

Григорий Фельдман

КАК НАГРЕТЬ ПЕСОК ОДНОЙ ЛЕВОЙ?

Солнечные лучи могут так нагреть песок, что по нему невозможно будет ходить босиком. А можно ли нагреть песок без солнца, без печки, без огня, одними руками?

Оказывается, да! Давайте попробуем!

Вам потребуется:

- воронка;
- пластиковая бутылка средних размеров (~1 л) с хорошо закрывающейся крышкой;
- сухой песок;
- для большей наглядности попробуйте найти спиртовой (не ртутный!) узкий термометр.

ЭКСПЕРИМЕНТ

1. Наполните бутылку песком на две трети с помощью воронки.

2. Если есть узкий термометр, то воткните его в песок, наклонив бутылку. Через несколько минут выньте его и посмотрите, какова температура.

Если термометра нет, то попытайтесь «запомнить» температуру песка, наклонив бутылку и сунув в неё мизинец.

3. Плотнo закройте бутылку крышкой. Сильно трясите бутылку в течение минуты. Чем сильнее, резче будет тряска, тем эффектнее будет результат. Трясти довольно тяжело, и бутылка может вырваться из рук. Поэтому проследите, чтоб поблизости не было хрупких предметов и окон!

4. Откройте бутылку и снова воткните термометр или проверьте нагрев песка мизинцем. Изменилась ли температура?





ОБЪЯСНЕНИЕ

При трении всегда выделяется тепло. Например, потерев с усилием руки друг о друга, уже через несколько секунд вы почувствуете, как сильно они нагрелись. Другой известный пример – трением палочек можно получать столь высокую температуру, что палочки загораются. С песчинками происходит примерно то же самое, только трутся они «сами об себя» и о бутылку.

Выделение тепла при трении доставляет немало неприятностей инженерам. Например, при спуске космического корабля он трется о воздух, притом настолько сильно, что обшивка загорается. Чтобы космонавт не «сварился» в корабле, приходится делать обшивку в несколько слоев. Загоревшись, слой обшивки через некоторое время отваливается, и трётся (а значит, греется) уже следующий слой.



Наталья Сапрыгина

Давайте посмотрим вокруг с точки зрения химии – науки, которая изучает вещества, их строение, свойства и превращения, которые происходят в результате химических реакций. Ежедневно, даже сам того не замечая, человек осуществляет химические реакции: умываемся ли мы, пьём чай с лимоном, стираем бельё, зажигаем спичку, да даже просто дышим или перевариваем пищу. Для примера заглянем на кухню и посмотрим, что нам мама приготовила сегодня на ужин. Может быть картофельное пюре с сосиской, клюквенный кисель и яблоко на сладкое? Это не только вкусная еда, но и предмет интересного химического исследования.

Продукты, из которых сегодня состоит наш ужин, содержат очень много химических веществ. Одно из них – важное и полезное вещество крахмал. Растения запасают крахмал в качестве питательного резерва в плодах, семенах и клубнях. Большое количество крахмала содержится в зёрнах риса, пшеницы, кукурузы, а также в клубнях картофеля. Чтобы в этом убедиться, возьмите сырую картофелину, аккуратно очистите, натрите на мелкой тёрке, полученную кашу размешайте в стакане холодной воды и отфильтруйте через тряпочку, полученную жидкость оставьте в стакане на ночь. Наутро на дне стакана вы увидите белое вещество – это и есть крахмал. Сам по себе крахмал – белый порошок без вкуса и без запаха, он «скрипит», если сжать его в руке. Когда человек съедает продукт, содержащий крахмал, то в пищеварительном тракте крахмал превращается в глюко-

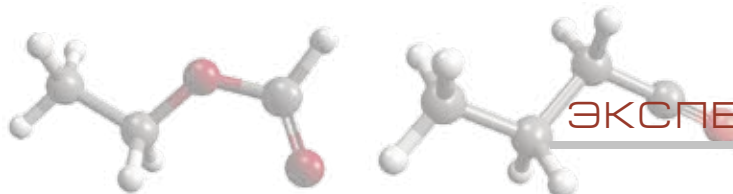
зу (её все ребята любят и знают по вкусным пастилкам из аптеки), которая усваивается организмом.

Запомните, химики никогда не пробуют исследуемые ими вещества на вкус, не трогают голыми руками, а пользуются перчатками и пинцетом, и нюхают очень осторожно, слегка подгоняя ладонью пары вещества в свою сторону.

Давайте начнём проводить настоящие химические опыты с крахмалом. Для этого возьмём столовую ложку крахмала и растворим его в стакане тёплой воды. (Крахмал можно попросить у мамы или сделать самим из картошки по приведённой выше инструкции.) В полученный раствор капнем спиртовым раствором йода (это нелюбимый нами йод из аптечки). Что мы увидим? Раствор приобретёт тёмно-синюю окраску. Это произошла химическая реакция крахмала с йодом. С помощью этой реакции можно узнавать, содержит тот или иной продукт крахмал или нет. Например, давайте разрежем сырую картофелину пополам и капнем на одну из половинок йодом.

До**После**

Через несколько минут мы увидим, что срез картофелины посинеет. Это неу-



дивительно: ведь мы уже знаем, что картошка содержит крахмал. А что же наш ужин? Содержится ли крахмал в картофельном пюре, сосиске, киселе и яблоке? Для этого необязательно лишать себя всего ужина. Нужно лишь взять пробу каждого продукта: чайную ложку пюре, кусочек сосиски, чайную ложку киселя и маленький кусочек яблока. На каждую пробу капнем йодом. Что мы увидим, подождав несколько минут? У нас посинеет кисель, потому что его приготовили из крахмала, воды, ягод и сахара. Без крахмала кисель был бы не киселём, а компо-

том. Яблоко тоже посинеет, так как яблоко растительный продукт. Пюре, приготовленное из картофеля, конечно, тоже посинелет. А сосиска? А если взять кусочек вареной колбасы и кусочек сырого мяса? Мясо и другие продукты животного происхождения не содержат крахмал, и поэтому ни мясо, ни сосиска, ни колбаса не должны посинеть. Если же сосиска или колбаса посинели, то это значит, что производитель колбасы заменил в фарше часть мяса крахмалом.

А напоследок давайте изготовим шпиритонские чернила и проявитель для них.

ШПИРИТОНСКИЕ ЧЕРНИЛА



1 Насыпаем одну столовую ложку крахмала в металлическую миску или маленькую кастрюльку.



2 Наливаем один стакан холодной воды и тщательно перемешиваем.



3 Нагреваем полученный раствор крахмала на небольшом огне минут 10-15, тщательно перемешивая и разбивая комки, не допускаем кипения.



4 Вы увидите, как раствор загустеет и станет похож на жидкий бесцветный кисель.



5 Клейстер готов – это и есть «чернила». Ими можно рисовать на бумаге «послание другу». Когда бумага высохнет, то рисунок «исчезнет».



6 Чтобы его проявить, потребуется «йодная вода» (20-30 капель йода на полстакана воды): бумагу с посланием нужно обрызгать пульверизатором с йодной водой.

Александр Бердников

ПРОГУЛКИ
ПО ВОДЕ

Ну ладно, не совсем по воде. Но почти. По воде нам мешает ходить то, что она очень уж жидкая. Только наступишь – сразу в стороны из-под ноги утекает. Но всё-таки некоторое сопротивление она успевает оказать. Спортсмены даже специально учатся при прыжках в воду с большой высоты правильно в эту воду «входить» (падать то есть), чтобы не слишком сильно удариться об неё. Значит, есть предел текучести воды. Этим пользуются ящерики *василиски*. Пока они маленькие, они способны бегать по воде в прямом смысле, причём довольно прытко. В Интернете легко найти видеозапись их бега.

Нам же, куда более тяжёлым и неуклюжим, перебирать ногами с такой скоростью не под силу. Остаётся заменить воду на что-нибудь более вязкое. Но это уже совсем не то, что мы хотели: если можно увеличивать вязкость, то почему сразу не взять, например, чуть смоченную глину? Она практически не растекается, ходить по ней мы умеем. Ладно, а что если у нас будет жидкость, которая, с одной стороны, текуча как вода, а с другой – очень вязка? Спрашиваете, как же такое может быть? Оказывается, очень даже может. Более того, её совсем несложно сделать в домашних условиях!

Купите в магазине побольше крахмала и разведите примерно таким же количеством воды, тщательно размешав (это, кстати, довольно трудоёмко). Если родители не против, можно приготовить целый таз этой жижи. Если таз достаточно крепок, в нём потом можно будет «бегать на месте по воде». *Только будьте при этом очень осторожны: держитесь за что-нибудь, чтобы не упасть, не используйте ёмкостей, которые могут не выдержать ваш вес. Ну и постарайтесь всё вокруг не забрызгать.*



ОПЫТЫ и ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Чем же замечательна получившаяся субстанция? При примерно равном соотношении воды и крахмала вязкость смеси будет очень разной в зависимости от того, насколько сильно её деформируют, грубо говоря. Смесь будет вести себя почти как вода, если, например, вы плавно погрузите в неё руку. Но стоит ударить по поверхности смеси, поцарапать её или крепко сжать в руке, как она притворится смоченной глиной. Можно слепить из неё шарик, который будет оставаться целым, только пока вы с силой его катаете. Остановитесь – и он буквально стечёт с рук. По такой жидкости действительно можно бегать, если резво перебирать ногами (тогда она будет вязче). Но стоит остановиться, и вы провалитесь в неё, медленнее, чем в воде, но всё-таки.

Этот опыт очень хорош тем, что, несмотря на его эффектность, он крайне прост, мастерить ничего не нужно. Так что не поленитесь и сделайте его. Придумывать самому другие развлечения с этой кашей несложно, главное следить за тем, чтобы масса не покидала своей тары, а то на минуту веселья будет приходиться 5 минут уборки последствий. Приятного времяпровождения!

Кстати, бывают и жидкости с обратным свойством: при сильном воздействии жидкие, а без него твердеют. Например, таковы краски и лак для ногтей. В неподвижном состоянии (например, когда они уже нанесены) они более густые, чем когда их наносят или размешивают. Ещё пример – кетчуп. Его специально при помощи химии делают таким, чтобы, будучи легко выдавленным из пакета, он сохранял свою форму на тарелке. Ещё сюда же можно отнести и кровь.



Сергей Дворянинов

*Я на лестницах ночью,
Где тепло от батарей!*

В. Высоцкий

НАГРЕВАТЕЛЬ ТОЛИ ВТУЛКИНА

Захожу я как-то к своему другу – хотел с ним в шахматы сразиться. Время было осеннее, на улице холодно и сыро – ни в футбол поиграть, ни на велосипеде покататься.

– Ты как раз вовремя пришёл, – обрадовался Толик. – Поможешь мне сейчас.

– А как помочь?

– Да дело вот в чём. У нас в квартире сломался водонагреватель. Тот, что даёт горячую воду и на кухню, чтобы посуду вымыть, и в ванную – душ принять, утром умыться. В нашем доме центральное отопление, а вода из крана только холодная. Во всех квартирах газовые колонки стоят. Вещь это в общем-то надёжная, но пришла пора заменить её на новую. Старую мы сняли, а новую ещё не купили. Уж больно большой выбор в магазине, пока не определились.

– Ну так ничего, день-другой обойдёшься без горячей воды. В крайнем случае, на плите чайник нагреешь. Как говорят, настоящий геолог, вскипятив чайник на костре, даже в тайге душ устроить может! Романтика!..

– Ну ты ещё вспомни, как триста лет назад в бане люди парились!

– А что? Ставили бадейку на огонь и грели воду.

– Это если бадейка железная! А если это деревянная кадушка? Её на огонь не поставишь! В те времена камни нагревали на печке, на них плескали воду, вода испарялась, мгновенно превращалась в пар. Так и парились. Да и сейчас так же делают, просто раньше по-другому-то никак нельзя было. А если раскалённый камень в кадку с водой опустить, то и там вода нагреется.

– Это времена совсем далёкие. А потом что было?

– Потом появились чугунные колонки. Колонка – это уменьшительное от колонна. Такие устройства действительно как колонны были. Они состояли



из двух частей: внизу – печка, которая топится дровами или углём, сверху – круглый бак с краном. Стояла такая колонка рядом с ванной.

– Да ведь это ой как неудобно: дрова-уголь принеси, потом золу-шлак вынеси, да ещё ждать надо, когда вода нагреется!

– Вот поэтому и были изобретены газовые нагреватели! Первые в мире газовые колонки появились в Германии в 1895 году и выпускались на фабрике Хуго Юнкерса.

– Юнкерса? Это тот, который самолёты строил?..

– Да, тот самый инженер. Тогда он был профессором университета. Первые газовые колонки были сложны, зато позволяли получать горячую воду без лишних усилий. К началу XX века они уже сами изменяли интенсивность пламени в зависимости от расхода воды. Безопасность обеспечивалась системой, которая автоматически отключала газ, если пламя гасло и газ, не сгорая, мог скопиться в опасных количествах. Юнкерс на первом этапе своей карьеры дал людям горячую воду, автоматически льющуюся в любой момент из-под крана. Сейчас для нас это обычное бытовое устройство. А в начале прошлого века оно было диковинкой и в Германии, и в других странах.

Изобретателю пришлось самому налаживать выпуск своих колонок, создав для этого одну из первых собственных фирм. Население сначала скептически отнеслось к новшеству. Особенно к моделям, крепившимся на стены. Привыкшие к массивным чугунным котлам люди боялись, что аппараты Юнкерса могут сорваться. Надо было убедить покупателей в надёжности и безопасности нагревателей. Выручила реклама. Недоверие рассеялось, когда появилась фотография настенного нагревателя с... сидящим на нём крепким молодым человеком.





Художник Татьяна Ахметгалиева



– Человек всегда стремился обустроить своё жилище. Вначале требовались тепло и свет, а потом и горячая вода. Вот и я хочу сделать что-то полезное, – продолжал Толик, – внести, так сказать, свой вклад! – Тут он присоединил к крану холодной воды длинный шланг, который затем стал наматывать на трубы горячей батареи.

– Помогай! – обратился он ко мне. – Видишь, – с воодушевлением начал он объяснять принцип работы своей конструкции, – шланг обвивает горячую батарею. Поэтому вода в шланге нагревается. Когда я открою кран, вода польётся уже горячая. На её место поступит холодная вода из водопроводной сети, которая потом тоже нагреется. Это же экологически чистый нагреватель! Ни копоти, ни сажи! И кислород не тратится на горение! Главное – нагреватель абсолютно бесплатный. Я буду платить только за холодную воду! В газовой колонке вода получает тепло от сгорающего газа, а у меня вода берёт тепло, можно сказать, из воздуха. Ведь тепло от батареи рассеивается в пространстве, по сути дела – теряется. Так пусть же оно пойдёт на нагревание воды!...

А мы зададим нашим читателям вопросы:

Кто платит за тепло, идущее на нагревание воды в нагревателе Толи Втулкина?

Действительно ли оно экологически чистое?

От чего зависит скорость нагревания воды?



КАК «УВИДЕТЬ» ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ?

В школьных учебниках написано, что человек не видит инфракрасное (ИК) излучение. И всё-таки его можно «увидеть» с помощью любой цифровой фотокамеры или мобильного. В качестве источника ИК подойдет пульт дистанционного управления, например, от телевизора. На переднем торце пульта расположена лампочка. Если наблюдать за ней невооружённым глазом и нажимать кнопки пульта, никаких изменений не видно. Но попробуйте смотреть на лампочку через дисплей фотокамеры. При каждом нажатии на кнопку будет ясно видно, как лампочка пульта вспыхивает светло-фиолетовым светом.

Пульт посылает телевизору сигналы с помощью инфракрасного излучения. Они улавливаются специальным приёмником в телевизоре. Почему используют такой странный способ передачи? Оказывается, системы на основе ИК даже более просты в изготовлении, чем системы с обычными световыми сигналами. Да и вспышки инфракрасного света нам не мешают — мы его просто не видим.

Что происходит, когда такая вспышка попадает в фотокамеру? Камера воспринимает изображение миллионами светочувствительных датчиков. Они довольно хитро устроены — например, есть отдельные датчики для красного, зелёного и синего цветов. Это необходимо, чтобы можно было получить на экране цветное изображение. Например, если среагировал датчик красного света, то нужное место экрана будет подсвечиваться красным. Но все эти датчики немного реагируют также и на инфракрасное излучение. Поэтому мы и видим на экране вспышку обычного света, когда датчики улавливают яркую вспышку ИК от пульта. Если же таких ярких вспышек ИК нет (как обычно и бывает), описанный недостаток датчиков практически не влияет на получаемое изображение.

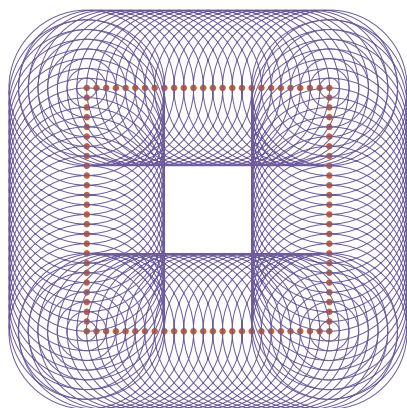


Художник Дарья Котова

Вячеслав Чернов,
Андрей Щетников



Процарапанная ГОЛОГРАММА



Для этого опыта нужна пластина из прозрачного пластика; подойдёт оргстекло или поликарбонат. Также нам потребуются острое шило и циркуль с винтом и иглами на обеих ножках. Начертим на пластине квадрат со стороной 5 см. По периметру квадрата с шагом в 2 мм наколём шилом точки. Установим раствор циркуля в 16 мм. Одну иглу циркуля поставим в какую-нибудь отмеченную точку, а другой иглой прочертим круговую царапину на пластине. Повторим это действие для всех отмеченных точек, не меняя раствора циркуля. Царапины надо проводить плавно, не прилагая особых усилий.

Теперь уменьшим раствор циркуля до 14 мм и проведём четыре окружности с центрами в вершинах исходного квадрата. Снова уменьшим раствор циркуля до 12 мм и проведём ещё четыре окружности с теми же центрами. И так, уменьшая раствор циркуля каждый раз на 2 мм, будем проводить каждый раз четыре новые окружности. В результате у нас получится процарапанная картинка, показанная на рисунке.



А теперь надо дождаться солнечного дня и выйти на улицу. Возьмём пластинку в руку и посмотрим через неё не прямо на солнце, а немного в сторону от него. Царапины засверкают, и вы увидите чёткое изображение куба. Поворачивайте пластинку – вместе с ней начнёт вращаться и куб, так что изображение будет выглядеть не двумерным, а трёхмерным!!!

Как объяснить эту чудесную картину? Дело в том, что на каждой прочерченной окружности сверкают две точки – самая ближняя к солнцу, как мы его видим на небе, и самая дальняя от него. Все сверкающие точки образуют скелет видимого куба. Когда мы вращаем пластинку, вращается и этот скелет, так что мы видим иллюзорное трёхмерное изображение.

Изображения, полученные таким способом, называются процарапанными голограммами. Для получения настоящей голограммы требуется сложное лазерное оборудование, а вот процарапанную голограмму может сделать каждый!



Художник Евгений Паненко

Михаил Старшов

ЖУЮЩИЙ АЛЮМИНИЙ

Общеизвестно, что металлы музыкальны, в том смысле, что большинство металлических предметов звучат при коротких ударах по ним чем-нибудь твёрдым («Раздаётся звон мечей»!). Поэтому металлы идут на изготовление колоколов и многих других музыкальных инструментов и устройств. Естественно, для хорошего звука мало выбрать металл, важно уметь придать ему необходимую форму. И гениальные мастера уже в очень давние времена умели сделать такие отливки для колоколов, что каждый обладал собственным «голосом», и больше того, – подбор нескольких колоколов при одном храме создавал гармоничное звучание, безошибочно узнаваемое и глубоко воздействующее на слушателей.

