

Приложение к журналу

КВАНТ

№6/99

«КВАНТ» ДЛЯ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

ФИЗИКА

Бюро



Квантум

«КВАНТ» ДЛЯ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА

Составители В.А.Тихомирова, А.И.Черноуцан



Москва 1999
Бюро «Квантум»

УДК 087.5:53
ББК 22.3
К32

Приложение
к журналу «Квант»
№6/99

К32 «Квант» для младших школьников. Физика / Составители В.А. Тихомирова, А.И. Черноуцан — М.: Бюро Квантум, 1999. — 128 с. (Прил. к журналу «Квант» №6/99). ISBN 5-85843-021-X

Книга представляет собой сборник статей по физике, опубликованных в журнале «Квант» в рубрике «Квант» для младших школьников» в различные годы. В статьях рассказывается о разнообразных физических явлениях и процессах, наблюдаемых в природе и используемых в практической деятельности человека.

Для учащихся и преподавателей средних школ, лицеев и гимназий, а также для всех тех, кому интересна физика.

ББК 22.3

ISBN 5-85843-021-X

© Бюро Квантум
«Квант». 1999

Предисловие	4
ФИЗИКА В ПРИРОДЕ	
Ветка-барометр. <i>М. Головей, Л. Куликова</i>	5
Почему в холодильнике сохнут продукты? <i>Е. Пальчиков</i>	7
Физика в каникулы. <i>Д. Алексеев</i>	10
Такая знакомая и такая удивительная вода. <i>Н. Родина</i>	13
Как мы пьем чай. <i>Н. Родина</i>	18
Что и как мы видим. <i>А. Буздин, С. Кротов</i>	22
Как кипит вода? <i>Дж. Уокер</i>	26
«Если в поле далеко раздается голос...». <i>С. Тихомирова</i>	33
ПРОСТЫЕ ОПЫТЫ	
Электризация через влияние. <i>В. Тихомирова</i>	36
Цветные тени. <i>Б. Коган</i>	39
Оптика без оптики. <i>А. Дозоров</i>	41
Опыты с воздушными шариками. <i>В. Тихонова</i>	44
Шарик, который не сдувается. <i>А. Дозоров</i>	46
Можно ли носить воду в решете? <i>А. Дозоров</i>	47
Опыты с водой на морозе. <i>П. Канаев</i>	52
По страницам старого учебника. <i>А. Дозоров</i>	57
НАУКА И ПРАКТИКА	
Дом, который построил... <i>А. Токарев</i>	60
Может ли быть невозможное? <i>Л. Тучинский</i>	64
Загадка этрусков. <i>А. Штейнберг</i>	69
Знакомьтесь: металлическое стекло. <i>А. Штейнберг</i>	73
Коротко о тепловом расширении. <i>А. Штейнберг</i>	77
Нейтроны ищут убийцу. <i>А. Штейнберг</i>	80
Движение в час пик. <i>Дж. Уокер</i>	85
Паркет-хамелеон. <i>А. Пятаков</i>	90
ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ	
Спор о лягушке. <i>А. Кикоин</i>	92
Немного о термометре и о термоскопе Фердинанда. <i>А. Буздин</i>	100
Дальтон взвешивает атомы. <i>А. Штейнберг</i>	103
В роли магдебургского бургомистра. <i>А. Штейнберг</i>	107
«Разутый философ», или Две теории электричества XVIII века. <i>Л. Крыжановский</i>	111

«ФИЗИКИ» И «ЛИРИКИ»

Приключения Ганса Пфааля и толстяка Пайкрафта.

В. Невгод

114

Архимедова сила в литературных произведениях.

С. Тихомирова

117

Задачи старика Хоттабыча. В. Сурдин

121

Подготовишки. Ф. Лайбер

125

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге собраны статьи и заметки по физике, опубликованные в журнале «Квант» в разделе «Квант» для младших школьников». Они предназначены в основном школьникам 7 – 8 классов, но их могут читать как «еще более младшие» школьники, так и старшеклассники. Учителя физики найдут здесь интересные качественные примеры, которые помогут оживить и разнообразить уроки и организовать самостоятельную работу учащихся. Впрочем, как нам кажется, многие статьи будут интересны любому читателю, кто сохранил интерес к устройству окружающего мира.

Для удобства читателей книга разбита на несколько разделов, название которых говорит само за себя. Разумеется, такое разделение условно – некоторые статьи смотрелись бы весьма к месту в нескольких разделах.

Материалы этой книги практически не содержат формул, а физические рассуждения и оценки проводятся на качественном, интуитивном уровне, обращаясь к здравому смыслу читателя и его наблюдательности. Уместно вспомнить, что среди профессиональных физиков очень ценится умение изложить физическую проблему на уровне качественных рассуждений, выделив самое существенное из сложных математических выкладок. Так что «качественная физика» – это не только начало пути, но и его вершина.

ВЕТКА-БАРОМЕТР

М. Головей, Л. Куликова

Одна из интереснейших особенностей живых организмов – предвидеть изменения внешних условий и заблаговременно приспособиться к ним. Многие растения и животные обладают способностью «чувствовать» некоторые явления и воздействия, которые человек даже не ощущает. Например, в Японии специально разводят в аквариумах рыбок, которые еще задолго до землетрясения начинают метаться в аквариуме, предупреждая владельцев о возможной опасности. Как рыбки узнают о приближении землетрясения, до сих пор остается загадкой.

Погодные условия в жизни человека играют огромную роль, поэтому очень важно заранее знать обо всех ожидаемых изменениях погоды. Сейчас во всех странах существуют метеорологические станции, ведущие наблюдения за состоянием атмосферы (измеряются количество осадков, сила ветра и давление воздуха на различных высотах) и составляющие прогнозы погоды. При составлении точного прогноза для данной местности необходимо учитывать большое количество различных факторов, влияющих на состояние атмосферы всей Земли. Эта сложная проблема в настоящее время еще не до конца



Опубликовано в «Кванте» №9 за 1974 год.

решена. Такой метод определения погоды (он называется синоптическим) допускает некоторые неточности в прогнозах. Биофизические наблюдения природы позволяют уменьшить эти неточности.

Данные об изменении поведения животных и растений перед сменой погоды издавна используются в народе для прогнозирования различных атмосферных явлений. Например, было замечено, что если чайки рано утром улетают далеко в море, то до вечера сильного ветра не будет. И наоборот, массовое возвращение птиц к берегу с моря предвещает приближение шторма. Еще пример – задолго до начала шторма медузы спешат заблаговременно укрыться в безопасном месте. Оказывается, сигналом к этому являются инфразвуки с частотой 3 – 13 Гц, возникающие от трения волн о воздух. Интенсивные инфразвуковые колебания, образующиеся над поверхностью моря при сильном ветре в результате вихревых процессов у гребней волн, распространяются быстрее штормового фронта. Медузы и воспринимают эти колебания. В результате изучения этого явления был сконструирован прибор, позволяющий определить направление шторма и его силу задолго до его начала (примерно за 15 часов).

На основе многочисленных наблюдений установлено, что растения чрезвычайно восприимчивы к давлению, температуре и влажности воздуха. Например, хвойные деревья обычно опускают свои ветви перед дождем и поднимают их вверх перед ясной погодой. В наибольшей степени этой особенностью обладает ель; наблюдательные туристы по состоянию ее кроны могут определить предстоящую погоду.

Способность реагировать на изменения погоды сохраняется и в неживом дереве. Это свойство можно с успехом использовать для изготовления самодельного барометра. Для этого отпилите от сухой ели ветку с куском ствола. Диаметр ветки у основания должен быть 10 – 15 мм, длина 30 – 50 см. Получившийся сучок очистите от коры и прикрепите его за остаток ствола к стене так, чтобы ветка находилась приблизительно в таком же положении, как и на дереве. Теперь остается сделать шкалу для отсчета положения конца ветки, и барометр будет готов. Вырежьте из бумаги или картона сектор с радиусом, равным длине ветки, и углом раствора 90°. На окружности сектора для удобства отсчета через каждые 5 мм нанесите деления. Еловая ветка будет выполнять роль стрелки, положение которой зависит от состояния атмосферы. Проведя несколько наблюдений положения ветки в зависимости от состояния погоды, можно проградуировать этот самодельный барометр.

ПОЧЕМУ В ХОЛОДИЛЬНИКЕ СОХНУТ ПРОДУКТЫ?

Е. Пальчиков

Говоря точнее, надо было бы вопрос сформулировать так: почему в холодильнике продукты обычно сохнут быстрее, чем на открытом воздухе? Давайте попробуем в этом разобраться.

Начнем с двух – безусловно, известных вам – фактов.

1) Холодный воздух тяжелее теплого (вспомните, пожалуйста, – почему?).

2) Чем теплее воздух, тем больше в нем может присутствовать воды в виде пара.

Как это можно объяснить?

Воздух, как правило, соприкасается с какими-нибудь открытыми водоемами. В воде при любой температуре найдутся такие молекулы, которые сумеют вылететь с поверхности воды и образовать водяной пар. Одновременно с процессом испарения происходит и обратный переход молекул из пара в жидкость – конденсация.

Очевидно, чем больше плотность пара, тем активнее идет процесс конденсации. Если испарение воды происходит в ограниченном объеме (например, в закрытом сосуде), то обязательно наступит момент, когда число молекул, покидающих жидкость, сравняется с числом молекул, возвращающихся обратно. В таком случае говорят, что между жидкостью и ее паром наступает равнове-



Опубликовано в «Кванте» №4 за 1977 год.

сие (количества жидкости и пара больше не изменяются). Пар в этом состоянии называют насыщенным, подчеркивая тем самым, что при неизменных условиях дальнейшее испарение уже невозможно. Ясно, что чем выше температура, тем интенсивнее испаряется вода и тем большей, следовательно, должна быть плотность водяного пара, чтобы наступило равновесие. Другими словами, чем выше температура, тем больше водяных паров может содержаться в данном объеме воздуха. Например, при 20 °С в комнате с площадью 12 м² и высотой 3 м может находиться в виде пара около 600 г воды, а при 100 °С – около 20 кг!

Степень влажности воздуха (содержание в воздухе того или иного количества водяных паров) обычно характеризуют с помощью специальной физической величины – относительной влажности. Относительной влажностью воздуха называется отношение массы водяных паров, содержащихся в 1 м³ воздуха, к максимальной массе паров воды, которая может находиться в этом объеме при данной температуре. (Относительной влажностью называют также отношение соответствующих давлений водяного пара.) Это отношение принято выражать в процентах. Если количество водяных паров в воздухе не изменяется, а температура воздуха повышается, то относительная влажность будет уменьшаться. И наоборот: при охлаждении воздуха его относительная влажность увеличивается. Как только она станет равной 100%, водяные пары начнут конденсироваться, «лишний» пар будет превращаться в росу или в иней.

Теперь проследим, как же себя ведет воздух внутри холодильника. У всех однокамерных холодильников морозильная камера расположена наверху. Охлажденный возле камеры воздух опускается вниз. Соприкасаясь со стенками холодильника и с продуктами, он нагревается. При этом его относительная влажность уменьшается, а способность вбирать в себя воду увеличивается. Нагревшись и отобрав часть воды у продуктов, воздух поднимается к морозильной камере. Здесь он охлаждается до исходной температуры, но влажность его оказывается выше первоначальной (из-за отобранной у продуктов воды). Через некоторое число циклов влажность воздуха возрастает настолько, что, подойдя к морозильной камере, он будет вынужден часть воды оставить на камере в виде «осадка» – капелек воды или кристалликов льда. Так с помощью воздуха вода «перекочевывает» от более теплых тел к более холодным – от продуктов к морозильной камере. При этом происходит очень эффективная перекачка тепла: при испарении некоторое количество теплоты отбирается от продуктов и

передается воздуху, а при конденсации оно отбирается от воздуха и передается морозильной камере. Разумеется, вода легче будет отбираться у более нагретых тел. Например, для испарения 1 г воды при температуре 0 °С требуется количество теплоты $2,59 \cdot 10^3$ Дж, а при 50 °С – $2,38 \cdot 10^3$ Дж. (Столько же тепла выделяется при конденсации.)

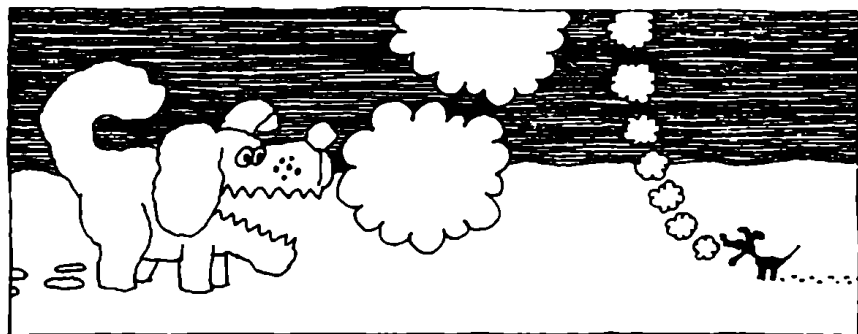
Может возникнуть естественный вопрос: а как же охлаждаются «сухие» предметы? Ведь в этом случае отсутствуют перенос воды и связанный с ним перенос энергии. Это, действительно, так. Но остается еще один процесс переноса энергии – при охлаждении и нагревании циркулирующего воздуха. Правда, «сухие» предметы охлаждаются гораздо медленнее, чем «влажные».

А теперь постарайтесь самостоятельно ответить на такие вопросы.

Когда дышишь на морозе, появляются туман и иней. Почему?

Почему при входе в дом запотевают очки? Почему очки «потеют» на морозе?

Почему в душевых обычно капает с потолка и с холодных труб, а трубы с горячей водой остаются сухими?



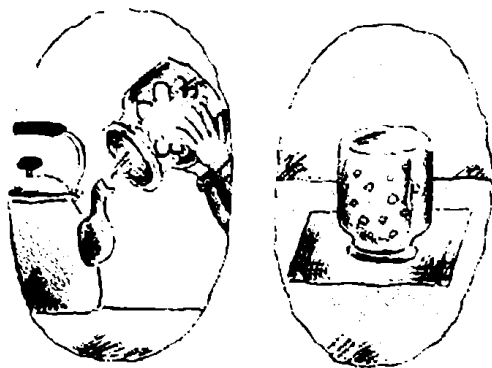
Д.Алексеев

Близятся к концу летние школьные каникулы. Безусловно, каждому из вас знакомо ощущение волнения перед началом нового учебного года: что-то ждет нас впереди?

Может быть, вы уже «устали» отдыхать и вам хочется поскорее начать заниматься? Не торопитесь открывать учебники. Лучше понаблюдайте за вещами и явлениями, вас окружающими. Вы увидите много интересного и полезного. Наверное, не все вы сможете объяснить сейчас. Не расстраивайтесь. Постарайтесь хорошенько запомнить непонятное, чтобы затем, в новом учебном году, все выяснить.

Как возникают капельки росы? Как вы, конечно, знаете, воздух представляет собой смесь различных газов. Прежде всего это азот и кислород. Есть в воздухе и водяные пары. Правда, их вклад невелик: плотность паров воды в сотни раз меньше плотности воздуха. Но их присутствие определяет так называемую влажность воздуха. Самочувствие человека, рост и развитие растений, работа многих точных приборов и тому подобное сильно зависят от влажности воздуха.

Оказывается, количество водяных паров в воздухе не может быть произвольным. Существует предельная масса воды, которую при данной температуре можно испарить внутри определенного объема воздуха. При дальнейшем добавлении происходит конденсация



Опубликовано в «Кванте» №8 за 1980 год.

водяных паров, образуются водяные капельки. Чем выше температура, тем больше влаги может содержаться в воздухе. Представьте себе, что днем количество воды в воздухе достигло предельного значения. Наступила ночь. Температура воздуха понизилась, максимальная масса воды в воздухе уменьшилась. Очевидно, избыточное количество водяных паров и образует водяные капельки – росу или туман.

Теперь проведите несколько самостоятельных наблюдений. Сначала сделайте опыт, не требующий много времени. Возьмите стеклянную банку и поднесите ее горлышко к носику кипящего чайника. Поставьте банку на стол вверх дном. Через некоторое время воздух в ней охладится, и выпадет обильная роса.

Пока воздух в банке охлаждается, посмотрите на носик кипящего чайника. Непосредственно у его края нет никакого видимого пара. Почему? Пар, в правильном значении этого слова, увидеть вообще нельзя, потому что это прозрачная среда, как и большинство других газов. То, что обычно называют паром, это туман. На некотором расстоянии от носика кипящего чайника его действительно можно увидеть.

Несколько более длительный опыт можно выполнить на улице. Днем поставьте банку на землю вверх дном и слегка присыпьте горлышко землей. Ночью воздух станет более холодным, на стенках банки появится роса, в чем вы сможете убедиться рано утром.

«Кубарь» и «Ио-ио». Очень интересные опыты можно провести с вращающимися телами.

Из древних времен пришли к нам игрушечные водяные и ветряные мельницы. Много столетий не стареет и волчок. На старинных картинах можно увидеть мальчика с кнутом и волчком, имеющим форму свеклы. Кнутик несколько раз обогнут вокруг волчка. Очевидно, таким образом волчок закручивался.

Впрочем, волчок можно запустить и обычным способом, т.е. рукой, а потом кнутиком подхлестывать волчок так, чтобы его вращение длилось как можно дольше. Говорят, в нашей стране эту игру кое-где можно встретить и сейчас. И называют ее **«Кубарь»**.

Родиной игры **«Ио-ио»** считается Древний Китай. Попробуйте сделать ее. Возьмите металлическую катушку, например из детского конструктора. Диаметр катушки должен быть около 5 см, диаметр оси – около 0,5 см, длина оси – 1 – 2 см. Коси крепко привяжите прочную нить длиной с вашу ногу. Игра состоит в следующем. Намотайте нить на ось, возьмите конец нити в руку и отпустите катушку. Когда нить полностью разматается, слегка

дерните ее — катушка снова начнет вращаться. Задача состоит в том, чтобы все время поддерживать вращение катушки. Научившись этому, вы сами догадаетесь, какие трюки можно проделывать с этой игрушкой.

Вращающаяся цепочка. Неожиданный эффект при вращении вам поможет увидеть обыкновенная цепочка. Возьмите цепочку длиной около 20 см. Аккуратно соедините ее крайние звенья. К одному из звеньев привяжите нить длиной 30 см. Другой конец нити возьмите в руку. Совершая рукой кругообразные движения малого радиуса в горизонтальной плоскости, заставьте цепочку крутиться. Через некоторое время она поднимется, расправится и примет форму окружности, лежащей в горизонтальной плоскости. Неожиданный результат, не правда ли?



Кто быстрее? Положите на стол не очень гладкую доску и один ее конец немного поднимите. Положите на доску рядом два внешне одинаковых цилиндра, но один сплошной, а другой полый. Как вы думаете, какой из них быстрее скатится с доски? Теперь отпустите цилиндры и проверьте себя.

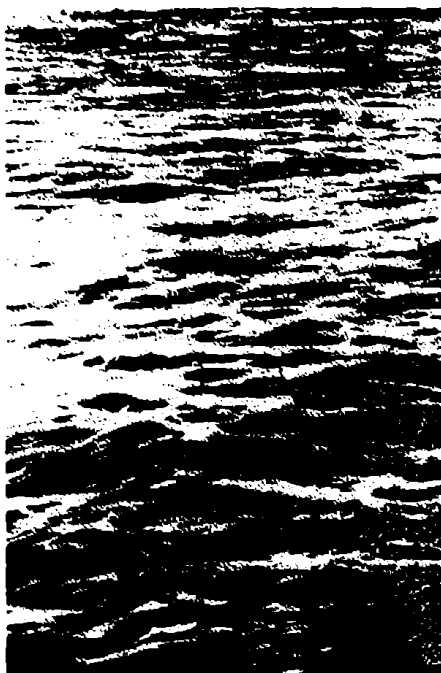
Поменяйте цилиндры: возьмите сплошные большой и маленький, большой сплошной и маленький полый, цилиндры из разных материалов и так далее.

Почему поднимается вращающийся цилиндр? Из плотной бумаги сделайте цилиндр диаметром около 4 см и длиной 10 см. Обмотайте его несколько раз капроновой лентой, положите на край стола и дерните за свободный конец ленты. Лента останется у вас в руках, а цилиндр, вращаясь, полетит вперед по направлению рывка. Что с ним будет дальше? Возможны два варианта: цилиндр либо взойдется вверх, либо полетит под стол. Проверьте, как конечный результат зависит от положения свободного конца ленты во время рывка (свободный конец может быть выше или ниже оси цилиндра). Заметим, что этот опыт демонстрирует возникновение так называемой подъемной силы, необходимой для воздухоплавания.



Н.Родина

Если последовательно сфотографировать все части поверхности земного шара, то 70% снимков будут изображать воду – поверхность Земли более чем на $2/3$ покрыта водой. На долю океанов приходится основная масса воды, но содержится она и в озерах, реках, под землей и в воздухе. Запас воды в атмосфере – в виде пара – вдвое превышает ресурсы всех рек. Средняя глубина океанов составляет 3800 м, наибольшую глубину имеет так называемая Марианская впадина в Тихом океане – около 11000 м. Если выровнять сушу и дно океанов так, чтобы Земля стала точно шаром, то вся поверхность ее будет покрыта слоем воды толщиной около 2500 м. Зная это, а также учитывая, что средний радиус Земли равен 6400 км, можно рассчитать примерный объем воды на Земле и радиус той «капли», которую образовала бы вода, если всю ее собрать воедино. Конечно, можно показать, и вы можете это сделать сами, что все же объем воды составляет лишь небольшую часть всего объема Земли. Но из всех планет Солнечной системы (а в ней, кроме девяти больших планет, есть еще тысячи маленьких планет – астероидов) ни



Опубликовано в «Кванте» №2 за 1984 год.

одна не может сравниться с Землей по обилию воды. Например, Венера и Марс имеют такие сухие поверхности, каких нет нигде на Земле. Даже пустыня Сахара по сравнению с ними казалась бы настоящим болотом.

И эта вода, такая распространенная и такая, на первый взгляд, обыкновенная жидкость, обладает, оказывается, необыкновенными физическими свойствами, отличающими ее от других веществ и делающими ее такой полезной для человека. Как будто природа специально позаботилась о том, чтобы придать воде свойства, благодаря которым смягчаются жара и холод на Земле, рыбы зимуют в водоемах, человек пользуется «мостами из льда»... Рассмотрим некоторые из этих свойств.

Вода относится к тем редким веществам, которые в обычных условиях нашей жизни встречаются и в виде твердого тела, и в виде жидкости, и в виде газа. Многие ли из вас видели, например, твердый бензин (температура его плавления ниже -60°C)? Жидкое железо мы можем увидеть только во время экскурсии на металлургический завод, а жидкий воздух – в специальных лабораториях. А вот воду мы хорошо знаем во всех трех состояниях. Зимой, стоя на берегу реки, мы видим лед – твердое состояние воды, видим в проруби воду, вдыхаем вместе с воздухом водяной пар (он невидим).

Известно, что все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Это относится и к воде. Именно этим объясняется, например, прогревание воды способом конвекции. Но если понаблюдать за расширением и сжатием воды при изменении ее температуры более тщательно, то мы заметим особенность воды, имеющую большое значение для человека.

Представьте себе, что в двух одинаковых колбах налиты жидкости. В одной колбе – вода, в другой – любая другая жидкость, скажем бензин, и обе жидкости имеют одинаковые температуры, например 15°C . Будем постепенно охлаждать эти жидкости до 0°C . Сначала вода не проявит никаких «чудес» – обе жидкости будут сжиматься. Но после того как температура жидкостей станет равной 4°C , бензин будет продолжать сжиматься, а вода станет расширяться!

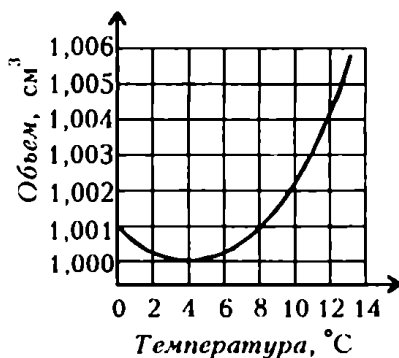
Рассмотрим обратный процесс: будем нагревать эти жидкости от 0°C . Бензин (и другие жидкости) будет только расширяться, а вода сначала сожмется и лишь после 4°C начнет расширяться, т.е. поведет себя, как остальные жидкости.

Вы можете проделать опыт, доказывающий это удивительное свойство воды. Налейте в банку или в стакан примерно до половины высоты холодной воды (по возможности, воду возьми-

те похолоднее, но не холоднее 4°C) и опустите в воду термометр, который может измерять температуру от 0°C и выше (годится, например, школьный лабораторный термометр или комнатный). Резервуар термометра должен находиться вблизи дна сосуда (хорошо, если вы укрепите термометр так, чтобы его можно было двигать только вверх и вниз). Теперь осторожно поместите на поверхность воды небольшие кусочки льда слоем высотой 2–4 см и наблюдайте за показаниями термометра. Температура будет понижаться, но когда она станет близкой к 4°C (она может отличаться на $1-1,5^{\circ}$, это зависит от качества термометра, т.е. его «класса», от наличия примесей в воде и других причин), вы увидите, что столбик термометра остановится. Убедитесь, что он остается неподвижным, а затем осторожно поднимите термометр так, чтобы его резервуар оказался в верхнем слое воды, где находится лед. Вы увидите, что там температура близка к 0°C . В процессе опыта вам, может быть, придется добавлять лед; делайте это осторожно, чтобы он не опускался вниз и не перемешивался с нижними слоями воды.

Из наших наблюдений следует, что наибольшую плотность вода имеет при 4°C , при нагревании выше этой температуры и при охлаждении ниже нее плотность воды уменьшается. Это свойство пресной воды (морская вода им не обладает) носит название аномалии теплового расширения (аномалия – неправильность, отклонение от общей закономерности). На рисунке изображен график зависимости объема воды от температуры (для 1 г воды). Пользуясь им, попробуйте построить самостоятельно график зависимости плотности воды от температуры.

Благодаря аномалии теплового расширения воды водоемы с пресной водой не промерзают зимой до дна. По мере наступления холодов воздух над озером, рекой или прудом постепенно охлаждается. Охлаждается и соприкасающийся с ним верхний слой воды. По мере остывания он становится плотнее и опускается на дно – тонет в менее плотной теплой воде. Постепенно придонный слой воды становится все холоднее, и, наконец, температура его достигает 4°C . Лежащие над ним слои воды продолжают охлаждаться от 4 до 0°C , но теперь уже плотность их становится меньше, и они не опускаются вниз.



Поэтому на дне водоема и зимой сохраняется сравнительно теплый слой воды, в котором и зимуют рыбы, рачки, водоросли.

Но на этом «чудеса» не кончаются, вода не скупится на сюрпризы.

Возьмите две пробирки (или маленькие стеклянные пузырьки) и налейте в одну из них воду, а в другую – расплавленный воск или стеарин. Воск оставьте в комнате – он быстро застынет, а воду придется вынести на мороз или поместить в морозильную камеру холодильника, чтобы она обратилась в лед. И снова вода удивит нас! Воск в процессе отвердевания сожмется, на его поверхности образуется глубокая воронка. А на поверхности льда вы увидите выпуклость (а если пузырек был наполнен водой доверху и закрыт, то лед его даже разорвет). Сделаем вывод: при переходе воды из жидкого состояния в твердое плотность ее уменьшается – ведь объем ее увеличивается при неизменной массе. У воска, как и у большинства веществ, наоборот, плотность при отвердевании увеличивается. Благодаря этой особенности воды лед, покрывающий зимой поверхность озера, не опускается на дно, не тонет. Если бы он не имел такого свойства, то аномалия теплового расширения воды не принесла бы пользы, водосмы промерзали бы до дна.

Возникает, однако, вопрос: почему не выравнивается температура воды в водоеме? Почему за долгую холодную зиму водоемы все же не охлаждаются до дна за счет теплопроводности? Это объясняется тем, что вода имеет очень малую, или, как говорят, плохую теплопроводность. Слой воды толщиной в 1 м и площадью в 1 м² при разности температур его поверхностей 1 °С передает за одну секунду от более нагретой к менее нагретой поверхности 0,58 Дж энергии. Эта величина – 0,58 Дж/(м³ · °С · с) – называется коэффициентом теплопроводности воды. Для сравнения укажем значения коэффициентов теплопроводности меди: 395 Дж/(м³ · °С · с) (это в 660 раз больше, чем у воды), алюминия: 204 Дж/(м³ · °С · с).

Плохо проводит тепло и лед. А если поверх льда лежит еще и свежевыпавший снег, а он состоит из мелких кристалликов льда, между которыми находится воздух – совсем плохой проводник тепла, имеющий коэффициент теплопроводности 0,023 Дж/(м³ · °С · с), то уж такая «шуба» надежно укрывает от мороза нижние слои воды в глубоких водоемах.

Обсудим еще одно замечательное свойство воды. Посмотрите в любом справочнике таблицу удельных теплоемкостей тел. Самая большая удельная теплоемкость – у воды! Чтобы нагреть 1 кг ее на 1°C , необходимо 4200 Дж энергии. Для керосина при тех же условиях необходимо 2100 Дж, а для ртути – 140 Дж. Значит, и остывая на один градус, килограмм воды отдаст окружающим телам в два раза больше энергии, чем керосин, и в 30 раз больше, чем ртуть. Поэтому при пользовании грелкой не только проще всего, но и выгоднее всего заполнять ее обычной водой. Подсчитайте, какое количество теплоты выделится при остывании грелки объемом 2 л от 100 до 20°C в двух случаях: когда грелка заполнена водой и когда она заполнена растительным маслом (плотность воды 1000 кг/м^3 , масла 900 кг/м^3 , их удельные теплоемкости, соответственно, $4200\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$ и $2000\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$).

А теперь рассмотрим это явление в других масштабах. Летом, в теплую погоду, количество теплоты, поглощаемое от окружающего воздуха водами океанов, морей, больших озер, настолько значительно, что смягчается жара в тех местах суши, которые лежат вблизи больших водоемов. Наступает зима, и вода, остывая, отдает воздуху это громадное количество теплоты. Поэтому зима в таких местах Земли не столь сурова, как в других, лежащих на тех же широтах. Найдем, например, какое количество теплоты отдает Черное море при смене времен года от лета к зиме. Наблюдения показывают, что средняя температура поверхностных вод Черного моря летом около 25°C , а зимой около 7°C . Площадь его поверхности приблизительно равна 420000 км^2 , а средняя глубина – около 1200 м, так что объем воды в море составляет $\approx 5 \cdot 10^{14}\text{ м}^3$. Зная, что плотность морской воды 1030 кг/м^3 , а ее удельная теплоемкость $4000\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, получим, что общее количество теплоты, которое отдает море, остывая, равно приблизительно $3,7 \cdot 10^{22}\text{ Дж}$.

Н.Родина

В одном из выпусков телевизионной передачи «Что? Где? Когда?» знатокам был задан вопрос (приводим его в несколько уточненном виде): «Уважаемые знатоки! Перед вами стоит стакан с чаем. Отпейте глоток и ответьте на вопрос: почему чай поднимается вверх, в то время как обычно вода льется вниз?». Ответ, на котором остановились после минутного обсуждения знатоки, был такой: «воду мы всасываем». Он был признан правильным, и знатоки получили очко и награду – книгу.

А что бы ответили вы, если бы такой вопрос задали вам, и не в телевизионной передаче, а на уроке физики? Ведь вопрос этот – настоящая качественная физическая задача (так условно называют задачи, в которых нет числовых данных и решение которых не обязательно должно быть выражено в виде формулы или числа). Но прежде чем думать над ответом, договоримся, что мы будем считать ответом. Решить качественную задачу по физике – это значит дать ответ на ее вопрос, обоснованный законами и правилами физической науки, выраженный принятыми в ней терминами, изложенный логично, так, чтобы каждый новый этап рассуждений являлся следствием предыдущего. Наверное, вы согласитесь, что с этой точки зрения нельзя считать данный знатоками ответ на «задачу о чае» удовлетворительным.

