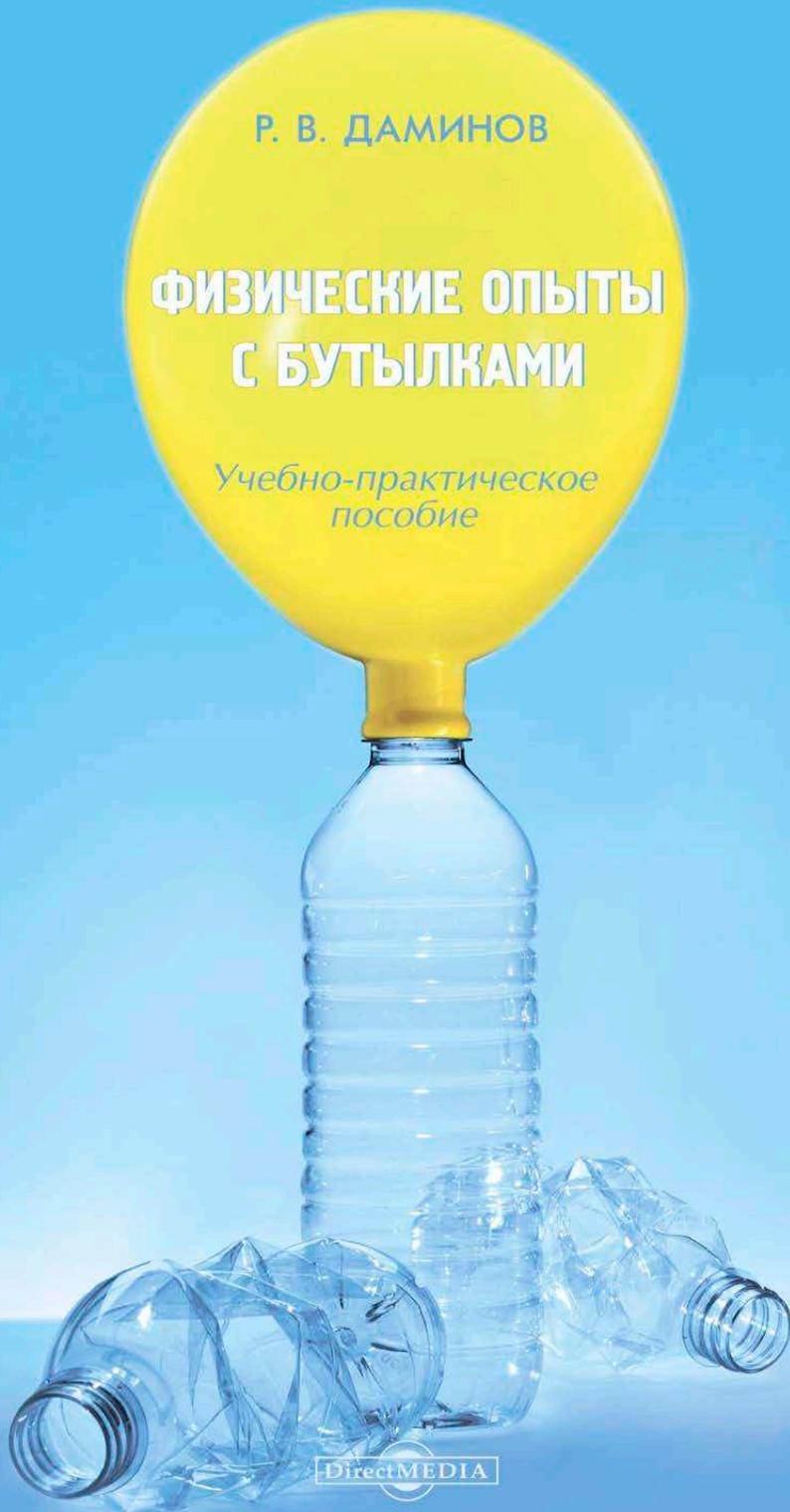


Р. В. ДАМИНОВ

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ С БУТЫЛКАМИ

*Учебно-практическое  
пособие*



**Р. В. Даминов**

# **Физические опыты с бутылками**

*Учебно-практическое пособие*



**Москва  
Берлин  
2021**

УДК 530.1(075)  
ББК 22.3в64я7  
Д16

**Даминов, Р. В.**

Д16 Физические опыты с бутылками : учебно-практическое пособие / Р. В. Даминов — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. — 144 с.

ISBN 978-5-4499-1965-6

Книга содержит описания физических опытов с пластиковыми бутылками и предназначена учителям и преподавателям физики, а также всем, кто увлекается на досуге экспериментами и техническим творчеством.

