. Но мы уже поняли главное: чтобы рассуждение было убедительным, оно должно отвечать определенным законам. Такие законы впервые сформулировал древнегреческий философ Аристотель. Их всего четыре.

ЗАКОН ПЕРВЫЙ. Мысль должна быть однозначной. Закон тождества учит тому, что надо правильно отождествлять и различать вещи, что недопустима подмена одного понятия другим. В любом рассуждении каждое понятие или высказывание должно употребляться всегда в одном и том же смысле. Например, понятие «высокий». Ясно, что само по себе оно относительно. Для ребенка — все взрослые люди высокого роста, а для гиганта, скажем, ростом в два метра пятнадцать сантиметров большинство людей представляются низкими. Но если мы однажды решили хотя бы в пределах данного рассуждения считать высокими людей, рост которых превышает метр семьдесят сантиметров, то понятие «высокий» можно и должно применять только в этом смысле. Иначе получается чепуха вроде «высокий человек низенького роста».

ЗАКОН ВТОРОЙ. Мысль должна протекать непротиворечиво. Логический закон противоречия запрещает в процессе рассуждения и анализа вопросов противоречить самому себе. Нельзя, например, о положении, которое признается верным, говорить в то же время как о неверном.

ЗАКОН ТРЕТИЙ. На один и тот же вопрос, правильно поставленный и правильно понятый, говорится в законе исключенного третьего, недопустимо отвечать неопределенно, ни да ни нет, уклоняясь от всякой определенности мысли.

Из двух противоречащих друг другу высказываний одно необходимо истинно, а другое ложно, и нет ничего третьего или, иначе говоря, А есть или Б или не — Б.

ЗАКОН ЧЕТВЕРТЫЙ. Всякая мысль лишь тогда верна, когда она обоснованна, когда она вытекает как следствие из другой правильной мысли, служащей ей в данном случае основанием (закон достаточного основания). Поэтому мышление должно быть последовательным. А есть потому, что есть Б, учит закон достаточного основания. Говоря, что Солнце светит днем, когда и без того светло, мы как раз нарушаем закон достаточного основания: днем светло именно потому, что светит Солнце.

Эти четыре закона получили название законов формальной логики. Если рассуждать, руководствуясь законами формальной логики, можно прийти к правильным выводам относительно явлений, которые совсем не представляются очевидными, исходя из повседневного опыта. Сейчас, например, каждый школьник знает, что все тела падают на землю с одинаковой скоростью (точнее, с одинаковым ускорением), если, конечно, на них не воздействуют посторонние силы, скажем, сила сопротивления воздуха. Знанием закона свободного падения тел мы обязаны Галилею, который проделывал множество опытов, бросая с высокой башни самые различные предметы.

Но Галилей знал свой закон еще до того, как проделал все опыты. Опыты понадобились ему лишь для подтверждения мысленных рассуждений. А рассуждал он примерно так. Представим себе два тела, например два кусочка глины, — один большой, другой маленький. Маленький кусочек глины легче большого. Предположим, что тяжелое тело падает быстрее, а легкое медленнее. Значит, если бросить их с высоты одновременно, большой кусок глины достигнет земли раньше, чем маленький.

Теперь склеим эти кусочки. И снова сбросим с высоты. Маленький кусочек падает медленнее, поэтому он станет тормозить полет большого куска, и полет склеенных кусков займет больше времени. Но два склеенных куска тяжелее каждого из них в отдельности, значит, еще более тяжелое тело падает медленнее, чем один большой кусок глины. А это противоречит ранее сделанному предположению.

Будем считать теперь, что быстрее падают легкие тела.

Значит, если сбросить с башни одновременно маленький и большой кусок глины, маленький достигнет поверхности земли раньше. Опять склеиваем их вместе — маленький кусок потянет за собой большой и оба полетят быстрее, чем один большой, взятый в отдельности. Снова приходим к противоречию.

Итак, возможен единственный вывод: тяжелые и легкие тела падают с одинаковой скоростью. Этот вывод и был подтвержден опытами Галилея.

Заметим, что в рассуждении о падающих телах использованы все четыре закона формальной логики. Согласно закону тождества, назвав один кусок глины маленьким, а другой большим, мы не отходили в дальнейшем от этих понятий. Закон противоречия запрещал нам, например, утверждать, что тяжелое тело падает медленнее, если в начале рассуждений мы предположили, что оно падает быстрее. Закон исключенного третьего заставлял нас считать, что тело (кусок глины) может падать или быстрее или медленнее, но не то и другое одновременно. Наконец, закон достаточного основания позволил вывести приведенные вначале рассуждения из рассуждения о том, что, склеивая большой и маленький куски глины, мы получаем кусок более тяжелый, чем каждая из частей, взятых в отдельности.

Если руководствоваться законами формальной логики, то почти всегда будешь приходить к правильным выводам. Почти? Да, почти. Законы формальной логики, как и законы природы, не есть нечто абсолютное, действующее при всех без исключения условиях. Более того, процесс рассуждений может подчиняться определенным законам лишь потому, что рассуждаем мы об окружающем нас мире, то есть в конечном итоге о вещах. Рассуждения подчиняются законам постольку, поскольку законам подчиняются вещи.