Так как же решать эту задачу? Давайте послушаем, как это делают два шестиклассника – Саша и Алеша.

Саша. Все дело в атмосферном давлении!

(Надо сказать, что Саша предпочитает отвечать на вопросы быстро.)

Алеша. Подожди, надо начать с самого начала, с условия: неподвижное тело – чай, находящийся в стакане, – пришло в движение. Мы знаем, что существует явление инерции – если на тело не действуют другие тела, т.е. не действует сила, то тело

Опубликовано в «Кванте» №12 за 1984 год.

находится в покое или движется равномерно и прямолинейно. Тело не может само по себе изменить это состояние, и чай не может начать двигаться без действия силы.

Саша. Но ведь на все тела действует сила тяжести, она действует и на чай. Он не льется, не падает вниз, потому, что у стакана есть дно.

Алеша. Такое объяснение – у стакана есть дно – может дать и маленький ребенок. С точки зрения физики, это не объяснение. Кто учил физику, тот скажет: под действием веса чая дно прогибается, возникает сила упругости, направленная вверх. Она действует на чай и уравнивает действующую силу тяжести. Мы объяснили, почему чай был сначала неподвижен относительно стакана. Но в нашей задаче речь идет не о движении всего тела – воды в стакане – как целого, а о движении частей воды относительно друг друга. Такое движение вызывается разницей давлений в разных местах внутри жидкости или на ее поверхности.

Саша. Это похоже на сообщающиеся сосуды. Когда давление столбов жидкости в сосудах не одинаково, то один столб опускается, а другой поднимается. В нашей задаче один столб чая – это тот, который находится около рта, а второй – весь остальной чай. Пока мы не пьем чай, давление этих столбов воды одинаково, а как только...

Алеша. Нужно объяснить, почему те два столбика чая, о которых ты говорил, производят друг на друга одинаковое давление.

Саша. Это мы потом докажем, а теперь продолжим решение задачи. Итак, нам дано: чай в стакане был неподвижен, а когда человек коснулся стакана губами, чай начал подниматься.

Алеша. Во-первых, в физике есть более точные термины, и нужно сказать так: чай находился в покое относительно стакана; а во-вторых, нужно учесть все особенности явления. Ты не обратил внимания на то, что, если стакан неполный, приходится наклонять его, пока губы не коснутся чая. Потом человек делает вдох – и только тогда чай начинает подниматься. Предлагаю такую, на мой взгляд четкую, формулировку задачи.



Дано: в стакане находится чай; он покоится относительно стакана. Человек наклоняется к стакану или наклоняет его так, чтобы чай и губы соприкоснулись. Потом он делает вдох, и чай в этом месте поднимается, попадает человеку в рот. Остальная часть чая опускается. Вопрос задачи: почему та часть чая, которая касается губ человека, поднимается вверх?

Саша. Но ведь всего этого не было в условии задачи!

Алеша. Было. Просто нужно точно представить себе то явление, о котором говорится в условии. А после этого нужно «привнести» еще те данные, о которых, может быть, и не сказано, но которые можно получить из наблюдений или при продумывании задачи. По-моему, правильное и до конца понятое условие задачи – это уже начало решения.

Саша. Тогда давай продолжим решение. Человек делает вдох, т.е. втягивает в себя воздух...

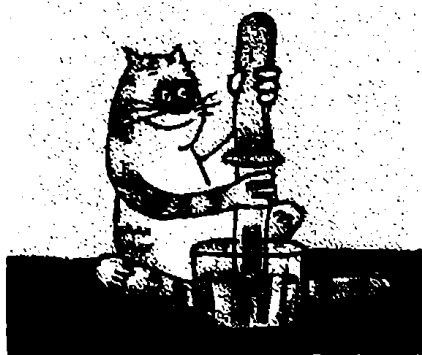
Алеша. Подожди. Что значит – втягивает воздух? Вдох человек делает так: усилием мышц он расширяет свою грудную клетку, объем его легких увеличивается, воздух в них расширяется. От этого плотность воздуха в легких и в сообщающейся с ними полости рта уменьшается, и давление его становится меньше, чем давление наружного воздуха. Воздух перемещается из места более высокого давления, т.е. снаружи, в область более низкого, т.е. в легкие.

Саша. А так как человек, делая вдох, касается губами поверхности чая, причем касается плотно, то происходит вот что: на всю поверхность чая действует атмосферное давление, а на поверхность, примыкающую к губам человека, действует давление воздуха, находящегося в полости рта, а оно меньше атмосферного. Все ясно! Я же говорил, что причина всего – атмосферное давление! Опять скажешь: подожди?

Алеша. Скажу. Почему атмосферное давление, про которое мы знаем, что оно действует на чай сверху вниз, заставляет чай подниматься вверх?

Саша. Потому что жидкости и газы передают давление во всех направлениях без изменения. Это – закон Паскаля.

Алеша. По-моему, мы уже можем сформулировать окончательное решение задачи.



Чай в стакане был неподвижен, так как равнодействующая приложенных к нему сил: силы тяжести и силы упругости дна стакана равна нулю – ведь значения этих сил равны, направлены силы по одной прямой, но в противоположные стороны. Неподвижны относительно друг друга были и части жидкости (чая), так как давление внутри нее и давление на ее поверхность были одинаковы. Когда человек приблизил вплотную губы к какому-то месту поверхности чая и сделал вдох, т.е. расширил легкие, в этом месте давление воздуха на поверхность чая стало меньше, чем действующее на остальную часть поверхности атмосферное давление. Разница давлений заставила чай перемещаться в область более низкого давления – столбик чая, находящегося под губами человека, поднялся, а остальной чай опустился.

Мне кажется, мы дали образцовое решение задачи.

Алеша. Давай спросим у автора статьи, как можно оценить наше решение.

Автор. Я учительница физики, и шестиклассникам Саше и Алеше поставила бы за данное ими решение задачи оценку «пять». Решение считаю очень хорошим. Мне очень понравилось, что по ходу рассуждений у Алешки все время возникали «попутные» вопросы. Ведь ответы на них и были этапами решения всей задачи.

Но является ли это решение образцовым? В зависимости от того, каковы были практические цели решения задачи, каковы знания решающего ее человека, решение можно оценить по-разному. Но его можно улучшать, пожалуй, беспрестанно. Например, можно было бы указать, почему и при каких условиях плотность воздуха изменяется при изменении его объема, причем дать объяснение на основании знаний о молекулах; можно было более подробно разъяснить роль закона Паскаля в наблюдаемом явлении и т.д. и т.п.

А.Буздин, С.Кротов

Один физиолог, показавший действие слепого пятна, стал любимцем при дворе французского короля: на утомительных заседаниях со своими придворными король развлекался, «отрубая им головы»: он смотрел на одного из них и следил, как в это время «исчезала» голова другого.

Из «Фейнмановских лекций по физике»

Известно, что разные цвета радуги соответствуют электромагнитным волнам разной длины: от 380 нм (фиолетовый цвет) до 770 нм (красный цвет). Именно электромагнитные волны указанного интервала и составляют видимый участок спектра. К нему непосредственно примыкают инфракрасные волны (более длинные) и ультрафиолетовые (более короткие). Хотя непосредственно глазом эти лучи не воспринимаются, их также относят к оптическому диапазону. Историческая причина этого состоит в том, что для изучения инфракрасных и ультрафиолетовых лучей также можно использовать оптические приборы, аналогичные тем, что применяются для видимого света.

За областью инфракрасных волн лежат волны радиодиапазона (длина волны от 0,1 мм до 10^4 м); за ультрафиолетовыми волнами – рентгеновское излучение (от 10^2 нм до 10^{-5} нм). Свойства радиоволн и волн рентгеновского диапазона сильно отличаются от свойств волн оптического диапазона, и для их изучения применяются принципиально иные методы.

Действие ультрафиолетового излучения вы наверняка ощущали на себе: под действием солнечного света, который содержит и ультрафиолетовые лучи, кожа покрывается загаром. Инфракрасное излучение тоже вам знакомо – вспомните рефлектор-обогреватель, принцип действия которого тот же, что и у прожектора, только в этом случае мы имеем дело с тепловым прожектором. Кстати, инфракрасные лучи еще называют тепло-

Опубликовано в «Кванте» №3 за 1988 год.

выми лучами. В свете сказанного понятие прозрачности является относительным – через обычное стекло хорошо видно, однако загореть невозможно (другое дело – кварцевое стекло); обычное стекло также плохо пропускает инфракрасные лучи.

Итак, глаз не восприимчив к инфракрасным и ультрафиолетовым лучам. Но и в видимом диапазоне чувствительность глаза также неодинакова к различным цветам. Иллюстрацией этому может служить так называемая кривая спектральной чувствительности глаза, которая в относительных единицах передает «остроту» восприятия глазом различных цветов (рис. 1). Вопрос о восприятии света и цвета человеком далеко не прост. Основная сложность состоит в том, что, помимо чисто физического преобразования световых сигналов, в формировании ощущения цвета большую роль играет нервная система человека.

Лучи света, попадающие в глаз, преломляются и образуют на сетчатке изображение предмета, который мы разглядываем. (Любопытно, что в древности существовало множество самых разнообразных теорий зрения. Хорошо известное выражение «свет очей» отражает как раз представление древних греков о том, что ощущение видимого возникает из-за испускания глазами специально «флюида».) Сетчатка представляет собой разветвления зрительного нерва, а нервные окончания бывают двух типов – палочки и колбочки (эти названия связаны с формой). При слабом освещении зрение в основном обусловлено палочками, но, к сожалению, они не способны обеспечить цветное зрение. За цветное зрение ответственны колбочки, а они начинают «включаться» лишь при достаточном освещении. Сэтим, кстати, и связано происхождение выражения «ночью все кошки серы» – при очень слабом освещении все предметы кажутся обесцвеченными.

Слабый свет от звезд, доходящий к Земле, позволяет нам

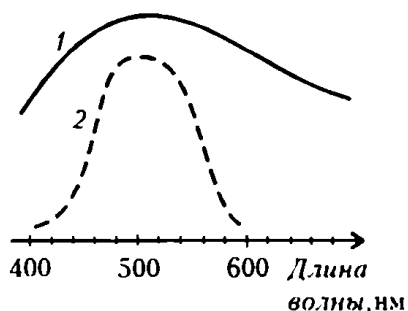


Рис. 1. Кривая 1 характеризует распределение энергии солнечного излучения по длинам волн, а кривая 2 описывает цветовую чувствительность глаза. Видно, что в солнечном свете на область фиолетовых лучей приходится меньше энергии, чем на синюю область; и глаз более чувствителен к синему цвету. Поэтому, хотя фиолетовые лучи рассеиваются сильнее, чем синие, доминирующим оказывается синий цвет, и небо мы видим голубым

определить цвета лишь самых ярких из них; между тем, сделанные с помощью телескопа цветные снимки звездного неба поражают богатством и красотой красок – к сожалению, глазу они недоступны. Однако чувствительность нашего «бесцветного» зрения поистине удивительна: глаз может в принципе регистрировать даже единичные фотоны. Фотон – квант электромагнитного колебания, как бы самая малая энергетическая порция излучения. (Здесь мы сталкиваемся с тем, что, согласно современным представлениям, свет, с одной стороны, электромагнитная волна, а с другой стороны, поток частиц – квантов или фотонов.)

Как мы уже говорили, формирование цветового ощущения – сложный процесс. Светочувствительные клетки глаза связаны не только с мозгом, но и друг с другом. Глаз как бы сам проводит первичную обработку световой информации. Неслучайно при развитии зародыша глаз формируется путем вырастания волокон непосредственно из мозга, и по сути дела он является частью мозга.

Заметим, что то место на сетчатке, откуда выходит, разветвляясь, зрительный нерв, лишено световой чувствительности – там нет палочек и колбочек; оно носит название «слепое пятно». Если изображение предмета на сетчатке попадает на слепое пятно, то предмет не виден. Открыл слепое пятно известный физик Мариотт, сообщение об этом феномене было им сделано на заседании Парижской Академии в 1666 году. Он же был тем «физиологом» (из эпиграфа к статье), который научил французского короля гуманному способу «отрубить головы» своим придворным.

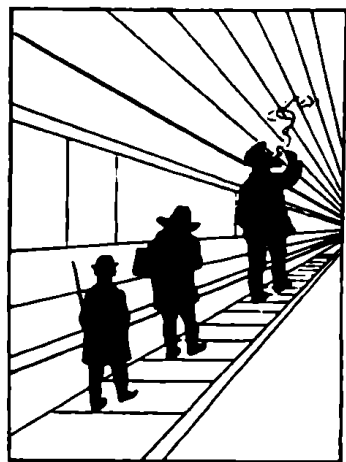


Рис. 2

Важную роль мозга при восприятии внешних образов иллюстрирует такой пример. Если человек станет носить очки, которые делают изображение перевернутым, то сначала человек все будет видеть «вверх ногами». Однако через некоторое время восприятие внешних образов станет привычным. А вот после снятия очков предметы будут казаться перевернутыми, и потребуется определенное время, чтобы все стало на свои места.

Посмотрите теперь на рисунок 2, где изображены три человека. Ка-

жется совершенно очевидным, что нижний намного меньше верхнего. Линейка, однако, докажет вам, что все человечки одной высоты. Все дело здесь в лучевых линиях, которые создают ощущение перспективы. Также трудно поверить, что прямые на рисунке 3 параллельны.

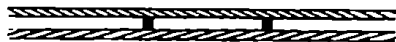


Рис. 3

Подобного рода эффекты доставляли неприятности архитекторам еще в древнейшие времена: чтобы очертания постройки казались прямыми, их при строительстве приходилось искривлять.

Наш глаз плохо приспособлен для строгого анализа цветового состава света. Для этой цели лучше использовать физические приборы (простейший из них – призма). Зато, смешивая в определенной пропорции всего лишь три цвета, например красный, желтый и синий, можно получить практически любой цвет (по крайней мере, ощущение цвета). Это, кстати, широко используется в цветном телевидении. Все краски на экране цветного телевизора возникают в результате соответствующего наложения трех основных цветов. Аналогично, всего три краски используются и при цветной печати. Так, смешав желтую и синюю краски, мы получим зеленый цвет, направив на экран желтый и синий лучи, мы увидим зеленое пятно. Совершенно ясно, что полученный таким способом зеленый цвет вовсе не есть «чистый» зеленый цвет, который входит в состав радуги и отвечает электромагнитной волне определенной длины волны. Просто-напросто в двух этих случаях создается одинаковое ощущение цвета. Несмотря на сказанное, богатство красок, воспринимаемых человеческим глазом, очень велико – хорошие художники различают до трехсот оттенков.

И в завершение – еще один «цветовой» сюжет, из области... физики элементарных частиц. Выдуманные крупнейшим физиком-теоретиком современности Гелл-Маном экзотические крупнцы материи – кварки – не только получили право на не совсем обычное существование (в свободном состоянии они находиться не могут), но и приобрели еще и «окраску». Они бывают трех «цветов» – красного, зеленого и синего. Обычный протон, состоящий из трех «разноцветных» кварков, будет по этой теории «белым», т.е. «бесцветным». Таким образом, современная физическая наука способна с уверенностью говорить о цвете даже таких объектов, непосредственную возможность наблюдения которых она с не меньшей уверенностью отвергает. Поистине, человеческое воображение не имеет пределов...

Дж. Уокер

Как ни обычно явление кипения воды, вы, скорее всего, не замечали всех его удивительных особенностей. С одними особенностями нельзя не считаться на практике, другие позволяют проводить весьма опасные трюки.

Начнем с наблюдения. Нагреем кастрюлю водопроводной воды снизу пламенем или электрическим источником тепла. При нагревании воды растворенные в ней молекулы воздуха выделяются из раствора и собираются в крошечные пузырьки в трещинах на дне кастрюли. (Эти участки достаточно малы, чтобы поверхностное натяжение не дало воде залить их при наполнении кастрюли.) Со временем каждый пузырек раздувается, и его плавучесть увеличивается. В конце концов пузырек отрывается от трещины и всплывает на поверхность воды. Так как трещина еще заполнена воздухом, там начинает образовываться другой пузырек. Образование пузырьков воздуха – знак того, что вода нагревается, но это еще далеко не кипение.

(Вода, соприкасающаяся с атмосферой, кипит при температуре, которую иногда называют нормальной температурой кипения t_k . Например, $t_k = 100^\circ\text{C}$ при давлении воздуха 1 атм. Так как вода на дне кастрюли не соприкасается с атмосферой, она остается жидкостью, даже если нагревается выше t_k на несколько градусов. При нагреве и перегреве она постоянно смешивается с остальной водой путем конвекции: горячая вода поднимается, а более холодная вода замещает ее.)

При дальнейшем повышении температуры кастрюли нижний слой воды начнет испаряться, и молекулы воды будут собираться в маленькие пузырьки пара в сухих трещинах. Эта фаза кипения отмечена отрывистыми звуками, гудением и иногда жужжанием. Вода почти поет о том, как ей не нравится нагреваться. Каждый раз, как пузырек пара поднимается в более холодную воду, он внезапно исчезает, потому что пар внутри него конденсируется.

Опубликовано в «Кванте» №5, 6 за 1991 год.

При каждом таком исчезновении возникает звуковая волна – гудение, которое вы слышите. Когда температура всей массы воды повысится, пузырьки не смогут исчезнуть, пока они не оторвутся от трещин и не пройдут часть пути к поверхности воды.

Если вы продолжаете нагревать кастрюлю, шум исчезающих пузырьков становится громче, а потом исчезает. Шум начинает смягчаться, когда вся вода достаточно горяча, чтобы пузырьки пара достигли поверхности; там они лопаются с легким всплеском. Теперь вода действительно кипит (рис.1).

В том случае если ваш источник тепла – кухонная плита, история здесь кончается. Однако с помощью лабораторной горелки вы сможете продолжить повышать температуру кастрюли. Теперь пузырьки пара становятся столь многочисленными и отрываются от своих трещин так быстро, что они объединяются и образуют столбы пара, которые бурно и хаотически поднимаются вверх, иногда встречая ранее оторвавшиеся «куски» пара. Образование пузырьков и столбов пара называется пузырьчатым (дословно «зародышевым») парообразованием – образование и рост пузырьков зависит от трещин, служащих зародышевыми участками.

При продолжении нагревания кастрюли после стадии столбов и «кусков», парообразование вступает в новую фазу, называемую переходным режимом. Теперь при каждом последующем повышении температуры кастрюли скорость передачи тепла воде уменьшается. Это уменьшение – не парадокс. В переходном режиме большая часть дна кастрюли покрыта слоем пара. Так как водяной пар передает тепло на порядок хуже, чем жидкость, передача тепла воде уменьшается. Чем горячее становится кастрюля, тем меньше ее прямой контакт с водой и тем хуже передача тепла. На практике эта ситуация может оказаться опасной. Например, для теплообменника, задача которого – снять тепло с источника. Если допустить, чтобы вода в теплообменнике вошла в переходный режим, источник может опасно перегреться из-за уменьшения отвода тепла.

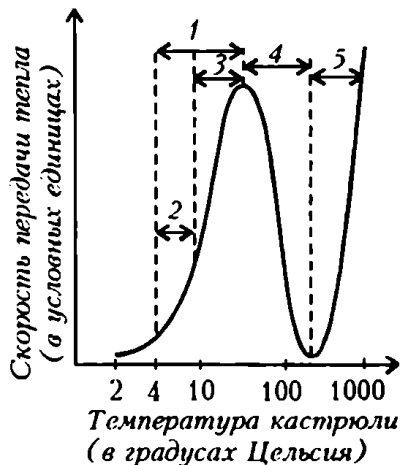


Рис. 1. Кривая кипения воды: 1 – пузырьчатое кипение, 2 – изолированные пузырьки, 3 – столбы и «куски» пара, 4 – переходный режим кипения, 5 – пленочное кипение

Возможно, именно это явление стало причиной одной из железнодорожных катастроф – взрыва паровоза. Локомотив приводился в действие водяным паром. Бойлер с водой располагался над топкой, в которой горела нефть, и отделялся от нее надежным металлическим листом – так называемым потолочным листом. Горячие газы текли от топки по трубам, идущим в воде. Тепло передавалось воде по всей длине труб и по площади потолочного листа. Так как пар в бойлере находился в ограниченном объеме, он был под высоким давлением, что повысило температуру кипения воды. Обычно это устройство безопасно. Однако, если потолочный лист слишком раскаляется, парообразование входит в переходный режим, что сильно уменьшает передачу тепла через лист. Если ситуация не контролируется, потолочный лист может размягчиться, прогнуться и треснуть под большим давлением и тяжестью воды в бойлере. Очевидно, так и произошло. Когда вода хлынула в топку, резкое падение давления снизило температуру кипения воды. Так как температура воды была выше новой точки кипения, часть ее мгновенно превратилась в пар, объем которого резко увеличился, что и привело к взрыву. Взрыв прорвал бойлер, оторвал его от двигателя, перевернул и отшвырнул в сторону. Погибло три человека.

Вернемся к нашим наблюдениям. Допустим, вы все еще продолжаете повышать температуру кастрюли с помощью лабораторной горелки. В конце концов вся поверхность дна покрывается паром, и тепло будет медленно передаваться жидкости над паром в основном путем излучения. Эта фаза называется пленочным кипением.

Хотя вы не можете получить пленочное кипение в кастрюле, грея воду на кухонной плите, в кухне оно иногда встречается. Моя бабушка однажды показала, как пленочное кипение помогает определить, достаточно ли разогрелась сковорода для блинов. После того как она немного нагрела пустую сковороду, она брызнула на нее несколько капель воды. Капли с шипением испарились за несколько секунд. Их быстрое исчезновение показало ей, что сковорода еще недостаточно горяча для теста. Нагрев сковороду сильнее, она повторила проверку, брызнув еще воды. В этот раз капли свернулись в шарики и крутились на металлической поверхности более минуты, перед тем как исчезнуть. Теперь сковорода была достаточно горяча.

Для изучения бабушкиного опыта я нагрел плоскую металлическую пластину лабораторной горелкой. Контролируя температуру пластины термпарой, я аккуратно ронял каплю дистил-

лированной воды из шприца, расположенного точно над пластиной (шприц дал мне возможность получать капли одинакового размера). Капля падала в углубление, сделанное в пластине молотком с шаровым бойком. Уронив каплю, я измерял время ее жизни на пластине. Затем я нарисовал график зависимости времени жизни капли от температуры пластины (рис.2). У графика есть интересный пик. При температуре пластины от 100 и приблизительно до 200 °С капля сворачивалась и жила около минуты. При более высокой тем-

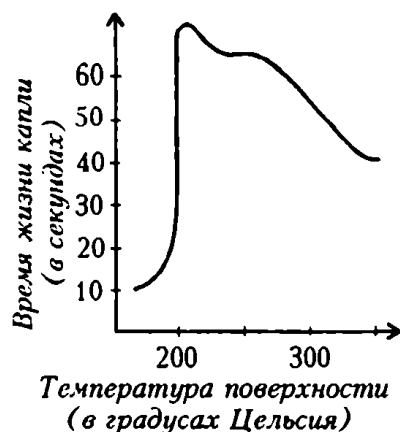


Рис.2. Кривая времени жизни капли воды на горячей поверхности

пературе пластины водяные шарики не держались так долго. Подобные эксперименты с водопроводной водой дали график с более плоским пиком — возможно из-за того, что взвешенные частицы прорывают слой плохо проводящего тепло пара.

Тот факт, что капля воды, нанесенная на металл, температура которого гораздо выше температуры кипения воды, живет долго, был впервые описан еще в 1732 году, но достаточно широко не исследовался до 1756 года, пока Иоганн Готтлиб Лейденфрост не опубликовал «Трактат о некоторых свойствах обычной воды». Из-за того что работа Лейденфроста не переводилась с латыни до 1965 года, она оказалась мало известной. Тем не менее сейчас именно его имя связывается с явлением долговременности жизни капли на горячей пластине. Кроме того, температура, соответствующая пику полученного мной графика зависимости времени жизни капли от температуры поверхности, называется точкой Лейденфроста.

Лейденфрост делал опыты с железной ложкой, докрасна раскаленной в горне. Помещая в ложку каплю воды, он измерял время ее жизни с помощью качающегося маятника. Он отметил, что капля, казалось, всасывала свет и тепло ложки, оставляя на поверхности пятно более тусклое, чем остальная часть ложки. Первая капля продержалась в ложке 30 секунд, вторая капля — только 10, последующие — лишь несколько секунд. Лейденфрост неправильно понял результаты своих опытов, потому что не осознал, что долгоживущие капли на самом деле кипели. Разрешите мне объяснить это.

При температуре пластины ниже точки Лейденфроста вода растекается по пластине и быстро отводит тепло от нее, что обеспечивает полное испарение капли за несколько секунд. Когда температура равна или выше точки Лейденфроста, нижняя часть капли, нанесенной на пластину, почти мгновенно испаряется, и давление образовавшегося пара не позволяет остальной части капли коснуться пластины. Слой пара постоянно пополняется за счет дополнительной воды, испаряющейся с нижней поверхности благодаря теплу от пластины, которое излучается и проводится сквозь пар. Хотя толщина слоя менее 0,1 мм у наружной границы и около 0,2 мм в центре, он резко замедляет испарение капли. Таким образом пар поддерживает и защищает каплю в течение минуты или около того.

Чтобы показать течение пара из-под капли Лейденфроста, я посыпал пластину мелким порошком. Когда капля кружилась по пластине, пар, идущий из-под нее, сдувал с пути крупинцы порошка. Я также создавал большие амебоподобные капли воды, вводя шприц в верх плавающей капли и добавляя в нее несколько струек воды. Такие капли были довольно громоздкими и часто разрушали слой пара под ними из-за своего большого веса. Каждое такое разрушение отмечалось громким шипением, так как часть капли внезапно испарялась.

Аналогичные опыты можно проводить не только с водой, но и с другими жидкостями. Для уксуса, например, точка Лейденфроста соответствует температуре около 250 °C, для спирта — около 150 °C.

Прочитав перевод исследования Лейденфроста, я вспомнил описание интересного трюка, который показывали на карнавалах в начале века. Рассказывают, что исполнитель мог окунать мокрые пальцы в расплавленный свинец. Решив, что там не было надувательства, я предположил, что этот трюк должен основываться на эффекте Лейденфроста. Как только мокрые пальцы исполнителя прикасались к горячему жидкому металлу, часть воды испарялась, покрывая кисть слоем пара. Если пальцы погружать быстро, они значительно не нагреются. Я не мог воспротивиться искушению проверить свое объяснение. На лабораторной горелке я расплавил в тигле крупный кусок свинца. Затем я нагрел свинец до температуры более 400 °C, что гораздо выше его температуры плавления (328 °C). Намочив палец в водопроводной воде, я приготовился коснуться поверхности расплавленного свинца. Должен признаться, что мой помощник стоял рядом с аптечкой. Также должен признаться, что несколько первых попыток оказались неудачными, так как мой мозг

протестовал против этого нелепого эксперимента, направляя палец мимо свинца. Когда я наконец преодолел страх и быстро коснулся свинца, я был поражен. Как я и думал, часть воды на пальце испарилась, образуя защитный слой. Так как контакт был коротким, излучения и проводимости тепла было недостаточно для того, чтобы ощутимо поднять температуру кожи. Я расхрабрился. Намочив кисть, я погрузил все пальцы в свинец, коснувшись дна сосуда, – ожога не было. Очевидно, эффект Лейденфроста, или точнее наличие пленочного кипения, защитило мои пальцы.

А возможно ли коснуться свинца сухим пальцем, не обжегшись? Отбросив все разумные мысли, я попытался это сделать и мгновенно понял свою глупость, когда боль пронзила палец. Я продолжил эксперимент с помощью маленькой сухой сосиски, погружая ее в расплавленный свинец на несколько секунд. Ее кожица быстро чернела – ей не доставало защиты пленочным кипением, как и моему сухому пальцу. Вы не должны повторять этот опыт ни в коем случае!

Надо сказать, что погружение пальцев в расплавленный свинец представляет собой серьезную опасность. Если температура свинца лишь чуть выше точки плавления, потеря тепла при испарении воды может привести к затвердению свинца на пальцах. Если выдергивать получившуюся «перчатку» из горячего твердого свинца из сосуда, она будет контактировать с пальцами так долго, что они обязательно будут сильно обожжены. Кроме того, очень опасны слишком мокрые пальцы. Когда избыточная вода испаряется, она может вызвать разбрызгивание расплавленного свинца на все окружающее и, что особенно серьезно, в глаза. От таких взрывных испарений у меня остались шрамы на руках и лице.

Похожий пример использования эффекта Лейденфроста описан в бестселлере Роберта Руанка «Нечто значительное». Чтобы определить, кто из двух людей говорит правду, вождь африканской деревни приказал каждому лизнуть горячий нож. Считается, что язык правдивого человека будет смочен слюной. Тогда часть слюны подвергнется пленочному кипению, и язык не будет обожжен. С другой стороны, у лжеца пересохнет во рту, и защиты пленочным кипением не будет.

Пленочное кипение можно также увидеть, когда проливается жидкий азот – большие и маленькие капли сворачиваются в шарики и катаются по полу. Температура жидкого азота около -200°C . Когда капля пролитой жидкости приближается к полу, ее нижняя поверхность испаряется, образовавшийся слой пара

поддерживает оставшуюся жидкость, позволяя ей прожить удивительно долгое время. Мне рассказывали о трюке, при котором исполнитель лил в рот жидкий азот «не обжигаясь», несмотря на его крайне низкую температуру. Жидкость немедленно подвергалась пленочному кипению по нижней поверхности и не касалась непосредственно языка. По глупости я решил повторить этот опыт. Несколько раз все прошло гладко и эффектно. С большой каплей жидкого азота во рту я концентрировался на том, чтобы не проглотить ее, и при этом выдыхал. Влага в моем холодном дыхании конденсировалась, создавая ужасную струю, тянущуюся изо рта примерно на метр. Однако в последний раз жидкость термически повредила два моих передних зуба так сильно, что эмаль превратилась в «дорожную карту» из трещин. Мой дантист убедил меня прекратить этот опыт.

Эффект Лейденфроста может также играть роль в другом безрассудном храбром опыте – ходьбе по горячим углям. Иногда средства массовой информации с большой шумихой и различной мистической чушью сообщают об исполнителе, шагающем по горячим углям. Заявляется, что защита от сильного ожога дается властью духа над материей. На самом деле при успешной «прогулке» ступни защищает физика. Особенно важен тот факт, что, хотя поверхность углей очень горяча, ее теплопроводность очень мала. Если исполнитель идет умеренным шагом, прикосновение ступни такое кратковременное, что она проводит от углей очень мало энергии. Конечно, более медленная ходьба может вызвать ожог, так как более долгий контакт допустит передачу ступне тепла не от поверхности, а от внутренней части углей. Если смочить ступни перед ходьбой, жидкость также сможет защитить их. Когда исполнитель ступает на угли, тепло испаряет влагу на ступнях, и к коже передается меньше тепла. Кроме того, могут быть точки контакта, где жидкость подвергается пленочному кипению, что тоже дает защиту от горячих углей.

Я ходил по горячим углям пять раз. Четыре раза я достаточно боялся, и ноги были потными. Однако в пятый раз я счел мою безопасность само собой разумеющейся, и ноги были сухими. Ожоги, которые я получил, оказались сильными и очень болезненными. Ноги не заживали несколько недель.

Я предложил, чтобы последним из финальных экзаменов для получения ученой степени была «ходьба по огню». Если кандидат на степень верит в физику так сильно, что не обожжет ноги, председатель тут же вручает ему диплом. Это испытание будет гораздо более показательным, чем традиционные экзамены.

С.Тихомирова

Человеку всегда важно знать, какая будет погода, поскольку она влияет на его деятельность и самочувствие. Наблюдая природу в ненастье и солнечным днем, в сумерки и ночью, люди отмечали характерные признаки, предвещающие те или иные изменения погоды. Так появились многочисленные приметы – свидетельства народной мудрости.