УДК 530.1(075)  
ББК 22.3в64я7

## Оглавление

Оглавление .....	3
Предисловие редактора .....	5
Введение .....	6
Сообщающиеся сосуды .....	10
Если дунуть в бутылку.....	13
Это просто надувательство .....	14
Телекинез.....	16
Ошпаренная бутылка .....	18
Невесомость и перегрузка .....	20
Едем в гору .....	22
Торнадо .....	24
Атмосферное давление.....	26
Картезианский «водолаз» .....	27
Пробка-снаряд.....	30
Ракета .....	33
Оптические свойства бутылки.....	35
Собирающая и рассеивающая линзы.....	39
Таинственный свет .....	42
Обратный клапан.....	43
Уровень.....	45
Дозатор.....	46
Автоколебания .....	48
Часы.....	48
Истечение струи .....	51
Воронка .....	53
Азотная «бомба».....	55
Мельница.....	56
Мыльный пузырь.....	58
Неваляшка .....	60
Опорожнение бутылки .....	62
Гидростатическое давление.....	64
Объём лёгких .....	67
Фонтан.....	69
Инерция .....	70
Неинерциальная система .....	71
Автопоилка.....	73

Негаснувшая свеча .....	75
Сосуд Мариотта .....	77
Опрокинутая бутылка.....	80
Вязкость воздуха.....	81
Искрящаяся струя.....	83
Больше бутылки .....	86
Если дунуть в бутылку-2 .....	88
Звенящая бутылка .....	90
Свисток.....	91
Трение.....	93
Реакция струи.....	98
Емкость для зарядов.....	100
Струя в электрическом поле .....	103
Сифон.....	105
Опорожнение стакана .....	107
Волшебная бутылка .....	108
Поляризация.....	109
Ракета, летающая на воде.....	112
Идеальный газ .....	114
Ветер и свеча.....	121
Естественный цвет .....	123
Туман в бутылке .....	127
Давным-давно.....	130
Обрывание верёвки в бутылке .....	131
Верчение воды .....	131
Спичка, монета и бутылка .....	133
Таинственный флакон.....	133
Разсеивая тьму.....	135
Езда в ночи.....	136
Чудный звонокъ.....	137
Индикаторъ уровня.....	138
Об авторе.....	140

## Предисловие редактора

В сознании большинства людей укоренилось мнение, что физика трудная и не очень-то нужная в жизни наука. Не потому ли многие школьники сегодня считают её неосновным школьным предметом? А ведь с физическими явлениями мы сталкиваемся повседневно с младенчества. И лишь много лет спустя начинаем понимать ее важность в своей жизни и в профессии. Но время бывает уже упущено.

Так ли уж трудна физика? И да, и нет. Физика — наука об основах мироздания, а природа умеет хранить свои тайны. Их открытие сопряжено с огромными усилиями многих людей и известно немало драматических, а порой и трагических событий в истории науки. Особенность физики в том, что её законы на первый взгляд просты. Они и описываются достаточно простыми и красивыми формулами. И это потому, что в физике всё подчинено прямой причинно-следственной связи. Так и хочется порой воскликнуть «И как же я сам не догадался до этого!» В физике нет места пространным и любимым многими рассуждениям общего характера «А поговорить?» От того она и кажется сложной и недоступной.

И здесь очень многое зависит от учителя, от того, насколько просто, наглядно и понятно он сможет донести до ученика суть изучаемых явлений и законов. Разумеется, есть прекрасно оснащённые физические кабинеты, в Интернете можно найти изящно поставленные и понятные демонстрации физических опытов, а также заменяющие эти опыты компьютерные модели.

Но есть и другой способ донести до учащихся красоту физики. Способ простой, доступный, безопасный и практически не затратный. И он представлен в данном пособии, в котором демонстрируются основные законы механики, гидростатики, гидродинамики, молекулярной физики и отчасти электродинамики и геометрической оптики.

*Заслуженный деятель науки РФ,  
профессор А. В. Аганов*

## Введение

Среди учебных дисциплин курс физики выделяется огромным арсеналом средств наглядного обучения, большую часть которого составляют учебные эксперименты. Действительность же, однако, такова, что и сегодня во многих учебных заведениях физике продолжают учить преимущественно «меловым» способом, где изучаемые опытные физические явления и процессы предстают перед учащимися не в реальных опытах, а в рассказах учителя о них и в его рисунках на аудиторной доске.

Проблему экспериментального обеспечения уроков отчасти решают повсеместно и интенсивно внедряемые в учебный процесс разнообразные мультимедийные средства. Однако компьютеры вкупе с проекторами, интерактивными досками и другими «умными» и полезными вещами все же не являются эквивалентной заменой реально осязаемым физическим приборам и наблюдаемым с их помощью физическим явлениям.