Любая вещь может или существовать или не существовать. Аналогичное требование мы предъявляем и к понятию соответствующей вещи. Средневековые «ученые» — богословы могли, например, подолгу спорить о том, сколько дьяволов помещается на кончике иглы. И в этом споре им не помогали никакие законы. Нет такой вещи, как дьявол, поэтому использование в рассуждениях понятия «дьявол» может привести к каким угодно противоречиям. Или например: бог всемогущ, но способен ли он создать такой камень, который сам потом не сможет поднять?

Список подобных примеров при желании можно было бы продолжать сколь угодно долго. При этом даже не обязатель-

но, чтобы рассуждения касались таких заведомо не существующих вещей, как «бог» или «дьявол». «Все рыжие — лгуны», — заявил один рыжий. Раз он сам рыжий, значит, тоже лгун и, следовательно, сказал неправду. Тогда, значит, все рыжие говорят правду (вспомним закон исключенного третьего). Но если все рыжие говорят правду, он тоже сказал правду, а следовательно, все рыжие — лгуны.

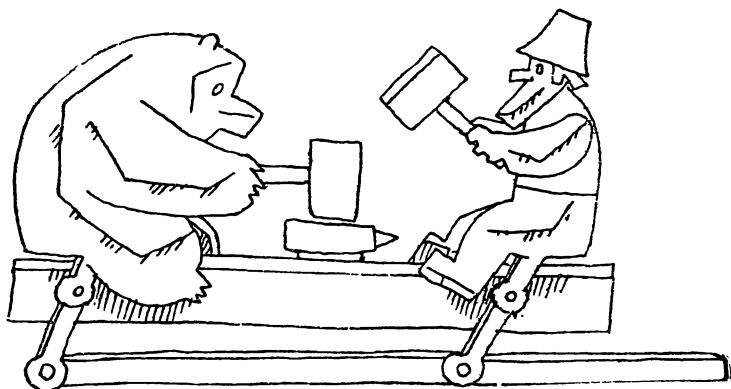
Причина нашего «почти» состоит в том, что, как уже говорилось, рассуждения, проводимые в уме (а это и есть мышление), представляют собой лишь отражение объективных процессов, происходящих во внешнем мире. Но окружающий нас мир бесконечно многообразен — его не втиснуть в рамки четырех или большего числа законов. Заметим, что приведенные выше примеры неудачных рассуждений потому и оказывались неудачными, что объекты этих рассуждений мы наделяли либо свойством «все» («бог всемогущ...», «все рыжие...»), либо вообще не наделяли никакими свойствами. Но не станем огорчаться: в подавляющем большинстве случаев использование законов формальной логики позволяет рассуждать правильно и приходиться к верному выводу.

МУЖИК И МЕДВЕДЬ

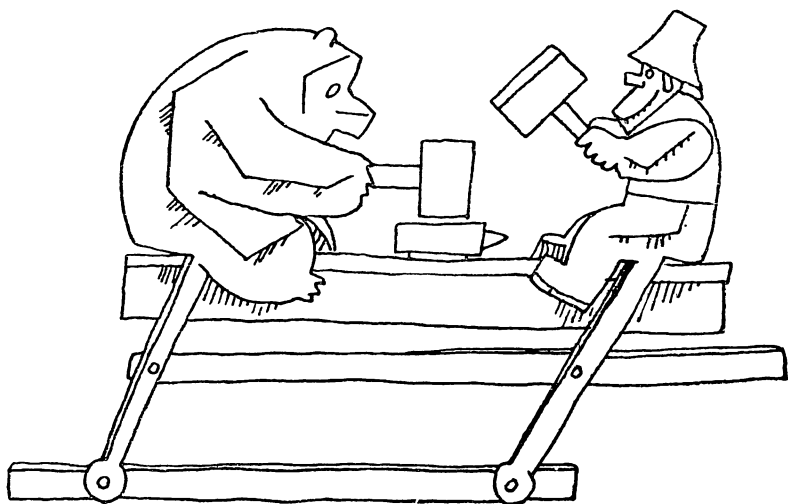
Рассуждения подчиняются логическим законам. Значит, если мы создадим вещь, действия которой подчинялись бы тем же законам, то у нас будут все основания считать эту вещь способной рассуждать. По всей вероятности, именно так думал Готфрид Вильгельм Лейбниц, немецкий философ-идеалист, математик, физик и изобретатель (1646—1716). Поэтому он решил построить уникальную для того времени «рассуждающую машину». Она состояла из движущихся рычажков и действительно обладала способностью строить простейшие умозаключения. Как работала машина Лейбница, проще всего понять на примере деревянной русской игрушки «мужик и медведь».

Посмотрите на рисунок *а*. Фигурки мужика и медведя укреплены на стерженьках, концы которых прибиты к планке маленькими гвоздиками. Потянули планку вправо — по наковальне ударяет мужик. Подвинули планку влево — по наковальне ударяет медведь.