«Погодные» приметы разнообразны. Не углубляясь в сложные механизмы формирования погоды, попытаемся объяснить некоторые из них.

Перед наступлением дождя многие вещества, впитывающие в себя влагу из воздуха, сыреют. В народе говорят: *«Соль мокнет – к дождю»*, *«Табак сыреет – к сырой погоде»*. Старинную народную примету *«Лучина трещит и мечет искры – к ненастью»* можно объяснить тем, что при повышенной влажности деревянные предметы отсыревают. При горении влага из древесины лучины интенсивно испаряется. Увеличиваясь в объеме, пар с треском разрывает древесные волокна.

Влажность воздуха влияет на распространение звука. С повышением влажности изменяется плотность воздуха и его способность проводить звук, что нашло отражение в ряде народных примет. Одна из них – *«Если в поле далеко раздается голос, то будет дождь»*. В старину в некоторых местностях крестьяне с помощью эха узнавали, будет ли дождь.



Опубликовано в «Кванте» №1 за 1992 год.

Они кричали: «Какой пень, какая колода, какая будет погода? Го-о-оп-гоп-гоп!». Если эхо отвечало «гоп» сильно — ждали дождя.

Падение атмосферного давления, сопровождающее ухудшение погоды, является причиной того, что при кипячении молоко скорее «убегает». Отсюда и возникла пословица: *«Горшки легко позакипают через край — к ненастью»*.

А вот несколько пословиц, связанных с состоянием неба: *«Если звезды блестят ярко зимой — к стуже»*, *«Ясный Млечный Путь летом — к ведру»*, *«Мало звезд на небе — к ненастью»*. Эти приметы можно достаточно просто объяснить. Как мы уже говорили, с ухудшением погоды увеличивается количество водяных паров в атмосфере. На высоте 8 — 10 км образуются кристаллики льда, которые рассеивают свет подобно дыму или туману, в связи с чем цвет неба белеет, затем облачность уплотняется. При этом слабые звезды становятся невидимыми. В ясную погоду небо чистое, звезд много, и они хорошо видны.

Можно ли судить о погоде по состоянию Солнца и Луны? Посмотрим, что говорят пословицы на этот счет: *«Кольцо вокруг Солнца — к ненастью»*, *«Солнце красно заходит — к ветру»*, *«Тусклый месяц — к мокрети; ясный — к суху; в синеве — к дождю; в красне — к ветру»*, *«Луна ночью будто покраснела — жди завтра ветра, тепла и снега»*. Что же происходит в действительности?

Представим, что высоко над горизонтом появляются прозрачные и быстрые облака. Небо постепенно становится молочно-белым и вот уже все оно как бы покрыто нуалью перистослоистых облаков. Кажется, что Солнце светит сквозь матовое стекло и его очертания становятся все более и более расплывчатыми. Именно в такую погоду можно увидеть кольца и венцы вокруг наших светил. Обычно вслед за этим погода начинает портиться. Красный цвет зари и самого светила свидетельствует о высокой влажности воздуха, сопутствующей появлению облаков, сильного ветра, осадков.

И наконец, вспомним несколько примет, которые сулят нам добрую, ясную погоду: *«Обильная роса — к хорошей погоде»*, *«Осенний иней — к сухой и солнечной погоде»*. *«Туман утром стелется по воде — к хорошей погоде»*. Эти приметы можно истолковать так. При отсутствии облачности ночью земля за счет теплового излучения охлаждается сильнее, чем в пасмурную погоду. Это вызывает конденсацию атмосферного водяного пара и, как следствие, выпадение росы и инея, появление тумана.

«Предсказывая» погоду, надо помнить, что по одной примете, конечно же, нельзя сделать достоверный вывод. Все приметы

носят приблизительный характер, и чем больше признаков совпадают, тем точнее будет прогноз погоды.

«Конец – всему делу венец». Поэтому в заключение – стихотворение Эдварда Дженнера «Сорок поводов для того, чтобы отказаться от предложения друга совершить совместную прогулку»:

В ночи сверкнули огоньки –
Зажгли лощину светляки.
В барометре упала ртуть.
Вот ветер начинает дуть.
Стал будто ближе дальний лес,
Стал будто ниже свод небес.
К земле прижаты облака.
И режет уши песнь сверчка.
Ей вторит резкий крик дрозда.
Вода чиста, как никогда.
Рыбешка – занята игрой –
Хватает мушек над водой.
Из сети выглянул паук.
Меня к дивану тянет вдруг.
И пес мой бросил грызть мосол,
Махнул хвостом и спать пошел.
Послушна ветру, пыль дорог
Свилась в крутящийся клубок.
На скаты крыши садится дым.
Пастух предчувствием томим.
Кусают злые мухи скот.
Все ниже бабочек полет.
Лягушка изменила цвет –
На ней коричневый жакет.
И жаба выползла в траву.
Свинья тревожится в хлеву.
Свежо, хотя июньский день.
Потрогай – влажен старый пень.
Грачи спустились с вышины,
Как будто пулей сражены.
Вот курослеп глаза закрыл.
У старой Бетти нерв заныл.
Слегка потрескивает шкаф.
Пахнуло сыростью канав.
У очага пригрелся кот,
Усы пушистой лапой трет.
Даль предзакатная бледна.
За тучи прячется луна.
Да, быть дождю!
Пора смириться
С тем, что пикник не состоится.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ ВЛИЯНИЕ

В.Тихомирова

Могут ли два одноименно заряженных тела притягиваться друг к другу? Можно ли с помощью одного заряженного тела зарядить другое тело так, чтобы его заряд был больше заряда первого тела? Чтобы ответить на эти вопросы, давайте разберемся в одном интересном физическом явлении – явлении электростатической индукции, или, другими словами, электризации тел через влияние.

Рассмотрим такой опыт. К шарiku A , заряженному положительным зарядом q_A , подносится незаряженный металлический шар B (рис.1). При этом на поверхности шара B появляются заряды: на ближней к шарiku A стороне отрицательные, а на дальней – положительные. В этом можно наглядно убедиться, если шариком электрометра касаться соответствующих участков поверхности шара B . Объяснить такое распределение зарядов нетрудно. Дело в том, что свободные электроны, которые раньше были равномерно распределены по всему шару B , под влиянием зарядов шарика A приходят в движение и перераспределяются по шару так, что слева их оказывается больше, чем справа. Таким образом, в левой части шара индуцируется, т.е. наводится, отрицательный заряд $-q_B$, а в правой части – положительный заряд $+q_B$. В этом и заключается явление электростатической индукции. Заметим кстати, что в нашем случае величина наведенного заряда q_B , конечно, меньше величины наводящего заряда q_A , поскольку влияние наводящего заряда распространяется и на другие окружающие его тела, где тоже индуцируются электрические заряды.

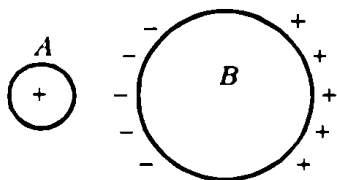
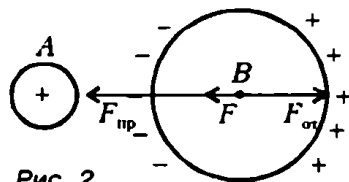


Рис. 1

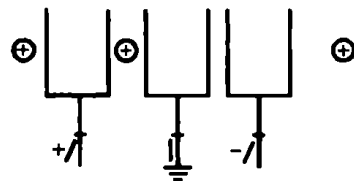
Опубликовано в «Кванте» №1 за 1975 год.

Между заряженными телами всегда действует электрическая сила. Так будет и с шарами A и B . Точнее сказать, в этом случае возникают две силы – сила притяжения $F_{\text{пр}}$ между шариком A и левой частью шара B и сила отталкивания $F_{\text{от}}$ между шариком A и правой частью шара B (рис.2). Поскольку отрицательно заряженная часть находится ближе к шарiku A , сила $F_{\text{пр}}$ больше силы $F_{\text{от}}$, и в результате шары будут притягиваться друг к другу под действием результирующей силы $F = F_{\text{пр}} - F_{\text{от}}$.



Что изменится, если шар B предварительно зарядить некоторым зарядом q'_B , причем тоже положительным? Конечно, все прежние рассуждения о наведении зарядов остаются в силе, но теперь надо учесть еще взаимодействие зарядов q_A и q'_B . Появляется еще одна сила $F'_{\text{от}}$ – сила отталкивания зарядов q_A и q'_B . Окончательный результат будет зависеть от соотношения между величинами сил F и $F'_{\text{от}}$, вернее – от соотношения между величинами зарядов q_B и q'_B , так как чем больше величина заряда, тем больше сила электрического взаимодействия. Можно так подобрать заряд q'_B шара B , что полная сила электрического взаимодействия шаров станет равной нулю. Больше того, возможна ситуация, когда одновременно заряженные шары будут ... притягиваться.

Как уже говорилось, под влиянием заряженного тела на проводнике можно навести электрические заряды, но при этом проводник в целом остается электрически нейтральным. А нельзя ли его зарядить по-настоящему, так, чтобы суммарный заряд не был равен нулю? Оказывается, можно, и даже совсем просто. Для этого достаточно проводник в присутствии заряженного тела заземлить на некоторое время, а затем убрать и заземление, и заряженное тело (рис.3). При этом знак заряда проводника будет противоположен знаку заряда тела. Действительно, при заземлении свободные электроны под влиянием положительного заряда на теле приходят из земли и остаются на проводнике, заряжая его в целом отрицательно.



Величину наведенного заряда можно существенно увеличить, практически приблизив ее к величине наводящего заряда, если заряженное тело поместить внутрь длинного

Рис. 3

металлического цилиндра (или шара) с небольшим отверстием. В этом случае влияние на другие тела почти исключено, поэтому на внутренней поверхности цилиндра (или шара) наведется заряд, по величине практически равный заряду шарика, но противоположный по знаку, а на наружной поверхности – такой же и по величине, и по знаку. Если заряженным телом коснуться внутренней стенки цилиндра, противоположные по знаку заряды нейтрализуются, и на цилиндре останутся заряды того же знака, что были на заряженном теле (рис.4). Таким образом можно

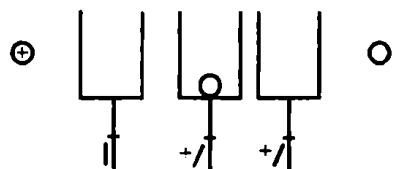


Рис. 4

практически целиком передавать заряд с одного тела на другое.

Теперь постараемся ответить и на второй вопрос, поставленный в самом начале. Пусть у нас имеются: заряженный шарик *A*, незаряженный шарик *B*, полый металлический шар и электро-

скоп, на котором мы хотим накопить заряд больший, чем заряд шарика *A*. Прежде всего зарядим по индукции шарик *B* (естественно, зарядом противоположного знака). Внесем на некоторое время шарик *B* внутрь заземленного шара, а затем уберем и заземление, и шарик *B*. На шаре останется заряд, равный по величине заряду шарика *B*, но противоположный ему по знаку, т.е. совпадающий со знаком заряда шарика *A*. Теперь передадим этот заряд электроскопу. Если проделать такую операцию многократно, то на электроскопе действительно можно будет получить заряд того же знака, что и исходный, но значительно больший по величине.

В заключение попробуйте ответить еще на два вопроса.

Незаряженный проводящий шарик C с помощью длинного гибкого проводника присоединили к левой части шара B (см. рис.2). В результате на шарике появились положительные заряды. Почему?

На электроскопе имеется небольшой положительный заряд. Если к шартику электроскопа приближать сильно наэлектризованную палочку, несущую большой отрицательный заряд, то листочки электроскопа будут сначала опадать, а потом опять расходиться. Как это можно объяснить?

Б.Коган

Рассмотрим два простых опыта, в которых наблюдается интересное изменение цвета. Эти опыты вы, конечно, сможете проделать и сами. Для их проведения требуется очень немного – лишь несколько цветных источников света. Например, красная лампочка (ее можно купить в магазине фототоваров) и синяя (такие лампочки продаются в магазинах электротоваров наряду с обычными).

Зеленая тень

В комнате, освещенной обычным белым светом, зажгите настольную лампу, предварительно ввернув в ее патрон красную лампочку. Положите на стол лист белой бумаги и поместите между ним и лампой какой-нибудь небольшой предмет, например карандаш. На листе бумаги появится его тень, но она будет совершенно неожиданной по цвету – не черной и не серой, а ... зеленой.

Этот эффект, видимо, связан не только и не столько с физикой, сколько с физиологией и психологией. Тень от предмета кажется нам зеленой вследствие контраста с окружающим фоном, который, будучи на самом деле красноватым, ощущается нами как белый, ибо мы знаем, что бумага белая. Видимо, отсутствие красного цвета на участке, занятом тенью, наше сознание воспринимает как наличие зеленого цвета на этом участке. Но почему именно зеленого?

Дело в том, что красный и зеленый цвета являются дополнительными. Так называют цвета, дополняющие друг друга до белого. А что это означает? Еще в XVII веке Ньютон обнаружил, что белый солнечный свет является сложным, представляет собой совокупность простых цветов – фиолетового, синего, голубого, зеленого, желтого, оранжевого и красного. В этом можно убедиться, например, с помощью стеклянной призмы.

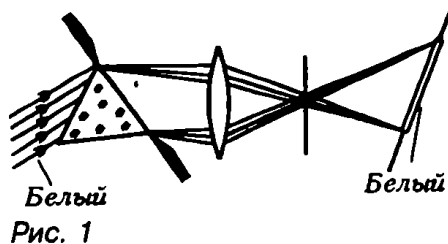


Рис. 1

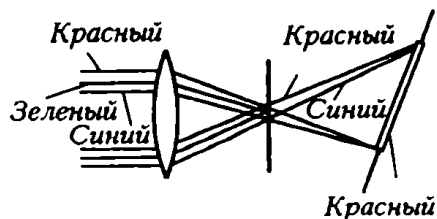


Рис. 2

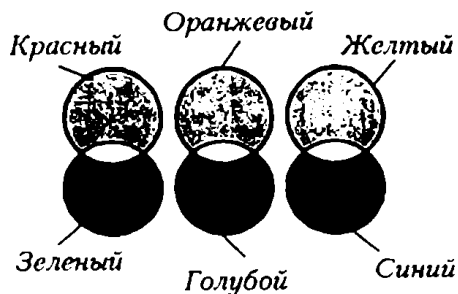


Рис. 3

Если солнечный свет пропустить через узкую щель и направить на призму, то получится разноцветное изображение этой щели. Ньютон проводил и другие опыты — «собирал» вместе все цвета (например, с помощью линзы) и в результате вновь получал белый цвет (рис.1). При этом оказывается, что, если «задержать» какой-нибудь цвет, скажем зеленый, то изображение щели становится цветным, и притом красным (рис.2). Или, если «задержать» желтый цвет, то изображение щели получится синим и т.д. Именно в этом смысле зеленый и красный, желтый и синий и т.п. цвета называются дополнительными (рис.3).

Описанное явление можно часто наблюдать зимой

вблизи газосветных рекламных вывесок. Когда на земле лежит снег, на нем ясно видны тени, цвет которых дополнителен к цвету светящейся вывески.

Красные листья

Погасите в комнате свет и зажгите лампу, предварительно поменяв в ней обычную лампочку на синюю. Посмотрите при свете этой лампочки на листья растений: зеленые листья, освещенные синим светом, кажутся не зелеными и не синими, а... красными. В чем же дело? Оказывается, стекло синей лампочки пропускает не только синий, но частично и красный свет. Вместе с тем, листья растений отражают не только зеленый свет, но отчасти и красный, поглощая другие цвета. Поэтому, когда на листья падает свет от синей лампочки, они отражают только красный свет и, следовательно, кажутся нам красными.

Описанный эффект можно получить и иначе: посмотрите на листья растений через синие очки или через синий светофильтр.

А.Дозоров

Предлагаем вам провести несколько опытов по оптике без специальных оптических приборов.

1. Возьмите серебряную обертку от шоколадной конфеты. Разгладьте ее и проткните в ней маленькое отверстие. Через это отверстие, расположив его как можно ближе к глазу, посмотрите на какой-нибудь ярко освещенный текст, помещенный тоже близко к глазу. Вам удалось увидеть сильно увеличенные буквы? Оказывается, не только линза может увеличивать! А какое изображение буквы вы увидели – прямое или перевернутое? Казалось бы, буква должна быть перевернутой (рис.1) – на

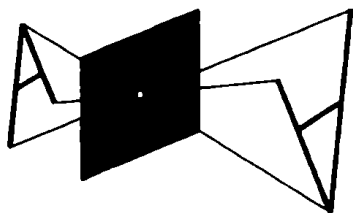


Рис. 1

сетчатке глаза все изображения получают всегда перевернутыми. Но наш мозг «знает» об этом и к этому «привык»: окружающие нас предметы мы воспринимаем не в перевернутом виде.

В непрозрачной бумаге проткните иглой отверстие. В затемненной комнате перед отверстием зажгите свечу, а с другой стороны отверстия поместите белый лист бумаги – экран. На экране вы увидите четкое перевернутое изображение свечи. Это простое устройство – модель так называемой камеры-обскуры (камеры для наблюдения), которая с давних времен использовалась для получения различных изображений. Камера-обскура является простейшим фотоаппаратом.

2. В том, что мозг действительно «переворачивает» изображение предмета, можно убедиться на таком простом опыте. Между отверстием в фольге (в серебряной бумажке) и

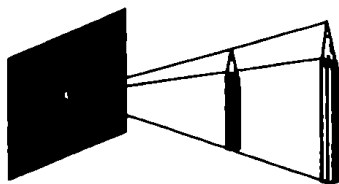


Рис. 2

глазом поместите небольшой предмет – острый карандаш или булавочную головку. Свет от отверстия создаст на сетчатке неперевернутое изображение предмета (рис.2). А мозг «по инерции» это изображение перевернет.

3. Отодвиньте фольгу сантиметров на 20 от глаза и посмотрите через отверстие на достаточно яркий источник света. Только осторожно, чтобы не переутомить глаз. Вы увидите расходящиеся от отверстия световые лучи, а вокруг отверстия – окрашенные во все цвета радуги кольца. Как это можно объяснить? Оказывается, свет, подобно волнам на поверхности воды, способен огибать встречающиеся на его пути препятствия.

Поговорим немного о волнах на воде. Как известно, большие и маленькие волны по-разному огибают препятствия. Если, например, из воды торчит столб, то мелкие волны (рябь) образуют за столбом заметную «тень» (область спокойной поверхности воды). Крупные же волны практически никакой «тени» не дают, они хорошо огибают препятствия. Что значит «мелкие» и «крупные» волны? Почему они по-разному ведут себя при встрече с препятствием?

Существует такое понятие – длина волны. Это – расстояние между двумя соседними гребнями (или впадинами) волны. Так вот, мелкие волны по сравнению с крупными имеют гораздо меньшую длину волны. А чем больше длина волны (по сравнению с препятствием), тем сильнее волна огибает препятствие.

То же самое происходит и со световыми волнами: если на пути света встретилось препятствие, свет его огибает. Вот почему вы видели расходящийся от отверстия в фольге световой пучок.

А как появились разноцветные кольца? Все дело в том, что белый свет состоит из лучей разного цвета. Следуя Ньютону, принято выделять семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Для каждого цвета длина световой волны своя. Самая большая длина волны у красного света ($\approx 7 \cdot 10^{-7}$ м), а самая маленькая – у фиолетового ($\approx 4 \cdot 10^{-7}$ м). Теперь вам все понятно, не правда ли?

4. Лезвием от безопасной бритвы прорежьте в фольге узкую щель: просто проведите по фольге бритвой. Отодвиньте щель от глаза сантиметров на 10, посмотрите через нее на окно. Вы увидите несколько темных полосок, параллельных щели. Если их видно плохо, не огорчайтесь. Просто у вас получилась слишком широкая щель. Разгладьте фольгу со щелью – щель станет уже, а картина лучше. Если и это не поможет, проведите по фольге лезвием еще раз.

Получив хорошую щель, посмотрите через нее (придвиньте щель к глазу) на настольную лампу с прозрачным стеклом или – осторожно! – на Солнце. Смотрите чуть ниже источника света. Видите, перпендикулярно направлению щели возникли два световых столба, на которых видны яркие радужные полосы. Если щель прорезана удачно, то полосок много, а цвета их глубокие и сочные. Обратите внимание на расположение цветов.

Оба эти опыта, как и предыдущий, объясняются огибанием световыми волнами краев щели.

Очень хорошую щель можно сделать из лезвия для безопасной бритвы. Из плотной бумаги нужно вырезать два прямоугольника по размерам чуть больше лезвия, середину у прямоугольников тоже надо вырезать. В эту рамочку вставьте разломанное пополам лезвие так, чтобы его острые края почти соприкасались. Две половинки рамки с лезвием между ними склейте – теперь у вас есть хорошая щель.

5. Интересно, что огибание края препятствия световой волной можно наблюдать, вообще ничего не имея под руками. Посмотрите вечером в окно. Вы увидите яркие точки светящихся фонарей. Прищурьте глаз (веки образуют щель) – свет от фонарей загнется вверх и вниз, вместо светящейся точки получатся два вертикальных столба лучей. Продолжая щуриться, поверните голову немного вбок. Щель, образуемая веками, изменит свою форму – лучи от фонарей разойдутся теперь под некоторым углом.

6. Проткните карандашом отверстие в газете, прикройте газетой настольную лампу и с расстояния в несколько метров посмотрите на пучок света из отверстия через капроновую ленту. Нити ленты образуют щели в двух взаимно перпендикулярных направлениях – свет загибается тоже в двух направлениях.

7. На случайным образом расположенных мелких препятствиях тоже можно наблюдать аналогичные картины.

В морозный вечер соскребите лед с окна. Осторожно подуйте на чистое место – оно затянется мелкими, случайно расположенными кристалликами льда. Теперь посмотрите через это отверстие на уличные фонари. Вокруг них возникнут цветные кольца. Обратите внимание на то, что разные лампы дают разный цветовой набор колец. Если на улице тепло, то этот опыт можно выполнить с небольшим стеклом, охлажденным в холодильнике.

Можно провести очень много подобных опытов: с копировальной бумагой, с граммофонной пластинкой, с негативами, на которых сфотографированы всевозможные однородные и неоднородные структуры.

В.Тихонов

1. Хорошенько надуйте шарик и завяжите его. Перевяжите шарик по диаметру ниткой, поместите его часа на 3—4 в холодильник и затем выньте оттуда. Изменились ли размеры шарика? Изменилась ли температура воздуха внутри шарика?



Вынув воздушный шарик из холодильника, вы, конечно, заметите, что он как-то сжался, сморщился. Нитка, повязанная по диаметру шарика, будет на нем болтаться и легко снимется с него. Значит, объем шарика уменьшился.

А воздух внутри шарика стал холоднее. Попробуйте объяснить, почему.

2. Возьмите в каждую руку по сухому туго надутому шарiku, привязанному к нитке. Попросите вашего товарища натереть шарики: один раз оба шарика шерстяной тряпочкой, а другой раз один шарик шерстяной тряпочкой, а второй — шелковой. Теперь сближайте руки. Что произойдет с шариками — будут они притягиваться или отталкиваться?

Как известно, при трении тела электризуются. Если натереть оба шарика шерстяной (или шелковой) тряпочкой, они приобретут одноименные заряды и будут отталкиваться друг от друга. Если же один шарик натереть шерстяной тряпочкой, а другой — шелковой, заряды на шариках окажутся разноименными, и шарики будут притягиваться друг к другу.

3. Надуйте шарик. Затем, не завязывая его, вытяните в виде сигары и отпустите. Что случится с шариком?

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1979 год.

Ответ на этот вопрос очень простой — сокращаясь, растянутая резиновая оболочка как бы выбрасывает воздух из шарика, в результате шарик приходит в движение подобно ракете.

4. Возьмите открытую жестяную банку и сделайте в ее дне небольшое отверстие. Прислоните к открытой части банки надутый воздушный шарик и сквозь отверстие втягивайте в себя воздух. Как поведет себя шарик?

Давление внутри банки станет меньше, чем снаружи, поэтому сила давления наружного воздуха будет прижимать шарик к банке. Кроме того, шарик мешает соскользнуть с банки сила трения.

5. Натяните резиновую оболочку воздушного шарика на пустую банку, прикрепите к оболочке указатель, а рядом поставьте вертикальную измерительную шкалу. Вы получите некий измерительный прибор. Проследите, какое положение на шкале занимает стрелка, когда прибор находится в жилой комнате, в ванной, на улице. Как вы думаете, что именно измеряет этот прибор?

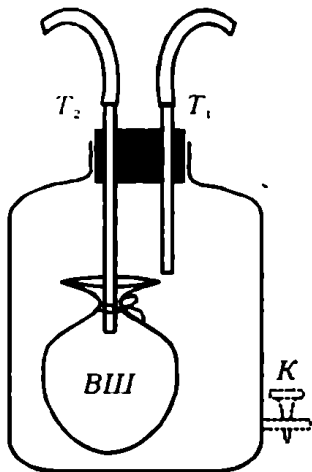
Конечно, вы догадались, что изготовленный вами прибор — это барометр. С помощью такого барометра легко следить за изменениями давления воздуха. Если давление наружного воздуха увеличивается (становится больше давления внутри банки), оболочка вдавливаясь внутрь банки, и стрелка поднимается по шкале. Если же давление снаружи уменьшается (и оказывается меньше внутреннего), оболочка выгибается наружу, а стрелка опускается.



ШАРИК, КОТОРЫЙ НЕ СДУВАЕТСЯ

А.Дозоров

Возьмите большую стеклянную банку и плотно закройте ее пробкой, в которую вставлены две стеклянные трубочки, как показано на рисунке. На верхние концы трубочек предварительно наденьте резиновые шланги, а к нижнему концу одной из трубочек привяжите резиновую оболочку воздушного шарика. (Роль трубки T_1 может играть кран K , показанный на рисунке пунктиром.) Оставьте шланг трубки T_1 свободным, а через трубку T_2 надуйте шарик. Если затем освободить T_2 , шарик, естественно, будет сдуваться.



Теперь сделайте следующее. При открытой трубке T_1 надуйте шарик и сразу же пережмите шланги обеих трубок. Если после этого открыть трубку T_2 , шарик практически не сдуется. Почему?

Объяснить это довольно легко. Как только мы освободим трубку T_2 , под действием натянутой резиновой оболочки шарик начнет сдуваться. При этом его объем будет уменьшаться, а объем воздуха в банке (при закрытой трубке T_1) — увеличиваться. В результате давление воздуха в банке будет уменьшаться. В какой-то момент оно окажется меньше давления воздуха внутри шарика. Этот перепад давлений скомпенсирует действие растянутой оболочки — шарик сдуваться перестанет. Очевидно, что чем сильнее был надут шарик, тем меньше он сдуется.

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1979 год.

А.Дозоров

Один раз мы взяли с собой керосинку, но больше – никогда! Целую неделю мы как будто жили в керосиновой лавке. Керосин просачивался всюду. Я никогда не видел, чтобы что-нибудь просачивалось, как керосин. Мы держали его на носу лодки, и оттуда он просочился до самого руля, пропитав лодку и все ее содержимое. Он растекся по всей реке, заполнил собой пейзаж и отравил воздух.

Джером К.Джером.

Трое в одной лодке, не считая собаки

Вы помните историю про муравьишку, который очень торопился домой? Многие помогали ему. Например, через речку его перевез водомер. Это – насекомое, и вы, наверное, много раз видели его. Водомер совершенно спокойно стоит на воде и не тонет (рис.1). Правда, если внимательно приглядеться, вода под ним немного прогибается. Почему же это насекомое не тонет? И разве может вода прогибаться?

Оказывается, все дело в поверхностном слое жидкости. Он обладает целым рядом необычных свойств. Вы легко можете убедиться в этом, проделав несколько довольно простых опытов.

1. Поверхность жидкости способна «держат» различные предметы.

Налейте в тарелку немного воды. Возьмите иголку, лучше потоньше, и аккуратно положите ее на поверхность воды – иголка не тонет (рис.2). Если опыт у вас не получился, не



Рис. 1

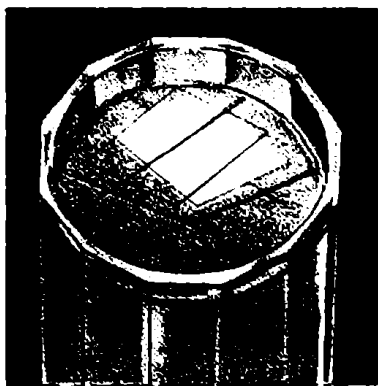


Рис. 2

отчаивайтесь. Потрите иглоку пальцами (или слегка смажьте ее маслом, или, еще лучше, потрите о свечку) и повторите опыт снова. Посмотрите внимательно вдоль поверхности воды. Видите, что около иглоки поверхность изогнута? Впечатление такое, как будто иглока лежит на пленке.

Это сравнение довольно хорошее. Поверхностный слой жидкости и вправду чем-то похож на растянутую упругую пленку (хотя

происхождение особых свойств поверхностного слоя совсем иное, чем у растянутой пленки). Попробуем это пояснить.

В глубине жидкости каждая молекула со всех сторон окружена соседями, которые тянут ее во все стороны одинаково. Молекулы же поверхностного слоя сверху соседей не имеют, поэтому они испытывают притяжение со стороны нижележащих молекул. Жидкость как бы стремится к тому, чтобы на ее поверхности было минимальное количество молекул. В результате поверхностный слой жидкости находится как бы в натянутом состоянии, подобно упругой пленке. Иногда мы будем поверхность жидкости называть пленкой, но слово это будем заключать в кавычки.

Итак, не только водомер, но и более плотные тела, в нашем опыте — металлическая иглока, держатся на поверхности жидкости, причем они именно не плавают в обычном понимании этого слова, а удерживаются поверхностным натяжением жидкости. Правда, если вы будете брать все более и более толстые иглоки, то, начиная с некоторого момента, сила тяжести превысит силы поверхностного натяжения, и иглоки будут тонуть. (Интересно, что длина иглоки практически никакой роли не играет.)

2. Натяжение поверхностной «пленки» зависит от выбранной жидкости.

Положите иглоку на поверхность воды. Возьмите спичку, отрежьте у нее головку (в основном — чтобы не перепачкаться), потрите кончик спички о мыло и коснитесь им воды сбоку от иглоки, на расстоянии примерно 1 см от нее. Иголка немедленно отскочит от спички. Происходит это потому, что молекулы мыльного раствора слабее, чем молекулы чистой воды, притягивают к себе иглоку. С разных сторон на иглоку действуют разные силы, и она движется в сторону действия большей силы. Принято

говорить, что поверхностное натяжение чистой воды больше, чем мыльной.

Вы можете погонять иголку таким образом по всей тарелке. Обязательно подгоните ее к краю тарелки и повторите опыт. Как теперь ведет себя иголка? Учтите, что мыло очень быстро распространяется по поверхности воды, так что почаще меняйте воду в тарелке. Вместо иголки можно на поверхность воды положить спичку и проводить опыты с ней. (Иголка, то и дело тонущая от неосторожных движений, сильно усложняет эксперимент.)

Возьмите две спички и аккуратно положите их на воду параллельно друг другу. Спички будут сближаться (рис.3). Снова раздвиньте их и кончиком третьей спички, предварительно потерев им о мыло, дотроньтесь до воды с разных сторон от плавающих спичек. Что с ними будет происходить?

По такому же принципу можно сделать несколько нехитрых игрушек и показать их действие малышам. Расщепите немного конец спички и вставьте туда кусочек бумаги (рис.4). В мыльнице приготовьте из мыла кашицу и аккуратно обмокните в нее торец бумажки.