А мы все с детства знаем «ниточный телефон», хотя не так уж многие делают эту простенькую игрушку. Достаточно любым способом закрепить прочную длинную нитку на донышках двух пластиковых стаканчиков и растянуть нитку во всю длину. Один человек приближает стаканчик открытым краем к уху, а другой что-либо не очень громко говорит в свой стаканчик, тогда звуки достаточно успешно проходят по нитке и речь вполне различима на другом конце.

Для тех же, кто не любит в точности повторять всем известный опыт, можно посоветовать совсем другую забаву со звуком. При этом объединяются в эксперименте нитка и металл. Начнём и этот рассказ с давно известного: «К серебряной или мельхиоровой ложке привязывают проволоку, концы которой вкладывают в уши. Если ложку заставить качаться, и притом так, чтобы она ударялась о край стола, то передача звука в момент удара будет до такой степени сильна, что наблюдателю кажется, будто он слышит звон церковного колокола» – так написал почти полтора века назад Гастон Тиссандье (1843–1899), автор самой первой книги с описанием занимательных научных опытов.

Для первого автора и исполнителя этого опыта всё описано довольно прилично. Хотя... Вот он советует вкладывать в уши концы проволоки, о которой вообще ничего нам не сообщает. И это делает опыт по-настоящему опасным – наш орган слуха настолько нежен, что конец



проволоки может нанести ему непоправимый ущерб. Гораздо безопаснее подвесить ложку, хотя бы чайную, на нитке, другой конец которой прижать пальцем неглубоко в ушной раковине. Вторая неточность описания старого учёного заключена в слове «момент». Звнящий и красивый мелодичный звук продолжается некоторый промежуток времени после удара ложки о столешницу. Это напоминает замечательный инструмент с красивым названием *камертон*, применяемый для настройки музыкальных инструментов.

О ложке. Непременно надо искать «серебряную или мельхиоровую ложку»? Испытывать «на звук» можно любой металлический предмет. И даже такой явно неподходящий металл, как алюминий, ведёт себя в этом опыте совершенно неожиданно – он звучит ничуть не хуже серебра или мельхиора! Можно проверить дюралюминиевые трубки – отрезки старой лыжной палки. Да и не только металлы годятся для этих опытов, очень красиво звучит стекло, например, стеклянная трубка толщиной в карандаш.

И в заключение ещё один совет. Во время экспериментов со звучащими металлами в коробке со всякой всячиной, которую жалко выбросить, я увидел беленькую фарфоровую шайбу. Помню, конечно, что она изолировала в старом телевизоре огромное по нынешним наномасштабам сопротивление. Сквозь эту шайбу я пропустил обычную нитку, завязал петельки на её концах, вставил в петли отрезок старой алюминиевой проволоки, оставшийся после смены электропроводки в квартире, и прибор готов. Шайбу слегка прижал внутри ушной раковины, наклонился и задел концом проволоки край стола – проволока замечательно зазвенела, и этот звук продолжался несколько секунд. И самое интересное: ухо слышало периодическое изменение громкости звука вращающейся проволоки. Если такой шайбы у вас не найдётся – возьмите вместо неё пластиковый дюбель.

Короче говоря, эта игра так же неисчерпаема, как и все физические эксперименты. Пробуйте разные варианты, изменяйте условия опыта, и вы получите немало удовольствия, а отсюда шаг до пользы.

Художник Ольга Демидова



Наталья Сапрыгина

ТЁМНАЯ И СВЕТЛАЯ
СТОРОНЫ ЧАЯ

Все мы знаем, как полезно зимой пить горячий чай с лимоном: не только чтобы пополнить запас витаминов, но и чтобы насладиться приятным вкусом и ароматом напитка. Я очень люблю неспешно выпить чашечку свежесваренного чёрного чая с ломтиком лимона и чайной ложечкой сахара и подумать о чём-нибудь интересном, на что у нас обычно не хватает времени. Например... почему чай светлеет от лимона? Наверняка многие задумывались об этом. Некоторые даже ответят: потому что лимон кислый. Они будут абсолютно правы. В лимоне содержится лимонная кислота, а в чае особые вещества, которые придают ему окраску и изменяются под действием кислоты. А что сделать, чтобы чай не светлел, а темнел? Может быть, посолить его или поперчить? Ни то и ни другое: чай потемнеет, если в него добавить пищевой соды. Возьмём стакан чёрного чая, положим в него пол чайной ложки пищевой соды (попросите её у мамы), размешаем и увидим, что чай приобрёл интенсивную тёмную окраску (к сожалению, после этого эксперимента, как и после любого химического эксперимента, этот чай пить будет уже нельзя). Если снова добавить в чай кислоты, например, ещё лимонного сока, то чай посветлеет, а если потом добавить соды, то снова потемнеет. Таким способом цвет чая можно будет обращать из тёмного в светлый много раз. Лимонную кислоту можно заменить столовым уксусом (это раствор уксусной кислоты в воде), а пищевую соду – стиральной (кальцинированной) содой или нашатырным спиртом (из аптечки, это раствор аммиака в воде). Только надо быть очень осторожным: пользоваться перчатками, проводить эти эксперименты вместе с взрослыми и на открытом воздухе,

чтобы не вдохнуть пары уксусной кислоты и аммиака. Кислоту и аммиак нужно добавлять по каплям, для этого вам понадобится пипетка. Попросите её тоже из аптечки, после опытов её можно будет хорошо вымыть и убрать обратно.

Кислота при попадании в воду создаёт так называемую кислотную среду, а сода и аммиак – щелочную среду. Что это значит? В молекуле воды H_2O два атома водорода и один – кислорода. Но у небольшой части молекул химическая связь, связывающая молекулу, рвётся, и молекула распадается на две заряженные частички, *ионы*: положительный H^+ и отрицательный OH^- . В чистой воде количество ионов H^+ равно количеству ионов OH^- и равно количеству распавшихся молекул. А вот кислоты распадаются на ионы водорода H^+ и остаток от кислоты, а щёлочи – на OH^- и остаток от щёлочи. Получается, что в растворе кислоты ионов H^+ больше, а OH^- меньше, чем в чистой воде, и такая среда называется кислой. А в растворе щёлочи всё наоборот: ионов H^+ меньше, а OH^- больше, чем в чистой воде, и такая среда называется щелочной.

Наш чёрный чай и другие вещества, которые реагируют на присутствие кислоты или щёлочи в воде и изменяют свой цвет, называются кислотно-основными индикаторами (от латинского *indicator* – указатель). Химики и биологи в своих лабораториях используют индикаторы для определения кислотности среды. Для них, а ещё для садоводов, косметологов, любителей аквариумных рыбок кислотность среды имеет огромное значение. Даже мало знакомому с химией человеку понятно, что рыбки не могут жить в кислой или щелочной воде, цветы и деревья требуют определённой кислотности почвы. Для измерения кислотности химики ввели понятие pH («пэ аш»). Чтобы найти pH , нужно измерить концентрацию ионов водорода H^+ в растворе. Получится число, которое, как правило, гораздо меньше 1. У этого числа нужно, грубо говоря, посчитать число нулей перед первой ненулевой цифрой. Более точно, концентрация ионов в чистой воде – около 0,0000001 и pH равно 7; среда с таким значением pH называется нейтральной. При увеличении концентрации ионов H^+ в 10 раз





pH уменьшается на 1, а при уменьшении концентрации в 10 раз pH увеличивается на 1. Если pH меньше 7, то ионов водорода больше и среда кислая; если pH больше 7, то среда щелочная. Наверное, все вы слышали о достоинствах шампуня с pH 5,5 и недостатках обычного туалетного мыла, которое плохо влияет на чувствительную кожу.

На обычной кухне можно найти много продуктов, которые являются индикаторами pH: вишнёвый или свекольный сок, крепко заваренный чай каркаде, сок из краснокочанной капусты, отвар луковой шелухи, даже красные цветки герани. Попробуйте провести эксперимент с любым из этих индикаторов. Возьмите два прозрачных сосуда, чтобы было лучше видно, и налейте в каждый примерно 1/4 стакана индикатора. В один стакан по каплям добавляйте раствор кислоты (например, лимонной, её можно купить в магазине и растворить в тёплой воде, 1 столовая ложка на полстакана воды), а в другой – раствор соды или нашатырный спирт и наблюдайте за изменением цвета. Моим любимым является эксперимент с чаем каркаде: в кислой среде чай ярко-розовый, а при добавлении соды синий или даже зелёный. Если вы найдёте ярко окрашенные лепестки или цветки, то их можно будет опустить в раствор лимонной кислоты или нашатырный спирт и посмотреть, что произойдёт.

А из сока краснокочанной капусты можно изготовить удобную бумажную версию кислотно-основного индикатора. Для этого нужно взять небольшой кочан, натереть его на тёрке, опустить капусту в кастрюльку с кипящей водой и прокипятить 15–20 минут, затем остудить и отфильтровать отвар через марлю. Полученным отваром нужно пропитать полоски белой бумаги (например, возьмите бумагу для принтера и нарежьте на полоски 10 × 1,5 см), вытащить бумажки из раствора и просушить их. Попробуйте протестировать этими полосками pH различных жидкостей, которые найдёте у себя дома: например, уксус, апельсиновый сок, шампунь, вода из-под крана, нашатырь и так далее. Если среда кислотная, то полоска окрасится в розовый или красный цвет, а если среда щелочная, то в синий или зелёный.

Художник Александра Будилкина

Александр Бердников

МАШИННАЯ ТОЧНОСТЬ

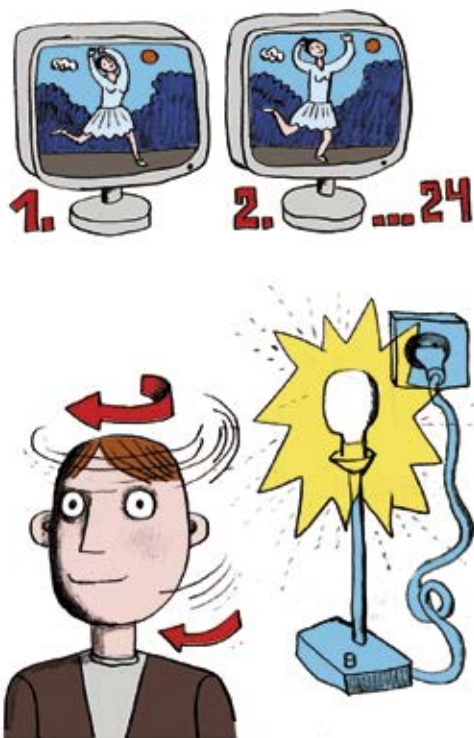


Лампы во многих электронных табло (на дисплеях будильников, в московском метро, в аптечных зелёных крестах) и уличные фонари светят не ровным потоком, а мигают с частотой сотни раз в секунду. Мы, как правило, этого не замечаем, так как время между вспышками слишком мало, и они сливаются для глаза в сплошное свечение. Поэтому, например, нам кажется, что изображения на экране телевизора движутся плавно, хотя и он лишь показывает с большой скоростью серию последовательных картинок.

Однако есть простой приём, с помощью которого можно иногда заметить очень быстрые изменения, например, мигание лампочки с частотой до тысяч раз в секунду. Можете попытаться самостоятельно придумать такой способ. Эта задачка сложная, но решаемая. Пока скажем, что такой метод используется и при настоящих высокоскоростных съёмках. Основанные на нём приборы (стрик-камеры) позволили, в частности, заснять самое быстрое, в некотором смысле, явление: полёт импульсов света. Результаты вы можете посмотреть на сайте <http://web.media.mit.edu/~raskar/trillionfps/>.

Суть нашего трюка проста – нужно дёрнуть головой. Или быстро перевести взгляд. Потом мы скажем, как упростить наблюдение, а пока разберёмся, как работает перевод взгляда. Сначала поймём, как заметить частое мигание. Если бы лампа светила ровно и вы скользнули по ней взглядом, она бы оставила впечатление ровной яркой полосы. Но поскольку лампа в разные моменты то горит, то затухает, след от неё выйдет прерывистый, полосатый. Дальше в статье мы покажем примеры таких полос.

Пусть у нас теперь есть две лампочки, и левая мигает на мгновение позже правой. Такое часто бывает у цифр на электронном табло. Что вы увидите, если быстро переведёте взгляд сверху вниз? Давайте нарисуем «по кадрам» (рис. 1).



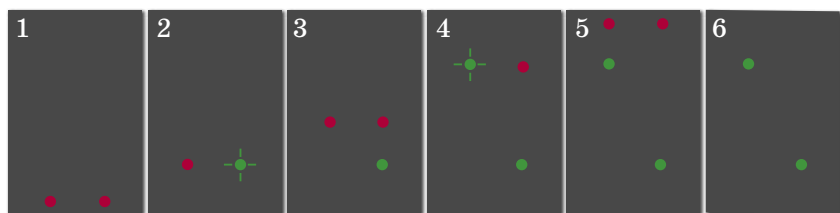


Рис. 1

Пока ваш взгляд идёт вниз, наблюдаемая картинка поднимается (так как в центре поля зрения оказывается то, что было расположено ниже). В определённый момент (кадр 2) мигает правая лампочка. Дальше лампочки едут вверх в поле зрения, но глаз, увидев яркую вспышку, «запомнит» её ненадолго в том низком месте, где она произошла.

Что произойдёт дальше? Мигнёт и левая лампочка, но немного позже, то есть выше в поле зрения (кадр 4). В результате глаз запомнит вспышки не на одном уровне, первая вспышка запомнится чуть ниже (кадр 6). Так можно увидеть, какая лампочка и примерно насколько опережает другую. Если, например, быстро провести взглядом по табло московского метро, вы на мгновение увидите что-то наподобие фото 1. Цифры загораются по очереди, справа налево. Здесь, как и в остальных опытах, важно, чтобы окружающий фон был гораздо темнее табло, иначе фон засветит запомнившиеся глазу циферки.

Точно такой же трюк позволяет заметить перебивание цвета некоторых (старых и уже тусклых) люминесцентных ламп. Быстро скользнув взглядом по лампе, вы можете увидеть картинку, отдалённо напоминающую фото 2.



Фото 2

Похоже выглядит и свет некоторых проекторов, которые делают вспышки различными цветами строго по очереди (фото 3).



Фото 1





Фото 3

Вот другой опыт. Возьмите гитару и положите так, чтобы металлические порожки на ней были как можно ярче освещены (бликовали). Если теперь дёрнуть одну из струн и пробежать вдоль неё взглядом, вы увидите что-то наподобие фото 4: видны две волнистых тёмных линии. Это графики колебания струны (они будут тем точнее, чем равномернее движется взгляд). Один график вычерчен тенью струны на порожке, а второй – самой струной, загораживающий яркий порожек.



Фото 4. Струны расположены горизонтально, колеблется вторая снизу струна. Фотоаппарат во время съёмки двигался справа налево. Порожки, двигаясь в кадре слева направо, получились светлыми полосатыми прямоугольниками.

Вопросы на усвоение: почему след от порожка такой полосатый? Прочтя статью до конца, попробуйте ещё понять, как с помощью этой полосатости выяснить частоту колебаний струны.

Как в описанных трюках оценивать временные промежутки? Можно измерить отношение двух таких промежутков времени. Например, на фото 1 мы знаем частоту миганий фонаря слева – это удвоенная частота городской электросети (ток греет лампочку дважды за цикл: идя в одну сторону, а потом идя в другую).



Частота в сети – 50 колебаний в секунду, значит, обычные фонари мигают 100 раз в секунду (это полезно помнить для таких прикидок). Между соседними «по-мрачениями» фонаря укладывается примерно два следа первой цифры (это показывают жёлтые чёрточки на фото 5), значит, она мигает вдвое чаще, где-то раз в $1/200$ с. Теперь можно прикинуть и время между вспышками соседних цифр: первая и последняя загораются почти одновременно. Так что $1/200$ с (большой зелёный отрезок) нужно поделить на 5–6 равных интервалов (маленькие зелёные), чтобы получить разницу во вспышках соседних цифр, около $1/1000$ с.

Приведём несколько кадров из скоростной (1000 кадров в секунду) съёмки описанных явлений (фото 6 и 7). Сравните их с фотографиями 1 и 2, сделанными с помощью резкого поворота камеры.

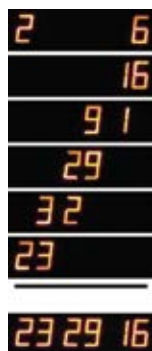


Фото 6

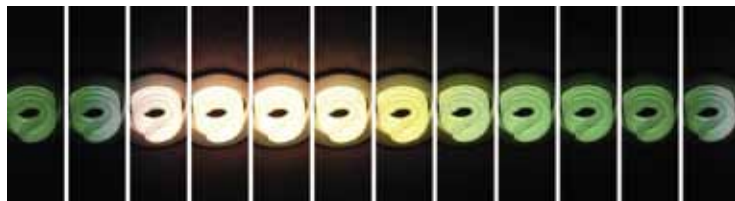


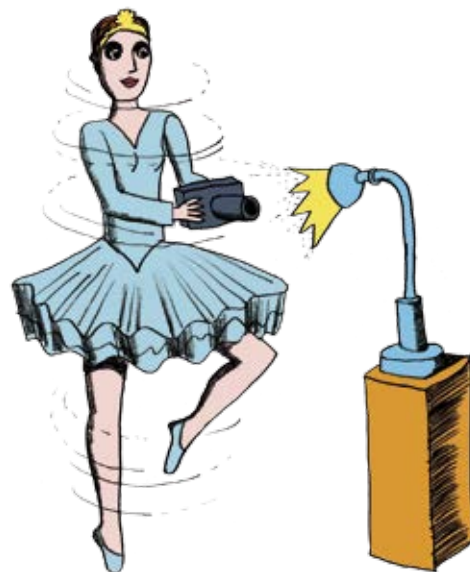
Фото 7

Кстати, на втором и последнем кадрах с лампочкой (фото 7) заметно, как фотоаппарат сам на протяжении одного кадра сделал временную развёртку: левая часть лампы зелёная, правая – светло-голубая. Это произошло из-за того, что все точки изображения сохраняются по очереди. Пока делался кадр, лампа, тлевшая зелёным, начала разгораться, но это уже успело отразиться только на поздней правой половине кадра. Так мы запечатлели ещё более короткие явления. Полные ролики этих скоростных съёмок вы можете посмотреть на нашем сайте <http://kvantik.com/>

Если вам эти опыты понравились, но повторить их не получается (чёткая картинка не ловится), дело может быть в недостатке опыта правильного движения глаз и головы. Мы хорошо следим взглядом за



Фото 5





чем-нибудь и хорошо его перебрасываем, переключая внимание между точками. А чтобы водить взглядом вокруг чего-либо, отстранённо следя за изображением в целом, к этому нас, так сказать, эволюция не готовила. Будем обманывать инстинкты: смотрите не прямо на лампы, а на их отражения в небольшом зеркальце. Покачивая его в разные стороны, заставьте отражение лампы быстро бегать по поверхности зеркала. Так рассматривать описываемые им кривые сильно проще.



Поведение внимания при перескоке взгляда вызывает интересную иллюзию. Для начала вопрос: как вы думаете, что вы повернёте быстрее – глаза или всю голову целиком? Кажется невероятным, чтобы стремительный бросок взгляда в другую сторону оставлял какие-то шансы тяжёлой голове. Но на деле голова не только не отстаёт, но даже немного опережает глаза. Они хоть и легче, но и возвращаются слабенькими мышцами. Особенно эффектно сравнить кажущуюся быстроту своих глаз со скоростью чужих (или своих же, заснятых на камеру).