Покажем теперь, что действия этой игрушки отвечают всем четырем законам формальной логики. Медведь — всегда



α



δ

медведь, мужик — всегда мужик. Планка может быть передвинута или влево или вправо. И медведь и мужик могут или ударять по наковальне или не ударять: если ударил — значит, ударил, если нет — то нет. И, наконец, фигурки действуют, когда мы перемещаем планку. Понятие «мужик ударил» вытекает из того, что планка передвинута вправо.

При желании можно усложнить конструкцию так, как показано на рисунке б. Здесь стерженьки, на которых укреплены фигуры, прибиты к двум подвижным планкам. Если обе планки находятся в крайних положениях, медведь и мужик «отдыхают». Верхняя планка сдвинута влево, нижняя вправо — ударяет мужик. Верхняя вправо, нижняя влево — ударяет медведь. Здесь вывод («мужик ударил» или «медведь ударил») следует уже из двух исходных предположений: верхняя планка сдвинута влево (первое) и нижняя планка сдвинута вправо (второе).

Возможно, рассмотрение такого простого примера все-таки не убедило читателя, что вещи могут рассуждать. Ну что же, возьмем пример посложнее. Построим машину, решающую какую-нибудь интересную задачку, скажем, о волке, козе и капусте. Формулируется она так: на левом берегу реки имеются перевозчик с лодкой, волк, коза и капуста; необходимо всех их перевезти на правый берег.

Задача перевозчика усложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, его лодка мала и в каждый рейс он может зять с собой кого-нибудь одного. Во-вторых, нельзя оставлять, без присмотра волка с козой и козу с капустой. Как быть перевозчику? Ответ на этот вопрос и дает сконструированный нами механизм. Поскольку нам снова, в который раз, придется рассматривать механизм в действии, пришлось просить художника сделать несколько зарисовок, соответствующих различным положениям одного и того же механизма.

Посмотрим сначала на рисунок, помеченный буквой а. Мы видим три горизонтальные планки с прорезями (они показаны в разрезе), причем верхняя соответствует волку (на ней так и написано ВОЛК), средняя — козе, а нижняя — капусте. Перемещение их ограничивается лишь тем, что какой-нибудь край прорези (правый или левый) упрется в четвертую, вертикальную планку.

На рисунке а все три горизонтальные планки изображены в своих крайних левых положениях, что и соответствует положениям волка, козы и капусты на левом берегу реки. Вертикальная планка соответствует перевозчику. Она может пере-

мещаться в вертикальном направлении, то есть подниматься или опускаться. На рисунке *а* вертикальная планка показана в крайнем нижнем положении, что соответствует нахождению перевозчика также на левом берегу реки.

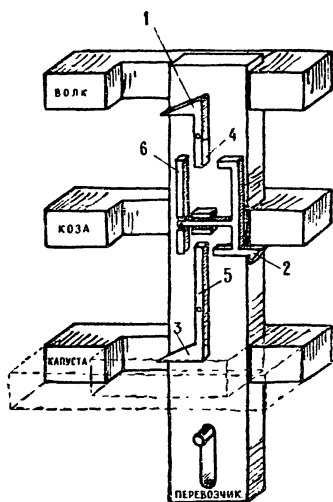
Перемещение вертикальной планки ограничивается штифтом, проходящим через прорезь в этой планке в ее нижней части. На вертикальной планке укреплен механизм, состоящий из рычажков, шарниров и, что нам особенно нравится, клиньев. Начнем понемногу разбираться, как работает наш механизм. Условимся сначала, что если одну из горизонтальных планок мы передвинем из крайнего левого в крайнее правое положение, это будет означать, что перевозчик взял с собой в лодку соответственно волка, козу или капусту. Если затем поднять вертикальную планку вверх, это будет значить, что перевозчик перевез то, что он взял с собой, на правый берег.

Посмотрим сначала, может ли перевозчик переехать на другой берег один? Мысленно подтолкнем вертикальную планку вверх (пока мы все еще смотрим на рисунок *а*). Ясно, что из этого ничего не получится, потому что клин, помеченный цифрой 2, упрется своей горизонтальной плоскостью в планку с надписью КОЗА. И поделом перевозчику, нельзя оставлять без присмотра сразу волка, козу и капусту.

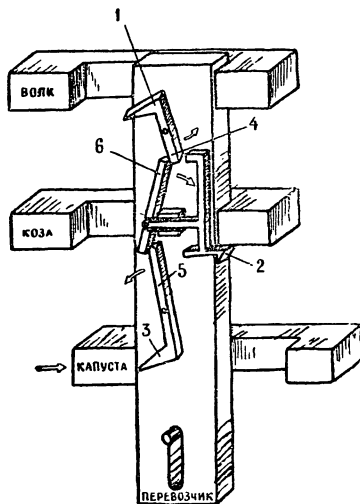
Предположим теперь, что перевозчик решил взять с собой в лодку капусту. Передвигаем нижнюю горизонтальную планку вправо. Положение частей механизма после такого передвижения показано на рисунке *б*. Планка с надписью КАПУСТА, будучи перемещена вправо, нажала на острие клина 3. Этот клин также переместился вправо и повернул рычаг 5 вокруг шарнира. Противоположный конец рычага 5 нажал на рычаг 6, который также повернулся вокруг шарнира и другим своим концом нажал на конец рычага 4. Все это привело к тому, что клин 1 чуть больше выдвинулся влево. Но клин 2 остался на месте, и вертикальный рычаг по-прежнему нельзя поднять. То есть перевозчик не имеет права сдвинуться с места. Все правильно. Волка с козой нельзя оставлять наедине.