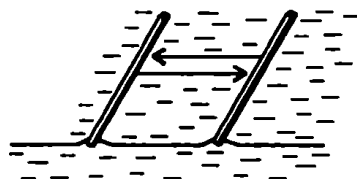


Рис. 3

Осторожно положите спичку на воду – спичка поплывет. Вы заметили, в какую сторону плывет спичка? Теперь в оба конца спички вставьте кусочки бумаги так, как показано на рисунке 5, и обмокните их в мыльную

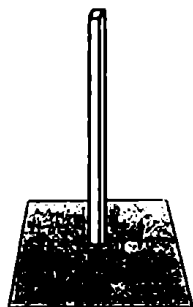


Рис. 4



Рис. 5

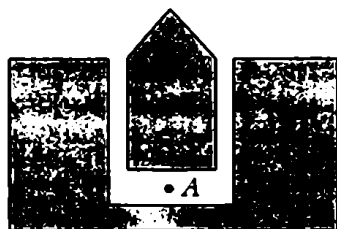


Рис. 6

кашицу. Положите спичку на поверхность воды – спичка начнет вращаться. На рисунке 6 показана модель пушки, которую вы можете вырезать из плотной бумаги. Чтобы эта пушка «выстрелила», достаточно мыльным концом спички коснуться поверхности воды в точке А.

Попробуйте вместо мыла брать другие вещества. Как-то в пионерском лагере можно было наблюдать такую картину. Группа ребят обступила небольшую лужу. У них в руках были маленькие щепки. Концы щепок ребята мазали еловой смолой и устраивали гонки – щепочки быстро и замысловато скользили по воде.

3. Поверхностное натяжение способно поднимать жидкость на сравнительно большую высоту.

Возьмите стеклянную трубочку с очень маленьким внутренним диаметром ($\ll 1$ мм) – так называемый капилляр. Опустите один из концов капилляра в сосуд с водой – вода поднимется выше уровня воды в сосуде. Чем тоньше капилляр, тем выше поднимается вода по его стенкам. Если у вас когда-нибудь брали кровь из пальца, вы это уже видели – медсестра в капилляр собирает капельку крови. Капиллярные явления можно наблюдать повсюду. Это и поднятие воды по мельчайшим отверстиям в куске сахара, и поднятие керосина по фитилю в керосиновой лампе, и всасывание влаги из почвы корнями различных растений, и т.д. и т.п.

Более скромный опыт можно проделать и с не очень тонкой трубочкой. Наберите в нее воду и пальцем закройте нижний конец трубки (рис.7). Вы увидите, что уровень воды в трубке

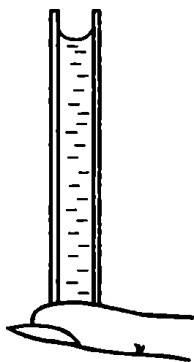


Рис. 7

изогнут. Это результат того, что молекулы воды сильнее притягиваются к молекулам стенок сосуда, чем друг к другу. В таком случае, говорят, что жидкость смачивает твердое тело.

Сделайте еще один опыт. Вылив чай, оставьте на дне чашки немного жидкости с чайинками. Чайной ложкой или спичкой осторожно коснитесь поверхности жидкости. Она тотчас же «поползет» вверх, увлекая за собой чайинки.

4. Не все жидкости и не во всяких трубках «цепляются» за стенки.

Бывает так, что жидкость в капилляре не поднимается, а опускается ниже уровня в широком сосуде, при этом ее поверхность – выпуклая. Про такую жидкость говорят, что она не смачивает поверхность твердого тела – притяжение молекул жидкости друг к другу сильнее, чем к молекулам стенок сосуда. Так ведет себя, например, ртуть в стеклянном капилляре (рис.8).

Наберите в пипетку немного воды. Осторожно капните одну капельку на чистое стекло, а вторую – на хлеб, намазанный сливочным маслом. Первая капелька растечется по стеклу, а

вторая (на сливочном масле) – нет. Вывод – вода смачивает стекло, но не смачивает масло.

Как вы ответите на известный вопрос: можно ли носить воду в решете? Возьмите решето, смажьте его маслом или лучше натрите свечкой. Влейте в решето немного воды – она не вытекает! Оказывается, воду держит поверхностная «пленка», образовавшаяся из-за несмачивания водой ячеек решета.

Если у вас нет решета, вместо него можно взять, например, терку или консервную банку, в которой тонким гвоздиком пробиты маленькие дырочки.

Вы уже видели, что несмачивающая жидкость не растекается по поверхности, а собирается в каплю, причем чем меньше капля, тем ее форма ближе к сферической. Почему? Благодаря сильному притяжению молекул жидкости друг к другу жидкость принимает форму с наименьшей поверхностью. А это, как правило, сферическая поверхность. Последнее очень наглядно демонстрируется в состоянии невесомости. Если космонавт выпустит воду из сосуда (в невесомости нельзя сказать «выльет» в том смысле, как это понимается на Земле), она примет форму шара. Кратковременное пребывание расплавленного металла в состоянии невесомости во время падения с большой высоты издавна используется для производства дроби. Капли жидкого металла, падая, приобретают форму шарика и, остывая, сохраняют ее. Так получают дробинокки.

Аналогичный опыт вы можете провести и в домашних условиях. Покапайте стеарин с горящей свечки в таз с холодной водой – вы получите маленькие «дробинокки». Свечку лучше держать как можно ближе к воде, тогда стеарин будет остывать именно на ее поверхности.

5. Поверхностное натяжение иногда оказывает столь сильное действие, что его можно ощутить (в буквальном смысле этого слова) руками.

Возьмите две одинаковые стеклянные пластинки. Протрите их хорошенько и приложите друг к другу. Они легко разъединяются. Теперь одну из пластинок смочите водой и сложите пластинки. Разъединить их очень трудно (если только не перемещать пластинки параллельно друг другу). Это результат действия поверхностного натяжения.

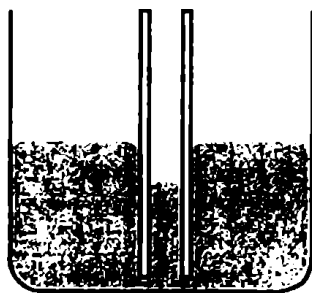
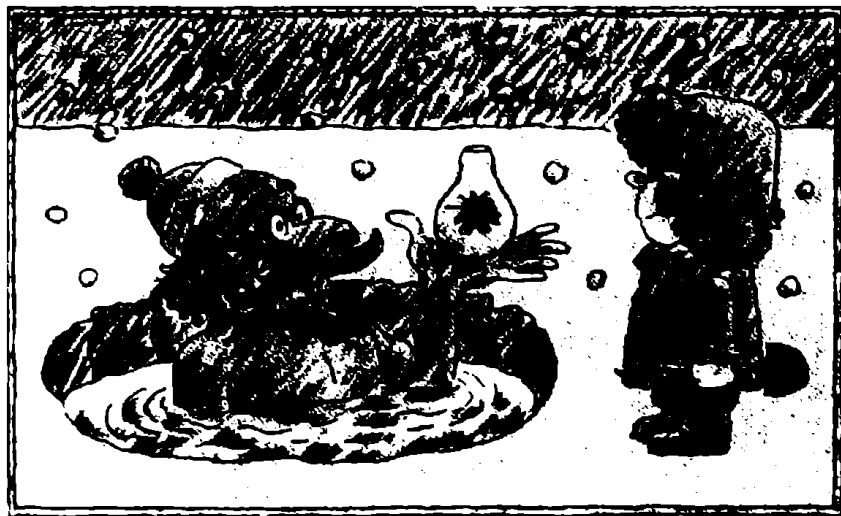


Рис. 8

П.Канаев

Почему зимой часто лопаются водопроводные трубы и разрываются бутылки с водой? Почему с приходом весны на крышах домов появляются сосульки, а летом иногда вместо дождя на землю падает град? Почему вода в глубоких реках и озерах не замерзает до дна? Подобных вопросов можно сформулировать очень много, потому что много особенностей таит в себе замерзающая вода. С некоторыми из них вы сможете познакомиться на опытах с водой на морозе.

Все предлагаемые вам опыты очень просты, они не требуют никакой специальной подготовки. Однако дадим несколько советов. Опыты лучше проводить при температурах не выше -5°C . Помните, что цилиндрические стеклянные или пластмассовые сосуды с водой на морозе могут лопнуть, так что по возможности пользуйтесь сосудами конической формы. В неко-



Опубликовано в «Кванте» №11 за 1979 год.

торых опытах вам понадобится насыщенный раствор поваренной соли. Его лучше приготовить заранее, растворив 30 г поваренной соли в 100 мл теплой воды. Проведя опыт, постарайтесь самостоятельно объяснить наблюдаемые явления и ответить на все возникающие вопросы. Если вы это сделать не сумеете, прочитайте ответы и объяснения в статье.

Итак, вам предстоит провести следующие эксперименты.

1. В холодном неотапливаемом помещении (например, в сарае, чулане, гараже) или на балконе положите на стол или другую горизонтальную поверхность стеклянную пластинку, поставьте рюмку, перевернув ее ножкой вверх, опрокинутое блюдце и, наконец, большой таз. С помощью узкой трубочки капните несколько капель воды на пластинку и заполните водой углубления в ножке рюмки и в блюдце, а в таз налейте 2—3 кружки воды. Когда вода замерзнет, внимательно посмотрите на поверхность льда. Вы увидите, что замерзшие капли на пластинке заострились, в середине углублений рюмки и блюда образовались конусообразные бугорки, а в тазу вырос настоящий ледяной бугор.

Теперь замените воду слабым раствором поваренной соли или мыльным раствором и повторите опыт (таз можно не использовать). Оказывается, при замерзании водных растворов (а не просто воды!) никаких бугорков не образуется.

И еще один опыт, но уже не с водой, а с парафином или воском. Налейте расплавленный парафин (или воск) в углубление основания рюмки и вынесите на мороз — после застывания парафина на его поверхности вы обнаружите... впадину.

Три опыта на одну и ту же тему дают разные результаты. Почему?

При замерзании вода сильно расширяется, поэтому на поверхности льда образуется бугорок. Водные растворы при отвердевании расширяются очень незначительно, их поверхность остается гладкой. Парафин же при переходе из жидкого состояния в твердое сжимается, в результате чего и появляется впадина.

2. Для опыта вам потребуется тонкостенный стеклянный сосуд. Им может служить, например, баллон электрической лампочки накаливания без цоколя (цоколь можно удалить, если трехгранным надфилем аккуратно распилить стекло на его границе с металлом, при этом лампочку надо все время поворачивать). Налейте в баллон воды до высоты его максимального горизонтального диаметра и дайте ей замерзнуть. Вы увидите очень красивую картину. Края образовавшегося ледяного слитка

в основном прозрачны, лишь кое-где в лед вкраплены пузырьки воздуха различной формы и размеров, а в середине слитка – непрозрачный сгусток, напоминающий свернувшегося в клубок ежа.

Предварительно подкрасьте воду «зеленкой» (ее можно купить в аптеке) и еще раз проведите тот же самый опыт. После замерзания подкрашенной воды картина будет еще более красивой: по краям лед останется по-прежнему прозрачным и неокрашенным, в то время как в средней части окраска сильно сгустится, так что «еж» будет казаться зеленым.

Как все это можно объяснить?

Обычно вода начинает замерзать на поверхности и около стенок. Затем замерзание постепенно распространяется к центру объема воды, где образуется множество различно направленных ледяных кристаллов. Так возникает непрозрачный сгусток из сросшихся кристаллов, который рассеивает свет по всем направлениям. Как мы уже говорили, при отвердевании воды ее объем увеличивается. Внутри льда возникают пустоты. Мельчайшие, невидимые глазом, но всегда имеющиеся в воде пузырьки воздуха сливаются и образуют более крупные. Они хорошо видны там, где лед прозрачен.

Подкрашенная вода ведет себя аналогично чистой воде. При переходе из жидкого состояния в твердое ее молекулы должны расположиться упорядоченно. В результате молекулы красящего вещества как бы вытесняются от краев к середине объема жидкости. Вот почему лед остается прозрачным по краям и оказывается сильно окрашенным в середине.

3. Возьмите стеклянную трубку диаметром 7 – 15 мм и один конец ее закупорьте резиновой пробкой. (Можно воспользоваться цилиндром от прибора «Огниво», который имеется в школьном физическом кабинете. Винтовое дно нужно снять, а отверстие закрыть пробкой.) Укрепите трубку в вертикальном положении пробкой вниз (например, зажмите в лапке штатива). Заполните полученный сосуд до краев водой, а отверстие прикройте кружочком плотной бумаги. При замерзании воды образовавшийся столбик льда будет подниматься вместе с бумажным кружочком.

Проделайте тот же опыт с перевернутым сосудом, т. е. когда пробка находится сверху, а бумажный кружочек – внизу. В этом случае столбик льда будет опускаться вместе с кружочком.

Теперь несколько видоизмените последний опыт. В сосуд налейте столько воды, чтобы уровень ее не доходил до края примерно на 1 см. Отверстие закройте кружочком и переверните

сосуд. После замерзания воды вы увидите, что ледяной столбик будет не опускаться, а подниматься, приближаясь к пробке.

Какие можно сделать выводы?

Вода при замерзании расширяется, причем расширяется по всем направлениям. Но «дно» и стенки сосуда препятствуют движению, поэтому ледяной столбик перемещается только в одном направлении – туда, где давление наименьшее.

4. Вынесите на мороз два стаканчика. В один налейте чистую воду, а в другой – насыщенный раствор поваренной соли. Для опыта потребуются две сосульки. (Их можно «вырастить» искусственно. Например, так: заморозьте воду в узкой, закрытой с одного конца стеклянной или металлической трубке. Чтобы вытащить образовавшуюся сосульку, трубку слегка подогрейте.) Одну сосульку опустите в замерзающую воду (предварительно хорошенько перемешайте содержимое стаканчика), а вторую – в раствор поваренной соли. Уже через несколько минут диаметр первой сосульки заметно увеличится, а второй – наоборот, уменьшится. Почему?

Известно, что кристаллики льда активнее всего образуются там, где есть какие-нибудь шероховатости, щели, острия – одним словом, какие-либо неоднородности. Ледяная сосулька в холодной воде как раз и выполняет роль такой «неоднородности». Вокруг нее происходит усиленная кристаллизация воды, и слой льда на сосульке постепенно увеличивается. Насыщенный же раствор поваренной соли остается в жидком состоянии вплоть до температуры -21°C . При погружении в раствор сосульки молекулы соли, как более подвижные, будут непрерывно бомбардировать сосульку и тем самым разрушать ее.

5. Возьмите две трубки: одну стеклянную, другую металлическую, диаметром 10–12 мм и длиной 100–120 мм. Одно отверстие в каждой трубке плотно закупорьте резиновой пробкой. Наполнив трубки до краев водой, вынесите их на мороз и оставьте там на некоторое время в вертикальном положении. Когда вода замерзнет, внесите трубки в комнату и через несколько минут выньте образовавшиеся ледяные столбики (например, вытолкните их из трубок тупым концом карандаша.) Оказывается, столбик, образовавшийся в стеклянной трубке, имеет одну или две поперечные сквозные трещины. Столбик же из металлической трубки – однородный, никаких трещин на нем нет. Чем это объясняется?

Поскольку стекло плохо проводит тепло, отвердевание воды в стеклянной трубке идет очень медленно и неравномерно. За длительный промежуток времени успевают образоваться два или

три столбика льда, которые стыкуются друг с другом. В местах стыковки и возникают трещины. В металлической же трубке, у которой теплопроводность стенок хорошая, вся масса воды замерзает быстро и равномерно. Ледяной столбик получается монолитным.

6. Заполните водой почти до краев прямоугольную коробочку (пластмассовую или металлическую) размером $70 \times 50 \times 20$ мм. Вырежьте из картона крышку для этой коробочки таких размеров, чтобы она чуть-чуть выходила за края. Из центра картонки проведите окружность диаметром, немного меньшим ширины коробочки. По окружности на равном расстоянии друг от друга строго вертикально воткните три одинаковые иголки так, чтобы ушками они касались дна коробочки, а крышку прижмите к коробочке. Воду заморозьте. Осторожно снимите картонку с иголок, на их острия положите кусок льда с грузом и все это оставьте на морозе. Примерно через сутки вы обнаружите, что лед опустился до коробочки. Почему же иголки не оказали льду никакого сопротивления?

Оказывается, все дело в том, что под давлением лед плавится при температуре существенно ниже 0°C , и поэтому иголки спокойно проходят сквозь лед.

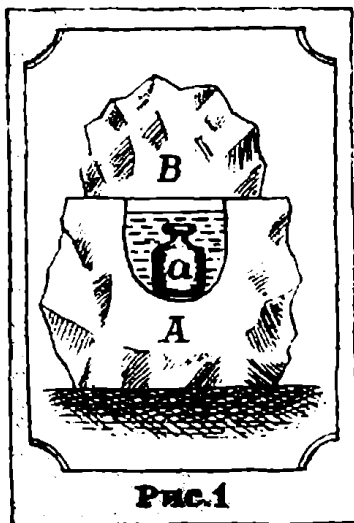


А.Дозоров

Однажды в библиотеке мне в руки попала одна старая книга. Это было двадцать первое издание «Учебника физики», рекомендованного к изучению в гимназиях, реальных училищах и других средних учебных заведениях. Автор учебника – известный педагог Константин Дмитриевич Краевич. Этот учебник прослужил не одно десятилетие и всегда пользовался популярностью. Так, двенадцатое его издание было удостоено «полной премии Императора Петра Великого». Впрочем, учебником вполне можно пользоваться и сейчас. В нем не хватает лишь раздела о физике XX века, да стиль изложения несколько отличается от современного.

Вот описание нескольких опытов, взятое из учебника К.Д.Краевича. При желании вы сможете провести эти опыты в домашних условиях.

1. «Если нагретое до некоторой температуры (например, до 50°C) тело *a* (например, стограммовую медную гирьку) поместить в углубление, сделанное в куске льда *A* и закрываемое другим куском льда *B*, то тело будет охлаждаться, уступая свою теплоту льду и превращая его в воду (рис.1). Через некоторое время тело примет температуру растаявшей воды и льда, т.е. 0°C , и дальнейшее таяние прекратится. Вода может быть собрана губкою, и количество образовавшейся воды определено взвешиванием; оно может служить мерою той теплоты, которую тело потеряло, охладившись от



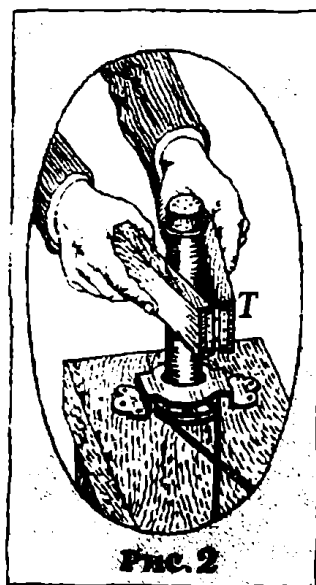


Рис. 2

надо ему сообщить, чтобы нагреть его от 0 до 50 °С.»

Ледяной калориметр обладает рядом преимуществ по сравнению с другими калориметрами. Главное из них — это практически полное отсутствие рассеяния тепла в окружающую среду.

2. Известно, что трением можно добывать огонь. Но это требует определенного искусства. А вот вскипятить воду, используя трение, легко.

«Медная трубка (рис.2), наполненная водою и закрытая пробкою, зажимается между двумя досками *Т*, соединенными шарниром, и приводится в быстрое вращение. Преодолевая трение, можно заставить жидкость закипеть и образовавшимися парами выбросить пробку.»

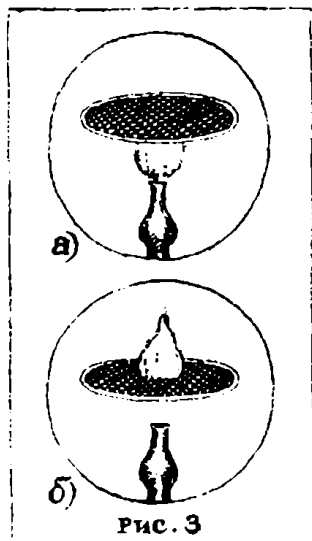


рис. 3

3. Для этого опыта вам понадобятся металлическая сетка или рассекатель пламени для газовой плиты, газовая горелка или обыкновенная газовая плита. Во избежание неприятностей при проведении эксперимента будьте очень осторожны.

«Если покрыть пламя газа сеткою, то горение за сетку не переходит (рис.3,а); точно так же, если незажженный газ пропустить через сетку и потом зажечь, то пламя вниз не передается (рис.3,б). В обоих случаях металл сетки отнимет от газа значительную часть тепла, которое распространяется по всей сетке и постепенно теряется в воздухе; оставшаяся

в газе теплота недостаточна, чтобы горение продолжалось.»

4. Если каким-либо образом менять плотность одного и того же тела, его можно заставить то всплывать, то тонуть в жидкости.

«Так, рыба, изменяя объем своего тела посредством плавательного пузыря, поднимается, опускается и держится на месте.

В картезианском водолазе стеклянный шарик *a*, наполненный частью водою, частью воздухом и имеющий внизу отверстие, плавает на поверхности воды (рис.4). Надавливая на каучуковую перепонку *b* и сжимая воздух, который давит на воду, мы заставляем воду входить в шарик и сжимать находящийся в шарике воздух. Шарик делается тяжелее, вследствие чего он опускается и при надлежащем давлении может держаться внутри жидкости. С прекращением давления сжатый в шарике воздух вытесняет воду, и шарик снова подымается.»

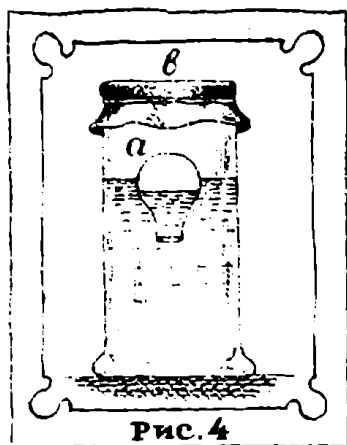


Рис. 4

5. «Если намагничиваемый стальной брусок мал, то одного прикосновения к сильному магниту бывает достаточно, чтобы его намагнитить. Для намагничивания же больших стальных полос применяют следующий предложенный Дюгамелем способ. Стальную полосу *AB* кладут на два разноименных полюса *S* и *N* (рис.5). Затем ставят наклонно на середину два других магнита *P* и *Q* так, чтобы *P* касался намагничиваемой полосы северным, а *Q* — южным полюсом, и проводят ими по полосе

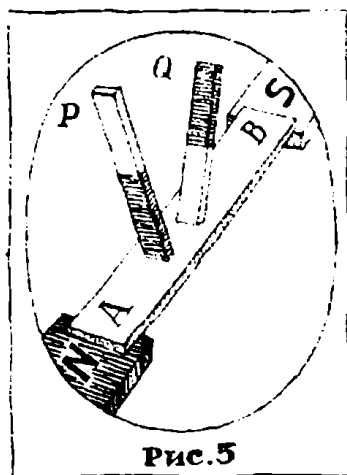


Рис. 5

AB от ее середины до концов. Потом магниты поднимают, ставят снова на середину *AB* и повторяют прежнее действие несколько раз... Намагничиваемый брусок полезно при этом поворачивать и подвергать, постукивая по нему, сотрясениям.»

ДОМ, КОТОРЫЙ ПОСТРОИЛ...

А. Токарев

Выдающийся итальянский архитектор XVI века Андреа Палладио считал, что в каждой постройке должны быть соблюдены три вещи, без которых ни одно здание не может заслужить одобрения. Это – польза (и удобство), красота и долговечность. Оставим в стороне соображения удобства и красоты и поговорим о долговечности, или, другими словами, о надежности постройки.

Наверное, каждый из вас знает, что строительство любого сооружения начинается с закладки фундамента. Хороший, прочный фундамент – залог дальнейшего успеха. Но что это значит – прочный фундамент?

Много вопросов приходится решать специалистам. Один из них – борьба с осадкой фундамента. Особые трудности, связанные с этой проблемой, возникают при возведении сооружений на вечной мерзлоте. Построенные там дома часто дают трещины из-за неравномерной осадки фундамента, вызванной подтаиванием грунта под ним. Можно ли избежать подтаивания грунта под домами, построенными на вечной мерзлоте, или хотя бы уменьшить подтаивание?

Давайте попытаемся решить эту задачу, исходя только из знаний простейших физических законов и закономерностей. Прежде всего проанализируем условие задачи. Почему грунт под домом может начать подтаивать? Очевидно, потому, что фундамент передает ему некоторое количество теплоты. Значит, все дело в фундаменте. Тогда первое, что напрашивается сделать, это уменьшить площадь соприкосновения фундамента с грунтом. Именно с этой целью здания стали строить на сваях, отказавшись от привычного сплошного фундамента. Но этого оказалось недостаточно.

Опубликовано в «Кванте» №6 за 1983 год.

Как еще можно уменьшить приток тепла к грунту? В данном случае тепло передается только теплопроводностью; следовательно, материал сваи должен проводить тепло как можно хуже. Из чего же нужно делать сваи? Для количественной оценки теплопроводности различных веществ вводится специальная физическая величина – коэффициент теплопроводности. Для каждого вещества он свой. Самую большую теплопроводность имеют металлы, у жидкостей теплопроводность невелика, у газов – еще меньше. Для наших рассуждений не важно, как именно определяется коэффициент теплопроводности и в каких единицах он измеряется. Нам интересно лишь сравнить способности различных материалов проводить тепло. Поэтому воспользуемся справочными данными и составим небольшую таблицу относительных коэффициентов теплопроводности, выбрав теплопроводность воды за единицу:

Вещество	Относительный коэффициент теплопроводности	Вещество	Относительный коэффициент теплопроводности
Бензин	0,2	Железо	122
Вата	0,07	Керосин	0,2
Вода	1	Кирпич	1,1
Воздух	0,04	Лед	3,7
Войлок	0,1	Пробка	0,07
Дерево	0,2 – 0,6	Спирт	0,3

Посмотрим внимательно на эту таблицу. Из твердых материалов наименьшей теплопроводностью обладают вата и пробка, затем идут войлок и дерево. Однако прежде всего свая должна быть прочной, так что все перечисленные материалы явно не подходят. А что если сваю сделать из металла, например из железа, и внутрь ее поместить вату, войлок или какое-то другое пористое вещество, содержащее много воздуха? Это – выход!

Итак, свая должна быть изготовлена из прочного твердого материала и заполнена каким-либо пористым веществом.

Анализируя полученный результат, делаем вывод: благодаря малой теплопроводности, свая указанной конструкции действительно уменьшит приток тепла от окружающего воздуха к грунту (т.е. сверху вниз) в теплое время года. А в холодное? Хорошо бы сделать так, чтобы зимой, во время сильных морозов, свая

способствовала охлаждению грунта (т.е. передавала бы тепло снизу вверх). Это увеличило бы прочность грунта и уменьшило степень его подтаивания летом.

Сформулируем более четко, какие же физические процессы происходят в свае и в грунте около нее летом и зимой. В теплое время года верхняя часть сваи, соприкасаясь с воздухом, нагревается. Постепенно будет нагреваться и та часть сваи, которая находится в земле. Чем меньше нагреется нижний конец сваи, а значит и прилегающий к ней грунт, тем лучше. Зимой верхняя часть сваи охлаждается от соприкосновения с холодным воздухом. Постепенно охлаждается и нижняя часть сваи, и грунт вокруг нее. Чем ниже температура, до которой охладится грунт, тем лучше.

Таким образом, свая должна обладать следующими свойствами: а) если температура верхней части сваи выше, чем нижней, то свая должна проводить тепло плохо; б) если верхний конец сваи холоднее нижнего, то свая должна проводить тепло хорошо. Или, другими словами: сверху вниз передача тепла должна происходить плохо, а снизу вверх – хорошо.

Как известно, в твердых телах теплообмен осуществляется только за счет теплопроводности, которая не зависит от направления. Это означает, что свая с перечисленными выше свойствами не может быть изготовлена из твердого тела. Наша предыдущая модель – металлическая свая, заполненная пористыми материалами, – не годится (пористая «внутренность» сваи будет плохо проводить тепло не только летом, но и зимой, когда желательно, чтобы грунт хорошенько охладился).

А что если прочную оболочку сваи, способную выдержать большую нагрузку, заполнить жидкостью или газом? В этом случае передача тепла будет осуществляться не только теплопроводностью, но и конвекцией. К чему это приведет? Зимой верхние слои жидкости или газа будут охлаждаться и, как более плотные, будут опускаться вниз. Их место займут менее плотные нижние слои, которые будут, в свою очередь, охлаждаться и опускаться вниз и т.д. В результате свая и грунт вокруг нее примут температуру окружающего воздуха, т.е. охладятся за счет естественных морозов. В летнее время верхние слои жидкости или газа будут, конечно, нагреваться окружающим воздухом, но, как менее плотные, опускаться вниз они не будут. Передача тепла будет осуществляться только теплопроводностью, а она у жидкостей и газов очень мала. Значит, свая такой конструкции будет проводить тепло плохо, и грунт вокруг нее прогреется незначительно.

Итак, мы приходим к выводу: сваю, изготовленную из прочного материала, необходимо заполнить жидкостью или газом.

Остается последний вопрос – чем именно надо заполнить сваю? Зимой это все равно, так как в течение долгого холодного периода температура грунта успеет понизиться до температуры окружающего воздуха. Летом же важно, чтобы грунт прогрелся как можно меньше. Значит, надо подобрать такое тело, которое, получая тепло, нагревалось бы меньше всего. Из формулы $Q = cm(t_2 - t_1)$ получаем, что изменение температуры $(t_2 - t_1)$ зависит не только от полученного количества теплоты Q , но и от удельной теплоемкости c тела и от его массы m . Масса жидкости всегда больше массы газа того же объема. Из этих соображений предпочтение следует отдать жидкости. Теперь сравним удельные теплоемкости, опять воспользовавшись справочными данными:

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · °С)	Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · °С)
Бензин	1,4	Глицерин	2,4
Вода	4,2	Керосин	2,1
Воздух	1	Масло машинное	1,9

Оказывается, и удельные теплоемкости больше у жидкостей, чем у газов.

Следовательно, сваю надо заполнять жидкостью. Но какой? Вода, хотя и самая дешевая и доступная, не подходит, поскольку она зимой замерзает. Глицерин и машинное масло при низких температурах густеют, что затрудняет конвекцию. Остаются бензин и керосин. Обе жидкости замерзают при температуре ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, так что каждая из них могла бы «выдержать» суровые зимние морозы. Однако выбираем все же керосин, поскольку у него ббльшая удельная теплоемкость и он дешевле бензина.

Наконец-то мы можем сформулировать окончательный ответ задачи: *чтобы уменьшить подтаивание грунта под домами, построенными на вечной мерзлоте, здания надо строить на сваях; сваи, изготовленные из прочного твердого материала, внутри должны быть заполнены керосином.*

Заметим, что такой способ укрепления мерзлых оснований (уменьшения подтаивания грунта под фундаментом) – не фантастика, а реальность. Он детально разработан теоретически и испытан в производственных условиях. При этом получено существенное снижение себестоимости строительства.

МОЖЕТ ЛИ БЫТЬ НЕВОЗМОЖНОЕ?

Л. Тучинский

*Осознай то, что уже знаешь,
и ты научишься летать.*

Ричард Бах.

Чайка по имени Джонатан Ливингстон

Ответ на вопрос, поставленный в заголовке, может быть, по моему, только один: конечно, может. Собственно говоря, мы привыкли к тому, что на наших глазах совершаются невозможные вещи, и даже не удивляемся им. Мы считаем само собой разумеющимся, что с аэродромов взлетают самолеты, что в космосе работают люди, что стоит нажать на кнопку телевизора – и моментально увидишь происходящее за тысячи километров, что существуют машины, умеющие считать и играть в шахматы, и многое другое.

А ведь если бы сто лет назад вы спросили у любого просвещенного человека, может ли человек полететь на Луну или увидеть, что происходит в другом городе, он бы удивленно посмотрел на вас и, наверное, усомнился в здравости вашего рассудка. Действительно, тогда это было невозможно, а сейчас это обыденно.