Но почему же тогда движения глаз казались нам почти мгновенными, в отличие от поворота головы? В этом и есть иллюзия. Когда мы быстро переводим взгляд с одной цели на другую, мозг часто задним числом подменяет шедшую из глаз при их движении мешанину изображений на конечную картинку. В результате вам кажется, что всё время, пока глаза поворачивались, вы уже смотрели в конечную точку, будто поворот глаз был мгновенным.



Вы могли не раз на скучных уроках замечать проявление этой иллюзии. Если перевести взгляд на часы, показывающие секунды, иногда кажется, что первая их секунда ненормально долгая. Может даже показаться на мгновение, что часы вообще встали. Как вы догадываетесь, это происходит потому, что к первой секунде мозг приписывает ещё и то время, пока вы переводили взгляд.

Под конец оставим задачку как раз по рассказанному материалу. Следя за бегущими строками, вы могли заметить, что на некоторых из них (например, в вагонах московского метро) буквы немножко наклонны, хотя лампочки стоят строго вертикальными рядами. А если надпись останавливается, буквы выравниваются. Как так выходит?

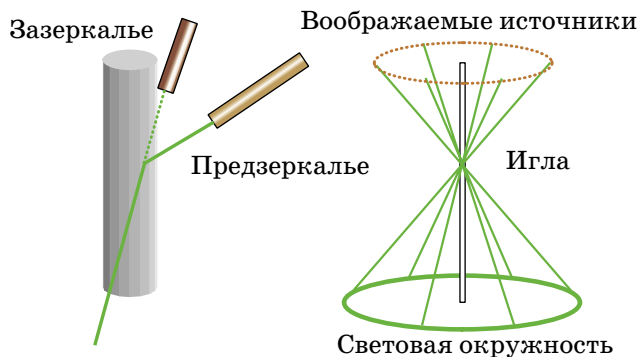
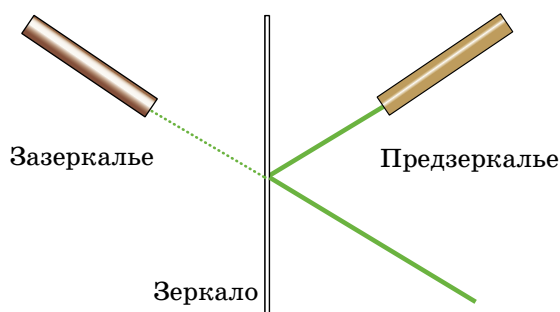


Установите вертикально тонкую стальную иглу, спицу или гладкую медную проволоку. Возьмите лазерную указку и направьте её так, чтобы лазерный луч падал наклонно на горизонтальную поверхность стола. Когда луч попадёт на иглу, на столе появится яркая световая окружность.

Попробуем понять, почему так получается. Сначала вспомним, как световой луч отражается от плоского зеркала. Можно представить, будто бы этот луч идёт по прямой линии из другой лазерной указки, расположенной в Зазеркалье. Если поставить плоское зеркало вертикально, эта воображаемая указка будет располагаться по другую

сторону зеркала на такой же высоте над столом и на таком же расстоянии от зеркала, как и настоящая указка.

Теперь вернёмся к опыту с иглой. Игла, от которой отражается свет, — это тонкий цилиндр с зеркальной поверхностью. Мысленно разобьём этот цилиндр на узкие плоские зеркала. Наша указка отразится в каждом таком зеркале — и все источники света будут лежать на одной горизонтальной окружности, через центр которой проходит вертикальная игла. Лучи, выходящие из этих источников, собираются на игле и идут дальше, образуя световой конус. А окружность, которую мы видим на столе, является сечением этого конуса.



ИГРУШЕЧНОЕ СУДНО НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

В «Квантике» № 3 за 2013 год описано, как сделать игрушку на воздушной подушке из компакт-диска и шарика. Она скользит почти без трения по гладкой поверхности. За этим трюком и другими, ещё более удивительными, стоит интересная физика.

ПАРЕНИЕ НАД СТОЛОМ... И ПОД ПОТОЛКОМ!

Возьмите пластиковую трубку с внутренним диаметром около 15 мм и отпилите от неё кусок длиной в несколько сантиметров. Прикрепите кусок трубки к центральному отверстию компакт-диска с помощью пластилина или термоклея (к той стороне диска, где у него дорожки с информацией). Намотайте на трубку резинку, а затем наденьте резиновый воздушный шарик. Теперь закрепите на трубе горловину шарика резинкой. Аппарат готов.

Сначала повторим опыт с парением над столом. Надуйте шарик через отверстие, перекрутите его горловину, чтобы шарик не сдулся раньше времени, поставьте диск на гладкую горизонтальную поверхность и раскрутите горловину. Судно будет парить над столом несколько секунд, опираясь на поток воздуха, который течёт в узком зазоре между диском и столом и поддерживает диск «на плаву», как воздушная подушка. Этот опыт лучше получается с узкой трубкой, например, с корпусом от шариковой ручки.

Для второго опыта ширина трубки должна быть не меньше сантиметра. Приставим диск с надутым шариком к ровному потолку и вновь дадим выход воздуху. Удивительно, но факт: теперь судно зависнет под потолком, и поток воздуха между диском и поверхностью потолка будет действовать на диск, как присоска.

По-видимому, дело в ширине зазора между диском и поверхностью. Под весом судна зазор становится уже, когда судно парит над столом, и шире, когда оно парит под потолком. Получается, что



ОПЫТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

при узком зазоре диск отталкивается от поверхности, а при расширении зазора отталкивание сменяется притяжением. Эту зависимость просто пощупать руками: попытайтесь легонько то прижимать, то оттягивать парящий диск, и вы почувствуете его сопротивление. Эта же зависимость объясняет и то, почему диск парит над столом ровно, не заваливаясь на бок: опущенный бок сразу оттолкнётся, а поднявшийся – притянется обратно.

Как такое может быть?

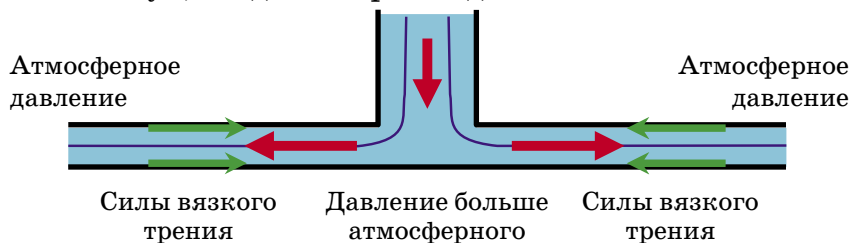
ОБЪЯСНЕНИЕ ОТТАЛКИВАНИЯ

Когда воздух или жидкость движется по длинным узким трубам, на их течение заметно влияет вязкое трение. На первый взгляд, жидкость могла бы скользить вдоль прямой трубы по инерции, её не надо постоянно проталкивать через трубу. Но в реальности пристеночные слои жидкости тормозятся стенками трубы, следующие слои тормозятся пристеночными, и так далее. Из-за этого, чтобы прокачивать жидкость через ровную трубу, нужно, чтобы давление на входе в трубу превышало давление на выходе – тогда разность давлений будет уравновешивать вязкие силы, тормозящие жидкость.



Силы вязкого трения

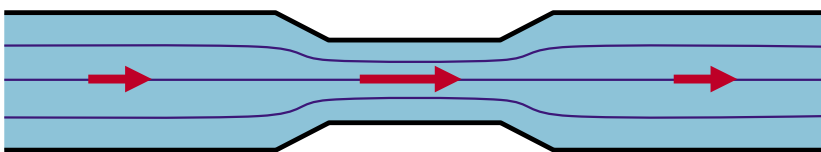
Так же ведёт себя воздух в зазоре под диском, если зазор достаточно узкий. На самом краю диска давление почти атмосферное, а чем ближе к центру, тем оно должно быть больше, чтобы проталкивать воздух наружу, несмотря на трение. Это давление, вместе с реактивной тягой вылетающей струи, поддерживает диск «на плаву», когда он парит над столом.



СВЯЗЬ СКОРОСТИ С ДАВЛЕНИЕМ

Объяснение притяжения начнём с такого опыта. Держа пару стаканов на расстоянии полсантиметра друг от друга, сильно дуньте в щель между ними. Стаканы ощутимо дёрнутся друг к другу! Это проявляет себя закон Бернулли: если жидкость или газ протекает через трубу переменного сечения, то где скорость потока больше, там давление меньше. Поскольку через все сечения трубы за одинаковое время протекает одно и то же количество жидкости, скорость потока будет больше на узких участках трубы; значит, на узких участках давление будет меньше, чем на широких.

На первый взгляд закон парадоксален. Но подумайте сами: чтобы протолкнуть жидкость из широкой части трубы в узкую, надо разогнать её; а для разгона давление в широкой части должно быть выше, чем в узкой. И наоборот, если жидкость из узкой части попадает в широкую, скорость в широкой части падает, и когда в эту медленно текущую жидкость втекает быстрая жидкость из узкой части, она своим напором создаёт в широкой части повышенное давление, которое её же и замедляет.



Скорость меньше,
давление больше

Скорость больше,
давление меньше

Скорость меньше,
давление больше

ПРИТЯЖЕНИЕ ДИСКА

Вернёмся к диску. Воздух движется от центра диска к краю во все стороны сквозь щель постоянной ширины. Но чем ближе к краю, тем щель становится длиннее. Площадь щели увеличивается, а значит, скорость потока воздуха уменьшается. В результате, по закону Бернулли, давление на краю повышается. Но там оно почти атмосферное, а значит, ближе к центру диска оно было ниже. Вот и объяснение притяжению!



Скорость больше,
давление меньше

Скорость меньше,
давление больше

ОПЫТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

СОЕДИНИМ ОБА ОБЪЯСНЕНИЯ ВМЕСТЕ

Может показаться, что оба опыта полностью разобраны: парящий над столом диск отталкивается от поверхности из-за сил вязкого трения, а парящий под потолком диск притягивается к поверхности из-за проявления закона Бернулли. Но ведь вязкое трение и закон Бернулли действуют в обоих опытах.

Оказывается, толщина щели как раз и определяет, какое давление окажется сильнее: от трения или от Бернулли. При сужении щели начинает «побеждать» трение и диск отталкивается, а при расширении трение «проигрывает» Бернулли и диск притягивается. В результате при любых отклонениях диск стремится вернуться на то расстояние, при котором отталкивание с притяжением компенсируются.

Чтобы убедиться в этом, сделаем такой мысленный опыт. Будем фиксировать диск на разных расстояниях от поверхности и следить, как при этом меняется баланс между давлением, вызванным силами трения, и понижением давления из-за закона Бернулли.

Например, начнём приближать диск к поверхности. Если при этом скорость потока воздуха везде останется неизменной, то не изменится и вклад от Бернулли. А вот эффект от трения увеличится. Во-первых, давление, борющееся с трением, теперь действует на меньшую площадь щели. Значит, давления понадобится больше для создания прежней проталкивающей силы. Во-вторых, вырастет и сама сила трения, с которой нужно справиться, так как стенки стали ближе к середине потока и сильнее его тормозят.

Итого: при меньшем зазоре и той же скорости потока вклад от Бернулли не изменится, а от трения — увеличится, и поток начнёт больше отталкивать диск.

На самом деле, скорость упадёт (из-за большего трения). После этого трение уменьшится, но и эффект от Бернулли упадёт не меньше, так что опять баланс сместится в пользу трения и диск будет отталкиваться.

При расширении зазора все рассуждения сработают в обратную сторону.

Вот почему наше судно может летать и над столом, и под потолком.





Антон Сорокин,
Марина Позолотина

ДВЕ ЗАДАЧИ ТУРНИРА ПО ФИЗИКЕ

«ШУНТ»



В марте 2015 года в городе Киров на базе Центра дополнительного образования одаренных школьников прошел всероссийский Школьный учебно-научный турнир по физике «ШУНТ» для учащихся 7–9 классов.

Основную часть турнира составляли физические бои, на которых в дискуссии обсуждались интересные физические явления.

Ниже представлены две задачи прошедшего турнира.

Сыпучие вещества

Возьмите пачку соли «Экстра» (соль самого мелкого помола), сделайте в ней небольшое отверстие, отрезав нижний уголок, и слегка сожмите упаковку в руках. Соль начнет высыпаться тонкой струйкой. Продолжите сжимать упаковку все сильнее и сильнее. Казалось бы, скорость высыпания соли должна увеличиваться. Однако наблюдается обратный эффект – скорость высыпания соли уменьшается вплоть до прекращения при значительном сжатии.

В отличие от жидкостей, скорость истечения которых через узкое отверстие возрастает с увеличением давления, в сыпучих веществах действие силы может привести к уплотнению частиц и, как следствие, к увеличению силы трения между ними. Это в основном и является причиной «заклинивания»: у отверстия образуется арочный свод из крупинок вещества.

Сила трения между частицами зависит от их формы и размеров, взаимного расположения, относительной влажности воздуха и т.п. На образование устойчивых сводов влияют геометрические параметры отверстия (его форма, размеры и т.п.) и упаковка (материал, угол наклона стенок и т.п.).

С описанной проблемой мы сталкиваемся нередко. Вспомним высыпание овсяных хлопьев из коробки, песка из бункера, а жителям высотных домов знакомо и закупоривание мусоропроводов. И даже песочные часы не лишены этого недостатка!

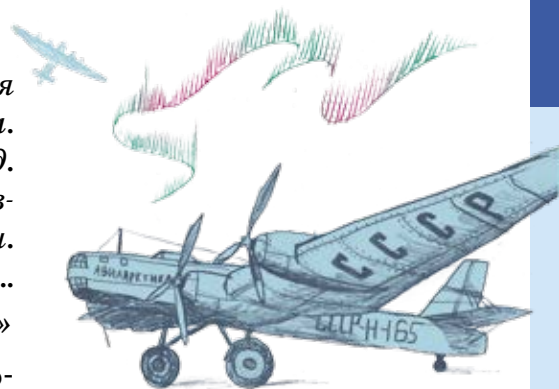




Бочка с водой

Неподалёку от самолёта стояла железная бочка, к которой рабочие аэродрома таскали дрова. В бочке вертикально стояла палка, вмёрзшая в лёд. – Это зачем? – спросил я камчадала Люка, стоявшего около бочки. – Мороз большой, – ответил он...

М.В. Водопьянов «Полярный лётчик»



В осенний период случаются сильные ночные заморозки. При этом оставленные на улице сосуды с водой нередко разрушаются (деформируются и лопаются). Что в этой ситуации делать садоводам и дачникам, которые до последнего момента, а иногда и на всю зиму, оставляют воду в больших ёмкостях на улице? Как сохранить сосуд целым при превращении воды в лёд?

В книге «Полярный летчик» описан один из способов сохранения сосуда. Один из героев объясняет этот способ так: «По палке лёд ползет вверх, вытесняется наружу и не жмёт на стенки бочки». Так как теплопроводность дерева низкая, при кристаллизации воды в бочке лёд вокруг палки образуется позже, чем у дна и стенок сосуда, поэтому сверху остаётся «отверстие» для выхода незамерзшей воды, кроме того, деревянная палка выдавливается из бочки.

Для сохранения сосуда могут быть использованы пенопластовые блоки, ёмкости с воздухом – всё то, что будет компенсировать избыточное давление на дно и стенки сосуда расширяющейся при замерзании жидкости.

На фото представлены результаты опытов на турнире (слева направо: в воду положены пенопласт, металл, дерево). Сосуды с пенопластом и деревом остались целыми, с металлом – треснул.



С авторами можно связаться по адресу
shunt.ph@mail.ru



Художник Артём Костюкевич
Журнал «Квантик» №7, 2015



Алексей Колчин,
Андрей Щетников



ЭКСПЕРИМЕНТ

Возьмём в руки баскетбольный мяч, положим на него теннисный и отпустим их одновременно. Теннисный мячик взлетает неожиданно высоко – в несколько раз выше исходной точки, с которой его отпустили. Разберёмся, в чём тут дело.

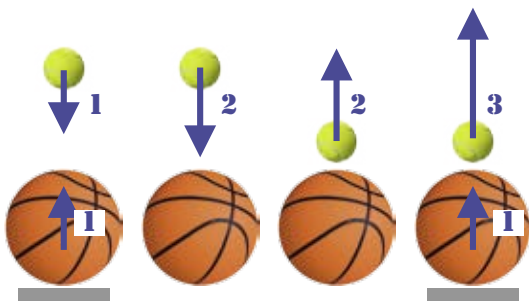
Сначала рассмотрим опыт с одним мячом. Если бы скорость мяча после удара осталась той же, он поднялся бы на исходную высоту. Физики называют такой удар абсолютно упругим. В опыте с двумя мячами, положен-

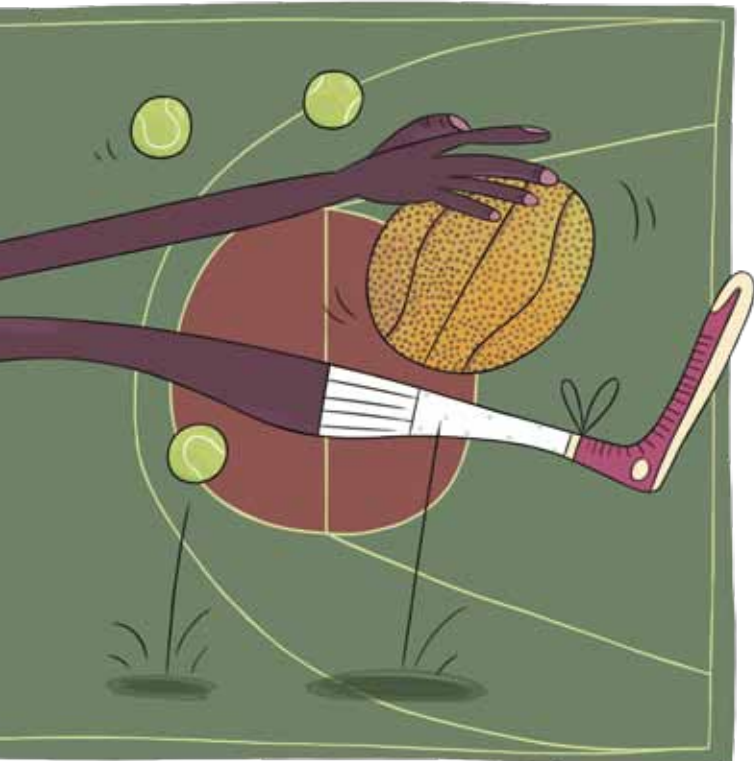
ными друг на друга, высота подъёма теннисного мяча увеличилась. Значит, скорость теннисного мяча после отскока также увеличилась.

Как связаны между собой скорость мяча после отскока и высота его подъёма? Если скорость мяча после отскока увеличится в 2 раза, то и время подъёма, в течение которого скорость уменьшится до нуля, тоже увеличится в 2 раза. И скорость, и время выросли в 2 раза, значит, высота увеличилась в 4 раза. Если скорость вырастет в 3 раза, высота увеличится в 9 раз. И вообще, высота подъёма пропорциональна квадрату скорости мяча после отскока.

ИДЕАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УСКОРИТЕЛЯ

Теперь сделаем два важных упрощающих допущения. Во-первых, будем считать все удары абсолютно упругими. Во-вторых, будем считать, что теннисный мяч много легче баскетбольно-





го, и тем самым отдачей баскетбольного мяча при ударе можно пренебречь.

В процессе падения баскетбольный и теннисный мячи набирают одинаковую скорость. Примем скорость обоих мячей непосредственно перед ударом за единицу. Баскетбольный мяч ударяется об пол первым и отскакивает вверх с единичной скоростью. А теннисный мяч всё ещё продолжает лететь с единичной скоростью вниз.