То же самое произойдет, если перевозчик возьмет с собой в лодку волка. Этот случай мы предлагаем читателю разобрать самостоятельно, а разобрав, убедиться, что для капусты коза тоже неподходящая компания.

Остается единственная возможность: взять в лодку козу. Перемещаем горизонтальную планку с надписью КО-



а



б

ЗА вправо и немедленно убеждаемся (рисунок в), что теперь для перевозчика путь свободен. При желании он может совершить с козой в лодке сколько угодно рейсов с одного берега на другой и вернуться, оставив козу на правом берегу. Соответствующее этому положение частей механизма как раз и показано на рисунке в. Коза находится на правом берегу (горизонтальная планка с надписью КОЗА сдвинута вправо), а перевозчик находится на левом берегу (вертикальная планка в нижнем положении).

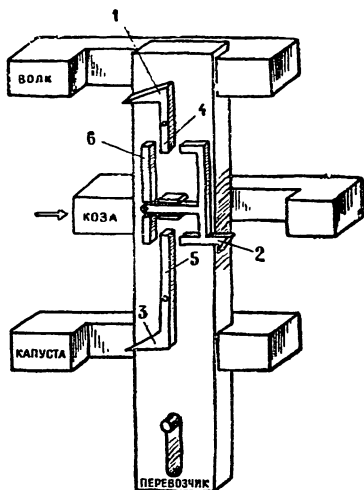
Теперь перевозчик может взять с собой либо волка, либо капусту. Попробуем — волка. Передвигаем планку с надписью ВОЛК в крайнее правое положение. Читатель легко убеждается, что после перемещения перевозчик может спокойно отправляться на правый берег. Правда, клин 1 касается планки с надписью ВОЛК, но касается он ее своей наклонной поверхностью, а, как мы уже неоднократно убеждались, в таком случае клин не препятствует движению. Перемещаем вертикальную планку вверх и приходим к положению, показанному на рисунке г: волк, коза и перевозчик — на правом берегу, капуста — на левом.

Теперь бы перевозчику в самый раз вернуться назад за капустой, но не тут-то было. Клин 1 своей горизонтальной

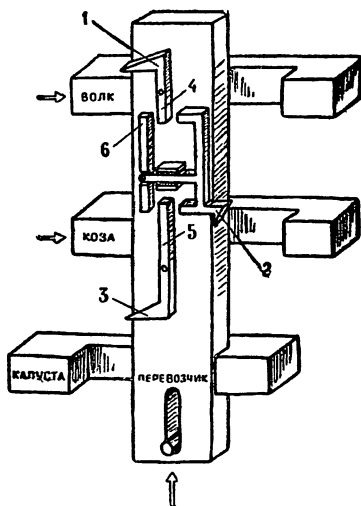
плоскостью прочно упирается в планку ВОЛК. Все правильно. Волка нельзя оставлять с козой. Можно забрать с собой в обратный путь волка (для этого достаточно передвинуть верхнюю горизонтальную планку влево), но тогда мы вернемся к уже существовавшему ранее положению. Зачем же повторяться! Пусть перевозчик лучше возьмет с собой в обратный путь козу. Передвигаем планку с надписью КОЗА влево и приходим к положению, показанному на рисунке д.

Подтолкнем теперь легонько вертикальную планку вниз. Смотрите, что получается. Клин 2 своей наклонной поверхностью упирается в планку с надписью КОЗА. Под давлением вашего пальца вертикальная планка перемещается вниз, а стержень, на котором укреплен клин 2, перемещается влево. Пластинка, к которой прикреплен стержень, также перемещается влево и давит на концы рычагов 4 и 5. Оба рычага поворачиваются вокруг своих шарниров, клинья 1 и 3 перемещаются вправо. Перевозчик с козой беспрепятственно следует на левый берег.

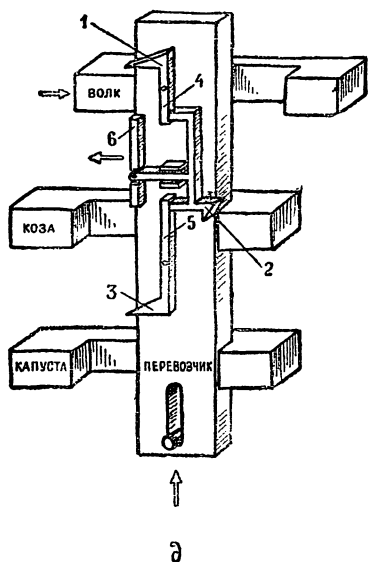
Теперь перевозчику следует забрать с собой капусту. Перемещаем планку с надписью КАПУСТА вправо. Стараемся поднять вертикальную планку вверх... Получается? Да, получается. Оба клина, 1 и 3, скользят своими наклонными по-



б



в



верхностями по соответствующим планкам. Рычаги 4 и 5 поворачиваются одновременно и давят сразу на оба конца рычага 6. При таких условиях рычаг 6 не может повернуться вокруг своего шарнира. Все, что ему остается, это перемещать стержень, на котором он укреплен, а следовательно, и клин 2 влево. Капуста благополучно перевезена на правый берег и составила компанию волку.