Все это я говорю к тому, что никогда не следует категорически утверждать: это невозможно, этого не может быть. А, собственно, почему? Только потому, что этого не может быть никогда? И, главное, не думайте, что невозможное может сделать кто-то другой, но только не вы. «Может тот, кто думает, что может», – гласит латинская пословица.

Давайте для примера решим вместе одну задачу из разряда «невозможных». Эта задача – из области материаловедения. Есть такая наука, которая занимается разработкой материалов, изучением их структуры и свойств. Труд материаловедов обычно остается в тени, но это вовсе не означает, что он менее важен или менее интересен, чем труд других специалистов. Большинство же

Опубликовано в «Кванте» №4 за 1985 год.

материаловедческих проблем сводится к решению физических задач. И вот – одна из них, поставленная жизнью.

Требуется создать материал, способный работать при температуре, превышающей температуру его плавления. Что значит – работать? Это значит, что детали (например, сопла ракеты), изготовленные из этого материала, должны иметь достаточную жесткость и прочность, чтобы выдерживать силы, действующие на них, практически не изменяя своей формы и размеров.

На первый взгляд задача абсурдна. Что значит – материал должен работать при температуре более высокой, чем его температура плавления? Что он должен нести нагрузку, находясь в жидком состоянии, или, как любят выражаться материаловеды, в жидкой фазе? Но жидкость не только нагрузки не может нести, она и формы не держит. Если нагреть деталь выше температуры плавления материала, из которого она изготовлена, она расплывется, станет бесформенной, и от нее останутся одни воспоминания. Все это так, и все-таки...

И все-таки задачу решить можно, и ваших знаний по физике вполне достаточно для этого. Но сначала несколько слов в качестве информации к размышлению.

Один из самых перспективных путей развития материаловедения – создание композиционных материалов, или композитов. Они включают в себя два или более материала и приобретают в результате такого объединения новые свойства. Типичный пример композита – железобетон (бетон, армированный металлическими прутьями), в котором объединяются свойства бетона и стали. Или материал, полученный из порошков меди и графита, обладающий наряду с хорошей электропроводностью малым трением, что позволяет использовать его для скользящих контактов. Сегодня создано множество самых разнообразных композитов, их число с каждым годом растет, и это позволяет успешно справляться с решением проблем, ранее считавшихся неразрешимыми. Поэтому при анализе конкретных задач всегда полезно продумать вариант с применением композитов. Вот, пожалуй, и вся необходимая нам материаловедческая информация.

Что? У вас мелькнула мысль? Вы считаете, что если сделать композит из двух компонентов, один из которых легкоплавкий, а другой тугоплавкий, то такой материал сможет работать при температуре более высокой, чем температура плавления легкоплавкого компонента? Но не выше же температуры плавления тугоплавкого компонента! Должен вас огорчить. Я имел в виду работу материала именно при температурах больших, чем температура плавления самого тугоплавкого компонента. Ну, не

готовы ли вы заявить, что это из области фантастики? Нет, это вполне реально. Такие материалы существуют, они успешно применяются в новой технике.

Что же это за материалы? Их называют псевдосплавами. Сегодня в космической технике широко используют псевдосплавы вольфрам – медь, вольфрам – серебро, молибден – медь и другие. Прежде чем рассказать, как они устроены и работают, давайте вспомним кое-что из школьной физики.

При изучении агрегатных состояний вещества вы узнали, что процесс плавления чистых кристаллических веществ происходит при постоянной (для данного давления) температуре $T_{пл}$, называемой температурой плавления. Плавление твердого тела может происходить, только если к нему непрерывно подводить тепло. Количество теплоты, которое необходимо подвести для плавления к единице массы твердого тела при постоянной температуре $T_{пл}$, называется удельной теплотой плавления λ . Подобным образом происходит кипение жидкости. Температура жидкости и сосуда, в котором она кипит, не повышается, однако все время жидкость превращается в пар. Количество теплоты q , необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар при температуре кипения $T_{кип}$, называется удельной теплотой испарения (или парообразования).

Почему в процессе плавления и кипения температура не повышается? Потому что подводимое извне тепло тратится на увеличение внутренней энергии кристаллов (при плавлении) и жидкости (при кипении). Внутренняя энергия жидкости больше внутренней энергии кристалла, а внутренняя энергия пара больше внутренней энергии жидкости. Когда не существовало холодильников, люди в жару хранили воду в пористых сосудах. Вода медленно просачивалась сквозь поры, испарялась с наружных стенок, охлаждая стенки сосуда и его содержимое...

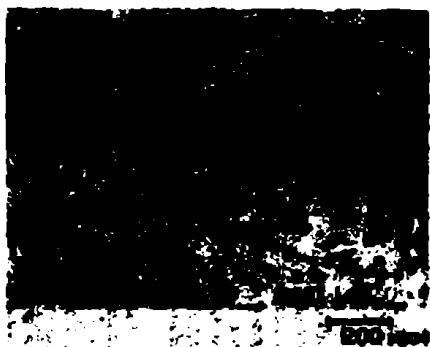
Внимание! Вот он, ключ к решению задачи. «Осознай то, что уже знаешь...» Ведь это же нам давно известно: плавящиеся твердые тела и испаряющиеся жидкости отбирают тепло у соприкасающихся с ними тел. Этот эффект и лежит в основе работы псевдосплавов, используемых при высоких температурах.

Представьте себе, что нам нужно изготовить сопло ракетного двигателя. Температура газов, образующихся при сгорании твердого топлива и истекающих из сопла, достигает 4000°C . Это выше, чем температура плавления самого тугоплавкого металла – вольфрама (3380°C). Что же сделать, чтобы сопло из вольфрама могло надежно работать при таких температурах?

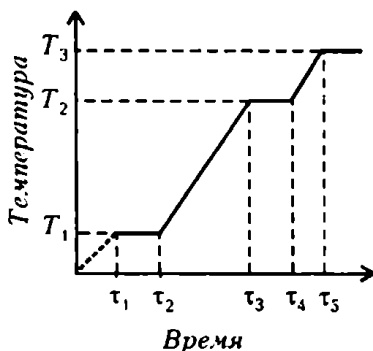
Давайте поступим так. Изготовим сопло не из сплошного, монокристаллического, а из пористого вольфрама. Это можно сделать методами порошковой металлургии, когда вольфрамовый порошок прессуют и спекают. В результате таких операций получают вольфрам в виде пористой губки. Изменяя режимы прессования и спекания, можно регулировать количество и размеры пор. Далее этот пористый вольфрам надо пропитать легкоплавким металлом – медью или серебром. То, что получится, и будет псевдосплав вольфрам – медь или вольфрам – серебро.

Почему он называется псевдосплавом? Потому что это не настоящий сплав, у которого кристаллическая решетка состоит из разнородных атомов. Здесь перемешивания компонентов на атомном уровне не происходит. Вольфрам с медью или серебром не растворяются друг в друге, их невозможно сплавить, а можно только механически смешать. В данном случае мы получили псевдосплав со структурой, представляющей собой вольфрамовый каркас, поры которого заполнены медью (серебром).

Что же будет происходить с таким материалом при нагревании? Приближенная картина, например в псевдосплаве вольфрам – медь, будет такой. Вначале температура композита станет расти (см. рисунок) – до тех пор, пока не достигнет температуры плавления меди ($T_1 = 1083^\circ\text{C}$). Подвод тепла к псевдосплаву не вызовет повышения его температуры в течение времени, определяемого интервалом ($\tau_1; \tau_2$). После того как вся медь расплавится, температура псевдосплава вновь начнет повышаться. Но при температуре кипения меди $T_2 = 2595^\circ\text{C}$ вновь произойдет остановка, и пока вся медь не испарится, температура псевдосплава не повысится (интервал времени ($\tau_3; \tau_4$)). Температура газов, об-



Фотография типичной микроструктуры псевдосплава. На сером фоне вольфрамового каркаса видны медные включения неправильной формы.



разующихся при сгорании топлива, может превышать температуру плавления вольфрама, но он плавиться не будет, потому что у него отнимет тепло кипящая медь, температура которой ниже температуры плавления вольфрама. Конечно, сколько угодно долго такое положение сохраняться не будет. После того как вся расплавленная медь перейдет в пар, температура псевдосплава вновь начнет повышаться, и, когда она достигнет значения T_3 , равного температуре плавления вольфрама (3380°C), материал расплавится. Собственно говоря, расплавится не псевдосплав (его уже фактически не будет), а вольфрамовый каркас, который без меди работать при такой температуре не может. Вольфрам оказывается сильным до тех пор, пока есть у него пусть более слабый, но верный друг – медь, способная принести себя в жертву, испариться до последнего атома, чтобы облегчить судьбу своего друга.

Однако для дружбы между материалами, как и между людьми, нужна совместимость. Например, в высокотемпературных псевдосплавах хорошими друзьями вольфраму оказываются медь или серебро, но плохими – никель или железо. Дело в том, что медь и серебро отдают себя в жертву, не причиняя вольфраму вреда, а никель и железо не согласны погибать в одиночку. С повышением температуры они начинают интенсивно разъедать вольфрам. От этого резко падает прочность каркаса, он становится неработоспособным. Теперь давайте прикинем, что эффективнее отнимает тепло у материала – плавление или испарение. Очевидно, тот процесс, который требует больших затрат тепла для протекания. Найдем в справочнике, чему равны удельные теплоты плавления и испарения. Для подавляющего большинства материалов затраты на испарение 1 грамма вещества оказываются во много раз больше, чем на плавление. Например, для воды $\lambda = 335$ Дж/г, а $r = 2260$ Дж/г, для меди $\lambda = 176$ Дж/г, а $r = 5240$ Дж/г. Таким образом, основную работу по спасению вольфрама от расплавления медь выполняет при своем испарении. Оно должно идти все время, пока материал находится в зоне мощных тепловых потоков.

На самом деле в псевдосплавах происходят более сложные процессы, чем те, что я обрисовал. Но это уже частности. Важно, что мы нашли принципиальный путь решения задачи. Мы заставили материал работать в среде, температура которой выше температуры его плавления.

Оказывается, и невозможное возможно.

А.Штейнберг

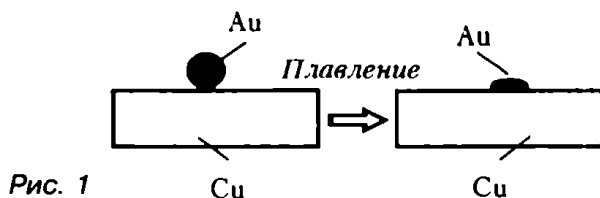
По крупницам собирают археологи и историки сведения об этрусках – таинственном древнем народе, некогда заселявшем большую часть современной Италии. Примерно к середине первого тысячелетия до н. э. их цивилизация достигла культурного и экономического расцвета. Грозную силу представляли собой этрусские города и в военном отношении. Но после изгнания в 510 году до н. э. этрусских царей из Рима у этрусков в Италии появились в лице римлян опасные соперники. Длительные войны закончились через несколько столетий покорением этрусков, и в начале нашей эры они полностью растворились в пестрой массе народов Римской империи. От них остались лишь немногочисленные надписи на до сих пор не расшифрованном окончательно языке, отдельные памятники выдающегося развития ремесел и искусств и скудные сообщения римских авторов...

При раскопках городов Этрурии археологам удалось найти самые разнообразные свидетельства высокого уровня развития угасшей цивилизации. Всеобщее восхищение вызвали ювелир-



Опубликовано в «Кванте» №2 за 1986 год.

ные изделия этрусков и среди них в первую очередь так называемые гранулированные украшения – подлинные шедевры безымянных мастеров. Они представляют собой медные пластинки со сложными узорами, выложенными тысячами мельчайших (диаметр около 0,2 мм) золотых шариков. Ни у одного другого



народа гранулированные изделия не достигали такой высокой степени совершенства.

К концу первого тысячелетия н. э. искусство изготовления подобных украшений было окончательно забыто. Только в XIX веке исследователи предприняли попытки восстановить секреты техники, но – безрезультатно. Долгое время никто не мог объяснить, как можно прикрепить золотую крупинку к медному основанию, не расплавляя ее при этом. Если бы крупинка расплавилась, капля жидкого золота растеклась бы по меди (рис.1). При охлаждении растекшаяся капля приварилась бы «намертво», но был бы утрачен изысканный внешний вид изделия. Секрет был раскрыт только в 1933 году. Технология оказалась совсем не простой, и чтобы ее понять, надо предварительно вспомнить явление диффузии.

Диффузией называется проникновение атомов (или молекул) одного вещества в другое. В жидкостях этот процесс можно наблюдать непосредственно. Капнем в воду каплю чернил. В первый момент капля будет иметь четко очерченные контуры. С течением времени они будут все больше и больше расплываться, пока обе жидкости полностью не перемешаются, а капля, как таковая, не исчезнет. Почему это происходит?

Прежде чем ответить, вспомним один очень известный эксперимент. В 1827 году ботаник Броун наблюдал беспорядочное движение частичек цветочной пыльцы в воде. Частички были достаточно малы (их характерный размер около 0,005 мм), и для наблюдений использовался микроскоп. «Маршруты» частичек не подчинялись никакой системе и были столь причудливы, что Броун вначале принял это движение за какое-то особое проявление жизни. Правильно броуновское движение было объяснено полвека спустя. Молекулы воды постоянно находятся в хаоти-

ческом движении. Это они «бомбардируют» с разных сторон огромную (по сравнению с самими молекулами) частицу пыли, заставляя ее двигаться случайным образом. Поэтому броуновское движение может служить наблюдаемым доказательством невидимого даже под микроскопом движения молекул.

А теперь вернемся к капле чернил в стакане воды. И молекулы воды, и молекулы чернил беспорядочно перемещаются. Некоторые из молекул воды проникают в чернила, а некоторые молекулы чернил – в воду, т.е. происходит взаимная диффузия обеих жидкостей, в результате которой и расплывается капля.

Мы также регулярно наблюдаем диффузию в газах. Именно ей мы обязаны тем, что чувствуем запахи веществ, находящихся от нас на расстоянии. Диффузионные процессы могут протекать и в твердых телах, но там они происходят слишком медленно, чтобы быть заметными при комнатной температуре. Однако с ростом температуры движение молекул (или атомов) становится более интенсивным. (В частности, капля чернил в горячей воде расплывается быстрее, чем в холодной.) Поэтому при длительном выдерживании твердых тел при высоких температурах можно воочию убедиться, что диффузия протекает и в них. Впервые это удалось сделать в 1896 году английскому металлургу Робертсу-Аустену. Он прижал друг к другу золотой диск и свинцовый цилиндр и поместил их на 10 дней в печь, где поддерживалась температура 200 °С. Когда печь открыли, разъединить диск и цилиндр оказалось невозможно. За счет диффузии золото и свинец буквально «проросли» друг в друга. Сегодня такая технология соединения деталей хорошо известна и носит название диффузионной сварки.

Так может быть именно этим способом этруски крепили золотые шарики к меди? От этого предположения приходится сразу отказаться. Прежде всего, процесс диффузионной сварки следует производить в вакууме (иначе содержащийся в воздухе кислород успеет окислить медь и изделие покроется слоем черной окалины); кроме того, диффузионная сварка требует довольно

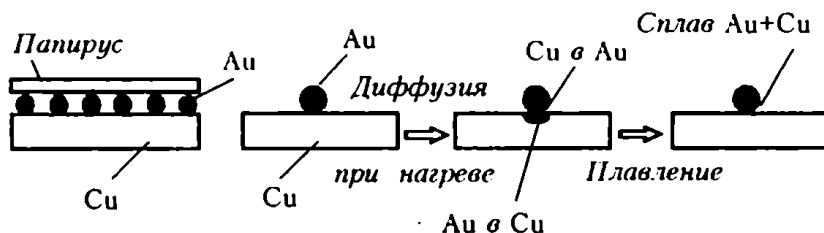


Рис. 2

долгой выдержки при высоких температурах.¹ Обеспечить выполнение этих условий этруски не могли.

Наиболее правдоподобной представляется иная версия этрусской технологии. Сначала узор из золотых шариков приклеивался к листу папируса, который затем накладывался на медную основу шариками вниз (рис.2). Затем драгоценный «бутерброд» постепенно нагревали. Во время нагрева успевала произойти незначительная диффузия золота в медь и наоборот. В результате в чрезвычайно узкой зоне контакта шарика и пластины образовывался медно-золотой сплав.

Температура плавления чистого золота 1063 °С, чистой меди 1083 °С, а сплавы золота с медью плавятся при более низких температурах. Например, сплав, состоящий из равного количества атомов золота и меди, плавится уже при 910 °С. Именно это обстоятельство является ключевым для разгадки секрета ювелиров Этрурии. Они повышали температуру до того предела, что расплавлялась только зона образовавшегося сплава, а сами золото и медь оставались в твердом состоянии. При последующем охлаждении расплав затвердевал, и крупинка, практически не потеряв своей сферической формы, приваривалась к основанию из меди. Этот процесс одновременно происходил во всех крупинках, и весь приклеенный к папирусу узор оказывался как бы «сведенным» (по аналогии с переводными картинками) на медь. Папирус при столь высоких температурах сгорал дотла, и изделие было готово. Медь окислиться не успевала, так как процесс происходил достаточно быстро и значительную часть кислорода принимал на себя при сгорании папирус.

Древние ювелирные секреты и сегодня разгаданы не до конца. Остается неясным, например, как этрускам удавалось изготавливать мельчайшие золотые шарики. Но более всего удивляет то, как вообще сумели мастера далекого прошлого выработать столь изощренную технологию. Какой удивительной комбинации случая, опыта и прозрения обязаны этруски своему открытию? Может быть, это когда-нибудь станет известным, а пока мы можем лишь воздать должное исчезнувшему народу и повторить слова древнеримского историка Гая Саллюстия: «Чего люди сумели добиться, возделывая землю, плавя металл и возводя строения, зависит от их духовной силы».

¹ Робертсу-Аустену повезло, что объектами его опытов были свинец и золото. Эта пара металлов является одним из рекорсменов по темпам диффузии. В иных случаях (другие металлические пары) при столь низкой температуре, как 200 °С, для диффузионной сварки не хватило бы и месячной выдержки.

А.Штейберг

Вы включаете магнитофон, но вместо музыки раздаются малопонятные хрипы. В мастерской слышите стандартный диагноз: износ магнитной головки. От длительного контакта с лентой она истерлась и не обеспечивает качество воспроизведения. Наверное, многим знакома эта ситуация. А теперь представьте себе рекламу: «Покупайте магнитофоны с головками из металлического стекла!». Скорее всего, сочетание слов «металлическое стекло» покажется вам странным. Но можете смело довериться совету рекламы – в широком ассортименте полезных свойств металлических стекол (иногда их еще называют аморфными металлами) числится и повышенная сопротивляемость износу.

Что же это такое – металлическое стекло? Стекло (обычное, а не металлическое) известно человеку давно. В огне оказалась подходящая по составу песчаная смесь, расплавилась, затем застыла и... получилось стекло. Произошло это около шести тысячелетий назад, и с тех пор область применения стекла постоянно расширялась. Но только в нашем веке стали раскрываться его секреты.

Хорошо известны два «плотных» состояния вещества: жидкое и кристаллическое. Их внешней непохожести соответствует не менее серьезное различие в атомном строении. В жидкости атомы расположены друг относительно друга более или менее случайно, а в кристалле их расположение строго упорядочено. Одинаковые атомы расположены наподобие узлов пространственной решетки, которая называется кристаллической. Разные вещества имеют свои характерные формы кристаллических решеток.

Если кристалл нагреть выше точки плавления, он расплавится и превратится в жидкость. Если расплав охладить ниже точки плавления – он вновь закристаллизуется. При этом атомы как будто «чувствуют» приближение критического момента, когда

надо перестроиться и из жидкостного беспорядка «организовать» строгий кристалл. Все происходит так, словно дана команда «становись!» и атомы-солдаты по одному занимают свои места, выстраиваясь в определенном порядке. И как бы «исполнительны» не были атомы, на «построение» все-таки требуется какое-то время. Самый известный пример кристаллизации – образование льда из воды при 0 °С. Точно так же ведут себя при своих температурах плавления все металлы, их сплавы и тысячи других веществ. Однако иногда события развиваются по необычному сценарию.

Жизнь атомов – это постоянное движение. Но их подвижность быстро падает с понижением температуры. Этим обстоятельством можно воспользоваться. Представим себе, что какой-то многорукий монстр схватил все атомы жидкости и удерживает их на месте, пока расплав не охладится до температуры ниже температуры плавления, и лишь после этого отпускает. Тогда перестроиться в кристалл атомам уже не удастся. Они так и останутся в беспорядке. Сама жидкость при этом загустеет и станет твердой. Такой материал и называется стеклом.¹

Держать атомы, конечно, нереально. Но зато можно быстро охладить жидкость. Тогда при высоких температурах (температурах плавления) атомы перестроиться не успевают, а при низких – будет уже поздно. Вспомните одну из детских игр. В ней все играющие должны остаться в положении, в котором их застала команда «замри». Иногда оно бывает мучительно неестественным. Резкое охлаждение – приказ «замереть» для атомов. В отличие от людей, атомы могут находиться в «неудобных» положениях годами, веками, тысячелетиями. И если играющих оживляет команда «отомри», то атомы пробуждаются к жизни повторным нагревом.

Но что значит «быстро охладить»? Для каждого вещества ответ свой. Для смеси соды и песка «быстро» означает уменьшение температуры на доли градуса в секунду. Такая скорость охлаждения достигается при естественном остывании расплавленной массы. Именно поэтому и сумели наши далекие предки открыть обычное стекло. А вот для металлических сплавов «быстро» – это действительно быстро. Оценки показали: чтобы не дать жидкому металлическому расплаву закристаллизоваться, его надо охлаждать со скоростью миллион градусов в секунду! Разумеется, температура горячего расплава не миллион

¹ Стекла относятся к более общей группе аморфных веществ – так называются твердые тела, не имеющие кристаллической решетки.

градусов. Такая скорость понижения температуры означает, что охладить расплав, скажем, от 2000 до 1000 °C надо за 10^{-3} с, т.е. за одну миллисекунду. Такова цена «остановки» атомов.

Сама идея быстрого охлаждения отнюдь не нова. Под именем закалки она была известна с древности. Свидетельствует Гомер: «Как погружает кузнец раскаленный топор иль секиру в воду холодную, и зашипит с клокотаньем железо – крепче железо бывает, в огне и воде закаляясь». Однако традиционные способы закалки обеспечивают скорость охлаждения только 100–1000 градусов в секунду. Для наших целей этого слишком мало.

Оставим на время металл и зададимся вопросом: как побыстрее охладить горячий чай? Проще всего налить его из чашки в блюдце. Тепло отдается в основном окружающему воздуху. Увеличивая поверхность соприкосновения с воздухом, мы увеличиваем скорость охлаждения. Чем более плоское блюдце мы выберем, тем быстрее остынет чай (конечно, при его неизменном объеме). Наконец, можно просто вылить чай на стол. В результате растекания жидкости площадь ее поверхности еще больше возрастет. Правда, для чаепития этот прием мы рекомендовать не станем, зато в быстром остывании можете не сомневаться.

Итак, первый вывод: для увеличения скорости охлаждения следует максимально увеличить площадь поверхности контакта с теплоотводящей средой, в данном случае – с воздухом.

Но воздух отводит тепло сравнительно медленно. Хорошими проводниками тепла по справедливости считаются металлы, а из них в первую очередь – медь. В этом мы убеждаемся каждый раз, когда прикасаемся к металлическому покрытию – оно всегда кажется холодным, так как быстро отводит тепло человеческого тела.

Отсюда следует еще одна рекомендация: чай следует разливать не на столе, а на широком металлическом (желательно медном) подносе. Тогда он остынет почти сразу же.

На этом закончим нашу не слишком изысканную «чайную церемонию». Она подсказала конкретный рецепт. Для быстрейшего охлаждения жидкого металла надо создать очень тонкий его слой на медной поверхности (обычно ее называют подложкой).

Первые удачные опыты по сверхбыстрому охлаждению металлической жидкости были произведены в 1960 году. Капля расплавленного металла выстреливается на подложку из меди. (В ранних работах для этого применялась энергия пороховых газов обычного пистолета.) При ударе о медный экран капля расплющивается, моментально охлаждается (скорость охлаждения достигает $10^8 - 10^{10}$ град/с), и с медного «трамплина» в

воздух взмывает крохотная лепешка твердого аморфного металла. В самых тонких местах ее толщина оказывается равной 0,0001 мм.

Существует еще несколько разновидностей метода «расплющивания капли». Главный их недостаток – малая производительность. Да и аморфный металл получается в виде мелкого порошка, а это не всегда удобно для практического использования. Но применение тех же принципов охлаждения позволило создать способы производства непрерывной ленты из аморфного металла. Вот один из возможных вариантов. На вращающийся медный диск льется тонкая струя расплавленного металла. Соприкасаясь с диском, она охлаждается, и с диска сбрасывается уже застывшая аморфная лента.

Внешне металлическое стекло не имеет ничего общего с обычным прозрачным стеклом и ничем не отличается от обычного (кристаллического) металла. Но это – только внешне. Необычному для комнатных температур беспорядочному расположению атомов соответствуют и необычные свойства. Аморфный металл чрезвычайно тверд и прочен. Изготовленные из него магнитные головки во много раз превосходят по сроку службы своих кристаллических собратьев. Да и по чисто магнитным характеристикам преимущество на их стороне. Уже сегодня в разных странах начат выпуск магнитных головок из металлического стекла для видео- и звуковых магнитофонов и для памяти компьютеров.

Высокая твердость аморфных металлов подсказала и другую область их применения. Чрезвычайно практично изготовлять из них режущие инструменты. Нетупящиеся лезвия бритв или не знающие износа наконечники буров – таковы первые шаги на этом пути.

Не менее перспективным представляется и другое замечательное свойство аморфного металла – исключительно высокая коррозионная стойкость. У некоторых стекол она превосходит стойкость нержавеющей стали. Что такое ржавчина – знают, наверное, все. А вот как с ней эффективно бороться – куда более трудный вопрос. Им заняты десятки лабораторий многих стран мира. Один из возможных вариантов решения – создавать на металлической поверхности тонкие аморфные слои. Такая защита будет намного эффективней используемых сегодня для этой цели лаков, красок и т.д. Правда, и создать такой слой намного труднее. В настоящее время это направление активно разрабатывается.

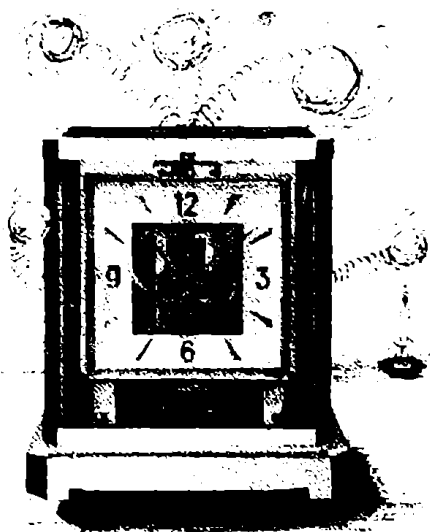
А.Штейнберг

Однажды я увидел часы, которые буквально поразили мое воображение. Запаянные в стеклянный контейнер – этакий домик «без окон, без дверей», – они наглухо изолированы от внешнего мира. На циферблате надпись «Lecoultra» – так называется известная швейцарская часовая фирма. А эта марка часов получила название «вечных». Завести их невозможно, но идут они, не останавливаясь. И никаких батареек, проводов и т.д. Вечный двигатель?! Но мы с вами люди грамотные и знаем, что вечного двигателя быть не может. Энергия как-то должна подводиться к часам. Солнечная батарея? Но часы прекрасно идут и в темноте.

Признаюсь, не раскрыл я секрета «вечных» часов фирмы «Lecoultra». Оказывается, все дело в тепловом расширении. В часах есть баллон с этилхлоридом, который расширением или сжатием очень чутко реагирует на малейшие колебания температуры в помещении. Изменение температуры на 1 градус дает подзавод на 28 часов!

Конечно, это – оригинальное применение теплового расширения. И хотя само явление всем, вероятно, известно, понять, чем оно вызвано, не так просто. Во всяком случае, кое в чем требуется разобраться.

В этой статье речь пойдет в основном о тепловом расширении твердых тел.



Опубликовано в «Кванте» №8 за 1988 год.

Вы, конечно, знаете, что температура связана с движением атомов и молекул, из которых состоят тела. Обычно это объясняется на примере жидкостей или газов. В частности, давление газов на стенки сосуда возникает из-за бомбардировки молекулами. Чем выше температура, тем интенсивнее движение молекул и тем выше давление. И наоборот. Автолюбителям наверняка известно, что при осенне-зимнем похолодании требуется подкачка колес – давление в них падает. Но интенсификация атомного и молекулярного движений при нагревании – общее свойство всех тел, в том числе и твердых. Надо только понять, как именно могут двигаться атомы в твердом теле.

В древности, когда мудрые греки только-только «придумали» атомы, они представляли их в виде шариков. На первый взгляд кажется, что это очень грубая модель. И это действительно так. Но она же оказывается и очень плодотворной.

Большинство твердых тел (в частности, металлических) – кристаллы. Атомы в них расположены в узлах правильной кристаллической решетки. Атомы в решетке упакованы достаточно плотно. Больших промежутков, куда они могли бы проникать при своем движении, нет. Поэтому практически единственный доступный атомам в кристалле способ движения – это колебания возле «родных» узлов.

Часто для описания такого движения атом представляют «болтающимся» в узле на пружинках. Чем выше температура, тем быстрее движется атом, и тем больше он растягивает пружинки в своем движении. Иначе говоря, амплитуда колебаний атомов возле своих узлов возрастает при нагревании. Это – очень важное обстоятельство. Без него тепловое расширение было бы невозможно.

Рассматривая атомы в виде колеблющихся на пружинках твердых шаров, мы без труда объясним тепловое расширение. При колебаниях шары сближаются, и, поскольку они твердые, соседи, сталкиваясь, начинают мешать друг другу колебаться. Но вспомним, что при нагревании амплитуда колебаний должна увеличиться. И чтобы это произошло, атомам необходимо раздвинуться. А это и есть тепловое расширение.

Обратимся теперь к цифрам. Величину теплового расширения твердых тел обычно характеризуют коэффициентом теплового расширения α , который показывает, на сколько удлинится стержень единичной длины из данного материала при нагревании на 1°C . Например, для платины $\alpha = 9,0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Это значит, что при нагревании на 1°C одинметровый платиновый стержень удлинится на 9 микрон.

Можно подумать, что это – ерунда, с которой не стоит даже и считаться. Но не торопитесь. Из-за сезонных колебаний температуры знаменитая Эйфелева башня – «железная мадам» – летом становится на 15 см выше, чем зимой. А все потому, что у железа сравнительно высокий коэффициент теплового расширения: $\alpha = 12,2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. А как вы отнесетесь к тому, что из-за теплового расширения поршней заклинит двигатель автомобиля? Или изменится калибр орудийного ствола? Или хоть немного нарушится соответствие в размерах деталей какого-нибудь сложного и тонкого механизма? Поэтому понятно, как важно иметь материал с возможно более низким коэффициентом теплового расширения. Платина (а еще лучше платино-иридиевые сплавы с $\alpha = 8,3 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$) выглядит в этом смысле очень привлекательно. Не случайно эталоном длины долгое время служил платино-иридиевый метр. Но сами понимаете – тут недолго и разориться. А не существует ли какой-нибудь сплав подешевле и с еще меньшим коэффициентом теплового расширения?

В 1896 году во Франции был придуман сплав из железа и никеля с удивительно низким коэффициентом теплового расширения – около $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Его назвали инваром (от латинского *invariabilis* – неизменный). Впервые инвар был применен в 1899 году для изготовления эталона длины дуги земного меридиана, определенной русско-шведской экспедицией на полярном архипелаге Шпицберген. При доставке в более теплую Европу длина инварного эталона почти не изменилась.