С точки зрения баскетбольного мяча теннисный мяч налетает на него со скоростью 2 единицы. Поскольку удар абсолютно упругий и поскольку отдачей можно пренебречь, теннисный мяч после отскока удаляется от баскетбольного с такой же скоростью 2 единицы. Сам баскетбольный мяч летит вверх с единичной скоростью, поэтому от пола теннисный мяч удаляется со скоростью 3 единицы.

Скорость теннисного мяча после отскока увеличилась в 3 раза – следовательно, в рамках нашей идеальной модели он поднимется на высоту в 9 раз большую той, с которой его отпустили! Такая система и в самом деле работает как «ускоритель резиновых мячиков».

ПРИБЛИЖЕНИЕ К РЕАЛЬНОСТИ

В действительности скорость мяча после отскока уменьшается из-за потерь энергии. Наш дополнительный опыт показал, что скорость баскетбольного мяча после отскока от пола будет равна не единице, а 0,8. Ещё один опыт показал, что после отскока от неподвижного баскетбольного мяча скорость теннисного мяча составляет 0,7 от первоначальной.

Теннисный мяч сближается с баскетбольным со скоростью $0,8 + 1 = 1,8$. После отскока он будет удаляться от баскетбольного мяча со скоростью $0,7 \cdot 1,8 \approx 1,3$. Значит, от пола он будет удаляться со скоростью $0,8 + 1,3 = 2,1$. Высота подъёма брошенного вверх тела пропорциональна квадрату скорости отскока. Значит, теннисный мяч поднимется выше первоначальной высоты падения в $2,1^2 \approx 4,4$ раза. Этот расчёт отлично согласуется с нашими опытами (4,1 – 4,3 раза)!

ЗАДАЧА

Возьмём поставленные друг на друга три мяча, каждый из которых во много раз легче мячей, находящихся под ним. Какое увеличение высоты по сравнению с первоначальной даст такой упругий ускоритель? Сделайте расчёты как для абсолютно упругих соударений, так и для реалистичного коэффициента восстановления скорости 0,8 при всех ударах.



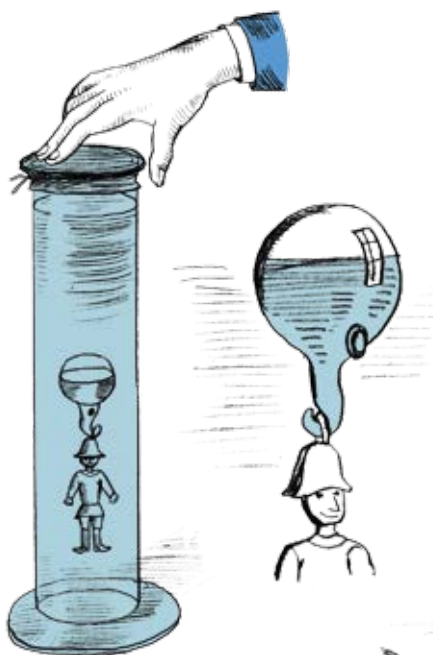
Алексей Панов

Он проводил её и – картезианским стеклянным человечком, вытянувшимся в струнку призрачным Временем – поднялся на пустынный пятый этаж.

Владимир Набоков,
«Ада»



Владимир Набоков
1899-1977



КАРТЕЗИАНСКИЙ ВОДОЛАЗ –



ПОКОЛЕНИЕ



Опубликовано в журнале «Квант», № 2 за 2012 год.

Владимир Набоков родился в 1899 году. Рене Декарт (латинизированный вариант его имени – Картезиус) родился в 1596 году. Большая П в заголовке – начальная буква слова Pepsi. Но – обо всем по порядку.

Именно Декарт придумал игрушечного водолаза. Впервые я увидел картезианского водолаза шестьдесят лет назад в Москве, в подземном переходе под Охотным Рядом. Он выглядел в точности, как описал его Набоков, – в центре наполненного огненной жидкостью сосуда сверкающим эмбрионом висел стеклянный чёртик.

Много лет спустя я прочёл в журнале «Квант» (№ 2 за 1973 год) статью А. Виленкина об этой игрушке, где рассказывалось, как её сделать и как она действует.

Нужна стеклянная бутылка с широким горлышком, стеклянный аптечный пузырёк и тонкая резиновая плёнка – кусочек надувного шарика. В бутылку доверху наливается вода. Пузырёк надо опустить отверстием вниз в воду и, наклонив его, впустить в него немного воды. При этом количество воды в пузырьке надо отрегулировать так, чтобы он обладал минимальной плавучестью – при самом слабом толчке он должен уходить глубоко под воду. Эта регулировка – самое хлопотное дело при создании водолаза, с ней трудней всего справиться. После этого на горлышко бутылки следует туго натянуть, обеспечивая герметичность, резиновую плёнку и зафиксировать её ниткой. Водолаз готов.

При нажатии на плёнку стеклянный пузырёк уходит на дно. Когда плёнку отпускаешь, водолаз поднимается. Понаблюдав за поведением водолаза, нетрудно сообразить, в чём здесь дело. При надавливании на плёнку воздух внутри бутылки сжимается, в том числе – и в самом пузырьке. Видно, как в пузырёк заходит вода, он становится тяжелее и начинает опускаться. Итак, предложенная конструкция состоит из трёх компонентов:



*стеклянная бутылка – аптечный пузырёк –
резиновая плёнка.*

В этой цепочке самым слабым звеном является среднее – очень уж неудобно регулировать количество жидкости в пузырьке. Много позднее я прочёл в книге Х. Рачлиса «Физика в ванне», что одну аптечную принадлежность можно заменить на другую: пузырёк – на пипетку. В самом деле, в пипетку легко набирается жидкость. Количество жидкости в пипетке можно регулировать очень точно, буквально по капле. Наконец, пипетку можно перемещать с места на место, не теряя при этом ни капли жидкости. Эти качества пипетки позволяют легко отрегулировать её плавучесть в любом удобном сосуде, например в тазу, а потом переместить её в любую бутылку с любым горлышком. Эта замена приводит к гораздо более удобной конструкции:

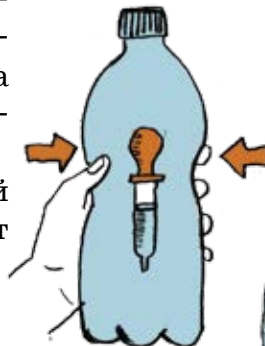
*стеклянная бутылка – пипетка –
резиновая плёнка.*

Если присмотреться к этой цепочке, то здесь можно увидеть ещё одно слабое звено – резиновую плёнку. Во-первых, не так уж просто её зафиксировать и обеспечить герметичность, во-вторых, слишком уж часто она рвётся. Нынешние времена позволяют сделать радикальный шаг и вообще избавиться от плёнки.

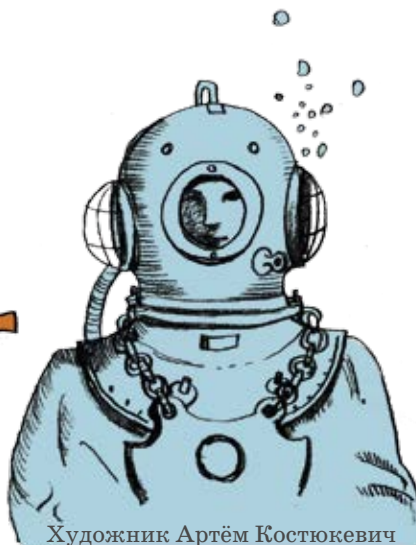
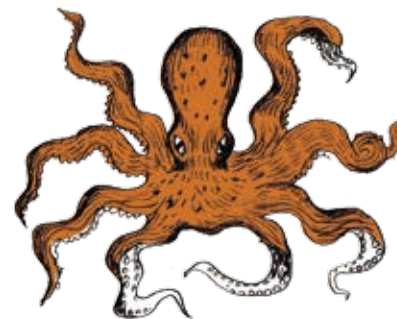
Сходите за пластиковой бутылочкой из-под пепси. Заполните её водой по самое горлышко. Опустите туда подготовленную пипетку и поплотнее завинтите крышку – водолаз готов к действию. При нажатии на пластиковую бутылку объём воздуха внутри пипетки уменьшается, и она опускается вниз. Отпускаем бутылку – пипетка плывёт вверх.

В результате мы получили очень простой в изготовлении и очень современный вариант картезианского водолаза поколения «П»:

пластиковая бутылка – пипетка.



Рене Декарт
1596–1650



Художник Артём Костюкевич

ВОДЯНЫЕ ЗВЁЗДЫ

Чтобы построить установку для этого опыта, мы заказали в стеклорезной мастерской две квадратные пластины 40×40 см из 6-миллиметрового стекла. В одной пластине по самому её центру попросили мастера просверлить небольшое круглое отверстие – такое, чтобы в него потом можно было плотно вставить стержень от авторучки. Вырезали из медной пластинки толщиной 0,2 мм четыре квадратные прокладки со стороной 1 см, положили их по углам одной стеклянной пластины, сверху накрыли другой пластиной и скрепили обе пластины вместе зажимами для бумаги. Из-за прокладок между стеклянными пластинами возник тонкий зазор шириной 0,2 мм. Такое устройство называется *радиальной ячейкой Хеле-Шоу*, по фамилии учёного, который его придумал.

Вставим стержень в центральное отверстие, промажем соединение воском и присоединим к стержню трубку от капельницы. Саму ячейку расположим горизонтально. Наполним шприц глицерином, подсоединим его к другому концу трубки и начнём вводить глицерин внутрь ячейки. Этот процесс идёт весьма медленно, ведь глицерин – это весьма вязкая жидкость. Когда шприц опорожнится, заполним его глицерином ещё раз и будем делать так, пока внутри ячейки не образуется глицериновый круг диаметром 15 см. Шприц каждый раз желательно подсоединять к трубке так, чтобы внутрь ячейки не попадали пузырьки воздуха – когда вы будете сами делать этот опыт, подумайте, как этого добиться.

А теперь заполните шприц подкрашенной водой, подсоедините его к трубке и начинайте подавать воду в ячейку. И чудо! – вместо того, чтобы равномерно расталкивать глицерин во все стороны, вода начинает пробиваться через глицерин, образуя красивые узорчатые звёзды, так что каждый луч расщепляется на несколько ветвей, и эти ветви расщепляются снова. При этом чем меньше зазор между стёклами, тем чаще будут расщепляться ветви.

Давайте разберёмся, почему вода пробивается через глицерин, образуя такие красивые узоры. Глицерин – это очень вязкая жидкость, он совсем не такой



текущий, как вода. Чтобы проталкивать его через зазор, нужно создать заметную разность давлений. Давление на внешнем обводе глицеринового круга равно атмосферному, а внутри него оно больше на ту добавку, которую мы создали, надавив пальцем на поршень шприца. Именно эта разность давлений между внутренней и внешней областями и выталкивает глицерин наружу.

Для выталкивания глицерина важна даже не сама разность давлений, а перепад этой разности, который по-научному называется *градиент*. Одно дело – когда давление на сколько-то падает на длине 10 см, и другое – когда оно падает на столько же на длине 1 см. Во втором случае градиент давления в 10 раз больше, и, по закону течения вязких жидкостей в трубах, зазорах и пористых средах, который называется *законом Дарси*, скорость течения здесь тоже будет в 10 раз больше.

А теперь представим себе, что граница между внутренней водой и наружным глицерином была с самого начала не совсем круглой, но с небольшими «языками». Тогда напротив языков расстояние от этой границы до внешнего края глицерина было чуть меньшим – а значит, градиент давления внутри глицерина был здесь чуть большим. Но где градиент давления больше, там глицерин течёт быстрее. А значит, водяные языки будут делаться длиннее, и градиент давления напротив языков будет становиться ещё больше. Так происходит развитие гидродинамической неустойчивости, которая по имени её открывателей называется неустойчивостью Саффмана – Тейлора.

Кстати сказать, когда эти авторы опубликовали в 1958 году своё открытие, им сразу же заинтересовались нефтяники. Когда нефтяной слой истощается и нефть перестаёт выходить из-под земли самотёком, в пласт начинают закачивать воду, чтобы создать там повышенное давление. Нефть находится в толще пористого пласта, и водой её проталкивают через узкие поры. Но нефть – более вязкая жидкость, нежели вода. Поэтому вода, которую закачивают в пласт, обладает неприятным свойством не просто давить на нефть, но пробиваться сквозь неё – как она пробивалась через глицерин в нашем опыте. Так что для выжимания нефти из породы нужно придумывать дополнительные ухищрения.

Художник Анна Горлач





Почему одни тела плавают в воде, а другие в ней тонут? Все, кто изучал физику в школе, знают правильный ответ: если средняя плотность тела меньше плотности воды, это тело будет плавать на поверхности, а если средняя плотность тела больше плотности воды, то такое тело потонет и пойдёт ко дну.

Плотность тела можно в известных пределах регулировать. У подводной лодки для этого имеются специальные цистерны. Чтобы погрузиться под воду, цистерны заполняют водой. Объём лодки остаётся прежним, а масса увеличивается, значит, увеличивается и плотность. Когда средняя плотность лодки становится больше плотности воды, лодка уходит под воду. Чтобы всплыть обратно на поверхность, цистерны продуваются сжатым воздухом, отчего средняя плотность лодки вновь уменьшается.

Интересно, а можно ли сделать так, чтобы менялась не плотность тела, а плотность воды? Если бы плотность воды стала заметно меньше, некоторые плавающие тела начали бы в ней тонуть, а если бы она, наоборот, заметно увеличилась, некоторые потонувшие тела могли бы всплыть наверх. Наверное, все знают такой опыт: в банке с водой на дне лежит сырое яйцо, в воду насыпают соль и размешивают её, и когда соль растворяется, яйцо всплывает. Всё очень просто: у солёной воды плотность больше, чем у пресной, вот яйцо и всплыло.

Но можно сделать и кое-что поинтереснее, например, пропускать через воду мелкие пузыри из аквариумного аэратора. Средняя плотность воды с пузырями уменьшится по сравнению с водой без пузырей, и если плавающее тело будет в начале опыта лишь незначительно выступать из воды, то при пропускании пузырей оно может потонуть!



Такой опыт вы можете сделать сами, и для него не обязательно использовать компрессор. Возьмите пластиковую бутылку, обрежьте у неё доньшко, а через крышку пропустите длинную гибкую трубку. Воздух в трубку будем вдвухать ртом, а чтобы он превращался в пузыри, поставим на его пути круг из поролона, закрепив его внутри бутылки. Повозившись с этим устройством и сделав подходящую «лодку», вы добьётесь того, что при продувании воздуха лодка будет временно тонуть.

Пузыри уменьшают среднюю плотность воды – а можно ли увеличить её аналогичным образом, ничего не растворяя, но просто засыпая в воду что-нибудь сверху? Мы взяли длинную стеклянную трубку диаметром 2 см, закрыли её снизу резиновой пробкой, установили на штативе и заполнили водой. Из корпуса шариковой ручки сделали герметичную лодку и подгру-

зили её пластилином так, чтобы она только-только начала тонуть в воде. Эту лодку подвесили в толще воды на нитке. И когда мы стали сыпать дробь через воронку в трубку, лодка, к нашему восторгу, всплыла! Видео опытов можно найти на нашем сайте kvantik.com

Когда мы выложили видео с этим опытом на YouTube, в комментариях к нему было высказано множество возражений: люди не верили, что такое возможно, и считали, что лодка поднимается вверх не за счёт изменения плотности воды, а за счёт восходящих потоков, увлекающих её за собой. «Как же так, – говорили они, – ведь если бы свинцовые дробинки висели на ниточках в воде, разве это привело бы к всплытию лодки?» В этом замечании есть некий резон: если в аквариум с водой опустить большую гирю, чтобы она висела на верёвке, не касаясь дна,



Опыт с пузырями



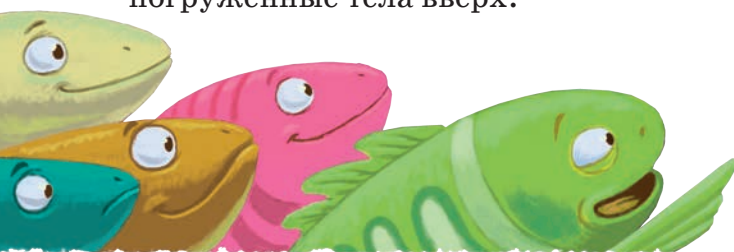
Опыт с дробью

разве это приведёт к тому, что зависший у дна поплавков начнёт всплывать на поверхность? – Очевидно, нет.

Однако здесь есть и подмена одной ситуации на другую: ведь дробинки не висят на ниточках, но опускаются вниз под действием силы тяжести. Впрочем, они и не падают свободно: установившаяся скорость их движения такова, что действующая на каждую дробинку сила тяжести уравнивается силой лобового сопротивления воды. Получается, что вода давит на дробинки, а дробинки своим весом давят на воду. В результате давление воды с глубиной растёт быстрее, чем если бы дробинки не было. Но именно этим и отличается от воды жидкость с большей плотностью: у неё быстрее растёт с глубиной давление, а его перепад и выталкивает погружённые тела вверх.

Можно сделать ещё и такой мысленный опыт. Представим себе, что мы научились делать из свинца мельчайшие «нанодробинки». Если мы размешаем такой порошок в воде, мельчайшие частички свинца будут падать вниз, но очень медленно: получившаяся взвесь будет оседать на дно несколько дней или даже несколько месяцев. Примерно так же устроено молоко – здесь в воде размешаны мельчайшие капельки жира, которые очень медленно поднимаются вверх. Но ведь понятно, что когда мы рассматриваем условия плавания тел в молоке, нам надо сравнивать плотность погружённого в молоко тела со средней плотностью молока, а не с плотностью воды. И со свинцовой взвесью следует поступать аналогичным образом – так же, как если бы в воде была растворена какая-нибудь свинцовая соль, повышающая её плотность.

Конечно, в нашем опыте дробинки падают на дно достаточно быстро. И всё же они опираются на воду – и именно этот эффект приводит к всплытию утонувшей подводной лодки в нашем опыте.



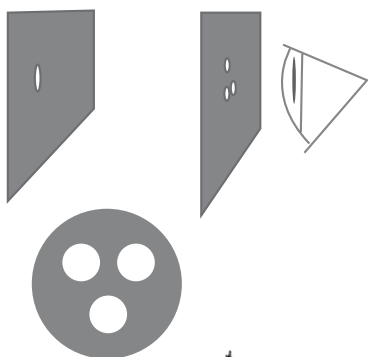
Художник Евгений Паненко



Перевернутый треугольник

Александр Бердников,
по идее Константина Богданова

В двух листочках бумаги сделайте отверстия: в первом одно, а во втором три, расположенные небольшим треугольником, не дальше миллиметра друг от друга. Попробуйте увидеть первое отверстие сквозь все три отверстия второго листочка сразу, смотря сквозь них на светлую стену (держите листочки прямо перед глазом, например, на расстоянии 1 см и 5 см). Проще будет этого добиться в сумраке, когда ваши зрачки шире, или закрыв другой глаз.



И тут неожиданность: вы увидите треугольник перевернутым! Почему так вышло?