Теперь перевозчику осталось вернуться на левый берег, что возможно, так как клин 2, скользя своей наклонной поверхностью по планке с надписью КОЗА, втянет оба клина, 1 и 3, как уже было описано ранее. Последним рейсом пере-

возчик перевозит козу (перемещаем вправо соответствующую планку), и задача решена.

Вряд ли у кого-нибудь теперь остались сомнения в том, что вещи (или, точнее, механизмы) способны рассуждать. Ведь с помощью одного такого механизма нам удалось решить задачу, которая, если, конечно, она решается впервые, требует в общем-то усиленных размышлений. Мы рекомендуем читателю поразмыслить над только что описанной машиной. Он сможет убедиться, в частности, что у задачи есть и другое решение (другая последовательность перевоза), и это другое решение может быть найдено с помощью нашего механизма.

Можно и шулить, то есть просто погрузить в лодку сразу всех: волка, козу и капусту. Механизм сработает и в этом случае. Но ни одну из запрещенных комбинаций механизм не допустит. В чем же секрет? Нет никакого секрета. Просто отдельные части механизма действуют в соответствии с законами формальной логики. Эти законы предписывают выводить правильные следствия лишь из правильных исходных предположений. Переводя на язык механизмов, скажем так: некоторые определенные движения оказываются возможными лишь

в том случае, если им предшествовали некоторые другие определенные движения, и невозможными — в противном случае.

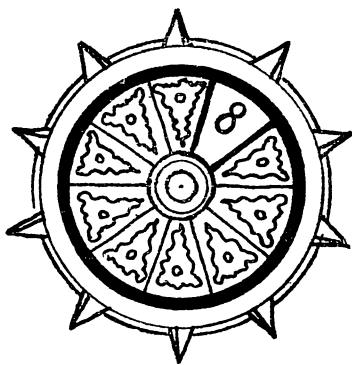
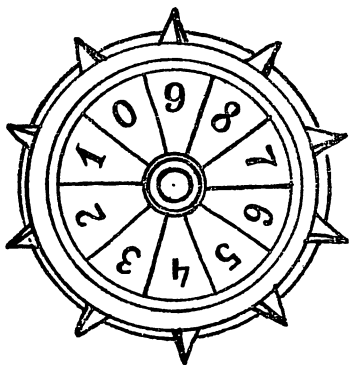
Обладает наш механизм также памятью. Перемещая планки, мы как бы запоминаем, на каком берегу реки находятся волк, коза, капуста и перевозчик.

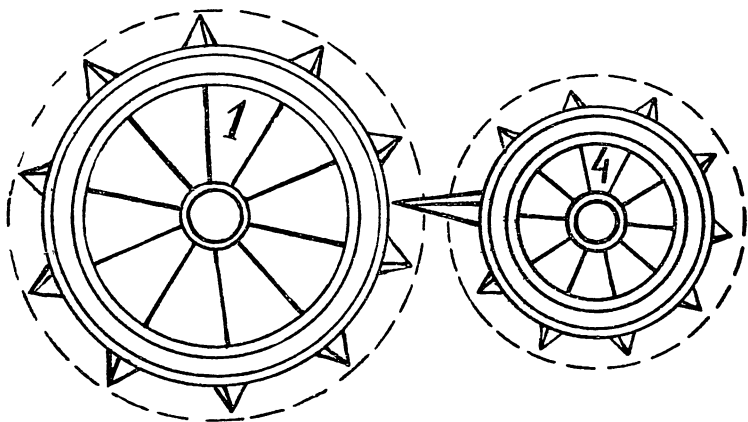
Наконец, для самого проницательного читателя мы сделаем еще один намек. Перемещение клина 2 всегда влечет за собой перемещение двух клиньев: 1 и 3. А вот заставить перемещаться клин 2 можно в том и только в том случае, когда мы перемещаем сразу оба клина 1 и 3. Иными словами, мысль о том, что можно перевозить козу, оказывается правильной в том только случае, если и волк, и капуста уже находятся на правом берегу.

СЧИТАЮЩЕЕ КОЛЕСО

Сделать механизм, решающий задачу о волке, козе и капусте, это, несомненно, увлекательное занятие. Но уж коли мы наделяем вещи способностью рассуждать, нельзя ли заставить их делать что-нибудь более полезное, ну хотя бы считать? Конечно, можно. И сделать это проще простого. Только вместо рычагов и планок возьмем... колесо.

Вообще-то говоря, считающий механизм можно было бы сделать и с помощью рычагов и планок. Вспомним обычные конторские счеты. Но наш рассказ был бы явно не полон, если бы мы не упомянули в нем о колесе.