Механизм инвариности был понят намного позднее и оказался очень непростым. Здесь мы постараемся объяснить только идею.

Еще в прошлом веке было открыто явление магнитострикции, состоящее в изменении размеров тела при его намагничивании, которое обычно происходит при поднесении магнита извне. Однако существует группа материалов, которые намагничиваются самопроизвольно (без внешнего магнита) при изменении температуры. К ним, в частности, относится и железо: при его остывании намагничивание начинается с температуры 769°C и продолжается при дальнейшем охлаждении. Такое намагничивание также сопровождается магнитострикционным эффектом. Остается лишь подобрать материал, в котором бы тепловое расширение и магнитострикция друг друга компенсировали. В этом и состоит секрет инваров!

Название этой статьи подсказано детективным сюжетом, с которым терпеливый читатель познакомится в самом ее конце. А пока займемся вещами, весьма далекими от криминалистики, и поговорим о том, как можно определить химический состав вещества, т.е. узнать, какие элементы и в какой пропорции присутствуют в образце.

Из курса химии вы знаете, что это можно сделать с помощью характерных для веществ и элементов химических реакций, методами так называемой «мокрой химии». Однако в некоторых случаях применение этих методов встречается с серьезными трудностями. Например, когда требуется произвести химический анализ очень мелкого по размерам образца или когда необходима исключительно высокая точность анализа многих элементов одновременно. Скажем, может потребоваться выявить один «инородный» атом среди миллиона или ста миллионов других и определить, какого он сорта.

И такие ситуации отнюдь не умозрительны. Они, в частности, возникают в современной технологии полупроводников. Все чаще и чаще говорят, что вслед за веком каменным, бронзовым и железным наступил век кремния. Кремний составляет основу миниатюрных интегральных схем, без которых невозможна сегодняшняя электроника. А их свойства резко зависят даже от невероятно малых содержаний примесей. Без умения определять состав мелких образцов кремния с очень высокой точностью невозможен прогресс в разработке новых поколений компьютеров.

Уже примерно 100 лет известно, что самыми эффективными методами химического анализа часто оказываются физические методы. И среди них настоящим рекордсменом по чувствительности является нейтронный активационный анализ (НАА). Чтобы объяснить его принцип, мы вначале напомним, как устроено атомное ядро.

Опубликовано в «Кванте» №5 за 1989 год.

Атомное ядро состоит из положительно заряженных протонов и электрически нейтральных нейтронов. Количество протонов определяет заряд ядра и служит его главной характеристикой. Одни элементы отличаются от других прежде всего количеством протонов в ядре. У первого элемента таблицы Менделеева – водорода (H) – в ядре один протон, у второго – гелия (He) – два и т.д. Ну, а сколько в ядре нейтронов? Оказывается, в ядрах одного и того же элемента может содержаться разное число нейтронов. Ядра с одним и тем же количеством протонов, но разными количествами нейтронов называются изотопами. Поясним сказанное примером. В ядре гелия всегда два протона. А нейтронов может быть 1, 2, 4 или 6, т.е. имеются четыре изотопа гелия: ^3He , ^4He , ^6He , ^8He (индекс указывает суммарное число протонов и нейтронов). Рекордное число изотопов – 10 – имеет олово, 9 изотопов – у ксенона, 8 – у кадмия и теллура и т.д. В природе разные изотопы распространены неравномерно. Как правило, львиную долю (90% и более) всех природных запасов элемента составляет один-единственный изотоп.

Химические свойства разных изотопов совпадают. А вот физические могут отличаться и очень заметно. Например, за счет «лишних» нейтронов атомные веса разных изотопов элемента различны. Но главное для нас не это. Большая группа изотопов обладает удивительным свойством – радиоактивностью. Они являются источниками излучения, которое нельзя увидеть или почувствовать, но которое можно зарегистрировать с помощью специальных приборов – детекторов излучения. Самые простые из них – фотопластинка и счетчик Гейгера. Мы не будем углубляться в вопрос о природе излучения. Он сложен и выходит за рамки этой статьи. Но для наглядности вы можете представить себе излучение как поток невидимых частиц.

Излучение каждого радиоактивного изотопа в высшей степени специфично. Это – его индивидуальный портрет, неповторимый, как отпечатки пальцев человека. Самыми характерными штрихами в этом портрете являются энергия излучения (для нас – энергия частиц) и период полураспада. Что такое период полураспада, объяснить сравнительно несложно. С помощью детектора можно не только зарегистрировать излучение, но и измерить его интенсивность, т.е. определить, сколько частиц падает на единицу площади в единицу времени. Чем больше интенсивность, тем выше окажется степень почернения фотопластинки, тем чаще будет щелкать счетчик Гейгера и т.д. Периодом полураспада изотопа (обозначим его T) называется время, за которое интенсивность его излучения ослабевает вдвое. За это

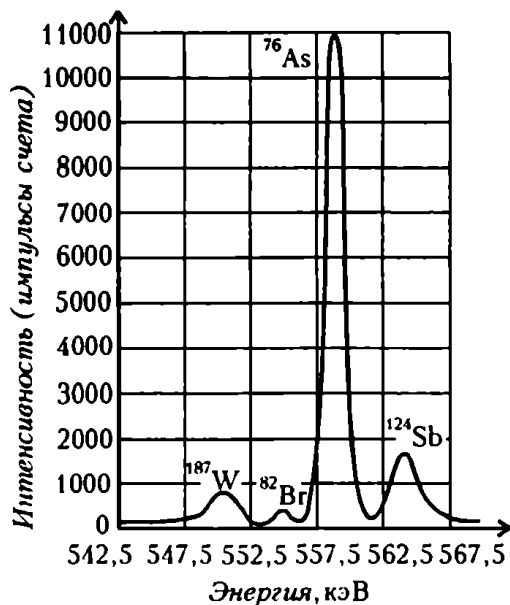


Рис. 1

время половина первоначально радиоактивных ядер превращается в нерадиоактивные (как говорят, стабильные). Периоды полураспада у разных изотопов различные – от долей секунды до миллионов лет. Специальные детекторы не просто измеряют интенсивность излучения, но и строят его спектр – график зависимости интенсивности излучения от его энергии. Пример такого спектра приведен на рисунке 1. Резкие «всплески» интенсивности – их называют лини-

ями спектра – соответствуют излучениям разных изотопов. Каждую линию с помощью заранее составленных таблиц легко связать со «своим» изотопом (именно так и «распознали» изотопы, указанные на рисунке). Построение спектра излучения, таким образом, решает задачу качественного химического анализа образца, т.е. позволяет определить, из каких радиоактивных элементов он состоит.

То, что мы до сих пор рассказали, должно было убедить вас в одном: если бы образцы состояли из радиоактивных изотопов, то определить их качественный состав по спектрам было бы сравнительно несложно. Но вот беда – «нормальные» образцы состоят из природных нерадиоактивных изотопов. Поэтому для проведения анализа их надо активировать, т.е. сделать радиоактивными. Существуют разные способы активации. Проще всего «обстрелять» образец в реакторе нейтронами. Они электрически нейтральны, поэтому могут внедриться в положительно заряженное ядро, в результате чего нерадиоактивный (стабильный) изотоп может стать радиоактивным.

По спектрам излучения можно провести не только качественный анализ, но и количественный – узнать, сколько атомов того или иного изотопа присутствуют в образце. Дело в том, что интенсивность излучения изотопа прямо пропорциональна количеству его ядер. Имея эталоны (т.е. образцы с заранее известным

содержанием анализируемого элемента), можно, активировав их, построить график этой зависимости. А измеряя интенсивность излучения данного изотопа в исследуемом образце, который активировался вместе с эталоном, легко по графику определить содержание этого изотопа. В этом и состоит метод нейтронного активационного анализа – НАА.

В таблице приведен список элементов, содержание которых в кремнии очень важно знать. Там указаны природные (стабильные) изотопы, детектируемые радиоактивные изотопы со своими периодами полураспада и чувствительность НАА для них (т.е. минимальная концентрация, при которой элемент может быть обнаружен). В 1 см³ кремния содержится примерно 10²³ атомов, так что вы сами можете убедиться в рекордных возможностях НАА.

Основной природный изотоп	Детектируемый изотоп	T	Чувствительность, атом/см ³
²³ Na	²⁴ Na	15 часов	1 · 10 ¹²
³⁹ K	⁴² K	12,4 часа	1 · 10 ¹³
⁵² Cr	⁵¹ Cr	27,7 суток	5 · 10 ¹²
⁵⁶ Fe	⁵⁹ Fe	44,6 суток	1 · 10 ¹⁴
⁵⁹ Co	⁶⁰ Co	5,27 года	2 · 10 ¹¹
⁶³ Cu и ⁶⁵ Cu	⁶⁴ Cu	12,7 часа	2 · 10 ¹²
⁶⁴ Zn	⁶⁵ Zn	244 суток	1 · 10 ¹³
⁷⁵ As	⁷⁶ As	26,3 часа	1 · 10 ¹⁰
⁸⁰ Br	⁸² Br	35,3 часа	5 · 10 ¹⁰
⁹⁸ Mo	⁹⁹ Mo	66,2 часа	1 · 10 ¹¹
¹⁰⁸ Ag	¹¹⁰ Ag	252 суток	2 · 10 ¹¹
¹²² Sb	¹²⁴ Sb	60,4 суток	5 · 10 ¹⁰
¹⁸¹ Ta	¹⁸² Ta	115 суток	1 · 10 ¹⁰
¹⁸⁵ W	¹⁸⁷ W	23,9 часа	2 · 10 ¹¹
¹⁹⁷ Au	¹⁹⁸ Au	2,7 суток	2 · 10 ⁹
²⁰² Hg	²⁰³ Hg	47 суток	1 · 10 ¹¹

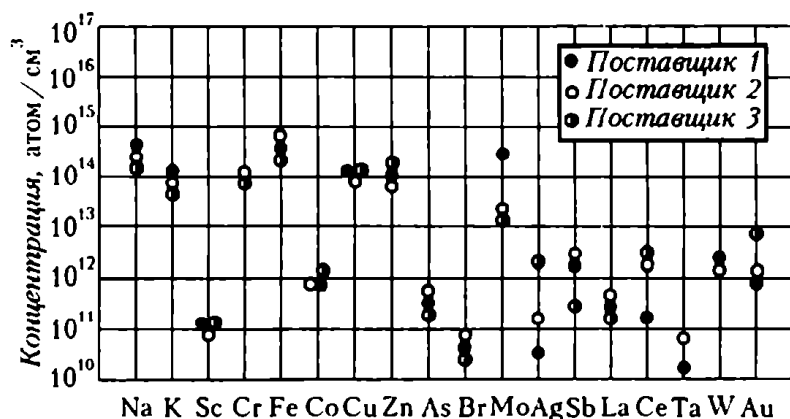


Рис. 2

На рисунке 2 приведены данные по содержанию примесей в кремнии, полученные методом НАА в трех различных американских фирмах, поставляющих этот материал в электронную промышленность. Сравнительно высокие концентрации некоторых элементов, в частности железа и хрома, требуют проведения дополнительной очистки кремния перед приготовлением интегральных схем. А иначе... компьютер не заслужит вашего доверия.

И в заключение – обещанный детективный сюжет.

13 мая 1958 года в канадском городке Эдмундстоне, расположенном около канадо-американской границы, был обнаружен труп 16-летней девушки Гаэтаны Бушар. Подозрения, на основании косвенных улик, пали на американца Джона Фоллмена, который часто приезжал по делам в Эдмундстон. Тот, однако, категорически отрицал свою причастность к преступлению. Следствие остро нуждалось в прямых доказательствах. Тщательный осмотр трупа Бушар установил, что в руке девушки остался зажатый единственный волосок. Он мог принадлежать либо ей, либо убийце. Можно ли по одному волоску точно идентифицировать личность его хозяина? Такой вопрос полицейские поставили перед специалистом по НАА Робертом Джерви. Для ответа тому пришлось выполнить специальное исследование. Основная идея состояла в том, что для волос каждого человека характерен свой неповторимый набор и концентрация микроэлементов. Ни одному методу, кроме НАА, задача идентификации человека по волосам была не под силу. В результате кропотливой работы удалось доказать, что найденный волосок действительно принадлежит Фоллмену, и это стало решающим доказательством его вины.

Дж. Уокер

Светофоры в небольшом городке обычно не требуют особо строго регулирования. Транспортный поток через систему светофоров может быть случайным, но очереди при красном свете редко бывают длинными. А вот в большом городе, особенно в часы пик, тщательная регулировка необходима. Без нее «хвосты» машин вытягиваются и блокируют перекрестки, создавая то, что называют пробкой, и для освобождения машин из плена могут потребоваться часы.

Предположим, что вы должны спроектировать систему светофоров для улицы с односторонним движением, состоящей из нескольких полос. Каждый светофор дает зеленый свет в течение 50 секунд, желтый – 5 секунд и красный – 25 секунд (типичный светофор для городского участка с плотным движением). У вас может возникнуть искушение увеличить время горения зеленого сигнала и уменьшить время красного, чтобы «поддерживать» поток движущегося транспорта. Однако надо помнить, что движение на перпендикулярных улицах нельзя сдерживать слишком долго, иначе там образуются длинные очереди.

Как же рассчитать время включения зеленых сигналов на перекрестках? Ясно, что если вы будете включать все зеленые сигналы одновременно, то движение будет возможно только 50 секунд. При каждом включении зеленого света потоки машин будут двигаться по улице, пока все светофоры не переключатся на красный. Чтобы проехать как можно большее расстояние, у водителей возникает желание гнать машины. Большие потоки машин, мчащиеся со скоростью, скажем, 55 миль в час (≈ 90 км/ч) по улицам плотно населенного города, будут напоминать автомобильные гонки и явно будут опасны.

Лучше и безопаснее проект, в котором светофор на каждом перекрестке не переключается на зеленый свет, пока не приблизятся передние машины группы от предыдущего перекрестка.

Предположим, например, что группа машин находилась на перекрестке I и движется к перекрестку II. Через какое время после включения зеленого сигнала на перекрестке I должен быть включен зеленый свет на перекрестке II? Пусть d – расстояние между двумя перекрестками и v_r – скорость, которую, по вашему мнению, должна иметь группа машин (возможно, предел скорости). Требуемая временная задержка включения зеленого света на перекрестке II равна d/v_r . Если расстояния между перекрестками одинаковы, задержка зеленого сигнала от одного перекрестка до другого всегда равна d/v_r , и водители, двигающиеся со скоростью v_r , проедут через всю систему светофоров без остановок. Схема работает так же хорошо, если расстояния между перекрестками различны. Вы просто учитываете нужные значения d , чтобы определить временную задержку для зеленого сигнала на данном перекрестке. Гнать машину со скоростью, большей v_r , через такую систему светофоров бесполезно, так как придется останавливаться на красный свет.

Схему несколько меняют два фактора. Лидер группы должен видеть включение зеленого сигнала до того, как он подъедет к перекрестку, иначе он притормозит, боясь проехать на красный свет. Учитывая этот фактор, вы должны уменьшить временную задержку включения зеленого сигнала на несколько секунд. Однако, если бы группа машин остановилась на несколько секунд на красный свет на перекрестке I, передней машине потребовалось бы несколько дополнительных секунд, чтобы отреагировать на включение там зеленого сигнала и набрать скорость. Таким образом, передняя машина не все расстояние между перекрестками движется со скоростью v_r . Этот фактор требует увеличения времени задержки включения зеленого сигнала тоже на несколько секунд. В некоторых случаях эти два фактора могут компенсировать друг друга.

Но и с системой светофоров, работающих с задержкой, движение может застопориться. Проблема заключается в том, что если группа остановилась, а потом при включении зеленого света начала двигаться, автомобили набирают скорость не одновременно, а в порядке очереди. По всей группе машин от лидера идет стартовая волна. (Вы можете измерить скорость стартовой волны, расположившись около остановившейся группы машин. Определите длину группы, умножив число машин на приблизительное среднее расстояние между передними бамперами. Затем измерьте время от включения зеленого сигнала до начала движения последней машины. Скорость стартовой волны – это длина группы, деленная на измеренное время. Обычно она равна

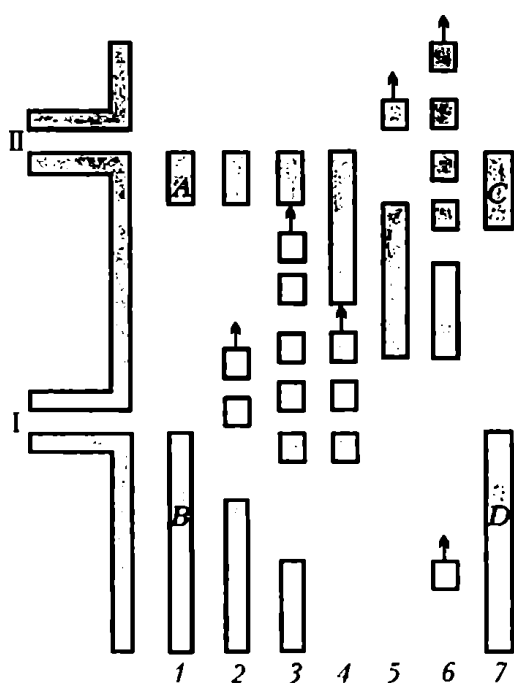


Рис. 1

могут начать удлиняться. Рассмотрим случай, когда на перекрестке II остается хвостовая часть машин, как показано на рисунке 1. Назовем эту часть *A*. В то время как *A* ждет при красном свете, группа *B* на перекрестке I получает зеленый сигнал и начинает двигаться (ситуации 2, 3). Если светофор на перекрестке II отрегулирован на лидера группы *B* (т.е. с учетом того, что его средняя скорость меньше v_1), зеленый свет на перекрестке II задерживается, и передние машины группы *B* подъезжают к «хвосту» группы *A* до того, как первые автомобили группы *A* тронутся с места. Все осложняется еще и тем, что последние машины группы *A* должны ждать, пока до них дойдет стартовая волна.

В результате *A* и *B* объединяются, образуя на перекрестке II новую группу. Она может оказаться слишком длинной, чтобы успеть полностью пройти перекресток II. Пусть *C* – хвостовая часть группы, остановленная следующим красным сигналом светофора на перекрестке II (ситуация 7 на рисунке 1). Если *C* длиннее *A*, ситуация ухудшается. Пока *C* переживает красный свет, от перекрестка I подходит следующая группа (назовем ее *D*). Тогда объединенная из *C* и *D* группа может быть длиннее предыдущего объединения *A* и *B*, и в результате

5 м/с (11 миль в час).) Так что по сравнению с лидером последнему автомобилю приходится не только проехать большее расстояние до перекрестка II, но еще и ждать, пока до него дойдет стартовая волна. Таким образом, при длинном «хвосте» перед светофором последней машине всегда потребуется гораздо больше времени, чтобы доехать до следующего перекрестка.

Если конец группы не успевает проехать на зеленый свет с остальными машинами, последующие группы мо-

следующая хвостовая часть, оставленная на перекрестке II, будет длиннее C .

Если при каждом переключении сигналов новый «хвост», оставленный на перекрестке II, будет длиннее предыдущего, ситуация быстро может стать безнадежной. В конце концов «хвост» становится таким длинным, что тянется до перекрестка I. Предположим, что на этом перекрестке перед красным светофором I стоит группа машин. Получив зеленый свет, они въезжают на перекресток I. Так как эти машины не могут двигаться, пока до них не дойдет стартовая волна от перекрестка II, они находятся на том же месте, когда на перекрестке I загорается красный свет. Водители на перпендикулярной улице не могут проехать на зеленый сигнал своего светофора – перекресток I блокирован. Очереди на боковых улицах удлиняются, блокируются другие перекрестки. Затор быстро распространяется, пока весь район не превратится в одну большую стоянку.

Возникновения пробки можно избежать, если инженер или компьютер вмешается в нормальную последовательность смены сигналов. Допустим, что через систему дистанционных датчиков вы обнаруживаете постепенное накопление автомобилей, скажем, на перекрестке II. Пусть A – задержанная там группа машин в момент нашего вмешательства, а B – группа машин, оставленная на перекрестке I. В зависимости от того, какова длина A , ситуацию можно «разрядить» двумя путями. Можно на обоих перекрестках одновременно дать зеленый свет (но при достаточно длинном «хвосте» A этот путь может и не сработать) или можно включить зеленый светофор на перекрестке II раньше, чем на перекрестке I. Какой путь выбрать? Это зависит от соотношения длины l «хвоста» A и расстояния d между перекрестками.

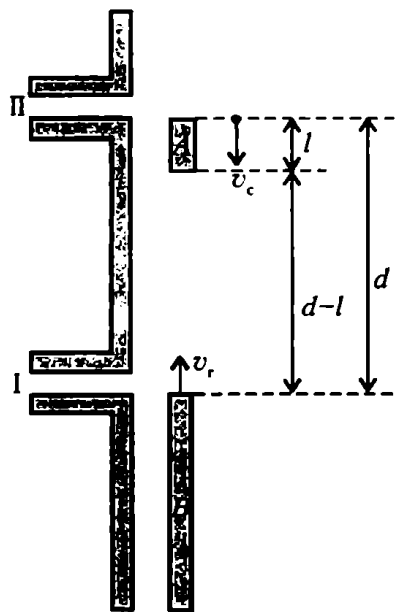


Рис. 2

Если передние машины группы B движутся к «хвосту» A с постоянной скоростью v_r , для прохождения этого отрезка им требуется время $(d - l)/v_r$ (рис.2). Между тем

стартовая волна движется вдоль A со скоростью v_c , и для достижения тыла A ей требуется время l/v_c . Чтобы авангард группы B достиг тыла A в момент, когда те машины начинают двигаться, время между включениями зеленого сигнала светофора на перекрестках I и II должно быть

$$t = \frac{d-l}{v_r} - \frac{l}{v_c} = \frac{1}{v_r} \left(d - l \left(1 + \frac{v_r}{v_c} \right) \right).$$

Если

$$\frac{l}{d} = \frac{v_c}{v_c + v_r},$$

то $t = 0$ – это значит, что при таком соотношении между l и d перекрестки I и II следует «открывать» одновременно. При

$$l > d \frac{v_c}{v_c + v_r}$$

время t оказывается отрицательным, т.е. светофор II должен переключаться на зеленый свет на время t раньше, чем светофор I. Если же

$$l < d \frac{v_c}{v_c + v_r},$$

то первым включается зеленый свет на перекрестке I. При типичных значениях скорости движения 10 м/с (22 мили в час) и скорости стартовой волны 5 м/с одновременное включение зеленого света необходимо при $l/d = 1/3$. Если $l/d > 1/3$, зеленый сигнал на перекрестке II следует включать раньше, чем на перекрестке I.

Можно сказать, что мы нашли скорость, с которой движется по улице «волна» включения зеленых сигналов. Если $l/d < 1/3$, эта волна движется в направлении движения машин и с такой же, как у них, скоростью. При $l/d = 1/3$ зеленый свет включается одновременно на всех перекрестках. Если $l/d > 1/3$, «зеленая волна» движется в направлении, противоположном движению машин.

А.Пятаков

Однажды в ожидании урока я стоял в школьном коридоре и окидывал скучающим взглядом чередующиеся друг с другом темные и светлые ряды паркета, убегающие в дальний конец рекреационного зала. Чтобы как-то убить время, я принялся ходить по темному ряду, стараясь не наступать на соседние ряды. Представьте мое удивление, когда, дойдя до конца зала и повернувшись, я обнаружил, что стою на светлой дорожке!

Решив, что произошла какая-то ошибка, я, став на темную дорожку, снова пересек зал. Дошел до конца, развернулся и... оказался на светлом ряду! В сомнении я упрямо шагнул по залу туда и обратно, пытаясь обмануть паркет. Но он оказался упрямее меня. После тщетной борьбы я остановился посреди зала, пораженный способностью паркета менять свой цвет, как хамелеон. Ошибки быть не могло: впереди меня ряды располагались в одном порядке, а позади – в противоположном. В чем причина столь странного явления?

Оказывается, описанный эффект появляется только при боковом освещении. В этом случае доски способны по-разному рассеивать свет – в зависимости от их ориентации по отношению к окну. И вот почему. Если внимательно приглядеться к поверхности паркетной доски, то можно заметить, что по всей ее длине

тянутся бороздки, или волокна, как их обычно называют (рис.1). Благодаря этим бороздкам по-разному расположенные доски и рассеивают свет по-разному. Как видно из рисунка 2,а, паркетные доски ряда 1 будут казаться светлее до-



Рис. 1

Опубликовано в «Кванте» №4 за 1996 год.

сок ряда 2, так как волокна первых рассеивают свет по направлению к наблюдателю (точка *A*), а волокна вторых – в противоположную сторону. Если же наблюдатель обернется (рис.2,б), то картина будет обратной: второй ряд станет светлее первого.

В правильности этих рассуждений вы можете наглядно убедиться с помощью простого деревянного угольника, держа его при боковом освещении то впереди себя, то позади. К явлениям того же рода можно также отнести образование последовательных темных и светлых полос на свежескошенном лугу или на футбольном поле. При повороте наблюдателя светлые и темные полосы меняются местами. Правда на футбольном поле «дорожки» часто получают искусственно – высеивая различные сорта трав. В этом случае «эффект хамелеона» не наблюдается.

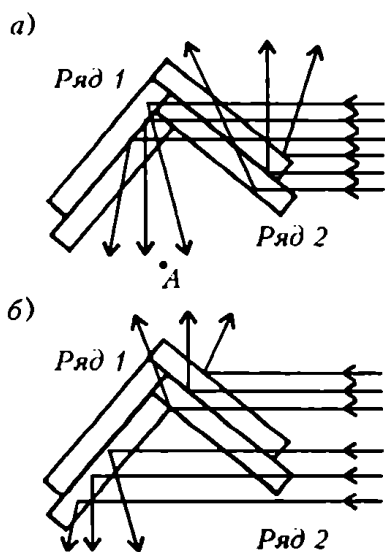


Рис. 2

СПОР О ЛЯГУШКЕ

А. Кикоин

Действующие лица в этом рассказе – итальянские ученые Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта. Время действия – последнее десятилетие XVIII века. Тема рассказа – одно из важнейших открытий в физике за всю историю ее развития. Оно прямо привело к тому, что XIX столетие стало не только веком пара, но и веком электричества.

Началась эта история с того, что в 1791 году профессор анатомии и медицины университета в Болонье Луиджи Гальвани (1737 – 1798) опубликовал свой «Трактат о силах электричества при мышечном движении». Вместе со многими другими читателями с трактатом познакомился другой профессор – профессор физики университета в Павии Алессандро Вольта (1745 – 1827). Между двумя профессорами возник научный спор, длившийся несколько лет, результатом которого и стало упомянутое важное открытие. Даже не одно, а по крайней мере три. Важную роль и в этом споре, и в сделанных открытиях сыграли ... лягушки.

Наука об электричестве в конце XVIII века

О природе электричества к рассматриваемому времени у исследователей были довольно туманные представления, и ни одно из них не было общепринятым и убедительно обоснованным. Более других последователей имели воззрения американского ученого и государственного деятеля Бенджамина Франклина. Он полагал, что «электричество» – это особая жидкость (флюид), содержащаяся в каждом теле в определенном, «нормальном» для этого тела количестве. Процесс электризации тел состоит в том, что часть этого флюида из одного тела передается другому. То тело, которому электрическая жидкость передана и у которого, таким образом, оказался избыток этой жидкости,

Опубликовано в «Кванте» №2 за 1978 год.

Франклин предложил считать положительно заряженным, а другое тело, потерявшее часть электрической жидкости, – отрицательно заряженным. Франклин приписывал электрическому флюиду ряд свойств, которые, по его мнению, объясняли электрические явления. В частности, он отмечал, что отдельные части электрического флюида отталкиваются друг от друга, а в целом электрическая материя очень сильно притягивается к обычной материи.

К рассматриваемому времени были изобретены и широко использовались исследователями устройства, позволяющие накапливать электричество, – электростатические машины и конденсаторы в виде так называемых лейденских банок. Было установлено, что одни тела совершенно не пропускают через себя электрический флюид, а другие пропускают его с разной степенью «податливости» (т.е. сопротивления).

Наконец, были известны характерные явления, сопровождающие электрический разряд, т.е. переход электрической жидкости от одного тела к другому или к земле. Это, во-первых, свечение в виде электрической искры, которую можно извлечь из заряженного тела, причем было убедительно доказано, что молния – это тоже электрическая искра, но грандиозных размеров. Во-вторых, при прохождении разряда через тела животных или человека происходит резкое сокращение мышц, вызывающее ощущение удара, иногда очень сильного и опасного для жизни. Оба эти явления считались надежными признаками электрического характера процессов, при которых они наблюдаются.

Добавим, что к этому времени были изучены и описаны особые органы некоторых рыб (скаты, угри, сомы), способных создавать электрические разряды, вызывающие у жертв нападения совершенно такие же удары, как и разряды лейденских банок или электрических машин.

На сцене появляется лягушка

В таком положении находилась наука об электричестве, когда в 1791 году вышел в свет упомянутый выше трактат Луиджи Гальвани, в котором были описаны опыты, проведенные им в 1780 – 1790 годы.

Наблюдения, сделанные Гальвани, были необычайно трудны для понимания. Первое из них заключалось в следующем. Работая с препарированной конечностью лягушки, Гальвани и его помощники (одним из них, как утверждают некоторые историки, была его жена, и именно она сделала решающее

наблюдение) заметили, что если прикоснуться скальпелем к бедренному нерву лягушки (тем самым заземлив его) в тот момент, когда из стоящей в комнате электростатической машины извлекается искра, то мышцы лягушки начинают резко сокращаться. Явление очень странное, если учесть, что разряд проходил не через тело лягушки и что лягушка была мертвой. Специальный опыт был поставлен Гальвани во дворе во время грозы и дал те же результаты: на каждый грозовой разряд мышцы лягушки исправно реагировали сокращениями, если нерв был заземлен. Этому явлению Гальвани никакого объяснения не дает, да он и не мог его дать.¹

Продолжая свои исследования, Гальвани сделал еще одно, не менее странное, наблюдение. Пытаясь обнаружить влияние на препарированную лягушку атмосферного электричества в тихую погоду, Гальвани подвесил на железную ограду балкона с помощью латунных крючков конечности лягушек. Но теперь сокращения мышц наблюдались только тогда, когда мышцы лягушки специально прижимались к железной ограде так, что создавалась замкнутая цепь: железо – мышца – нерв – латунный крючок – железо. Удивленный этим странным обстоятельством, Гальвани перенес опыты в комнату, где о влиянии атмосферного электричества не могло быть и речи. Здесь, положив препарированную лягушку на серебряную пластинку и прикасаясь к нерву лягушки стальным скальпелем, Гальвани снова обнаруживал резкие сокращения мышц всякий раз, когда нерв (или спинной мозг, откуда он выходит) и мышца соединялись металлическим проводником. Гальвани был достаточно наблюдательным экспериментатором, чтобы заметить и отметить одно обстоятельство: сокращения мышц лягушки особенно сильны тогда, когда нерв и мышца замыкаются парой разнородных металлов.

¹ Дело в том, что в электрической искре и в молнии происходят электрические колебания, которые в виде радиоволн распространяются по всем направлениям. Мышцы лягушки служили, по-видимому, «приемником» таких волн и реагировали на них сокращениями. Однако о существовании этих колебаний стало известно лишь через много десятилетий – в 1859 году. О том, что они распространяются в виде радиоволн, узнали почти через 30 лет после этого – в 1888 году. А еще через 7 лет А.С.Попов использовал радиоволны для целей связи. Кстати, и А.С.Попов своим приемником «ловил» радиоволны от грозовых разрядов (он даже и назывался грозоотметчиком). Препарированные лягушки Гальвани, по-видимому, тоже реагировали на радиоволны от электрических искр и грозовых разрядов. Но разве можно было догадаться об этом в 1791 году?