ISSN 2227-7986

16003



9 772227 798169

Журнал «Квантик», №3, 2016



Художник Сергей Чуб



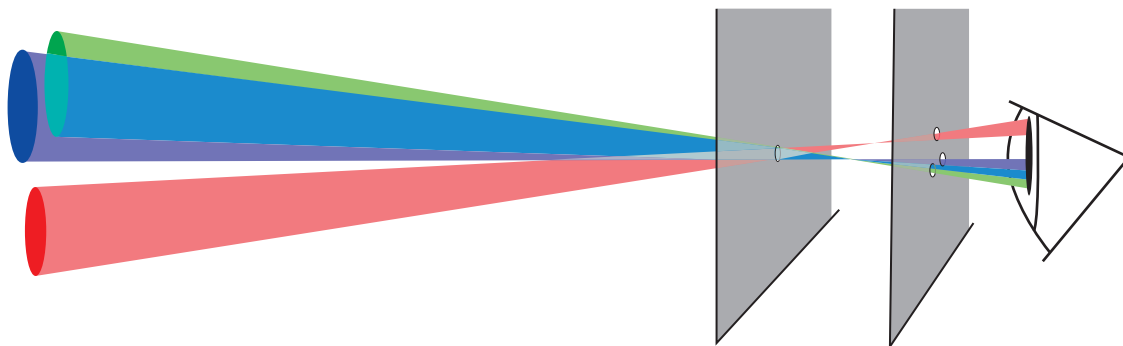
ПЕРЕВЁРНУТЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК

Продолжение. Начало в №3 за 2016 год

В прошлом номере мы предложили вам интересный опыт. Надо было сделать в двух листочках бумаги отверстия: в первом одно, а во втором три, расположенные небольшим треугольником, не дальше миллиметра друг от друга. А затем попытаться увидеть первое отверстие сквозь все три отверстия второго листочка сразу, смотря сквозь них на светлую стену (расположив листочки прямо перед глазом, например на расстоянии 1 см и 5 см).

При этом треугольник на стене оказывается перевёрнутым! Почему?

Давайте поймём, какие участки стены будут видны сквозь дырочки. Из рисунка ниже понятно, что каждая дырочка ближнего листа позволяет видеть «противоположный» кусочек стены. Противоположный в том смысле, что, например, верхняя дырка треугольника позволяет видеть нижний участок стены. В результате, если вы (или, скажем, фотоаппарат) смотрите на стену сквозь эти бумажки, вы от всей стены увидите только те куски, которые противоположны дырочкам. Вот и разгадка.





Кстати, если вы сфокусируетесь не на стене, а на ближней бумажке, вы увидите треугольник таким, каков он есть, не перевёрнутым (поэтому мы и просили держать бумажки поближе к глазу). А если сфокусируетесь на дальней бумажке, то все пятна сольются в одну точку: вы увидите ровно ту дырочку, на которой фокусируетесь. Всё это можно сообразить, глядя на рисунок: просто посмотрите, как расположены лучи, проходящие через разные дырки, на том или другом расстоянии от глаза.

Если вы знали, что изображение на сетчатке нашего глаза перевёрнуто, то могли подумать, что наша задача с этим как-то связана. На самом деле это не так. Более того, невозможно понять, перевёрнуто ли изображение на сетчатке, если не исследовать сам глаз, а только смотреть им на что-либо. Да и про любой фотоаппарат или видеокамеру, пока непосредственно не исследуешь их внутреннее устройство, не поймёшь,

как там внутри крутится-вертится изображение. Наш опыт удался бы с камерой вне зависимости от того, перевёрнуто ли изображение в ней.

Раз уж мы заговорили о том, что изображение на сетчатке нашего глаза перевёрнуто, давайте попробуем в этом убедиться. Наш опыт, как мы уже говорили, для этого не подходит, но есть другой, и очень простой, способ. Легонько (!) нажмите пальцем на закрытый веком (!) глаз, как можно дальше от зрачка. К примеру, скосите глаза влево до упора и коснитесь глаза в самой правой доступной точке. При этом на противоположном краю поля зрения мигнёт цветное пятно (фосфен). Именно на этот участок изображения на сетчатке вы ткнули пальцем с другой стороны глаза. Так вы можете понять, какой участок глаза за какой кусок поля зрения отвечает, и выяснить, что изображение на сетчатке действительно перевёрнуто.

Художник Сергей Чуб

Две задачи турнира «ШУНТ»

Антон Сорокин,
Марина Позолотина,
Константин Коханов

ВОДОЛАЗНЫЙ КОЛОКОЛ

На дно сосуда с водой поставили шприцы без поршня с разным объёмом воздуха внутри (см. фото). Какой из них всплывёт раньше?

Оказывается, напрашивающийся ответ, что тот, в котором больше воздуха, может оказаться неправильным!

Проделайте опыт. Достаньте из полимерного шприца поршень. Заткнув узкое выходное отверстие пальцем, погрузите баллончик шприца в сосуд с водой вертикально, как показано на фото. Плотно прижмите шприц ко дну сосуда, уберите палец и, когда из шприца начнут выходить пузырьки воздуха, отпустите корпус. Шприц будет удерживаться у дна сосуда!

Шприц начнёт подниматься только тогда, когда в нём останется совсем немного воздуха, который уже не будет выходить из шприца.

Как можно объяснить это явление?

Основная причина «прилипания» состоит в том, что на место выходящего воздуха в шприц затекает вода. Поток воды через микроскопические щели между корпусом шприца и дном стакана притягивает к себе корпус шприца, прижимая его ко дну! Возникает так называемый эффект Бернулли, благодаря которому, например, поднимаются в небо самолеты – даже очень тяжёлые лайнеры. Именно этот эффект приводит к тому, что при большом количестве воздуха в шприце (и интенсивном затекании в него воды) всплытия не происходит.



НАГРЕВАНИЕ ТЕРМОМЕТРА

Попробуйте предсказать, что произойдёт с показаниями жидкостного термометра (см. фото), если колбочку с подкрашенной жидкостью обернуть кусочком ткани, которую затем намочить.

Кажется, что если будет использована вода при комнатной температуре, показания термометра будут уменьшаться. Мы привыкли к тому, что, например, рука, смоченная водой, чувствует прохладу, ведь на испарение воды затрачивается энергия, отчего и происходит охлаждение. Однако если ткань смачивать аккуратно, то показания термометра могут и вырасти!

(См. видео с заданием конкурса на страничке <https://youtu.be/Y5gQy9LMFbE>).

Чтобы изучить явление, оберните колбочку термометра куском ткани, вырезанным, например, из старого носового платочка. Сделать это нужно так, чтобы часть ткани свисала с колбочки.

Опустите свисающую ткань в воду (но так, чтобы уровень воды был ниже колбочки). Жидкость начнёт подниматься по ткани вверх.



И вот, в какой-то момент можно заметить, что показания термометра начнут... расти! Увеличение температуры продолжается обычно одну-две минуты и составляет 1–1,5 градуса.

Интересно, что спустя 2–3 минуты температура начнёт стремительно падать, пока не установится ниже начальной температуры сухого термометра на 2–3 градуса (и даже ниже).

Не менее удивительны и результаты опыта, который можно провести даже без воды: если около термометра, обернутого сухой тканью, в течение 5–7 минут будет находиться человек, пристально наблюдающий за показаниями термометра, температура также может вырасти!

Как объяснить эти результаты?

Температура в первом опыте повышается потому, что при подъёме воды по ткани поднимается и находящийся над ней водяной пар. Водяные пары достигают колбочки термометра раньше самой воды и конденсируются (так называется процесс, обратный испарению) на ткани, облегающей колбочку. Это сопровождается выделением теплоты и ростом температуры. Здесь уместно привести хорошо известный факт из жизни: водяной пар над кипящим супом, вырвавшийся из-под неаккуратно открытой крышки, может обжечь кожу повара гораздо сильнее, чем собственно кипящая вода. И причина этого именно в том, что столбчатый пар обладает бóльшим запасом энергии, чем вода при той же температуре (и, отметим для строгости, той же массы).

Температура начнёт уменьшаться в тот момент, когда вода достигнет колбочки. Теперь испаряющаяся вода будет уже «отбирать» теплоту.

На основании сказанного можно догадаться, почему повышаются показания термометра, около которого находится человек: в выдыхаемом человеком воздухе содержится водяной пар, который при конденсации на ткани выделяет теплоту.



ПОЮЩИЙ КЛЮЧ

Добудьте цельнометаллический ключ примерно такой формы, как на фото 1. Его можно заставить звенеть разными способами. Можно подвесить ключ на тонкой ниточке и легонько ударить чем-нибудь твёрдым. Скорее всего, ключ издаст чистую высокую ноту. А теперь положим его на палец (как на фото 1) и подкинем сильным щелчком, будто бросая жребий. Звук окажется примерно той же высоты, но заметно «грязнее», будто кто-то нажал несколько соседних клавиш на фортепиано. Почему так происходит?

Может быть, ключ на ниточке ударили аккуратно, и поэтому у него звук чистый, а подброшенный ключ сильно щёлкнули – вот он и дребезжит? Нет, объяснение

какое-то уж очень расплывчатое, да и не выдерживает простейшей проверки. А именно, попробуем подкидывать ключ разными щелчками: если щёлкать строго по центру, как на фото 2, а не по боку, звук окажется заметно чище.

Может быть, всё зависит от того, в какое место мы ударяем ключ? Грязным был звук при ударах по боку, а чистым – при ударе по центру, не в этом ли разгадка? Но почему тогда высота звука в обоих случаях одна и та же? На простое совпадение это не спишешь: можно подбрасывать ключи разной формы, но высота звона у каждого из них оказывается постоянной, как его ни щёлкай. А можно изловчиться и так ударить ключ на ниточке, чтобы он быстро закрутился вокруг своей оси, как при броске жребия, но висел довольно ровно (не делая скачков). Тогда вообще можно услышать, как изначально грязный звон становится чище, пока ключ останавливается.



Фото 1



Фото 2

Значит, звук крутящегося ключа – это просто искажённый звук ключа неподвижного, и важно именно вращение ключа, а не особенности удара. Можно заметить, что чем быстрее вращается ключ, тем сильнее искажение. Одно такое явление широко известно – это эффект Доплера: чем быстрее что-то приближается к вам, тем выше кажутся его звуки (а если удаляется – то ниже). Вспомните, например, как меняется звук проносящейся мимо машины или мотоцикла. У вращающегося ключа тоже одна половина к нам приближается, а другая отдаляется. Выходит, мы должны услышать вместо одной ноты две: одну – чуть выше исходной (от приближающейся части), другую – чуть ниже (от отдаляющейся).

Посмотрим на спектрограмму (рис. 1). Она показывает частоты, издаваемые вибрирующей на ниточке ключом, который ударили по боку (высота ноты отложена по вертикали, время – по горизонтали; частота измеряется в герцах (Гц); чем больше

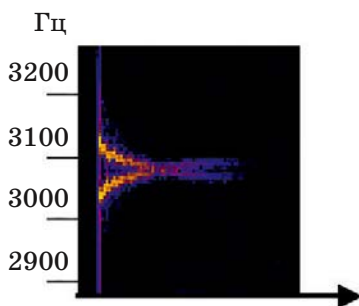


Рис. 1

частота звука, тем выше нота). На рисунке и вправду видны две яркие линии, то есть две ноты. Ключ, переключивая нитку, быстро останавливается, и на спектрограмме видно, как при этом частоты сближаются, сливаясь в одну. Когда ключ остановится, нитка начнёт его раскручивать в обратную сторону, и на спектрограмме сошедшиеся были ноты опять расходятся.

Хотя объяснение искажения звука с помощью эффекта Доплера и подкрепилось спектрограммой, у него есть множество нестыковок. Чтобы обнаружить первую из них, подкиньте ключ так, чтобы его ось вращения была направлена примерно на вас. Эффект Доплера должен пропасть – ведь расстояние до любой части ключа почти не меняется. Однако на практике звук остаётся столь же грязным (расстояние между близкими частотами не уменьшается), хоть и становится тише.

Вторая нестыковка хитрее. Начнём с того, что на самом деле ключ даже без кручения издаёт много нот, правда, далёких друг от друга. Обычно мы





замечаем только самый нижний звук, а остальные воспринимаем как его окраску, тембр. Но они, тем не менее, вполне реальны и при вращении ключа расщепляется каждый из них. И будь дело в эффекте Доплера, расщепление высоких нот было бы больше, чем у нижних. Это следует из такого свойства эффекта Доплера: при данной скорости он меняет все частоты в *одно и то же число раз* (скажем, на 3% для скорости 10 м/с), и тогда расщепление у вдвое более высокой ноты будет вдвое шире, и т.п. Однако посмотрим на спектрограмму на рисунке 2. На ней видны сразу три ноты звона ключа: основная (нижняя яркая) и две повыше (тусклые). Каждую из них из-за вращения ключа фактически разделило на две. И, хотя частота исходных нот различается в разы, расстояние между их «потомками» почти одно и то же. А это совсем не похоже на эффект Доплера.

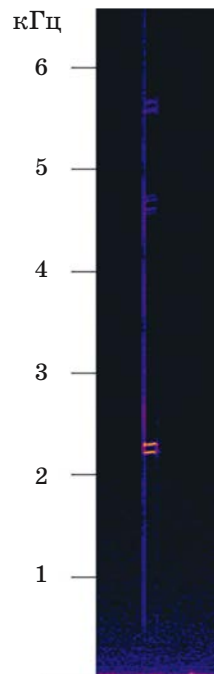


Рис. 2

И третья нестыковка: а действительно ли эффект Доплера должен делать из каждой ноты две? Мы сказали, что у вращающегося ключа половина движется к нам, половина от нас, но это очень неточно. Ведь это неправда, что все движущиеся к нам части приближаются с одной и той же скоростью. У каждой части ключа своя скорость: та, что ближе к оси, – помедленнее; та, что дальше, – побыстрее. Звук от каждой части в результате сместится на свою величину, так что в итоге нота не разделится на две, а скорее «размажется».

Но почему же тогда каждая нота ключа делится надвое? Зайдём-ка с другого конца. А как вообще устроен грязный звук близких нот? Одна чистая нота – это колебание давления воздуха с фиксированной частотой (его график – красный на рисунке 3а, P – давление, T – время). Если мы добавим другой звук, с близкой частотой (синий на рисунке 3а), то их вклады в давление воздуха сложатся. Пусть в какой-то момент они колеблются практически синхронно, так

что получаются вдвое большие колебания (более громкий звук). Это не может продолжаться долго: скорость у колебаний немножко разная, так что они скоро разойдутся и начнут гасить друг друга, вместо того чтобы усиливать (звук пропадёт). Спустя ещё некоторое время колебания опять синхронизируются, и так далее. В результате получится будто бы одна нота, которая то затихает, то снова появляется¹ (график на рисунке 3б).

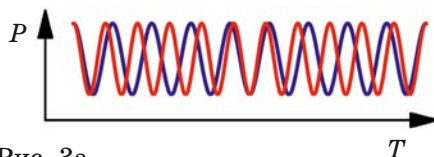


Рис. 3а

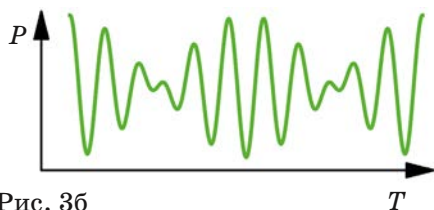


Рис. 3б

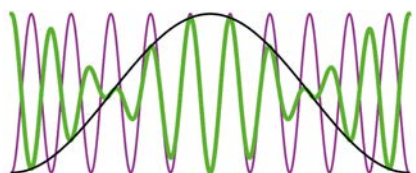


Рис. 3в

Последнее замечание можно сформулировать и изобразить по-другому (рис. 3в): наш зелёный график (сумма двух близких нот) похож на звук некой промежуточной частоты (фиолетовый), у которого меняется со временем громкость, или «размах» колебаний («размах» изображён в виде чёрного графика). Центральная часть зелёного графика действительно так и получается из фиолетового, а вот справа и слева от центра зелёный график оказался ещё и «перевернут» по сравнению с фиолетовым.

В этом нашем наблюдении и кроется разгадка, главная идея решения. Попробуем разобраться и понять физический смысл нарисованной картинки.

Нота постоянной частоты (фиолетовый график) у нас есть: это звон ключа. Когда ключ не вращается, мы слышим эту чистую ноту. Теперь нужно понять, почему её громкость начинает колебаться, если ключ закрутить. Это тоже несложно: скажем, когда ключ повернут к нам «лицом» (то есть мы смотрим перпендикулярно его плоскости), ключ звучит на нас всей

¹Такие колебания громкости, возникающие от сложения близких нот, называются *биениями*. Извлечём на гитаре одну и ту же ноту на двух струнах сразу. Если звуки окажутся немножко разными, мы легко услышим биения. Поэтому они помогают при настройке.





своей поверхностью, и звон его громок. Потом он развернётся к нам ребром, мы «слушаем» маленькую его поверхность, и звон становится тихим. Затем ключ ещё повернётся, и звон опять вернётся на полную громкость, и так далее. Эти изменения легко заметить у медленно крутящегося ключа.

Такое объяснение вполне согласуется с центральной частью рисунка Зв. А откуда берётся «переворачивание» звука по краям? Чтобы разобраться, покрасим мысленно одну сторону ключа в красный цвет. Рассмотрим для примера колебания такого вида: то концы ключа отогнуты в покрашенную сторону, а середина – в непокрашенную, то наоборот (верхний ряд на рисунке 4). Такие колебания дадут одну ровную ноту. Теперь вспомним, что

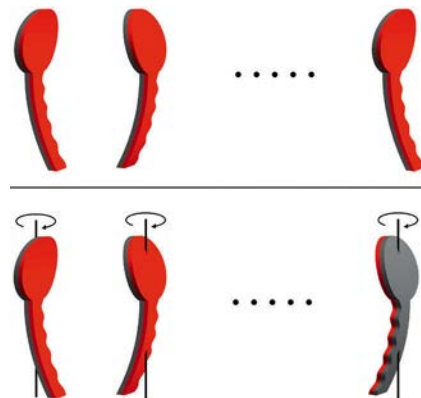


Рис. 4

у нас ключ ещё и вращается (нижний ряд на рис. 4). И, после того как ключ сделает пол-оборота, изгибания, одинаковые с точки зрения самого ключа (крайние в обоих рядах на рисунке 4) для нас окажутся «противоположными». Значит, и звук после полуоборота не просто вернёт себе громкость, но его колебания «сменяют знак» (вращающийся ключ звенит то «в ногу» с неподвижным, то «в противоход» с ним). Это мы и видим на рисунке Зв: фиолетовый и зелёный графики то почти одинаковы, то почти противоположны.

В итоге эти изменения амплитуды чистой ноты дают, как мы убедились, тот же результат, что и сложение двух близких нот (это просто другое описание того же самого звука). Вот мы и слышим какофонию. А если ключ закручен медленно, мы воспримем его звон «как положено», чистой нотой с меняющейся громкостью.

Итак, одна нота ключа, громкость которой меняется из-за его вращения, слышится как две². Такое объяснение изменения звона свободно от всех

²Выходит, мы нашли эффект, обратный биениям, при которых, наоборот, близкие ноты слышны как одна с колеблющейся громкостью.

предыдущих недостатков и полностью согласуется с опытами. Например, величина расщепления ноты получается зависящей лишь от периода обращения ключа – ни высота ноты, ни ориентация оси ключа на это расщепление не влияют.

Проверим себя. На верхнем графике рисунка 5 записан звук ключа на ниточке. Отдельные колебания тут сливаются, видна только громкость – толщина (по вертикали) синей полоски. На втором – колебания, вычисленные по описанной нами модели (но без учёта эффекта Доплера). Для построения использовалась усреднённая скорость вращения ключа, измеренная камерой. Видно, что на обоих графиках громкость колеблется совсем одинаково, замедляясь по мере того, как перекрученная ключом ниточка замедляет его вращение. Для сравнения, на нижнем графике учтён, наоборот, только эффект Доплера, а изменения амплитуды из-за ориентации ключа проигнорированы.