Берем зубчатое колесо с десятью зубцами и против каждого зубца ставим цифру — от нуля до девяти. Вот и все. Нужно сложить, допустим, три и пять. Полный поворот составляет восемь зубцовых делений, и цифру 8 мы увидим в окошечке.

Если нужно не складывать, а вычитать, это тоже не составит труда. Пусть надо из пяти вычесть два. Поворачиваем колесо сначала на пять зубцовых делений по часовой стрелке, а затем на два — против часовой стрелки. Ответ «три» готов, и его также можно прочесть в окошечке. Одними из первых считающие механизмы с колесами построили Лейбниц и Паскаль. Удобную конструкцию считающего колеса предложил в XIX веке русский инженер В. Т. Однер. Колеса, используемые в современных механических арифмометрах, так и называются колесами Однера.

Некоторое затруднение возникает, когда сумма складываемых цифр превышает девять. Иными словами, когда приходится выполнять так хорошо известную всем первоклассникам операцию «один в уме». Но и это препятствие обойти просто. Достаточно сделать один из зубцов колеса длиннее остальных. Что будет происходить в этом случае, хорошо видно из рисунка.

Пусть надо сложить, например, восемь и шесть. Поворачиваем правое (на рисунке) колесо сначала на восемь зубцовых делений. Против окошечка устанавливается цифра 8. Затем поворачиваем то же самое колесо еще на шесть деле-

ний. Всего правое колесо поворачивается на четырнадцать зубцовых делений, и в окошечке устанавливается цифра 4. Кроме того, длинный зубец правого колеса как раз в тот момент, когда мимо окошечка проходит цифра 0, входит в зацепление с зубцами левого (на рисунке) колеса и поворачивает его на одно зубцовое деление. В окошечке левого колеса ноль сменяется единицей, и в качестве ответа мы можем прочитать в обоих окошках число 14.

БЫСТРЕЕ МЫСЛИ

Вот, собственно, и все, что мы намерены сообщить читателю о вещах, способных рассуждать. В отличие от героев предыдущих рассказов такие вещи, наверное, надо было бы называть не безумными, а разумными. Но применительно к вещам мы предпочитаем воздерживаться от применения слов «мыслить» и «разумный» хотя бы по той причине, что мы не можем определить, что это такое. Слово же «рассуждать» мы определили раньше (хотя, возможно, тоже не совсем точно) как совершать действия, руководствуясь при этом законами формальной логики.

Итак, рассказ о вещах, способных рассуждать, подходит к концу. «Но где же кибернетические чудеса?» — спросит разочарованный читатель. Где машины, способные за час выполнить столетний труд сотни квалифицированных инженеров? Правильно, такие машины существуют. Но о них написано уже настолько много, что вряд ли имеет смысл снова повторять то, что не раз было сказано, да еще ограничиваясь при этом рамками небольшого рассказа.

Любая современная электронная вычислительная машина (сокращенно ЭВМ), в том числе и та, которая явилась жертвой злодейства, описанного в начале рассказа, состоит, по существу, из двух частей: памяти и устройства, способного совершать действия, подчиняясь законам формальной логики. Последнее так и называется арифметическо-логическим устройством или сокращенно АЛУ.

АЛУ рассуждает. При этом оно черпает из памяти исходные положения для своих рассуждений, а результаты помещает снова в память. Принцип действия ЭВМ состоит в том, что сложные и длинные цепочки рассуждений разбиваются на отдельные этапы и эти этапы выполняются последовательно один за другим. Каждый этап выполняется под воздействи-

нием соответствующей команды. Последовательность команд, называемая программой, хранится в памяти ЭВМ. Словом, все происходит именно так, как уже рассказал нам ведущий программист мистер Бредбери.

Часто приходится встречать утверждение, что программу для ЭВМ составляет человек, следовательно, она способна выполнять лишь те действия, которые ей предписаны с самого начала. Вообще-то говоря, это неверно. Машина с достаточно большим объемом памяти способна программировать сама себя. Делать это она может по-разному. Она способна превратить в подробную последовательность команд самые общие указания, изложенные на обычном русском или английском языке или на специальном языке программирования. Таких языков, к слову сказать, существует несколько тысяч. Гораздо больше, чем это диктуется действительной необходимостью.

Однажды успешно решив какую-либо задачу, машина может запомнить программу решения. И, если ей снова попадется похожая задача, она совершенно самостоятельно извлечет из памяти нужную программу и выполнит решение.

Наконец, машина может накапливать опыт. Это было продемонстрировано на примере игры в шашки. Получив вначале лишь примитивные сведения о правилах игры, машина совершенствовалась от партии к партии и в конце концов стала не только выигрывать у своего первого учителя, но и обыграла даже чемпиона по шашкам.

Машина может руководствоваться специальной литературой и всевозможными справочными данными, если, конечно, все это предварительно введено в память. Но наиболее ценным оказывается как раз собственный опыт машины, то есть те данные, которые оказались накопленными в памяти в процессе работы. Именно поэтому проблема ограбления электронных мозгов приобретает сейчас такую остроту в капиталистических джунглях.