Учитель физики в своей профессиональной деятельности должен руководствоваться известной поговоркой: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». И это подталкивает его к необходимости конструировать и самостоятельно мастерить разнообразные приспособления, приборы, установки и прочую техническую оснастку для сопровождения своих уроков наглядными опытами. А для этого учитель должен иметь навыки работы с различными материалами (металлом, древесиной, стеклом...), обладать опытом практической работы с электрическим оборудованием, электронными и оптическими приборами, уметь ремонтировать имеющееся в школе техническое оборудование и многое-многое другое.

Не так уж много лет прошло с тех пор, как в обиходе появились очень удобные и практичные пластиковые бутылки, которые в умелых руках могут превратиться во множество полезных предметов: воронку, совок, футляр, умывальник, термос, кормушку для птиц, плот, спасательный жилет и прочие нужные и удобные вещи. Именно «бутылочная» тематика поспособствовала в свое время популяризации телевизионной программы «Очумелые ручки».

Так вот, эти бутылки оказались еще и весьма эффективным средством для постановки множества простых и наглядных

физических экспериментов, занимательных и развивающих игрушек. Легкость механической и термической обработок этих бутылок позволяет делать из них разнообразные предметы быстро и без специальных инструментов, а их доступность, многообразие форм, размеров и расцветок обеспечивают большой выбор для экспериментального творчества.

Герметичность укупорки бутылок, эластичность и высокая механическая прочность их стенок, позволяющие выдерживать большие давления, могут быть востребованы в опытах по молекулярной физике и механике. Причем прозрачность их стенок позволяет видеть происходящие в ней процессы, а удачно сочетающаяся с этим округлость стенок делает возможным изготовление из бутылок оптических элементов.

В данном пособии предлагается описание ряда простых физических опытов, в техническом решении которых основным элементом является пластиковая бутылка. С помощью этих опытов можно дать наглядное представление о внутренней энергии, термодинамическом равновесии, тепловом потоке, адиабатическом процессе, механическом импульсе и ряде других физических понятий и явлений.

Некоторые из представленных здесь опытов можно использовать в средних и даже младших классах, где актуальна наглядность предметного представления понятий атмосферного и гидростатического давлений, столба и потока жидкости, процессов расширения и сжатия газа.

Здесь не ставилось целью везде и во всех деталях истолковывать физику воспроизводимых явлений. Эту задачу решают учебники. Основное внимание было уделено описанию конструкций экспериментальных установок и методик работы с ними, что, в сочетании с доступностью исходных материалов и простотой их обработки, позволяет и учащимся самостоятельно реализовать большинство из представленных здесь опытов. Можно порекомендовать и родителям, которые хотели бы развить у своих детей интерес к физике и техническому творчеству, сделать и провести совместно с ними некоторые из этих опытов.

Из практики учебных демонстраций известно, что они вызывают у учеников тем больше эмоций, а их содержание запоминается ими тем лучше, чем эффектнее представлены

результаты. Поэтому, изготавливая демонстрационные установки и проводя на них эксперименты, надо стремиться к достижению наибольшего эффекта. Так, например, в опытах по запуску водоструйной ракеты, изменению резонансных свойств бутылки, образованию в ней тумана демонстрационный эффект получается тем выше, чем большее давление создано в бутылке.

В этой книге представлено около 90 опытов. Но, если в физическом кабинете будет реализована хотя бы часть этих опытов, то потребуются немало места для размещения бутылок. А если учесть, что еще нужен запас бутылок для реализации задумок в будущем, то ими будет заставлена не одна полка в кабинете. Поэтому, чтобы не путаться в этих бутылках, можно порекомендовать наклеить на них этикетки с названиями опытов, в которых они используются.

Кроме того, некоторые из бутылочных конструкций можно унифицировать, чтобы их можно было использовать в нескольких опытах. Например, если в бутылке, предназначенной для одного опыта, имеется небольшое отверстие, а для другого опыта это отверстие не нужно, то его можно временно заклеить пластырем.

Наконец, надо упомянуть еще об одном, весьма актуальном аспекте использования пластиковых бутылок. Эти практичные предметы стремительно вошли в наш быт и стали столь популярными благодаря ряду присущих им достоинств: легкости, прочности, вместительности, дешевизне, гигиеничности. Побочным же эффектом от внедрения этого продукта современной цивилизации явилось дополнительное загрязнение окружающей среды.

Бутылочную тару изготавливают в основном из полиэтилентерефталата, известного еще, как лавсан, при сжигании которого выделяются токсичные вещества. Поэтому учитель, обратившись к опытам с пластиковыми бутылками, получает повод обсудить с учениками еще и насущные вопросы экологической культуры.

Последовательность описаний опытов здесь никак не связана с учебными программами по физике. опыты, которые можно было бы отнести к гидромеханике, перемежаются с акустическими, а оптические — с механическими. Объяснение же этому можно найти, прочитав первые буквы строк оглавления.