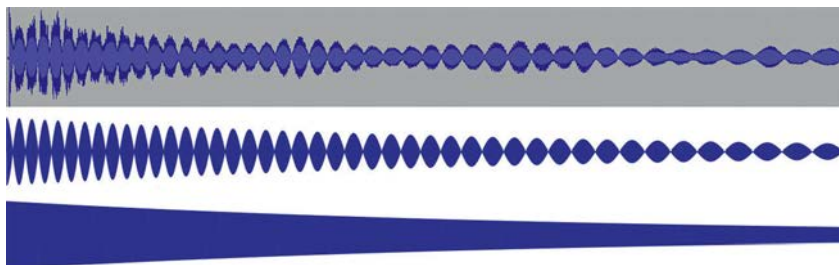


Рис. 5

Другая проверка – спектрограммы звона ключа (первая слева на рисунке 6) и трёх наших моделей: с учётом лишь колебания амплитуды (вторая), лишь эффекта Доплера (третья) и обеих (четвёртая).

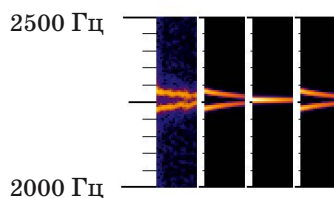


Рис. 6

Видно, что найденная нами модель отлично описывает явление. При этом важным оказалось лишь изменение ориентации ключа и вызванные им колебания громкости, а эффект Доплера никакого заметного вклада не внёс. Малость эффекта Доплера можно было бы понять заранее, зная, что ширина ключа заметно меньше длины волны. Как – задача (сложная) для самостоятельного обдумывания.



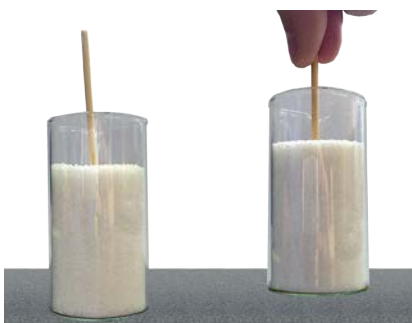
ПОЛНЫЙ КОНТАКТ

ОПЫТЫ
И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Антон Сорокин,
Марина Позолотина,
Константин Коханов

Попробуйте несколько раз подряд воткнуть и достать спичку из сахарного песка, находящегося в лёгкой баночке. Через несколько повторений (бывает даже после второго-третьего раза) баночка может приподняться вслед за спичкой!

Для опыта доверху заполните небольшую баночку сахарным песком. Держа спичку за селитру, воткните её как можно глубже в песок. Достаньте спичку и повторите действие ещё несколько раз. Если опыт сразу не получается, попробуйте после первого раза погружать спичку без усилия, повторяя до тех пор, пока не удастся её воткнуть в песок примерно на половину длины, а затем, резко увеличив усилие, погрузить её полностью, и потянуть вверх. Баночка приподнимется вслед за спичкой!



За спичку можно приподнять баночку с сахаром

Почему так произошло?

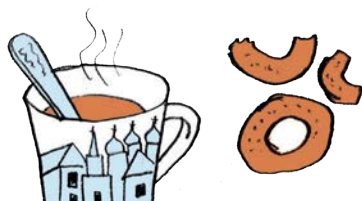
До погружения спички крупинки сахарного песка располагались довольно свободно. Поэтому при плавном погружении спички на неё действовало относительно немного крупинок сахара. Сила трения между спичкой и песком была невелика.

При многократном погружении спички крупинки сахара уплотняются, отчего мы замечаем уменьшение уровня песка в сосуде. Доставать спичку с каждым разом становится сложнее, ведь все большее количество песчинок начинают действовать на спичку, возрастает при этом и величина действия каждой. В какой-то момент сила трения между спичкой и сахарным песком становится больше веса банки, а сила трения между песчинками достаточной, чтобы они не проскальзывали относительно друг друга, и при поднимании спички за ней поднимается и сосуд с песком.

(См. видео с заданием конкурса «Шунт» на страничке <https://youtu.be/KFG3CotX1Pk>).



Художник Артём Костюкевич



Журнал «Квантик», №11, 2016



Александр Яворский,
ученик 9 класса

ЗАПОТЕВШИЕ ОЧКИ

Наверняка каждому, кто носит очки, знакома такая проблема: заходишь с мороза в какое-нибудь тёплое помещение, например домой, и очки сразу же запотевают – ничего через них не разглядишь. Приходится ждать, пока оттают.

Эта проблема не обошла и меня: захожу в метро однажды, смотрю – а очки так запотели, что прямо идти невозможно. Придётся отойти в сторону и подождать, пока оттают.

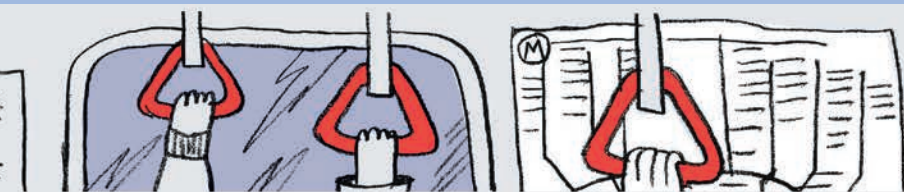
Кстати, а почему они вообще запотевают? Дело в том, что на холоде мои очки остывают. А потом я вхожу в метро, где воздух теплее моих очков. Поэтому воздух около моих очков охлаждается. А холодный воздух – он более сухой. Поэтому лишняя влага выпадает в виде капелек и осаждаётся на стёкла очков, вот они и запотевают. Потом стёкла прогреются, воздух вокруг них – тоже, и капельки испарятся.

Так вот, я встал в стороне, через минуту смотрю – середина стёкол оттаяла, а края ещё нет (как на фото)! Странно, думаю, может быть случайно? А вот нет. Много раз наблюдал, и каждый раз середина оттаивала раньше.



Центр оттаял, а края ещё нет (фото автора).





Тогда я спросил совета у своего друга – он тоже очки носит. Его ответ удивил меня ещё сильнее. Оказывается, у него очки отпотевают как у меня, только наоборот: сначала края, а потом середина.

И стали мы думать, почему наши очки так странно оттаивают. Думали долго, а потом я от нечего делать стал рассматривать свои очки. И тут я увидел, что... После этого я сразу понял причину – догадайтесь и вы.

Почему мои очки оттаивают неравномерно? Почему наши очки отпотевают по-разному?

Дело в том, что очки у нас с другом были разные. У меня линзы в очках вогнутые (в центре тоньше, а по краям – толще), а у моего друга – выпуклые (края тоньше центра). Когда мы заходим в метро, наши очки, так сказать, равномерно заморожены, из-за чего на них и выпадает «роса». Но прогреваются-то они неравномерно! Тонкая часть прогревается быстрее, поэтому с неё быстрее испаряется влага. Именно поэтому у меня раньше отпотевает центр, а у моего друга – края.

А вот ещё один вопрос. Бывает, что в машине лобовое стекло запотевает. На этот случай под стеклом есть щель для обдува. Каким воздухом надо обдувать стекло, чтобы оно оттаяло, – горячим или холодным? Кстати, если включить кондиционер, стекло оттает ещё быстрее. Почему?



ВОДОЛАЗ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

ОПЫТЫ
И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Алексей Панов

Хочу добавить несколько деталей к рассказу о декартовом водолазе (см. «Квантик» № 9 за 2015 год). Начну с того, что хоть водолаз и называется декартовым, впервые описал его итальянский монах Рафаэлло Маджотти – последователь Галилея и друг Торричелли.

Напомню, что для изготовления водолаза нужна пластиковая бутылка с закручивающейся пробкой и небольшой стеклянный флакончик. Бутылку наполните водой доверху, а флакончик – частично, чтобы опущенный в воду горлышком вниз он плавал, почти целиком погрузившись в воду, – обладал минимальной положительной плавучестью.

Теперь флакончик погрузите в бутылку, поплотнее заверните пробку, и водолаз готов. Стоит сжать бутылку – объём воздуха в флакончике уменьшится и флакончик начнёт опускаться. Отпустишь бутылку – флакончик всплывёт. Это и есть декартов водолаз.

СПАСЁМ ВОДОЛАЗА

Бывает, накапаешь в флакончик чуть больше, чем нужно, и водолаз в бутылке сразу тонет – перестаёт работать. Не расстраивайтесь – ничего переделывать не нужно. Просто перед тем как закручивать пробку, чуть сожмите бутылку и, не ослабляя нажима, заверните пробку. После того, как бутылка будет отпущена, начнут работать упругие силы, стремящиеся вернуть ей прежнюю форму. Они противодействуют внешнему давлению воздуха и увеличивают объём бутылки, в том числе объём воздуха в флакончике. Водолаз приобретёт положительную плавучесть, всплывёт и станет готов к работе.

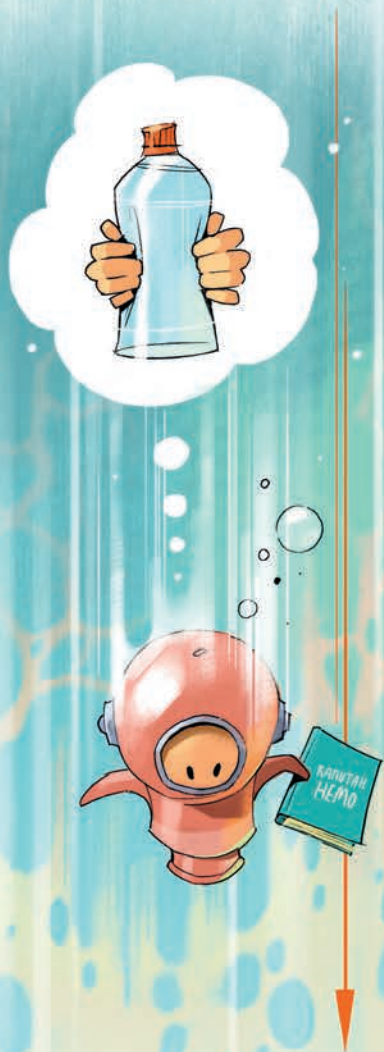
В ГЛУБОКОЙ БУТЫЛКЕ

Представьте, что бутылка имеет высоту не десятки сантиметров, а десятки метров. Сожмём её



Рис. 1. Флакончики, пипетка Пастера и водолаз





и заставим водолаза спуститься на самое дно. Как вы думаете, поднимется водолаз или нет? Скорее всего, нет. Дело в том, что когда водолаз опускается вниз, гидростатическое давление жидкости на него возрастает, значит, объём воздуха внутри флакончика уменьшается, значит, плавучесть водолаза тоже уменьшается. И если бутылка достаточно высокая, то на некоторой высоте плавучесть станет отрицательной и водолаз сам собой потонет.

Выходит, что у такого водолаза есть два *устойчивых* положения равновесия внутри глубокой бутылки: когда водолаз плавает в верхнем положении и когда он покоится на дне. Если он находится в одном из этих состояний, то после малого возмущения туда же и вернётся.

При этом в верхнем положении его плавучесть положительная, в нижнем – отрицательная. Но тогда выходит, что на некоторой промежуточной высоте его плавучесть должна быть равна нулю. И это ещё одно положение равновесия – водолаз парит внутри бутылки. Только в отличие от первых двух оно *неустойчивое*. Если водолаз из этого положения чуть сместится вверх, то у него появится положительная плавучесть, и он продолжит своё ускоряющееся восхождение. Если же отклонится чуть вниз, то у него появится отрицательная плавучесть, и он потонет.

ВОДОЛАЗ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Какой на самом деле должна быть глубина бутылки, чтобы в ней разместилось три положения равновесия, неужели несколько метров? Вот, скажем, водолаз, изображённый на рисунке 1, находится в бутылке высотой около 20 см, а у него имеются все три положения равновесия. Именно для настройки этого водолаза понадобилась пипетка Пастера, представленная на рисунке 1. Дело в том, что если вы хотите получить водолаза с тремя равновесиями в невысокой бутылке, вы должны добиться, чтобы у флакончика была *минимальная* положительная плавучесть, и этого можно достичь, добавляя в него воду буквально по одной капельке.

Что же хорошего в таком водолазе? Мы сожмём бутылку, он опустится вниз, и что дальше? Оказывается, есть несколько способов заставить водолаза подняться

наверх. Итак, у нас есть водолаз с тремя положениями равновесия, и в данный момент он на дне бутылки.

- Если ударить дном бутылки об стол, то водолаз подскочит, как на батуте, поднимется выше неустойчивого состояния равновесия, после чего приобретёт положительную плавучесть и сам поднимется наверх. Вместо того чтобы бить бутылкой об стол, можно стукнуть кулаком по столу – эффект тот же.

- А вот способ, который годится для высоких бутылок – литровых молочных и большего объёма. Пусть водолаз находится на дне; возьмёмся за пробку и приподнимем бутылку – водолаз всплывёт. Оказывается, под действием силы тяжести не опирающаяся на стол высокая круглая бутылка увеличивает свой объём, давление воздуха в ней падает и водолаз приобретает положительную плавучесть.

- Ещё один способ. Сильно наклоним бутылку, чтобы высота столба воды над водолазом существенно уменьшилась. На уровне водолаза давление воды уменьшится, воздух в нём расширится и водолаз начнёт подниматься. В некоторый момент поставим бутылку вертикально, и водолаз окажется наверху.

НАДЕВАЕМ ХОМУТ

Вот ещё один простой способ получить водолаза с тремя положениями равновесия. Поместим в бутылку флакончик с положительной плавучестью и наденем на неё червячный хомут (рис. 2).

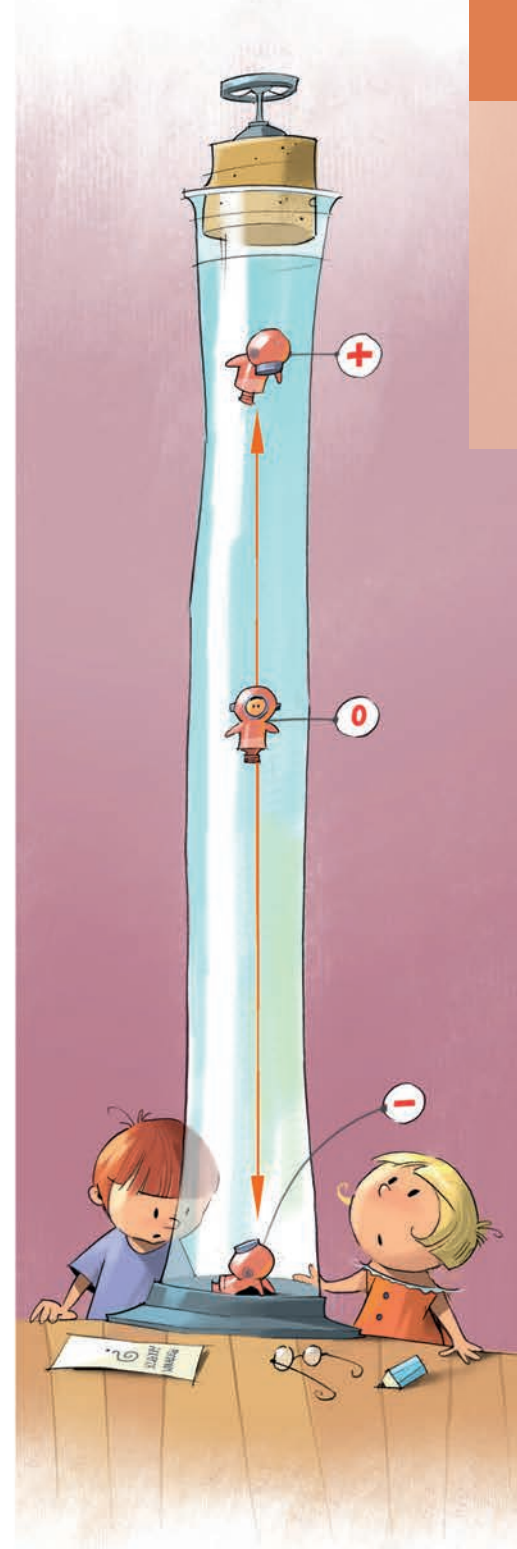
Начнём потихоньку сжимать хомут, каждый раз проверяя, не стало ли нижнее положение водолаза устойчивым. Когда это произойдёт, получим водолаза с тремя положениями равновесия.



Рис. 2. Бутылка с хомутом, очень удобная для настройки водолаза

ВОДОЛАЗ СИММЕТРИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Какой-то несимметричный у нас получился водолаз. Опускаешь водолаза вниз нажатием на бутылку, а чтобы поднять его, нужно постучать об стол, или приподнять бутылку, или наклонить её. Можно устранить





эту асимметрию, используя бутылку с овальным сечением (рис. 3).

Пусть водолаз с тремя положениями равновесия находится в самом верху такой бутылки. Сожмём в направлении друг к другу противоположные плоские стороны бутылки – её объём уменьшится, и водолаз опустится вниз. Если водолаз уже внизу, сожмём в направлении друг к другу противоположные закруглённые стороны – объём бутылки увеличится и водолаз пойдёт вверх.

Для этих же целей можно использовать пластиковые бутылки с прямоугольным или, скажем, с треугольным сечением – такие тоже встречаются.

ДЕЛАЕМ ИЗ КРУГЛОЙ БУТЫЛКИ ОВАЛЬНУЮ

В овальных бутылках обычно продаются моющие средства и другая химия. Чтобы сделать водолаза, приходится долго ждать, пока они опустеют. Другое дело молочные бутылки, они опорожняются быстро, правда, имеют круглое сечение. Тем не менее возьмём полторалитровую молочную бутылку и поместим в неё флакончик с минимальной отрицательной плавучестью – он сразу опустится на дно бутылки. Будем действовать, как при спасении водолаза. Сожмём бутылку, чтобы из неё вышло немного воздуха – чуть-чуть меньше, чем нужно для спасения водолаза, и, не ослабляя нажима, закрутим пробку. После этой процедуры у водолаза появятся два новых состояния равновесия – промежуточное неустойчивое и верхнее устойчивое.

В то же время упругие силы будут стремиться вернуть бутылке прежнюю круглую форму, а внешнее избыточное давление воздуха будет препятствовать этому. В итоге бутылка приобретёт овальную форму, а мы получим водолаза двойного симметричного действия.

Некоторые бутылки меньшего размера приобретают в результате описанной процедуры не овальную, а треугольную форму, и это нас тоже устраивает.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

Для изготовления водолазов удобно использовать флакончики с узким горлышком, наподобие тех, что



Рис. 3.
Овальная бутылка



Рис. 4. Плаваемость регулируем в отдельном стакане

одну капельку и вернуть в стакан.

А после такой регулировки флакончик следует вниз горлышком перенести в бутылку. Если действовать аккуратно, при переносе вода из такого флакончика не выливается (рис. 5).

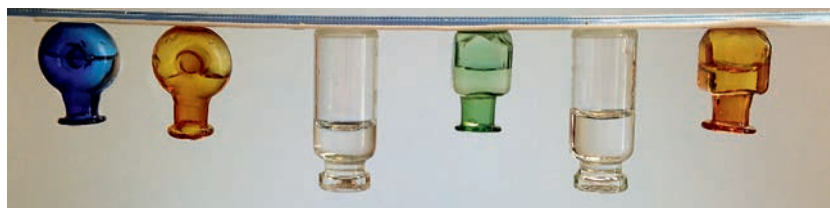


Рис. 5. Из этих флакончиков вода не выливается



Рис. 6.
Пипетка-водолаз

Фигурные цветные флакончики ёмкостью 2 мл продаются, например, в магазине «Дом ароматов». Там же можно купить пипетку Пастера, с помощью которой удобно регулировать количество жидкости во флакончике. Пипетка хороша ещё тем, что из нее самой можно соорудить водолаза. Закрепите на пипетке небольшой грузик и отрежьте у неё оставшийся кончик – водолаз готов (рис. 6).

И последнее: перед тем как производить свои эксперименты, обязательно посмотрите видео Beniamino Danese под названием «Le caraffine di Magiotti» на сайте reinventore.it/reinventore-tv/le-caraffine-di-magiotti-2/.