ЭВМ может многое. Чтобы перечислить все, что она может, понадобилась бы толстенная книга. Мы решили пойти по другому пути и постараться показать читателю, чего не может ЭВМ. Поэтому мы и старались как можно яснее выявить именно процессы рассуждений. А рассуждает ЭВМ с помощью рычагов, клиньев и колес. Самую важную роль играет, пожалуй, клин. Ведь именно клин дает возможность двигаться в одном каком-либо направлении и запрещает в другом. Взаимодействуя друг с другом, клинья и рычаги со-

вершают лишь такие движения, которые соответствуют правильным выводам из исходных предположений.

В современных ЭВМ вместо механических перемещений планок и рычагов используется другой вид перемещений — движение электрического тока по проводам. Роль клина выполняет диод — полупроводниковый прибор, пропускающий электрический ток в одном направлении и не пропускающий ток в противоположном направлении. АЛУ современной ЭВМ состоит в основном из диодов.

Если мы еще раз присмотримся к конструкции механизма для решения задачи о волке, козе и капусте, то увидим, что роль рычагов в этом механизме сводится к изменению направления движения: если один конец рычага движется вправо, то противоположный его конец — влево. Роль рычагов в современных машинах играют другие полупроводниковые приборы — транзисторы.

Наконец, память. В нашем механизме мы запоминали происшедшие события, перемещая планки. Сейчас эта функция выполняется с помощью крохотных сердечников из магнитного материала. Произошло событие — сердечник намагнитился. Можно намагничивать не сердечники, а отдельные участки поверхности магнитного материала. Этот принцип используется в устройствах на магнитной ленте и магнитных дисках.

Полупроводниковый диод или транзистор способен, как говорят, переключаться, то есть изменить состояние, в котором он проводит электрический ток, на состояние, в котором он тока не проводит, очень быстро — за несколько тысячемиллионных долей секунды. Примерно с такой же скоростью протекают процессы перемагничивания магнитных сердечников. Поэтому современная ЭВМ способна выполнить в течение одной секунды несколько десятков миллионов простейших действий — этапов программы. Отсюда та феноменальная скорость, с которой «рассуждает» ЭВМ.

И еще одно важное обстоятельство. Чтобы изготовить диод или транзистор, достаточно ввести в материал полупроводника (кристаллического германия или кремния) очень небольшое количество примесей другого материала. Поэтому сейчас, пользуясь разработанной в последние годы так называемой технологией больших интегральных схем, удастся разместить на поверхности кремниевой пластины размером двадцать пять квадратных миллиметров до десяти тысяч отдельных транзисторов или диодов. На той же поверхности размещаются электрические соединения между транзисторами и диодами.

Большая интегральная схема делается на специальном станке, точнее, на поточной линии, состоящей из нескольких станков, практически без участия человека. Это обуславливает высокую надежность получаемых изделий.

Столь малые размеры позволяют разместить в корпусе величиной с портсигар несколько миллионов транзисторов и диодов. Подобные устройства — они получили название микропроцессоров — уже выпускаются промышленностью.

В 1838 году английский ученый Чарльз Бэббедж завершил разработку проекта механической рассуждающей или, как он сам ее назвал, аналитической машины. Эта машина должна была состоять из клиньев, рычагов и колес точно так же, как и наш решатель задачи о волке, козе и капусте. Отличие состояло в том, что машина Бэббеджа должна была работать полностью автоматически. Программу ее действий предполагалось хранить в памяти.

Бэббеджу не удалось осуществить свой проект по разным причинам и прежде всего из-за отсутствия средств. Может быть, оно и к лучшему — навряд ли удалось бы заставить работать удовлетворительно механизм, состоящий из очень большого числа клиньев, рычагов и колес. А при малом их числе аналитическая машина Бэббеджа могла бы совершать лишь весьма примитивные операции. Потребовалось около ста сорока лет, чтобы успехи совершенно новой области — электроники — позволили воплотить идеи Бэббеджа на основе замены механических элементов электронными. Но, что самое поразительное, основная идея аналитической машины почти не претерпела каких-либо изменений или дополнений.

Сегодня, как и сто сорок лет назад, ЭВМ рассуждает, основываясь на законах формальной логики. Но все-таки чего же не могут ЭВМ?

Любая современная вычислительная машина оказывается бессильной тогда, когда в процессе рассуждений необходимо отойти от законов, которым подчиняются эти рассуждения. Например, ни одна современная ЭВМ не может решить задачу о рыжем лгуне. Чтобы получить такое решение, ей нужно было бы самостоятельно предположить, что все-таки не все рыжие лгут, что среди них может встретиться хотя бы несколько правдивых. Подобное отступление противно всей ее «электронной натуре». Но главное, пожалуй, даже не в этом. Столкнувшись с задачей, аналогичной задаче о рыжем лгуне, машина может просто отбросить ее как неразрешимую. Вообще проблема самоконтроля машин является сейчас одной из

главных, стоящих перед инженерами и учеными, и разрешается она довольно успешно.