Один из опытов Гальвани был особенно эффектен. Он держал в руках препарированную лягушку за одну лапку так, что другая касалась серебряной пластинки. Той же пластинки касался латунный крючок, проходивший через спинной мозг лягушки, так что мышца и нерв замыкались через латунь и серебро. При этом мышца лапки, касавшейся пластинки, сокращалась, лапка приподнималась, разрывая цепь, снова падала на пластинку, и все начиналось сначала. Вид «пляшущей» мертвой лягушки вызвал немалое удивление исследователя. От объяснения этого явления Гальвани не отказался, и состояло оно вот в чем.

Сокращения лягушачьей мышцы указывали на то, что процесс имеет электрическую природу. Но откуда взялось электричество? Ведь лягушка не похожа на электрических сомов или угрей, и электрического органа у нее нет. К тому же лягушка мертва. Тем не менее Гальвани высказывает утверждение о существовании особого животного электричества. По мнению Гальвани, внешняя поверхность и внутренняя часть мышцы лягушки (как, впрочем, и всякого другого животного) образуют нечто вроде конденсатора (лейденской банки), который возбуждается (заряжается) действием спинного мозга, передаваемым через нерв. При замыкании через металл «конденсатор» разряжается, по цепи протекает электрическая жидкость (возникает электрический ток, как сказали бы мы теперь), на что мышца и реагирует сокращением. Понятно, что при таком взгляде на вещи совершенно безразлично, замыкается ли цепь одним и тем же металлом или двумя различными металлами. Несколько позже Гальвани дал такое «объяснение» роли разнородности металлов. По мнению Гальвани, животное электричество отличается от обычного. И главное его отличие именно в том, что оно... «более эффективно действует через разнородные проводники».

Ниже мы увидим, что действительно открыл Гальвани, что он не открыл (хотя и мог открыть), в чем он ошибался и в чем он был прав.

Спор о лягушке

Трактат Гальвани вызвал большой интерес. Привлек он внимание и профессора физики университета в Павии Алессандро Вольта, уже известного своими работами по исследованию электрических явлений и своими изобретениями в области электричества. Узнав об опытах Гальвани и несколько не веря в существование животного электричества, Вольта тем не менее

повторил эти опыты. Физик-экспериментатор, он сумел не хуже анатома Гальвани препарировать лягушек, повторить опыты и получить те же результаты, заставившие его сначала даже поверить в животное электричество.

В лекции, прочитанной 5 мая 1792 года, он всячески превозносит Гальвани, восхваляет сделанное им открытие, говорит о его необычайной важности и т.д. Однако чуть позже, 14 мая, в другой лекции Вольты уже спорит с Гальвани, доказывая, что обнаруженное Гальвани явление – чисто физическое, а не физиологическое, что животного электричества не существует и что дело совсем не в лягушке, а именно в двух разнородных металлах, соприкасающихся с ней и замыкающих цепь. В доказательство Вольты описывает свой знаменитый опыт, состоявший в следующем. Два конца двух разных металлических пластин он прикладывал к собственному языку, и когда другие концы пластин соединялись, то ощущался кисловатый вкус, причем действие было не мгновенное, а длительное. (Этим способом и теперь пользуются для проверки годности сухих батареек.) Язык с успехом заменил лягушку!

С этого и начался длительный спор между Гальвани и Вольты о роли лягушки в сделанных ими обоими наблюдениях. Вольты старался доказать, что лягушка, так же, как и язык экспериментатора, – это только своеобразный индикатор течения электричества, а главную роль играет пара разнородных металлов. С этой целью он старался исключить из «гальванических» опытов лягушек и вообще любой биологический объект, включая и собственный язык. Гальвани же, пытаясь доказать, что в основе явления лежит животное электричество, а металлы лишь наиболее эффективно проводят его, стремился устранить металлы из своих опытов и получить прежние результаты с помощью одних только биологических средств. Коротко говоря, Вольты хотел получить электрический ток без лягушек, а Гальвани хотел добиться сокращения мышц без металлов.

Как это ни странно, успехом увенчались усилия обоих участников спора. В 1794 году Гальвани описал опыт, состоящий в том, что нерв и мышца лягушки соединялись не металлом, а лягушачьей же мышцей. Каждый раз замыкание такой цепи вызывало вздрагивание лягушки. Гальвани счел свою задачу выполненной и исследований не продолжал. Вскоре Северная Италия была завоевана Наполеоном Бонапартом. Гальвани выступил противником французского владычества на его родине, лишился в 1797 году должности профессора, а в 1798 году скончался.

Вольта еще ранее с помощью изобретенного им электрометра (усовершенствованного электроскопа) показал, что два различных металла при контакте электризуются. (Теперь это явление называют возникновением контактной разности потенциалов.) Но если такую пару соприкасающихся металлов замкнуть, то течения электричества в

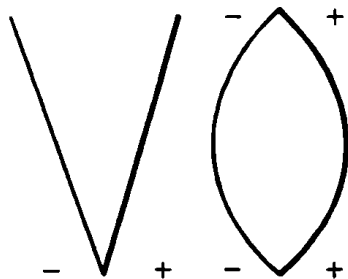


Рис. 1

цепи не будет, так как токи через спаи имеют противоположные направления (рис. 1). В «гальванических» же опытах электричество течет по замкнутой цепи. И Вольта решил, что причина этого в том, что и в опытах Гальвани, и в его собственных фигурировал третий проводник – жидкий (жидкость в мышцах лягушки или жидкость на языке). Он заменяет «влажные» участки «гальванической» цепи просто смоченным картоном и показывает, что такая система образует источник непрекращающегося движения электричества. Об этих опытах Вольта сообщил в 1796 году. Тем самым, как казалось Вольта, было покончено с животным электричеством Гальвани. Но Вольта по-прежнему говорит о «гальванизме», воздавая должное тому, кто дал толчок его собственным исследованиям. И до сих пор явления, связанные с прохождением постоянного электрического тока, называют «гальваническими».

Так появился на свет «гальванический» элемент, изобретенный Вольта. После 1796 года автор этого изобретения молчал долгие четыре года. Все эти годы он искал способ получения более мощных источников, чем его первый элемент, состоявший из пары разнородных металлических электродов (так мы их теперь называем), соприкасающихся с жидким проводником. В конце концов Вольта нашел такой способ. Он расположил друг за другом ряд своих элементов в

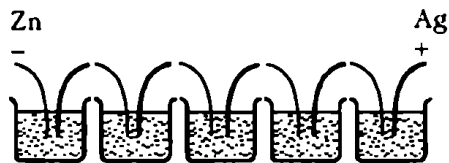


Рис. 2

виде чаш с жидкостью, в которую погружены серебряные и цинковые электроды: серебро – жидкость – цинк – серебро – жидкость – цинк и т.д. (рис. 2). Соединив попарно цинковые и серебряные электроды из соседних чаш, он получил источник, напряжение (как мы теперь говорим) на концах которого пропорционально числу элементов (у Вольта их было до 60). В 1800

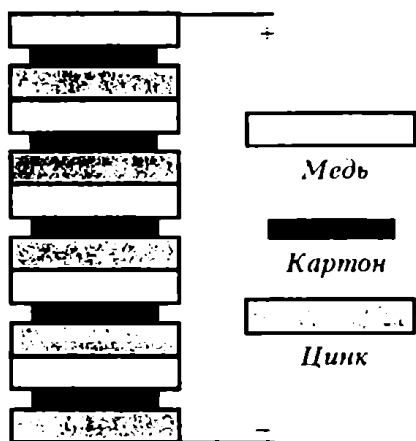


Рис. 3

году Вольта сообщил о еще более простом и компактном устройстве, которое он сам назвал сначала «искусственным электрическим органом» (он вызывал удар, напоминающий удар от электрического органа рыб), а затем «электродвижущим аппаратом». Устройство это состояло из поставленных друг на друга пар цинковых и медных кружков, разделенных смоченными в растворе серной кислоты картонными кружками (рис.3). Современники называли это устройство «вольто-

вым столбом». Ввиду простоты их изготовления вольтовы столбы вскоре появились во всех физических лабораториях, и ими пользовались вплоть до начала XX века.

Значение этого открытия было очень велико. Можно сказать, что с изобретением Вольта источника постоянного тока началась новая эра в исследовании электричества. Многочисленные опыты, целью которых было изучение «взаимодействия» электрического тока с веществом, дали науке много важных открытий. В 1800 году с помощью вольтова столба было открыто разложение воды электрическим током. Исследования химического действия электрического тока (самыми результативными и важными из которых были работы английского ученого Дэви) привели к появлению новой ветви науки – электрохимии. В первом десятилетии XIX века академик Петров в России и Дэви в Англии открыли электрическую дугу (есть справедливость в том, что ее часто называют вольтовой дугой). Еще через десятилетие было открыто магнитное действие электрического тока, и это открытие привело в конце века к технической революции, связанной с появлением электротехники.

Вот к чему привел долгий спор о лягушке!

Во всех этих исследованиях, имевших столь важное значение для физики и техники, сам Вольта никакого участия не принимал. Как и Гальвани, Вольта, добившись успеха, практически прекратил научную деятельность. Его открытие получило всеобщее признание и произвело огромное впечатление. Дважды, в 1800 и в 1801 годах, он докладывал о своем открытии в Парижской Академии наук. На последнем докладе присутство-

вал Наполеон Бонапарт, вполне оценивший важность открытия Вольта. Вольта был осыпан наградами. Он получил медаль Академии, большую денежную награду, титул графа и звание сенатора, высшие французские ордена. Но в науке его роль была закончена. В 1819 году он покинул профессорскую кафедру, а в 1827 году скончался.

Итоги спора

Спор между Гальвани и Вольта привел не только к появлению первого в истории источника постоянного электрического тока. Это не был спор, закончившийся победой одного из его участников и поражением другого. История не обидела и Гальвани. И дело не только в том, что его имя присвоено источнику тока, который он не открыл, хотя и мог открыть (ведь в опыте с двумя металлами и мышцей лягушки Гальвани имел дело именно с гальваническим элементом). Но в своем знаменитом опыте, в котором мышца лягушки вздрагивала, замкнутая мышцей же, он в самом деле открыл «животное электричество». Много позже (в 1837 году) это было доказано итальянским физиком Матеуччи и (в 1848 году) немецким физиологом Дюбуа-Реймоном. Правда, теперь это явление называется не животным электричеством, а возникновением биоэлектрических потенциалов или биотоков.

Открытие Вольта имело не только важное практическое значение. Оно также поставило перед учеными задачу объяснить такие явления, открытые Вольта, как контактная разность потенциалов и гальванический ток.

Сам Вольта полагал, что в основе действия гальванического элемента лежит именно контактная разность потенциалов. Однако он считал, что для возникновения постоянного электрического тока просто требуется не два контакта на концах двух различных метал-

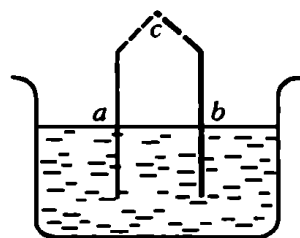


Рис. 4

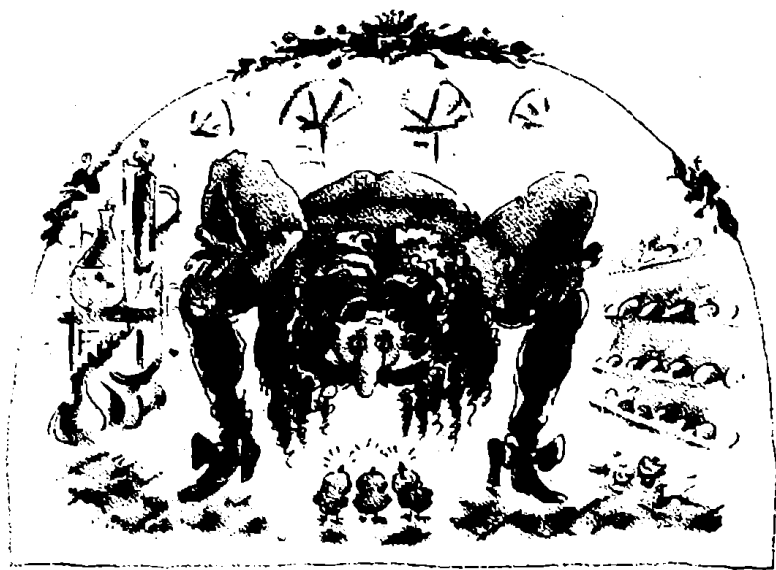
лов, а три, как это показано на рисунке 4: два контакта двух металлов с проводящей жидкостью в точках *a* и *b* и контакт двух металлов в точке *c*. Это объяснение ошибочное. Но только через много десятилетий было показано, что причиной возникновения электродвижущей силы в химическом элементе является химическое взаимодействие металлов с электролитом (так теперь называют проводящую жидкость в элементе). И лишь в 1888 году Нернстом была дана полная теория гальванических элементов.

НЕМНОГО О ТЕРМОМЕТРЕ И О ТЕРМОСКОПЕ ФЕРДИНАНДА

А.Буздин

Жарко, тепло, холодно, мороз... Так мы в быту характеризуем степень нагретости разных тел. Мерой нагретости является температура: чем выше температура – тем более нагрето тело. Мы легко на ощупь отличаем горячее от холодного, но наука начинается с количественных измерений. Сегодня и дошкольник знает – чтобы измерить температуру, надо взять градусник, т.е. термометр. Именно с изобретения термометра началось развитие науки о теплоте.

В большинстве термометров используется свойство тел расширяться при нагревании (и сжиматься при охлаждении). Первый термометр, который был построен Галилеем в самом начале XVII века, работал на воде. Понятно, что с его помощью

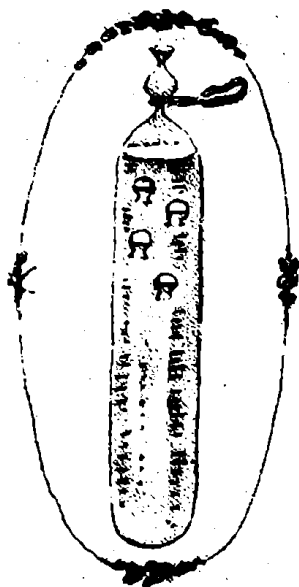


Опубликовано в «Кванте» №5 за 1986 год.

можно было измерять температуры не ниже температуры замерзания воды и не выше температуры ее кипения. Со временем наибольшее распространение получил ртутный термометр. В сильные морозы он, однако, перестает работать: при температуре $-38,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ртуть замерзает. На помощь здесь приходит спиртовой термометр (температура замерзания спирта намного ниже, чем у ртути, и равна $-97\text{ }^{\circ}\text{C}$), который также сейчас находит широкое применение.

Заслуга изобретения спиртового термометра принадлежит герцогу Фердинанду II, правившему в середине XVII века во Флоренции. Наряду с государственными делами герцог много времени уделял занятиям естественными науками. В свое время он был учеником Галилея и внес заметный вклад в развитие методов измерения температуры. До того как термометр прочно вошел в обиход, был распространен термоскоп. Этот прибор для контроля температуры позволял лишь судить о том, выше или ниже температура некоторой определенной величины, но измерять термоскопом температуру было невозможно.

В изготовлении различных термоскопов Фердинанд достиг большого мастерства. Один из своих термоскопов Фердинанд прислал немецкому иезуиту Кирхеру, занимавшемуся «по совместительству» научными исследованиями. Прибор состоял из открытой сверху стеклянной трубки, почти полностью заполненной водой (см. рисунок). В воде находилось несколько крошечных грушевидных сосудиков с оттянутыми вниз горлышками. В каждый сосудик был заключен пузырек воздуха, размер которого был подобран таким образом, чтобы при определенной температуре сосудики плавали в воде внутри трубки. При более высокой температуре воздух в сосудиках расширялся, частично вытесняя воду; в результате этого увеличивалась выталкивающая сила, и сосудики поднимались на поверхность воды. По описанию, сделанному Фердинандом, можно судить, что температура, при которой сосудики «висели» внутри трубки, была около $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Когда же температура окружающего воздуха опускалась ниже $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, воздух внутри сосудиков сжимался, и они опускались на дно.



Одновременно с этим прибором и подробным описанием его работы Фердинанд прислал Кирхеру и другой термоскоп. Он был очень похож на первый и отличался лишь тем, что был полностью заполнен водой и запаян. В этом приборе, однако, сосудики, наоборот, опускались при нагревании. Фердинанд предоставил Кирхеру самому решить загадку второго термоскопа. Нам неизвестно, справился ли с этой задачей Кирхер. Но мы надеемся, что Вы, читатель, сделаете это без особого труда.

Фердинанд построил и термометры самых разнообразных типов и конструкций.

Любопытно, что он многое делал для внедрения научных открытий в «производство». Один из проектов Фердинанда заключался в широкомасштабном разведении кур. Он построил один из первых инкубаторов, где использовал свой термометр для контроля температуры при искусственном высиживании яиц. Однако уже тогда внедрение достижений науки было делом непростым: из 150 яиц Фердинанд получил лишь трех цыплят. Почему так произошло? Может быть, из-за недостаточной расторопности работника, несерьезно относившегося к показаниям термометра и больше доверявшего своим ощущениям, а может быть, из-за слабых знаний Фердинанда по биологии. Сейчас остается только гадать, отчего закончился крахом этот эксперимент.

С большим успехом Фердинанд использовал термометр для наблюдений за погодой. Он провел важные метеорологические измерения и обобщил материалы наблюдений за температурой в глубоких колодцах и подземельях в различные времена года. Оказалось, что на глубине смена времен года происходит несколько позже, чем на поверхности, — нужно время, чтобы земля успела прогреться или, наоборот, охладиться.

Закончим мы наш маленький рассказ о термометрах и термоскопах вопросом к читателю.

Почему водяной термометр неудобен для измерения температур, близких к температуре замедзания воды?

А.Штейнберг

«Джон Дальтон, открывший атомную теорию».

Из надписи на мемориальной доске

В 90-х годах XVIII века в не слишком серьезном английском журнале «Календарь для леди и джентльменов» стал сотрудничать молодой человек по имени Джон Дальтон. В его обязанности входило информировать читателей о погодных наблюдениях. Новый сотрудник выказывал весьма похвальное усердие. В частности, он начал вести дневник метеорологических наблюдений... А спустя много лет на страницах этого дневника появилась первая в мире таблица атомных весов элементов, которая прославилась именем автора.

Идея о существовании «первокирпичика» вещества – атома – зародилась более двух тысяч лет назад. Но, как утверждает восточная пословица, «сколько ни говори «халва, халва», во рту сладко не станет». Если атомы – реальность, у них должны быть измеры и вес. И задача физики – их измерить. Но как?

Поставьте себя на место физика или химика конца XVIII века. В вашем распоряжении имеются данные о составе ряда веществ, накопленные за столетия алхимических и химических опытов. Например, известно, что вода состоит из кислорода и водорода, углекислый газ – из углерода и кислорода и т.д. Известно также, что существуют «простые вещества», которые невозможно разложить на более элементарные; это водород, кислород, азот, углерод, сера и т.п. Каковы ваши возможности в области измерений? Можно определять веса и объемы тел, в случае газа – измерять давление. Правда, из-за несовершенства аппаратуры все количественные данные большой точностью не отличаются, ошибки до 10% – в порядке вещей...

Теперь подумайте, как на такой основе можно измерить что-либо, относящееся к мельчайшим атомам (само существование которых к тому же было под вопросом). Дальтон придумал и со

столь скромным багажом приступил к «взвешиванию» атомов.

Он принял, что каждое из неразложимых, простых, веществ состоит из атомов одного сорта. Дальтон понимал, что определить их абсолютный вес (скажем, в граммах) ему не под силу. (Понятно, что на самом деле речь идет о массе; но мы сохраняем терминологию, принятую в то время.) Следовало поступить по-другому: принять вес самого легкого атома за единицу и в этих единицах выразить веса остальных. Самым легким из «простых» веществ был водород, и вес его атома Дальтон приравнял к 1. Далее он решил опираться на данные по химическим реакциям. Допустим, что, вступая в реакцию, два простых вещества *A* и *B* образует новое вещество. Тогда, поскольку *A* и *B* состоят из неделимых атомов, образование нового вещества может быть связано только с их соединением. Вот как свою гипотезу формулировал сам Дальтон:

«Если имеются два тела *A* и *B*, склонные соединяться между собой, то реакции могут протекать в следующем порядке, начиная с простейшей, а именно:

- 1 атом *A* + 1 атом *B* = 1 атом *C* двойной,
- 1 атом *A* + 2 атома *B* = 1 атом *D* тройной,
- 2 атома *A* + 1 атом *B* = 1 атом *E* тройной,
- 1 атом *A* + 3 атома *B* = 1 атом *F* четверной...

и т.п.»

Отсюда сразу следовал, в частности, знаменитый закон кратных отношений: если два элемента образуют друг с другом более одного соединения, то массы одного элемента, приходящиеся на одну и ту же массу другого, относятся как небольшие целые числа. Например, в двойном и первом тройном атомах (по терминологии Дальтона) массы вещества *B*, приходящиеся на одну и ту же массу вещества *A*, относятся друг к другу как 1:2).

Теперь можно было сделать решительный шаг в определении атомных весов. Как? Разберем один из расчетов Дальтона.

При соединении кислорода с углеродом в зависимости от весовых соотношений реагентов образуется либо окись углерода, либо углекислый газ. Вот какими численными данными располагал Дальтон:

- 44% углерода + 56% кислорода = окись углерода,
- 28,1% углерода + 71,9% кислорода = углекислый газ.

В такой записи никаких закономерностей не видно. Но давайте определим, сколько приходится кислорода на одно и то же количество углерода в разных реакциях. В первой на 44 весовые

части углерода приходится 56 весовых частей кислорода. А сколько потребуется кислорода на 44 весовые части углерода во второй реакции? Ответ дает простая пропорция:

$$44 \cdot \frac{71,9}{28,1} \approx 112,6.$$

Почти точно в два раза больше, чем в первой! Дальтон объяснил этот факт, предложив соответствующие атомные модели обоих веществ:

1 атом углерода + 1 атом кислорода =
= 1 атом двойной окиси углерода,

1 атом углерода + 2 атома кислорода =
= 1 атом тройной углекислого газа.

Из такого объяснения (совершенно верного!) следовало, что вес атома кислорода относится к весу атома углерода как 56:44 (в хорошем согласии с современными данными).





















План Дальтона по определению атомных весов был предельно ясен: сначала по реакции образования воды подсчитать вес атома кислорода, а затем по реакции окисления – веса остальных простых веществ.

6 сентября 1803 года в дневнике Дальтона появилась первая таблица атомных весов ряда веществ. Мы приведем часть этой таблицы вместе с современными данными (в тех же единицах измерения):

Атом	Атомный вес	
	по Дальтону	современные данные
Водород (H)	1	1
Кислород (O)	5,66	15,37
Азот (N)	4	14
Углерод (C)	4,5	11,9
Вода	6,66 (сложный атом HO)	17,87 (молекула H ₂ O)

Казалось бы, ничего похожего. Но это не совсем так. Например, отношение весов кислорода и углерода по данным Дальтона равно 1,26. Современные методы дают очень близкое значение – 1,25. Не стоит также забывать, что это – лишь первая версия

ELEMENTS

	Hydrogen	1		Strontian	86
	Azote	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	56
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	24		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

Эта таблица символов различных атомов и атомных весов была опубликована в первом томе книги Дальтона «Новая система химической философии» (1808 год)

таблицы. Впоследствии Дальтон не раз уточнял ее. В частности, вес кислорода вырос до 7. К сожалению, один серьезный дефект оставался во всех вариантах: Дальтон неверно определял атомный вес кислорода. А поскольку атомные веса других веществ определялись в основном по реакции окисления, ошибка автоматически переносилась и на них.

Из таблицы видно, что химическому составу воды, по Дальтону, соответствует формула HO , т.е. на каждый атом кислорода приходится один атом водорода. Именно здесь и крылась неточность. Сегодня химическая формула воды известна всем: H_2O . Но Дальтон этой формулы не знал, а без этого не мог дви-

гаться дальше. Поэтому он ввел следующий принцип: в тех случаях, когда известно лишь одно соединение атомов A и B , оно является простейшим, т.е., по терминологии Дальтона, двойным атомом AB . Поэтому формула воды и приняла вид HO . Вероятно, этот принцип не очень удовлетворял Дальтона. Буквально через несколько строк после определения состава воды он пишет: «В конце концов надо допустить возможность того, что вода может быть тройным соединением. В этом случае, если два атома водорода соединяются с одним атомом кислорода, атом кислорода должен весить в 14 раз больше атома водорода».

Дальше этого Дальтон не пошел. Более того, ко всем попыткам других исследователей пересмотреть или уточнить его результаты он относился крайне враждебно. Но научных занятий не оставлял до самого конца жизни. 27 июля 1844 года, за несколько часов до смерти и уже чувствуя ее приближение, Джон Дальтон в последний раз взобрался на метеовышку и дрожащей рукой сделал последнюю из 200000 записей в своем дневнике...

А.Штейнберг

Вашему вниманию будут предложены несколько ситуаций из жизни одного из замечательных физиков прошлого – Отто фон Герике. О том, как решал Герике встававшие перед ним проблемы, мы расскажем. Но прежде чем знакомиться с его решениями, предлагаем вам испытать свои силы и подумать, как бы вы справились с поставленной задачей. Возможно, вам удастся повторить ход мыслей Герике. А может быть, вы придумаете что-нибудь оригинальное. Никаких специальных знаний, выходящих за рамки школьного учебника, для этого не потребуется. Только фантазия, воображение и здравый смысл.

Отто фон Герике (1602 – 1686) родился в Магдебурге и после завершения образования (он изучал право, математику и инженерное дело в университетах Лейпцига, Гельмштедта, Йены, путешествовал по Франции и Англии, где познакомился со многими учеными) возвратился в родной город. Здесь он был избран членом городского совета и много сил отдал строительству и укреплению Магдебурга. В 1646 году за заслуги перед Магдебургом он был избран его бургомистром и прославился на



Опубликовано в «Кванте» №5 за 1990 год.

этом посту не только разумным управлением, но и замечательными физическими опытами.

Целью первых своих опытов Герики поставил получение пустого пространства – пространства, не заполненного ничем, даже воздухом. Широко распространенная точка зрения на этот вопрос состояла в том, что пустого пространства быть не должно, так как «природа не терпит пустоты». Опровергнуть это заблуждение можно было только опытом. Сначала для этой цели Герике взял винную бочку, наполнил ее водой и плотно закупорил, чтобы внутрь не мог проникнуть наружный воздух. Затем подсоединил к бочке узкую трубку с поршнем и, выдвигая поршень, попытался извлечь воду из бочки. По замыслу Герики в бочке после этого должна была остаться пустота.

Вот как описывает опыт сам Герике: «После установки трубы в нижней части бочки я попытался извлечь из нее воду. Однако прежде чем вода последовала за поршнем, лопнули железные обручи и болты, с помощью которых труба была прикреплена к бочке. Тем не менее усилия вовсе не были безнадежными... После того как недостатки установки были устранены посредством использования более сильных болтов, трое сильных мужчин, тянувших за шток, смогли наконец извлечь следующую за поршнем воду... При этом, однако, во всех частях бочки слышался шум, как будто вода сильно кипела, и это продолжалось до тех пор, пока бочка вместо извлеченной воды не заполнилась воздухом».

Опыт, как вы видите, закончился неудачей. Однако Герике не сдался и придумал способ, с помощью которого ему все-таки удалось создать пустоту в бочке.

Подумайте, как бы это сделали вы.

В дальнейшем Герике научился создавать пустоту с помощью изобретенного им прибора – воздушного насоса. Им он, в частности, воспользовался в своем знаменитом опыте с магдебургскими полушариями. Вы о нем, скорее всего, знаете: две упряжки лошадей отрывали друг от друга два сомкнутых полушария, из которых был предварительно откачан воздух. Опыт был исключительно эффектен, и на его демонстрации присутствовал даже император Священной Римской империи Фердинанд III.

Попытайтесь придумать простейшую схему насоса для откачки воздуха.

Своим насосом Герике воспользовался и для совсем другой цели. Он много занимался акустическими исследованиями. Его, в частности, интересовало, каким образом распространяется

звук, какая среда передаст его от источника до уха. Сегодня мы знаем, что это воздух, но впервые установил этот факт Гери́ке.

Попробуйте представить себе схему его опыта.

Убедившись, что воздух действительно передаст звук, Гери́ке заинтересовался вопросом: а не может ли звук передаваться и через другие среды? Он придумал оригинальный опыт, показавший, что звук распространяется и в воде.

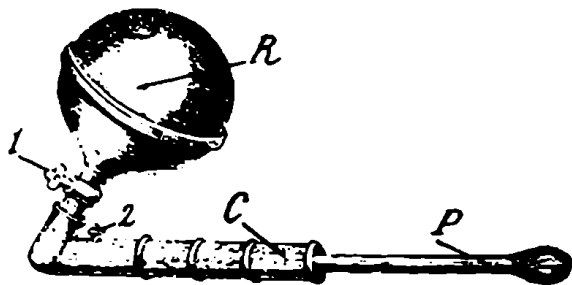
Какой эксперимент вы поставили бы для подтверждения этого факта?

Если вы сумели ответить на все вопросы – это очень хороший результат. Но не стоит все-таки слишком обольщаться. Дело в том, что правильно поставить проблему не менее трудно, чем ее решить. Когда знаешь, над чем думать, думать значительно легче.

А теперь – о том, как решал Гери́ке поставленные им самим проблемы.

Ситуация 1. Гери́ке поместил бочку, из которой откачивалась вода, внутрь большой бочки, которую также заполнил водой. Таким образом ему удалось более надежно изолировать внутреннюю бочку от наружного воздуха. Полностью предотвратить просачивание во внутреннюю бочку, правда, не удалось. Когда ее через три дня открыли, она частично оказалась заполненной водой и воздухом. Тем не менее до вскрытия часть ее все же была пустой (воздух проник в бочку во время вскрытия).

Ситуация 2. Воздушный насос Гери́ке изображен на рисунке. Откачиваемый сосуд R соединен краном 1 с цилиндром C , в котором перемещается плотно прилегающий к стенкам цилиндра



деревянный поршень P со смазанной маслом кожаной крышкой. В левой части цилиндра имеется кран 2 . Чтобы откачать воздух из R , сначала закрывают кран 1 , открывают кран 2 и перемещают поршень в крайнюю левую позицию для удаления всего воздуха из цилиндра C . После этого кран 2 закрывают, открывают кран 1 и перемещают поршень в крайнее правое

положение. Часть воздуха из сосуда *R* переходит при этом в цилиндр *C*. После этого вновь закрывается кран *1*, открывается кран *2* и повторяется первый такт. Поршень у Герике приводился в движение с помощью зубчатой рейки и шестерни. Работникам при откачке воздуха приходилось изрядно попотеть.

Ситуация 3. Герике поместил колокол в сосуд, из которого воздух можно было откачать с помощью насоса. Кроме того, он приспособил часовой механизм так, чтобы колокол звонил через определенное промежутки времени автоматически. А далее он отчетливо наблюдал ослабление звука по мере уменьшения давления в сосуде. После этого стало очевидным, что звук действительно передается через воздух. А через воду?