Художник Алексей Вайнер

Несколько новых иллюстраций к «Алисе в Зазеркалье»

И, наконец, безумство шахматной игры как нельзя лучше соответствует безумной логике Зазеркалья.

Мартин Гарднер, комментарии
к «Алисе в Зазеркалье»

Шахматная доска вместе с шахматной задачей, выдуманной Льюисом Кэрроллом, служат канвой для «Алисы в Зазеркалье». При этом, как пишет Гарднер, «...шахматы увязываются с темой зеркального отражения». Вот несколько иллюстраций на эту тему.

1. Неужели Белая Королева собирается исчезнуть, как это сделал Чеширский Кот и его растаявшая в воздухе улыбка?



Нет, она всего лишь собирается обменяться телами с Чёрной Королевой.



●.....●
В качестве основного источника здесь было использовано издание, подготовленное Н. М. Демуровой и включающее комментарии Мартина Гарднера: Льюис Кэрролл. *Алиса в стране чудес. Сквозь зеркало и что там увидела Алиса.* – М.: Наука, 1991.

ОПЫТЫ И
ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Андрей Андреев





2. Возможно всё, что случилось с Алисой в Зазеркалье, – всего лишь приснилось ей. Вот небольшой отрывок из Зазеркалья, где речь идёт о сне Чёрного Короля.

– Милый, правда? – спросил Траляля.

Алисе трудно было с ним согласиться. На Короле был красный ночной колпак с кисточкой и старый грязный халат, а лежал он под кустом и храпел с такой силой, что все деревья сотрясались.

– Так можно себе и голову отхрапеть! – заметил Труляля.

– Как бы он не простудился, – забеспокоилась Алиса, которая была очень заботливой девочкой. – Ведь он лежит на сырой траве!

– Ему снится сон! – сказал Траляля. – И как потвоему, кто ему снится?!

– Не знаю, – ответила Алиса. – Этого никто сказать не может.

– Ему сниться ты! – закричал Траляля и радостно захлопал в ладоши. – Если б он не видел тебя во сне, где бы, интересно, ты была?

Вот комментарий Гарднера к этому отрывку: «Алиса видит во сне Короля, который видит во сне Алису, которая видит Короля, и так далее, словно два зеркала, поставленные друг перед другом ...»

Что-то наподобие этого:



Конечно же, сон Алисы и сон Чёрного короля – это чрезвычайно запутанные состояния, которые не так-то легко распутать.

3. Вот ещё один сюжет. Всё время от начала до конца истории Чёрный Король проспал без движения (на одном поле шахматной доски), а Алиса прошла весь путь до последней горизонтали, превратившись в Белую Королеву. Естественно, что в разные моменты времени она находилась по разные стороны от Чёрного Короля. Судя по всему, Алиса сейчас находится спереди. Или это только иллюзия?

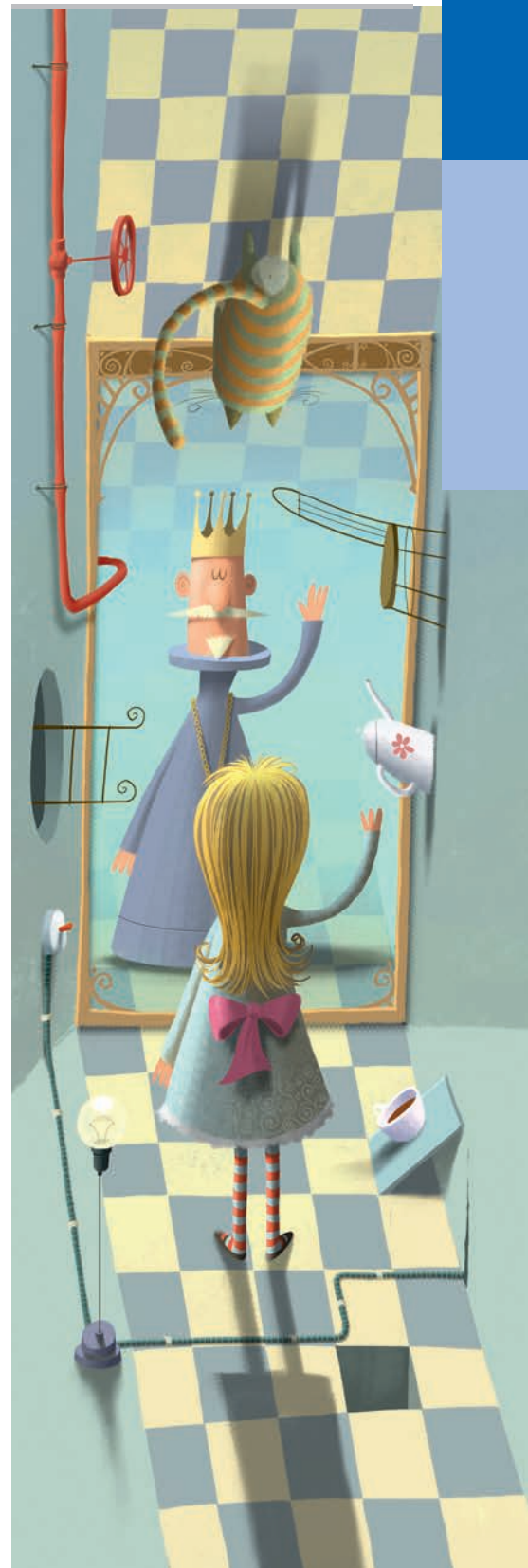


Почему король такой крупный и размытый? Так могло получиться, если бы камера фотоаппарата была сфокусирована на более далёкой пешке. Но ведь король заслонён, а пешка видна полностью. В чём же тут дело? Отметьте на нижней фотографии, с какой стороны стояла камера, сделавшая верхнее фото.



Чтобы разобраться во всём этом, посмотрите сначала ролик youtu.be/oJb9RnAVDuE и заодно скажите: кто из присутствующих исполняет там роль Безумного Шляпника, а кто – Мартовского Зайца? А потом посмотрите youtu.be/GAmWs6zfTj8, где к предыдущим персонажам добавляется ещё один (во втором ролике есть пояснения на английском языке, но многое понятно и без них, просто по картинке).

Художник Алексей Вайнер



ПОВТОРЯЕМ
ОПЫТ ГАСПАРО БЕРТИ

Все мы часто слушаем прогноз погоды и хорошо знаем, что атмосферное давление измеряется в миллиметрах ртутного столба. Когда писались эти строки, атмосферное давление в Москве равнялось 743 мм ртутного столба, в Риме – 758 мм, во Флоренции – 761 мм.

Иногда давление измеряют в миллиметрах или метрах водяного столба. Чтобы перейти от «ртутного» давления к «водяному», нужно первое из них умножить на 13,6. Например, сейчас в Риме давление составляет $13,6 \times 758$ мм рт. ст. ≈ 10309 мм вод. ст. $\approx 10,31$ м вод.ст. Коэффициент 13,6 появляется потому, что ртуть в 13,6 раз тяжелее воды.

Первым атмосферное давление измерил Эванджелиста Торричелли. В 1644 году он вместе с Вивиани провёл важнейший эксперимент. Метровую стеклянную трубку, запаянную с одного конца, заполнили ртутью, конец трубки закрыли пальцем и поместили в сосуд с ртутью. После того как палец убрали, часть ртути вылилась в сосуд, и ртуть в трубке установилась на высоте 76 см от уровня ртути в сосуде.

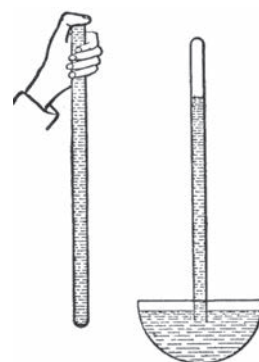


Рис. 1. Эксперимент Торричелли

Так что атмосферное давление во Флоренции в тот день не слишком отличалось от сегодняшнего. Вот что писал сам Торричелли по этому поводу:

На поверхность жидкости в чашке давит тяжесть 50 миль воздуха. Поэтому что же удивительного, если внутри стекла, где ртуть не испытывает ни влечения, ни сопротивления, поскольку там ничего нет, она стоит на таком уровне, что уравнивает тяжесть внешнего воздуха, оказывающего на неё давление! В такой же трубке, но значительно более длинной, вода стоит на высоте 18 локтей, то есть во столько раз выше ртути, во сколько раз ртуть тяжелее воды, для того чтобы уравновесить ту же самую причину, оказывающую давление и в том и в другом случае.

Так Торричелли установил наличие атмосферного давления. Он понял, что давление столба воздуха над нами такое же, как у столба ртути высотой 76 см или у столба воды высотой 18 локтей (это около 10 м). Он изобрёл первый барометр и впервые в лабораторных условиях создал вакуум – *торричеллиеву пустоту*, расположенную в верхней части трубки на рисунке 1.

Что касается трубки, заполненной водой на высоту 18 локтей, которую упоминает Торричелли, то это о римских экспериментах Гаспаро Берти, проведённых им около 1640 года. Берти использовал свинцовую трубу длиной больше 11 м. Сначала её заполняли водой и оба конца закупоривали.

Затем трубу ставили вертикально, её нижний конец помещали в сосуд с водой и открывали. Часть воды из трубы выливалась, высота столба оставшейся в трубе воды была порядка 10 м. (Попробуйте придумать, как бы вы измерили высоту столба воды в непрозрачной свинцовой трубе; каким способом воспользовался Берти, нам неизвестно.)

Хоть Берти и предполагал наличие вакуума в верхней части трубы, он не смог доказать этого, да это было и не совсем верно. На самом деле пространство над уровнем воды в трубе было заполнено насыщенным водяным паром.

Подробнее об истории этих экспериментов и связанных с ними обстоятельствах читайте в тексте «Картезианский водолаз» на сайте «Квантика» kvantik.com/diver.pdf

Давайте воспроизведём эксперимент Берти, ограничившись более скромными, подручными материалами, на лестнице в вашем подъезде.

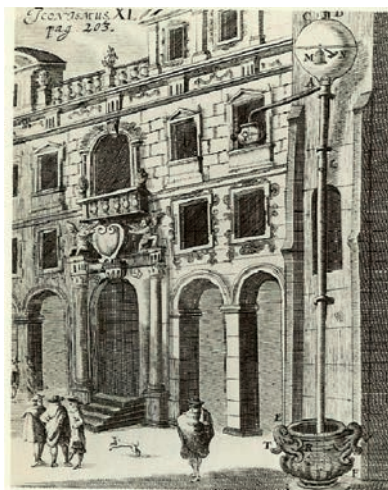
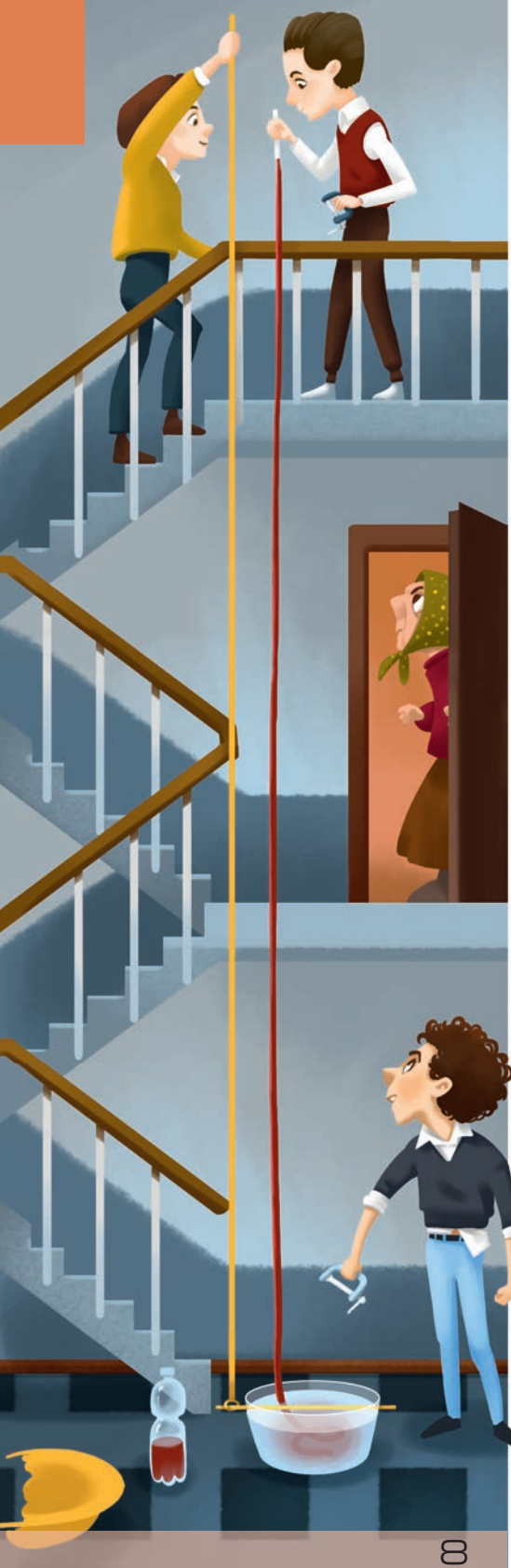


Рис. 2. Более поздний эксперимент Берти с продвинутым дизайном





Вместо тяжёлой свинцовой трубы возьмите прозрачную ПВХ-трубку длиной 11 м с внутренним диаметром 6 мм и толщиной стенок 2 мм – стенки должны быть толстыми, чтобы верхнюю часть трубки не сдавило атмосферное давление. Ещё вам понадобятся две небольшие струбцины. Трубку заполните подкрашенной водой, на это уйдёт чуть больше 0,3 л. После заполнения самые кончики трубки сложите вдвое и сгибы зажмите струбцинами, обеспечив герметичность объёма внутри трубки (рис. 3).

Один конец трубки вместе со струбциной поместите в сосуд с водой (рис. 4), другой поднимите на всю длину трубки – больше 10 м, то есть на три этажа с лишним.

В трубке может остаться немного воздуха, например, в виде пузырьков, прилипших к стенкам. Чтобы его удалить, сначала простучите трубку пальцем по всей высоте снизу вверх. Тогда весь этот воздух поднимется к верхнему концу трубки. После этого открутите верхнюю струбцину, снова сложите вдвое трубку чуть ниже верхнего уровня воды в ней и зажмите сгиб.

Теперь можно разгерметизировать нижний конец трубки, находящийся в сосуде.



Рис. 3. Трубка заполнена подкрашенной водой, концы зажаты струбцинами

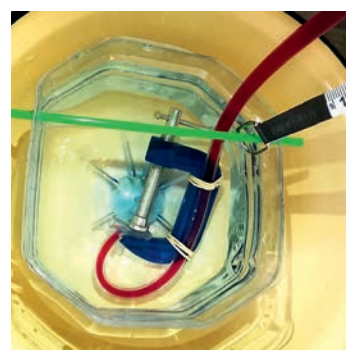


Рис. 4. Одна струбцина погружается в сосуд, нулевая отметка рулетки совмещается с поверхностью воды

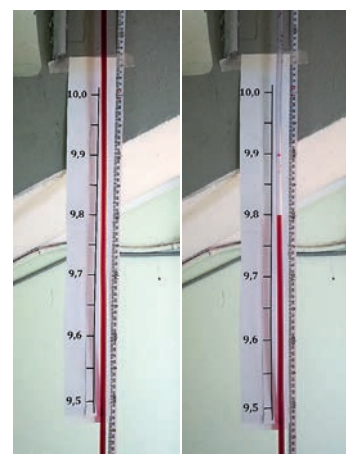


Рис. 5. До разгерметизации трубка заполнена доверху, после – уровень воды снижается до 9,8 м

При этом часть воды из трубки выльется в сосуд, оставшаяся установится на высоте примерно 10 м. В нашем эксперименте это было 9,8 м (рис. 5, справа).

На самом деле атмосферное давление на месте эксперимента в тот момент было 740 мм рт. ст., то есть $13,6 \times 740 \text{ мм рт. ст.} = 10064 \text{ мм вод. ст.} \approx 10,06 \text{ м вод.ст.}$

Это кажется достаточно далёким от полученных нами 9,8 м. Но если учесть давление насыщенных паров воды, заполняющих верх трубки, а при температуре 20 °С оно составляет 23,6 см вод. ст., то теоретически предсказанное значение высоты водяного столба уменьшится до $10,06 - 0,24 = 9,82 \text{ м вод. ст.}$, что намного ближе к нашим экспериментальным 9,8 м.

В эксперименте Торричелли таких проблем не возникает – ведь давление насыщенных паров ртути при комнатной температуре составляет всего лишь 0,0013 мм рт. ст., практически 0. Так что ртутный барометр очень точно показывает значение атмосферного давления, а в верхней части трубки на рисунке 1 действительно глубокий вакуум – торричеллиева пустота.

Чтобы было легче ориентироваться в проделанных нами расчётах, приводим таблицу соответствия высот ртутного и водяного столбов и значения давлений насыщенных паров воды и ртути при 20 °С. Они пригодятся и для ваших собственных опытов и расчётов.

Высота ртутного столба	Высота водяного столба	Давление насыщенных паров при 20 °С	
1 мм	1,36 см	ртути	воды
760 мм	10,33 м	0,0013 мм	23,6 см
750 мм	10,20 м	рт.ст.	вод.ст.
740 мм	10,06 м		
730 мм	9,92 м		

И ещё один полезный факт: на небольших высотах над уровнем моря (скажем, до 500 м) при подъёме на каждые 12 метров атмосферное давление уменьшается примерно на 1 мм ртутного столба. Вы можете проверить это, захватив с собой барометр и поднявшись с ним на последний этаж своего дома. Посмотрите, насколько давление там ниже, чем на первом этаже.

Художник Мария Усеинова





ДА НИЧЕГО НЕ НАДО!

Кто не знает, что «электричество притягивается»? Крохотный клочок бумаги, оторванный ногтем от угла тетрадного листа или газеты, повисает на конце авторучки, если ею только что легонько провели по волосам. Пищевой пакет, разглаженный на полированной дверке шкафа, надолго забывает о притяжении Земли.

По-видимому, изучение подобных явлений началось со случайного наблюдения одного из семи мудрецов Древней Греции – Фалеса Милетского. По одной из легенд, у него была дочь, она пряла янтарным веретеном, обратила внимание на прилипающие к янтарию крохотные шерстинки и спросила отца, почему это происходит. Фалес стал думать, проводить опыты и... вошёл в историю как первооткрыватель электричества. Правда, до такого названия надо было пройти почти двадцати столетиям, когда вспомнили, что греки называли янтарь электроном.

А ещё позже никому не известный итальянец Никола Кабео проводил эксперименты, в которых натёртые тела отталкивались друг от друга. И вот этот

фокус до сих пор редко можно увидеть, хотя сегодня его легко повторить с помощью повседневных предметов.

Повесьте на ниточке пластиковую трубочку для напитков, поднесите к ней обычную шариковую ручку, предварительно проведя ею по волосам. Вы наверняка удивите зрителей поведением трубочки. Она в страхе стремительно отворачивается от ручки, хотя между ними ещё несколько сантиметров. Секрет в том, чтобы незаметно провести трубочкой по волосам прямо перед её укреплением на подвесе. Трубочка и ручка после трения о волосы зарядятся скорее всего одинаково (обе они пластмассовые), а заряды одного знака отталкиваются друг от друга (а разных знаков притягиваются).

Подумайте, почему обычно мы наблюдаем притяжение одного предмета к другому, а не отталкивание. И почему наэлектризованное тело притягивает тело без всякого заряда, а отталкивания в таких условиях не видно никогда.

Удачи в эксперименте и в поиске своих вариантов!