Сталкиваясь с достаточно сложной задачей, машина может перепробовать тысячи и тысячи различных путей ее решения и в конечном итоге выбрать не только тот путь, который приводит к решению, но, если таких путей существует несколько, выбрать из них кратчайший. Она может запомнить этот кратчайший путь и в следующий раз обратиться прямо к нему, минуя все предыдущие бесплодные попытки. Результат каждого рассуждения машина запоминает и потом использует как исходный пункт для дальнейших рассуждений. Здорово, не правда ли?

НО! Вспомним закон достаточного основания. Всякая мысль лишь тогда верна, когда она обоснованна, когда она вытекает как следствие из другой правильной мысли, служащей ей в данном случае основанием. Следовательно, как бы длинны ни были цепочки рассуждений, проводимых машиной, у них всегда должно быть начало — некое исходное положение, принимаемое машиной за истинное или, если угодно, на веру.

В таком же положении находится и человек. Человек рассуждает, исходя из некоторых положений (аксиом), в которых он по тем или иным причинам не сомневается. Но если выводы его рассуждений противоречат эксперименту, человек вправе поставить под сомнение исходные аксиомы. Наука изобилует примерами подобного рода. Машина же лишена возможности активного общения с внешней средой. Она не может ставить эксперименты и проверять практикой результаты своих рассуждений. Все, что ей остается, это принимать аксиомы на веру. А если исходная аксиома неверна, неверными неизбежно будут и выводы.

Рассказывают такой случай. Некто, большой любитель поесть, решил похудеть. Он предложил машине задачу: составить такое меню, чтобы при максимальном объеме и весе съедаемых продуктов он получал бы минимальное количество калорий. Ответ поступил незамедлительно: 200 литров уксуса в сутки.

Тот, кто пользуется современной ЭВМ, забывая при этом, что машина не имеет ни малейшего понятия о вкусе пищи, всегда рискует получить подобные уксусные решения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие для взрослых	3
------------------------------------	---

Рассказ первый

КОЛЕСО

Где и когда?	6
Как?	7
Не тяни тигра за хвост!	8
Немного теории	10
Делаем выводы	14
«Безумная» задача	17
Советы любителям ходить пешком	19
Строим телегу	21
По воде и посуху	23
Еще немного размышлений	27
Толкаем автомобиль	32
Квадратные колеса	37
Изобретаем велосипед	47

Рассказ второй

РЫБОЛОВНЫЙ КРЮЧОК

Кое-что о характере	59
Блин не клнн — брюхо не расколет	60
Привыкли руки к топорам	65
Перевернем земной шар	68
Кривое ружье	72
Загнать звук в бутылку	73
Косые клинья	78
Который час?	80
И снова колесо	95
Все наоборот	99
Алло, кто говорит?	105
Укротить молнию	106
Учимся шить	108

Рассказ третий

ВЕРХОМ НА ПУШЕЧНОМ ЯДРЕ

Самый правдивый человек на свете	115
Чем же плох чайник?	116
Выдумываем порох	117
Из пушки — по колесу	119
Почему?	138
Несколько слов о красоте	143
Назад к пушкoмoбилю!	154
Лед и пламень	157

Рассказ четвертый

В КОСМОСЕ

Люди на Луне	161
На птицах	—
В век техники	163
На ракетах	164
Что такое ракета?	165
Авторы сомневаются	167
Куда летит палка?	168

Так в чем же дело?	171
Благоразумная точка	172
Крученые мячи	175
Неподвижная ракета	177
Бобовая модель	180
Ракета на колесах	182
Что станут думать потомки?	185
Ракета-паровоз	189
Горшком вперед	190
Безумное в безумном	193
«Москва — Луна» с пересадкой	197
На световом луче	199
Разговор с потомком	200
Безумное и невозможное	202

Р а с с к а з ы

МОЗГ В ПОРТСИГАРЕ

Дело об убийстве	205
Высокий человек маленького роста	218
Мужик и медведь	222
Считающее колесо	229
Быстрее мысли	231

Для среднего и старшего
возраста

Алексей Вольдемарович Шилейко

Тамара Ивановна Шилейко

ПОТОМКИ
КАМЕННОГО ТОПОРА

ИБ № 3

Ответственный редактор *М. А. Зарецкая*
Художественный редактор *Л. Д. Бирюков*. Технический редактор *И. Я. Колодная*. Корректоры *В. В. Борисова* и *Е. А. Флорова*. Сдано в набор 15/XII 1976 г. Подписано к печати 8/VI 1977 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бум. типограф. № 2. Печ. л. 15. Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 13,41. Тираж 100 000 экз. А03823. Заказ № 579. Цена 50 коп. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература». Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1 Калининский ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР Росглавполиграфпрома Госкомиздата Совета Министров РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.

Шилейко А. В. и Шилейко Т. И.

Ш57 Потомки каменного топора. Научно-худож.
лит-ра. Рис. Т. Лоскутовой и А. Шилейко. М., «Дет.
лит.», 1977.

238 с. с ил.

Книга о современной технике, об основных направлениях ее раз-
вития.

Ш $\frac{70803-420}{M101(03)77}$ 432-77

Цена 50 коп.