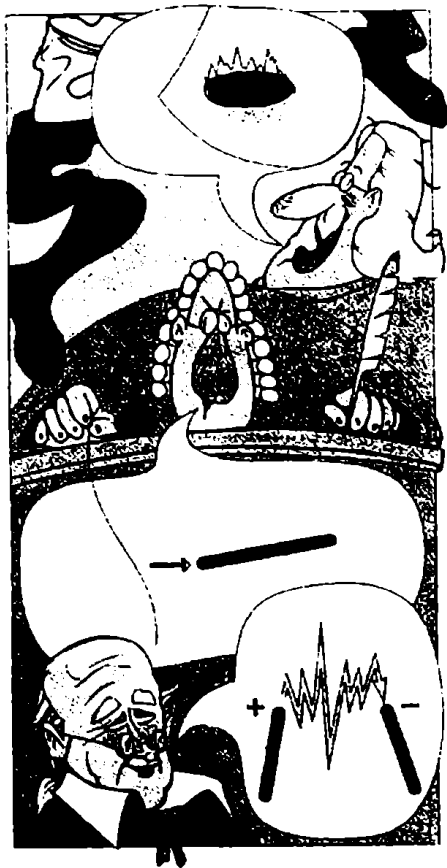
Ситуация 4. На этот вопрос Герике сумел найти ответ с помощью эксперимента, который можно назвать физическим с очень большой натяжкой. Скорее он ближе к известным физиологическим опытам Павлова над собаками. Тем не менее идея весьма остроумна. «Лабораторией» послужил пруд с колоколом на берегу. Колокол звонил всякий раз, когда рыбе бросали в определенное место корм. Когда рыбу приучили, она стала приплывать на место кормежки просто по сигналу колокола, хотя экспериментаторы ничем ее при этом не потчевали. Это было достаточно убедительным доказательством того, что звук передается и водой. Позднее результат Герике был подтвержден водолазами, которые действительно слышат звук под водой.

«РАЗУТЫЙ ФИЛОСОФ», ИЛИ ДВЕ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА XVIII ВЕКА

Л.Крыжановский

Предметом научных исследований порой становятся совершенно неожиданные вещи. У Роберта Симмера (предположительно родился в Шотландии около 1707 г., умер в Лондоне в 1763 г.) таким предметом с 1758 года стали... собственные чулки.

У ученого была странная привычка носить одновременно две пары чулок: по одному белому (шелковому) и одному черному (шерстяному) на каждой ноге. Когда Симмер снимал чулки, сразу черный и белый с каждой ноги, то пока они оставались вместе, практически не наблюдалось никаких электрических эффектов. Но стоило разнять белый и черный чулки, как они раздувались, будто в них все еще находилась нога, и притягивались друг к другу. Будучи соединенными снова, чулки «схлопывались» и, лежа друг на друге, со временем разбухали не более чем на 2 – 3 дюйма. В сухие холодные дни ученый бросал свои раздутые чулки



Опубликовано в «Кванте» №1 за 1996 год.

на стену комнаты – они прилипали к стене и совершали пируэты при дуновении. Так Симмер развлекал этими «танцами» своих ученых коллег (и даже принца Уэльского).

К тому времени было уже накоплено достаточно сведений об электричестве. Было известно, что при трении тела электризуются (иногда этому сопутствует искрение), что одни тела проводят электричество, а другие нет (еще У.Гильберт (1540 – 1603) разделил все тела на два класса в зависимости от их способности электризоваться – на «электрики» и «неэлектрики»), что существует явление электрического притяжения и отталкивания.

В 1733 году французский физик Шарль Дюфе (1698 – 1739) открыл два вида электричества – «стекольное» и «смоляное» – и установил качественный закон взаимодействия (притяжения и отталкивания) между ними.

Дюфе предложил простой способ определения вида наэлектризованности, применяемый и в настоящее время: «Для того чтобы узнать, к какому из двух классов относится тело, нужно наэлектризовать шелковую нить, которая, как известно, относится к смоляному электричеству, и заметить, притягивает или отталкивает ее это тело, если его наэлектризовать. Если притягивает, то оно, естественно, относится к тому виду электричества, которое я называю стекольным; если же, наоборот, отталкивает, то оно относится к тому же виду электричества, что и шелк, т.е. к смоляному». К сожалению, Дюфе не учел, что знак заряда (по современной терминологии) зависит не только от данного тела, но и от того тела, с которым оно участвует в процессе электризации трением.

В середине XVIII века американский ученый и политик Бенджамин Франклин (1706 – 1790) выдвинул свою теорию электричества. Согласно Франклину, для объяснения электрических явлений достаточно предположить существование одного вида «электрической материи», способной легко проникать в обыкновенную материю. В одном учебнике физики, изданном в России в 1787 году, идея Франклина излагается следующим образом: «Положительно наэлектризованное тело есть то, когда оно более содержит электрической материи, нежели сколько имеет в естественном своем состоянии; напротив, отрицательно наэлектризованное тело есть то, когда оно имеет менее электрической материи, нежели сколько ему по существу надобно».

Вместо «стекольного» и «смоляного» электричества (по Дюфе) Франклин ввел понятие положительного и отрицательного зарядов. Причем знаки зарядов Франклин ввел не совсем произволь-

но: при наблюдении разряда между двумя проводниками Франклин казалось, что искра выходила из одного проводника и входила в другой; заряд первого проводника Франклин назвал положительным, а второго – отрицательным. Как-то Франклину показалось, что искра выходила из проводника, заряженного отрицательно, и он переименовал заряды на противоположные, но затем вернулся к своей исходной терминологии, вероятно (как и мы), считая ее условной.

А что же Симмер? Он придавал большое значение своим опытам с чулками, за что и получил в ученом мире прозвище «разутый философ». Разнообразя опыты, Симмер заряжал от чулок лейденскую банку – и ощущал электрический удар при ее разрядке; пользуясь столь нетрадиционным источником электрической энергии, он воспламенял спирт; и т.п. Симмер провел аналогию между парой раздутых чулок и заряженной лейденской банкой. Но самое главное – чулки навели Симмера на мысль о существовании двух видов электричества, что в общем подтверждало точку зрения Дюфе.

В 1759 году Симмер опубликовал свою теорию, противопоставив ее теории Франклина, однако это никак не повлияло на творческие связи двух ученых. Однажды Симмер наблюдал, как Франклин (бывший в то время в Европе) осуществлял электрический пробой стопки бумаги. Исследуя эту бумагу, Симмер заметил, что одна половина рваного края каждой дырки от пробоя отогнута в одну сторону, а другая – в другую. Получалось, что с одной стороны листа волокна края каждой дырки имели одно направление, а с другой – противоположное, как будто отверстие в стопке было сделано двумя плотно прилегающими друг к другу нитями, притягиваемыми в противоположных направлениях (особенно четко это было выражено в средней части стопки). Согласитесь, это было одним из аргументов в пользу теории Симмера.

Долгое время теории Франклина и Симмера соперничали друг с другом с переменным успехом, поскольку оказалось, что многие явления одинаково хорошо объясняются как той, так и иной теорией. Спор о том, существует ли два вида электричества или один, был решен в пользу теории Симмера лишь после открытия электрона в 1897 году.

**ПРИКЛЮЧЕНИЯ ГАНСА ПФААЛЯ
И ТОЛСТЯКА ПАЙКРАФТА**

В. Невгод

Есть у Эдгара По сравнительно малоизвестный фантастический рассказ «Необыкновенное приключение некоего Ганса Пфааля». Герой этого рассказа совершил удивительное открытие – получил необыкновенный газ, плотность которого в 37,4 раза меньше плотности водорода. Воздушный шар, наполненный таким газом, обладал невероятной подъемной силой. С его помощью Ганс Пфааль даже сумел добраться до Луны.

То, что газа легче водорода в природе не существует, доказывать не станем – это общеизвестно. (А вы сможете объяснить, почему это невозможно?) Но не лишена интереса такая задача: если бы такой газ все-таки существовал, во сколько раз увеличил бы он подъемную силу воздушного шара (по сравнению с шаром, наполненным водородом)?

Несмотря на несложность задачи, многие не сразу находят верный ответ. Тут так и напрашивается «логичный» вывод: поскольку газ в 37,4 раза легче водорода, то и подъемная сила его больше во столько же раз. Возможно, на такое поспешное умозаключение читателей и рассчитывал Эдгар По, когда писал свой рассказ. Впрочем, столь же вероятно, что он и сам стал жертвой ошибочного рассуждения, внешне столь логичного.

Однако простейший расчет показывает, что выигрыш в подъемной силе был бы таким ничтожным, что его можно вовсе не принимать во внимание. Проверим это. Для этого найдем подъемную силу воздушного шара, наполненного водородом, и шара, наполненного газом Ганса Пфааля.

Пусть объем воздушного шара равен 1 м^3 . Плотность воздуха равна $0,00129 \text{ г/см}^3$, водорода – $0,00009 \text{ г/см}^3$, а газа Ганса



Пфааля – $0,0000024 \text{ г/см}^3$. Напомним, что подъемная сила воздушного шара – это разность между выталкивающей силой, равной весу воздуха, вытесненного шаром, и силой тяжести газа внутри шара (оболочку шара будем считать невесомой). Тогда подъемная сила шара, наполненного водородом, равна приблизительно 12 Н, а шара с газом Ганса Пфааля – 12,9 Н.

Таким образом, выигрыш в подъемной силе всего-навсего около 0,9 Н! Итог настолько ничтожный, что, очевидно, Гансу Пфаалу (или Эдгару По) не стоило и изобретать чудодейственный сверхлегкий газ, нарушая, к тому же, законы природы. (Справедливости ради заметим, что во времена Эдгара По таблица Менделеева еще не была составлена.) Вся беда – в небольшой силе тяжести водорода. Будь возможен газ даже в тысячи раз легче водорода, он все равно не помог бы существенно увеличить подъемную силу воздушного шара. Предел такого увеличения – те 0,9 Н, которые составляют силу тяжести самого водорода.

Вспомним теперь популярный фантастический рассказ Г.Уэллса «Правда о Пайкрафте». Смешной толстяк Пайкрафт, страстно желая избавиться от лишнего веса, выпил таинственное индийское снадобье – и полностью потерял вес, в самом буквальном смысле! Целыми днями летал он под потолком собственного кабинета, не выходя на улицу, дабы не упорхнуть ввысь, подобно воздушному шару. Так продолжалось до тех пор, пока Пайкрафту не посоветовали заказать себе специальный костюм со свинцовыми прокладками. В таком костюме, в тяжелых свинцовых башмаках и с полным портфелем свинца в руках он, наконец, получил возможность вновь ходить по улицам, как все люди.

Напрашивается вопрос – много ли понадобилось свинца, чтобы Пайкрафт смог спокойно ходить по Земле? Сделаем несложный расчет. Предположим, толстяк Пайкрафт весил

1000 Н (его масса была 100 кг), тогда объем его тела можно считать равным $0,1 \text{ м}^3$ (человек ведь в основном состоит из воды). Лишенный веса, Пайкрафт как бы превратился в своеобразный воздушный шар того же объема. «Подъемная» сила его составляла всего около 1,3 Н!

И тут мы видим, как тускнеет нарисованная буйной фантазией писателя картина злоключений невесомого Пайкрафта! Даже в повседневной своей одежде Пайкрафт вовсе не должен был парить под потолком своего кабинета, а мог бы, хотя и не очень устойчиво, сидеть в кресле за письменным столом и даже осторожно ходить по комнате (избегая, правда, резких движений). А свинцовый костюм и свинцовые ботинки ему не попадались бы вовсе – в обычной одежде, да еще взяв в руки тяжелый портфель, он мог бы ходить по улицам (конечно, остерегаясь сильного ветра!), не опасаясь взлететь в небеса.

Как мы убедились, «летучесть» Пайкрафта и вызванные ею проблемы сильно преувеличены автором. Сомнительно, конечно, чтобы Уэллс не заметил этого, когда писал свой рассказ. Скорее всего, он умышленно игнорировал полученные при расчете данные, чтобы в более ярких и выразительных тонах представить комические злоключения бедного Пайкрафта. При этом автор, видимо, был уверен, что читатели, увлеченные оригинальным вымыслом, так и не заметят допущенных им преувеличений.

С.Тихомирова

Физика нас окружает повсюду – дома, на улице, в поле, в лесу, у реки. Писатели, удивительно метко подмечая все происходящее вокруг, дают яркие, красочные описания разнообразных природных явлений. Читая книгу, внимательно следя за сюжетом, мы иногда пропускаем эти описания, считая их не достаточно интересными. Между тем, они представляют весьма ценный и полезный материал не только для «лириков», но и для «физиков». Они учат нас быть внимательными, учат наблюдать, замечать, видеть проявления физики в окружающей жизни.

Мы предлагаем вам с такой, физической, точки зрения посмотреть на некоторые страницы литературных произведений. Начнем с отрывка из повести А.П.Чехова «Степь»:

«Егорушка... разбежался и полетел с полуторасаженной вышины. Описав в воздухе дугу, он упал в воду, глубоко погрузился, но дна не достал; какая-то сила, холодная и приятная на ощупь, подхватила и понесла его обратно наверх».

Ясно, что речь здесь идет о силе Архимеда, «холодной и приятной на ощупь». Давайте попытаемся дать объяснения различным проявлениям архимедовой силы, встречающимся на страницах художественной литературы. Прочитайте их и попытайтесь ответить на поставленные вопросы.

В рассказе Б.В.Житкова «Под водой» есть такой эпизод. Лейтенант, командовавший подводной лодкой, при входе в порт легкомысленно принял решение поднырнуть под пароход, стоявший по курсу лодки. «...Но в это время сразу же ход лодки замедлился. Все пошатнулось вперед. Лейтенант вздрогнул. Минер вопросительно на него взглянул.

– Сели на мель? Так ведь? – спросил он лейтенанта.

Рули были поставлены на подъем, винт работал, приборы показывали, что лодка на той же глубине. Лейтенант вспомнил,

что тут в порту глинистое, липкое дно, понял, что лодка своим брюхом влипла в эту вязкую жижу...»

Почему лодка не могла всплыть? Всегда ли на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила?

К.Г.Паустовский, эпизод из повести «Кара-Бугаз»: «...Наш кок отпросился искупаться, но залив его не принял. Он высоко выкидывал его ноги, и при всем тщании кок погрузиться в воду не смог. Это повеселило команду и улучшило несколько ее дурное расположение. Кок к вечеру покрылся язвами и утверждал, что вода залива являет собой разбавленную царскую водку, иначе – серную кислоту».

Почему кок не смог искупаться в заливе Кара-Бугаз?

Л.Н.Толстой, строки из рассказа «Лед, пар и вода»: «...В холодной воде легче плавать, чем в теплой. А в горячей воде и дерево тонет».

Почему в горячей воде дерево может утонуть?

Теперь вычислим архимедову силу. Для постановки задачи воспользуемся отрывком из очерка В.А.Солоухина «Трава», где дается описание растения «виктория круциана»: «...На воде лежали яркие свежей сочной зеленой яркостью листья, размером с обыкновенный круглый обеденный стол... каждый лист был около двух метров в диаметре. Каждый лист имел по краю строго перпендикулярный заборчик высотой сантиметров около семи...»

Сотрудница Ботанического сада поясняет: «...лист выдерживает семьдесят килограммов, даже больше... Но только если груз распределять ровно по всей поверхности, например, насыпать ровным слоем песку. Или положить вот такой фанерный круг, а на него уж и груз. Если же ходить по листу ногами, то, сами понимаете, он будет проминаться, прогибаться, колыхаться, зачерпнет воды и скорее всего порвется. Прочный-то он прочный, и плавучесть у него великолепная, но все же это ткань живого листа, а не какая-нибудь деревяшка».

Оцените, при какой нагрузке лист погрузится в воду на глубину, равную половине высоты заборчика, которым он «обнесен» по краю. И подумайте: почему лист выдерживает большую нагрузку, если она распределена равномерно?

Еще одна задача. Читаем «Детские годы Багрова внука» С.Т.Аксакова. На реке Белой начался ледоход. Мальчик «жадно следил глазами, как шла между неподвижных берегов огромная полоса синего, темного, а иногда и желтого льда... какая-то несчастная черная корова бегала по ней (льдине – С.Т.), как безумная».

Оцените, каковы минимальные размеры льдины, на которой могла плыть корова. Прикиньте сами, чему равна масса коровы и толщина льда.

А теперь – о том, как можно «управлять» выталкивающей силой.

В отрывке из романа В.Д.Иванова «Русь изначальная» рассказывается, как воин-разведчик Ратибор собирается перейти на другой берег реки. Для этого он взял длинную толстую тростинку, «чтобы дышать под водой. Ноздри и уши пловец заткнул желтым воском... Придерживая тростинку за конец губами, он скрылся под водой и обеими руками поднял камень величиной с коровью голову. Обвязав груз тонкой веревкой, Ратибор устроил петлю для руки».

Для чего Ратибор взял тяжелый камень в руки?

Природа предусмотрела различные приспособления, позволяющие животным жить в воде, плавать. А «сообразительные» животные для облегчения плавания используют различные предметы. Читаем строки из художественных произведений.

Н.А.Некрасов, «Дедушка Мазай и зайцы»:

«...Мимо бревно суковатое плыло,
Сидя, и стоя, и лежа пластом,
Зайцев с десятков спасалось на нем.

«Взял бы я вас – да потопите лодку!»
Жаль их, однако, да жаль и находку –
Я зацепился багром за сучок
И за собою бревно поволок...»

Оцените, при каком минимальном объеме бревна зайцы могли на нем плыть. Прикиньте сами, чему равна масса зайца.

К.Г.Паустовский, «Мещерская сторона»: «На берегах этих рек в глубоких норах живут водяные крысы. Есть крысы, совершенно седые от старости. Если тихо следить за норой, то можно увидеть, как крыса ловит рыбу... Чтобы легче было плавать, водяные крысы отгрызают длинный стебель куги и плавают, держа его в зубах... Он прекрасно держит на воде даже не такую тяжесть, как крыса».

Почему стебель куги обладает хорошей плавучестью?

Сила Архимеда действует на тела и в жидкостях, и в газах. Для перемещения в воде люди используют подводные лодки, батискафы, различные суда. Освоение атмосферы началось с полетов на воздушных шарах.

Приведем отрывок из «Рассказа аэронавта» Л.Н.Толстого: «...Я посмотрел на барометр. Теперь я уже был на пять верст над

землю и почувствовал, что мне воздуха мало, и я часто стал дышать. Я потянул за веревку, чтобы выпустить газ и спускаться, но ослабел ли я, или сломалось что-нибудь, – клапан не открывался... «Если я не остановлю шар, – подумал я, – то он лопнет, и я пропал»... Я изо все сил ухватился за веревку и потянул. Слава богу, клапан открылся...»

Почему воздушный шар, поднявшись высоко, может лопнуть?

В середине прошлого века был совершен первый полет на управляемом аэростате – дирижабле. В начале нашего века дирижабли нашли широкое применение. Потом о них как-то забыли, а в наши дни вспомнили снова. Их предполагают использовать при освоении труднодоступных земель как транспортное средство.

Наши «наблюдения» закончим строками из романа А.Н.Толстого «Гиперболоид инженера Гарина»: «...огромный дирижабль висел над поляной, пришвартованный носом к причальной мачте. Мачта гнулась и трещала. Сигарообразное тело раскачивалось, и снизу казалось, что в воздухе повисло днище железной баржи...»

Какое преимущество имеют дирижабли перед другими воздушными транспортными средствами?

В. Сурдин

Вероятно, многие из вас читали сказочную повесть Л. Лагина «Старик Хоттабыч» или хотя бы видели фильм о приключениях старого джинна и его юных друзей – Вольки и Жени. Но многие ли помнят, что Волька Костыльков был большим любителем астрономии, действительным членом астрономического кружка при Московском планетарии и даже его старостой? Наверное, именно поэтому в повести немало эпизодов, заставляющих задуматься каждого юного любителя астрономии (а заодно и физики). Вот некоторые из них. Вчитайтесь в текст повести и подумайте над поставленными вопросами.

Наручные солнечные часы. Помните, каким был первый подарок Хоттабыча Вольке? Это были наручные часы. Сначала – из цельного куска золота и без всякого механизма внутри. Они,

разумеется, не показывали время.



«– А разве там что-то должно быть внутри? – забеспокоился старый джинн. Вместе ответа Волька молча отстегнул часы и вернул их Хоттабычу.

– Хорошо, – коротко согласился тот. – Я тебе пода-

рю такие часы, которые не должны иметь ничего внутри.

Золотые часики снова оказались на Волькиной руке, но сейчас они стали тоненькими, плоскими. Стекло на них исчезло, а вместо минутной, секундной и часовой стрелок возник небольшой вертикальный золотой шпенечек в середине циферблата с великолепными чистейшей воды изумрудами, расположенными там, где полагалось быть часовым отметкам.

– Никогда и ни у кого, даже у богатейших султанов вселенной

не было наручных солнечных часов! — снова расхвастался старик. — Были солнечные часы на городских площадях, были на рынках, в садах, во дворцах, и все они сооружались из камня. А вот такие я только что сам придумал. Правда, неплохо?

Действительно, оказаться первым и единственным во всем мире обладателем наручных солнечных часов было довольно заманчиво. »

Итак, можно ли сделать наручные солнечные часы? Если да, то почему же таких часов не было даже у султанов?

Морской бинокль. «Благословенный Волька, — сказал после завтрака Хоттабыч, блаженно греясь на солнышке, — все время



я делаю тебе подарки, по моему разумению ценные, и каждый раз они тебе оказываются не по сердцу. Может быть, сделаем так: ты мне сам скажешь, что тебе... угодно было бы от меня получить в дар, и я почел бы за счастье... немедленно доставить желаемое.

— Подари мне, в таком случае, большой морской бинокль, — ответил Волька не задумываясь. »

Почему Волька выбрал себе именно такой подарок?

Ковер-самолет. Волька и Хоттабыч отправились на ковер-самолете выручать Женю из рабства.

«Вечерняя темнота окутала город, а здесь, наверху, еще виден был багровый солнечный диск, медленно оседавший за горизонт.

— Интересно... — промолвил Волька задумчиво, — интересно, на какой мы сейчас высоте?

— Локтей шестьсот-семьсот, — отвечал Хоттабыч, продолжая что-то высчитывать на пальцах. »

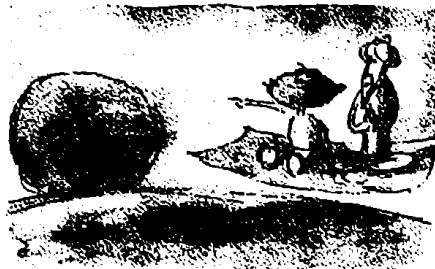
Правильно ли Хоттабыч определил высоту полета?

(Напомним, что локоть составляет около полуметра.)

Продолжение полета.

«Стемнело. Теперь на ковер-самолете стало особенно неуютно, и Волька предложил Хоттабычу подняться локтей на пятьсот выше.

— Тогда мы снова увидим солнце.



Хоттабыч глубоко сомневался, можно ли до завтрашнего утра увидеть уже закатившееся дневное светило, но спорить с Волькой не стал.

Можете себе представить, как он удивился и насколько вырос в его глазах Волькин авторитет, когда, поднявшись повыше, они действительно снова увидели солнце, которое как ни в чем не бывало снова только-только касалось своим багровым краем черной линии далекого горизонта.

— Если бы, подчиняясь твоей скромности, о Волька, не дал я тебе обещания, ничто не удержало бы меня от того, чтобы назвать тебя величайшей в мире балдой! — восхищенно произнес Хоттабыч...»

Верно ли Волька рассчитал необходимую высоту и действительно ли он достоин звания «величайшей в мире балды»?

Полет на Луну. Вы помните, как сварливый брат Хоттабыча Омар Юсуф решил слетать на Луну? Волька предупредил его:

«— Ты должен вылететь с земли со скоростью не меньше, чем одиннадцать километров в секунду. В противном случае ты, уверяю тебя, никогда не доберешься до луны.



— С радостью и удовольствием! — Омар Юсуф поджал свои тонкие губы.

— А сколь велик километр? Скажи, ибо я не знаю такой меры длины.

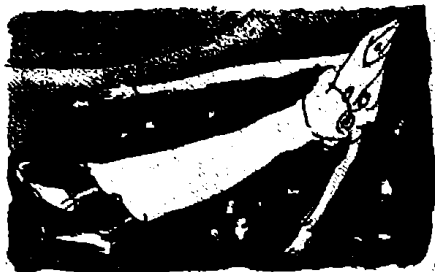
— Ну, как тебе объяснить... — призадумался Волька. — Ну вот: километр — это примерно тысяча четыреста шагов.

— Твоих шагов? — спросил джинн. — Значит, моих шагов в километре не больше тысячи двухсот, даже немного меньше.

Омар Юсуф был преувеличенного мнения о своем росте. Он был не выше Вольки».

С какой скоростью джинн вылетел с Земли?

Хоттабыч в космосе. Помните, как старик Хоттабыч описывал свой полет в космосе? Сначала он превратился



в спутник Земли, чтобы встретиться на орбите со своим братом. «А потом, когда я увидел, что мне пора возвращаться на землю, я обратился лицом в ее сторону и придал своему телу как раз такую скорость, какая требовалась для преодоления силы, которая вращала меня вокруг земного шара.»

Мог ли Хоттабыч после такого маневра вернуться на Землю?

Экзамен по географии. Собираясь подсказывать Вольке на экзамене по географии, джинн обещал: «Никто моей подсказки



не заметит... То, что я буду иметь счастье подсказывать, пойдет прямо из моих почти-тельных уст в твои высоко-чтимые уши».

Почему для направленной передачи звука нужны были магические способы Хоттабыча, тогда как направленную передачу света может

осуществить любой из нас, например с помощью карманного фонарика?

Волшебная борода. Как вы помните, борода Хоттабыча теряла свою волшебную силу, когда намокала. Юные любители науки решили помочь джинну:



«— Придумал!» — возбужденно вскочил на ноги Женя. — Ей-богу, придумал!.. Нужно смазать бороду каким-нибудь жиром.

— Ну и что тогда? — пожал плечами старик.

— Тогда она не промокнет

даже под водопадом, вот что тогда!..

— Я достаточно сведущ в науках, — обиделся Хоттабыч, — но не знаю, какая это наука учит смазкой предохранять от порчи волшебную бороду».

Как объяснить старому джинну, почему смазанная жиром борода не промокает?

Есть учителя, наделенные даром волшебства. Им дано – утихомирить бесенят: и те испытывают свои смертоносные чары не на живых людях, а на куколках, вырезанных из бумаги. Им дано – расшевелить ангелочков: и те хватают чопорные свои нимбы, принимаясь играть ими в «попади-кольцом-на-колышек». Возьмем они вдруг желание, такие учителя и кошек научат говорить. Причем грамотно.

Урок географии мисс Уиллард закончила, задернув шторкой рельефный глобус Земли, совершеннее которого просто быть не могло, и бросив распалюющую воображение фразу: «Западное полушарие – через полтора дня». Потом она вальяжно раскинулась на учительском столе (ни дать ни взять – морской лев или красotka с обложки модного журнала!) и объявила: «А теперь физика. Три закона Ньютона».

– Эйнштейн их опроверг, – довел до ее сведения Бип.

– Они все равно верны – как частный случай, – довел до его сведения Бойси.

– Только такие и способны принять лентяи да олухи вроде вас, – уела обоих мальчишек пухленькая, словно мишка-панда, Беттян.

Строго посмотрев на всех троих, мисс Уиллард взяла в рот пинг-понговый шарик и с силой вытолкнула его воздушной струей. Шарик полетел через весь класс, едва не задев макушку Бипа. Ударившись о дюралевую переборку, целлулоидный бродяга отскочил от нее и полетел обратно точно тем же путем – будто сам себе в воздухе колею проторил. Тощая и проворная, как обезьяна-паук, Кики на малюсенький миг опоздала перехватить его. А мисс Уиллард вскинула голову (ну, точно морской лев!) и ухватила шарик губами.

– Ага, подвинулись все-таки! – критически оценил Бип.

– Ерунда, всего-то на три дюйма, – утешил Бойси.

Мисс Уиллард сделала вид, будто жует и глотает пинг-понговый шарик. «Чистая мята!» – сообщила она ребятам с чарующей улыбкой. И тут же: «Закон первый: тело движется по прямой или поконится... (тут она вытащила изо рта слегка перепачканный помадой шарик, ненадолго подвесила его в воздухе, затем накрыла ладонью)... если на него не оказывается воздействие».

Учительница раскрыла ладонь – в ней оказался бильярдный шар. Она катнула его туда-сюда, демонстрируя, как сильно оттягивает костяной колобок кисть руки, потом подвесила шар в воздухе и с размаху ударила по нему сложенным вдвое листком бумаги: смотрите, мол, какой тяжелый этот шар (тот едва-едва сдвинулся).

«Закон второй: тело меняет направление движения пропорционально действующей на него силе и стремится принять направление данной силы».

Учительница, согнув руку в локте, запустила шаром, словно ядром, со всего плеча. Массивный снаряд избрал траекторию, проложенную шариком пинг-понга – будто та колея все еще пролежала по воздуху. На этот раз Кики изловчилась и... тут же отдернула шесть извивающихся пальцев, словно в каждый из них впилося по жалю. Мисс Уиллард как бы между прочим заметила: «Во времена Гражданской войны солдатам руки отрывало, когда они пытались проделать то же самое с пушечными ядрами».

Ядро из слоновой кости выгнуло – бонгг! – дюралевую переборку на ноте «до» среднего регистра и рвануло обратно. Вогнувшись, переборка издала – бонгг! – звук тоном выше. «Теперь черед мистера Флеминга – ждите от него подачу», – не без подковыристого самодовольства предупредила Беттян учительницу. Но та была слишком занята: сморщив носик (ну, вылитый кролик!), мисс Уиллард хорошенько прицелилась и выпулила изо рта пинг-понговый шарик, который, пролетев до середины класса, врезался в бильярдный шар и с цокнувшим вжиком метнулся от него под тупым углом. Бильярдный шар мисс Уиллард поймала вытянутой рукой.

Из-под стола показалась другая ее рука с пневмопистолетом, заряженным пластиковым шариком. Подвесив в воздухе пистолет боком к классу, учительница произнесла: «Закон третий: действие и противодействие равны и противоположно направлены» – и спустила курок. Шарик вылетел из дула, а магниевый пистолет величественно, будто космолет на стыковку, двинулся вперед.

Бип зевнул и сказал: «Про такое всякий догадаться может».

«Походи в школу на Луне – в жизни не догадаешься, – отпарировала мисс Уиллард и добавила, переводя взгляд с Бипа на шестипалую ученицу. – Или на Марсе, да?» Кики истово закивала своими темными антеннами.

Открылся люк. Лысеющий человек с нарочито сердитым выражением лица протиснул в него верхнюю часть туловища. Вовремя, нечего сказать: прямо на него наплывал бороздивший просторы класса пистолет. Человек моргнул и машинально ухватил оружие.

«Мисс Уиллард, – начал мистер Флеминг, – эти отсеки никоим образом не предназначены ни для стрельбища, ни для кортов, ни для...» И тут до него дошло, что он размахивает пистолетом перед классом, который весь как один вытянулся и застыл с поднятыми вверх руками. Безнадежно вздохнув, человек оборвал свою речь на полуслове.

Прозвенел звонок. Детишки, словно выпущенные в воду рыбки, серебристой стайкой скользнули к люку и, обогнув мистера Флеминга, стремглав ринулись в коридор. Будто булабочки, головками притянутые к магниту, расположились они вокруг иллюминатора, в котором на фоне усыпанной звездами черноты виднелся округлый глобус Земли.

Табличка над люком гласила:

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
СПУТНИК «ГАММА»
ГОДДАРСКАЯ
НАЧАЛЬНАЯ ШКОЛА

Да, некоторые учителя наделены даром волшебства. И некоторые школы – тоже.

«КВАНТ» ДЛЯ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

Физика

Составители *В.А.Тихомирова, А.И.Черноуцана*

Редактор *В.А.Тихомирова*

Литературный редактор *Л.В.Карбасевич*

Технический редактор *Е.В.Морозова*

Компьютерная группа

Е.А.Митченко, Л.В.Калиничева

ИБ № 41

Формат 84×108 1/32. Бум. офс. нейтр. Гарнитура кудряшевская.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,72.

Заказ **2761**.

117296 Москва, Ленинский пр., 64-А,

«Квант»

Отпечатано на Ордена Трудового Красного Знамени

Чеховском полиграфическом комбинате

Комитета Российской Федерации по печати

142300 г.Чехов Московской области

Тел. (272) 71-336, факс (272) 62-536