Художник Артём Костюкевич



ГРАВИТАЦИОННЫЙ БИЛЬЯРД И МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО РЕЗОНАТОРА

Для создания гравитационного бильярда нам понадобится стеклянная банка, воздушный шарик и ещё стальной шарик диаметром в несколько миллиметров. На стеклянную банку натянем кусок резиновой плёнки, вырезанной из воздушного шарика. Перед тем как герметично закрепить плёнку, нажмём на неё и выпустим из банки немного воздуха, чтобы под действием атмосферного давления плёнка прогнулась внутрь. Если банка круглая, то из-за разности давлений плёнка примет сферическую форму – будет представлять собой небольшой кусочек сферы.

Если на нашу плёнку с малой высоты точно по центру отпустить небольшой металлический шарик, он будет многократно подсакивать вверх и снова падать в центр, и эти подскоки будут продолжаться достаточно долго (kvantik.com/stable.webm).

Если же начальная высота превышает некоторое критическое значение, то, как бы точно мы ни прицеливались по центру плёнки, всё равно после нескольких отскоков шарик будет выброшен за её пределы (kvantik.com/unstable.webm).

Оказывается, что критическая начальная высота, разделяющая эти два типа траекторий, равна половине радиуса сферы, частью которой является наша



Из-за разности давлений плёнка принимает сферическую форму

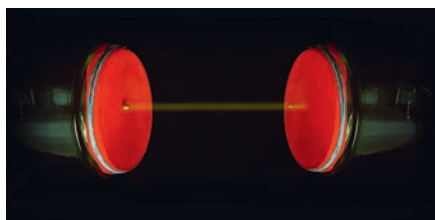


Шарик отпускается точно по центру плёнки



плёнка. Это можно проверить экспериментально, а можно доказать и чисто математически.

А теперь отключим гравитацию – представим, что мы находимся в условиях невесомости. Возьмём две такие банки, расположим их друг против друга и запустим между ними стальной шарик.



В невесомости

Возникает аналогичный вопрос: при каких условиях шарик будет устойчиво двигаться, попеременно отражаясь от одной плёнки к другой, а при каких условиях его обязательно выбросит из пространства между банками?

На самом деле это важный вопрос, и он хорошо изучен. Дело в том, что у нашей механической системы



Схема лазерного резонатора

имеется известный оптический аналог. Это лазерный резонатор – система из двух сферических зеркал, расположенных друг против друга. Он характеризуется тремя числами: радиусами зеркал R_1 , R_2 и расстоянием между вершинами зеркал L .

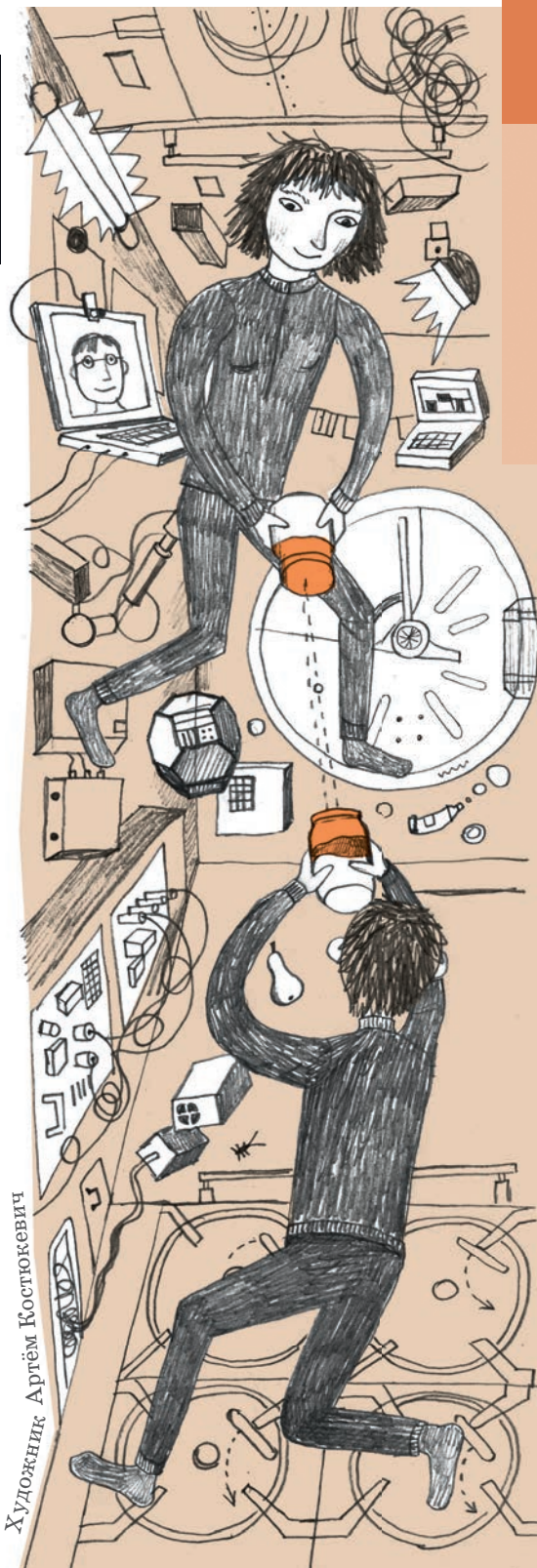
В зависимости от соотношения этих трёх параметров световой луч, движущийся вблизи оси резонатора, либо всегда остаётся внутри резонатора, либо после нескольких отражений вылетает оттуда. В первом случае резонатор называют *устойчивым*, и его можно использовать для генерации лазерного излучения, во втором случае резонатор называют *неустойчивым*.

Отыскание критерия устойчивости лазерного резонатора – увлекательная задача, и её можно решить с помощью школьной математики. На сайте Квантика (kvantik.com/laser.pdf – просматривать лучше в режиме 2 страницы на экран) вы найдёте подробное обсуждение этой задачи, одинаково применимое и к самому лазерному резонатору, и к его «двухбаночной» механической модели.



Фото авторов

Художник Артём Костюкович





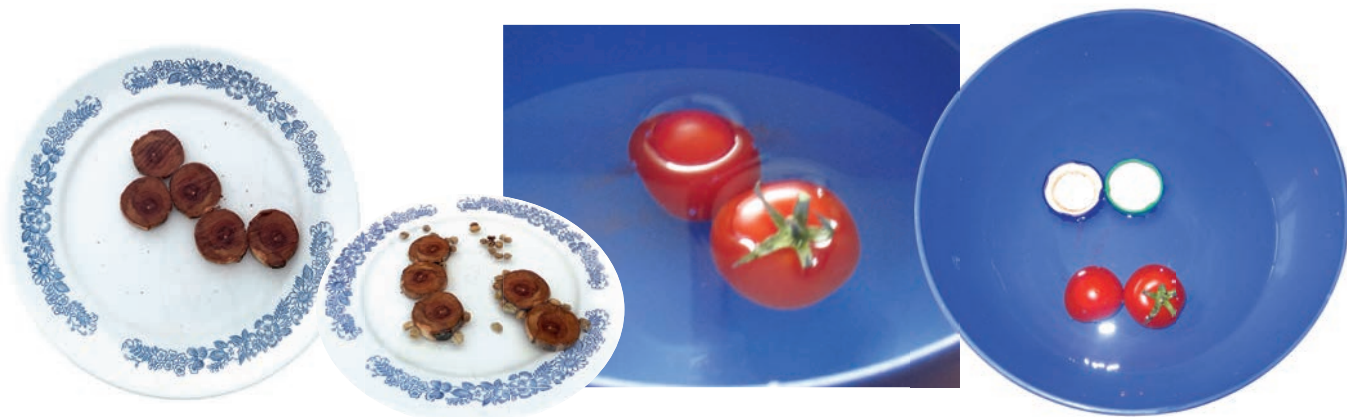
ФОТОГРАФИИ СВОБОДНО ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛ



Пришла весна. Настало время сажать цветы на даче. Чтобы семена хорошо всходили, их рекомендуют до посадки замачивать в воде. Мы бросили семена настурции в тарелку с водой. Сначала они были распределены равномерно по поверхности воды. Но

вдруг семена «ожили» и начали плыть друг к другу! По мере сближения они ускорялись. Через несколько минут семена на воде организовали плавающие цепочки и островки. После чего движение закончилось.

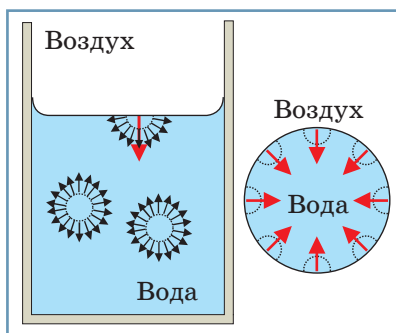
Эти наблюдения нас так удивили, что мы стали испытывать другие плавающие предметы: спилы веток, крышечки от молочных бутылок и банок, плавающие парафиновые свечи и парниковые помидоры. Оказалось, что одинаковые плавающие предметы притягиваются. А вот неодинаковые ведут себя по-разному: одни притягиваются, а другие расталкиваются.





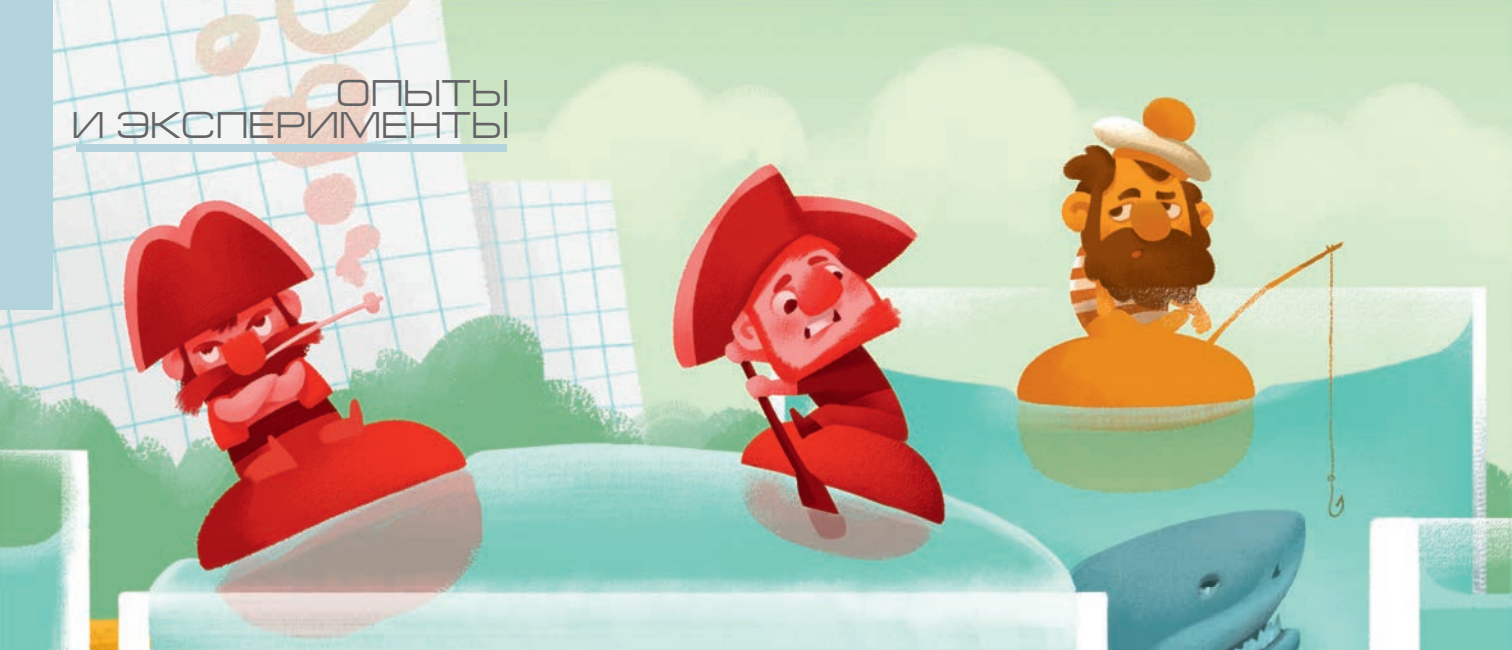
Чтобы разобраться в происходящем, давайте посмотрим на поверхность воды в стеклянном стакане. Поверхность воды выглядит плоской только вдали от стенок стакана. Рядом со стеклом поверхность воды искривляется: у стенки вода поднимается вверх. Как говорят, вода смачивает стекло. Но она не всегда ведёт себя так. Если налить воду в парафиновый стакан, то мы увидим, что уровень воды будет опускаться по мере приближения к парафиновой стенке. Парафин не смачивается.

Какие силы поднимают или опускают воду вблизи стенки? Вода состоит из молекул, которые можно рассматривать как маленькие жёсткие шарики, притягивающиеся друг к другу. Обратим внимание на то, что состояние молекулы воды на её поверхности отличается от состояния такой же молекулы воды, находящейся вдали от поверхности. На молекулу, находящуюся внутри воды, силы со сторо-



ны ближайших соседей действуют во все стороны. В то же время у молекулы воды, находящейся на поверхности, соседи сверху отсутствуют. Значит, на молекулу воды у поверхности будет действовать суммарная сила, направленная внутрь жидкости. Благодаря этой силе молекула воды, находящаяся у поверхности, не вылетает из жидкости. Поверхностные силы и сила тяжести определяют форму поверхности жидкости. Например, свободно падающая капелька сжимается со всех сторон своим поверхностным слоем. Это определяет её сферическую форму. Эти же поверхностные силы обеспечивают внутри капельки давление, большее атмосферного.

Молекулы воды притягиваются не только к молекулам воды, но и к молекулам других материалов. Силы притяжения молекул воды к молекулам стекла больше, чем силы притяжения молекул воды между собой. Поэтому вода смачивает стекло, то есть уровень



воды повышается у стенок стакана. А силы притяжения воды к парафину гораздо меньше сил притяжения между молекулами воды. Поэтому вода не смачивает парафин, и уровень воды у стенки понижается.



На фотографиях – плавающая свечка в бокале с водой. Вода смачивает стекло и не смачивает парафин свечки. Прежде чем сделать эти фотографии, мы подождали несколько минут. Свечка установилась в центре бокала! Это и понятно. Свечка соскальзывает

с горок, образуемых водой и стеклом, в самую низшую точку. Вот почему смачиваемые и несмачиваемые плавающие тела расталкиваются!

Для проверки этой гипотезы мы изменили форму поверхности воды в бокале. Для этого аккуратно долили воду так, чтобы бокал оказался заполнен водой «с верхом». Верхняя точка воды теперь в середине бокала. Свечка, как мы и ожидали, соскользнула к краю. Чтобы посмотреть, как отталкивание от стенки заменяется притяжением, оказалось удобным добавлять воду медицинским шприцем.

Чтобы понять, почему одинаковые плавающие предметы (смачиваемые или несмачиваемые) притягиваются, мы провели дополнительные опыты:

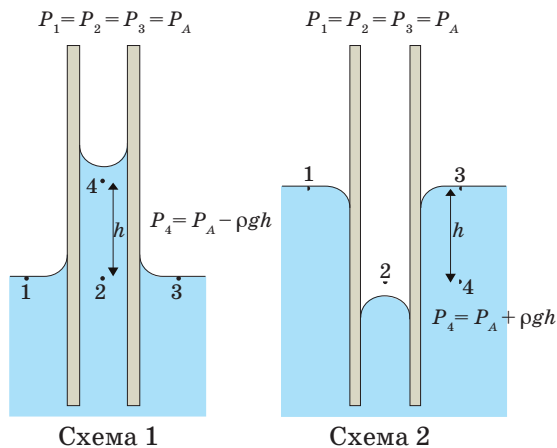
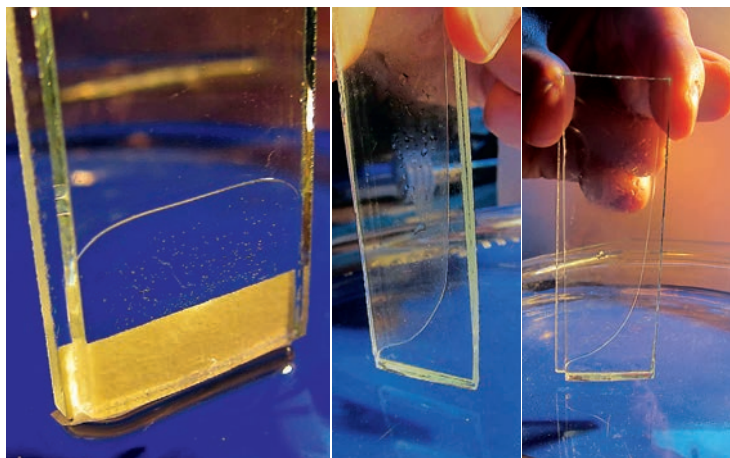




опустили два плоских стёклышка, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга, в воду. Силы притяжения воды к стеклу подняли уровень воды на заметную высоту! Чем ближе находятся стёкла, тем выше поднимается вода. Чтобы проследить зависимость высоты подъёма воды от величины зазора между пластинами, мы сложили пластины в виде приоткрытой книжки. С одной стороны пластины сходятся вплотную, а с другой – расходятся на расстояние в несколько миллиметров. На фотографии видна граница воды и воздуха. При малых расстояниях между пластинами кри-

вая очень похожа на гиперболу. Это указывает на обратно пропорциональную зависимость высоты подъёма от расстояния между пластинами. Постараемся разобраться, какие силы действуют на пластины. Для этого представим схематично вид сбоку.

На схеме 1 изображены две параллельные чистые стеклянные пластины, опущенные в воду. На схеме 2 – пластины, покрытые парафином (не смачиваемые водой). В воздухе и в точках 1, 2, 3 на обеих схемах (в соответствии с законом Паскаля) давление атмосферное: P_A . Тогда на первой схеме в поднявшейся между пластинами





воде давление меньше атмосферного. Воздух снаружи пластин будет давить сильнее, чем вода между пластинами. Пластины будут притягиваться. Удивительно, что в случае несмачиваемых пластин они тоже будут притягиваться! Чтобы понять это, надо сравнить давление воды в точке 4 и давление воздуха в точке 2 на второй схеме.

Уровень воды между плавающими телами изменяется, как и в случае опущенных в воду пластин. В случае смачивания и несмачивания плавающих тел давление с внешней стороны оказывается больше, чем между ними. Это приводит к их притяжению. Чем меньше расстояние между телами, тем больше изменение уровня воды в зазо-

ре между ними. Поэтому сила притяжения растёт при сближении плавающих предметов.

После того как мы заметили взаимодействие свободно плавающих предметов, мы обнаружили, что результат действия этих сил можно найти почти в каждом водоёме. Например, на фото ряски и лягушек, которые мы нашли в интернете. Лягушка, наверное, не догадывается, какие силы тянут её к плавающей листе. (Значительны ли эти силы – попробуйте оценить сами). Посмотреть притяжение и отталкивание плавающих тел в динамике можно в интернете: v.ht/float. Хотя, конечно, лучше попытаться поставить свои собственные опыты.

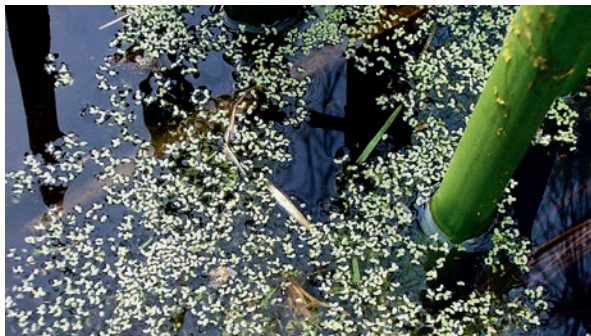


Фото: VirtualSteve, bit.ly/2m8HOFS



Фото: Martipal, bit.ly/2L049mY, фрагмент

Фото (кроме двух последних): Глеб Ингман, Леонид Свистов