Памятуя о том, что «все новое — это хорошо забытое старое», что и в былые времена тема поучительных опытов и полезных поделок из бутылок наверняка привлекала к себе внимание педагогов и популяризаторов науки, автор обратился к соответствующим старинным изданиям. Хотя бутылки тогда были только стеклянными, тем не менее, некоторые опыты и поделки из них можно воспроизвести и на пластиковых бутылках. Описания некоторых из них приведены в конце книги.

К формированию коллекции «бутылочных» опытов причастны многие: друзья и родственники, коллеги и ученики, за что я премного благодарен им. Значительную часть этих опытов придумал мой брат — учитель физики Радик Даминов. Идею нескольких красивых опытов подарил профессор А. И. Фишман. А первым помощником и испытателем был сын Марат.

## Сообщающиеся сосуды

Всем известно, что «уровни жидкости в сообщающихся сосудах одинаковы». Однако следует иметь в виду, что это утверждение справедливо лишь при соблюдении ряда условий: находящаяся в сосудах жидкость должна быть однородной и неподвижной, а сосуды должны быть достаточно вместительными и без капилляров. Кроме того, давление газа над свободными поверхностями жидкости должно быть одинаковым, сосуды должны находиться в поле тяжести и не перемещаться относительно друг друга и, наконец, система отсчета, связанная с этими сосудами, должна быть инерциальной.

Для изготовления сообщающихся сосудов нужны две пластиковые бутылки и отрезок мягкого шланга. Диаметр шланга должен быть таким, чтобы его можно было плотно надеть на бутылочное горлышко. У обеих бутылок отрезают доньшки, а на их горлышки надевают концы шланга. После заливки воды в установку она готова к демонстрации (рис. 1). Для лучшей видимости воду можно предварительно подкрасить.

Опыт проводят, удерживая бутылки за горлышки. Наклоняя и перемещая бутылки, друг относительно друга, показывают, что после фиксации их положений уровни воды в них со временем становятся одинаковыми.

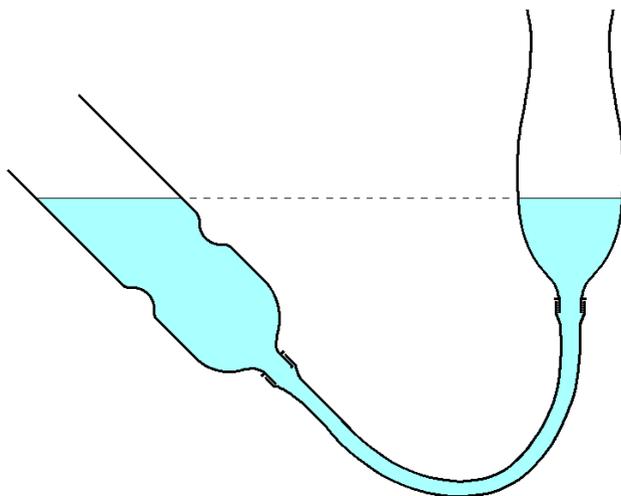
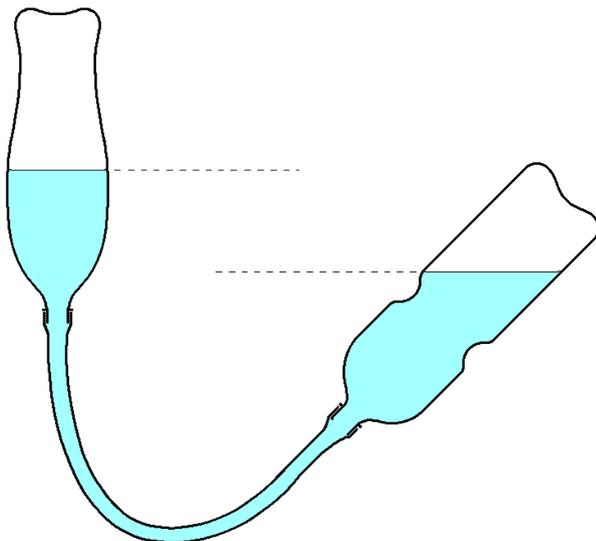


Рис. 1. Сообщающиеся сосуды

Выше указывалось, что одним из условий одинаковости уровней является равенство давлений газа над жидкостью в сосудах. Поэтому важно показать, что полости этих сосудов должны сообщаться между собой не только посредством шланга, но еще и через надуровневое пространство. Сделать это можно в опыте, подобном описанному выше, только бутылки должны быть целыми. В этом случае уровни воды в бутылках устанавливаются на разных высотах, в зависимости от взаимного положения бутылок (*рис. 2*).



*Рис. 2*

А вот еще одно простое и красивое техническое решение демонстрации сообщающихся сосудов. В боку бутылки близ ее дна делают отверстие диаметром чуть меньше, чем наружный диаметр соединительного шланга. Такое же отверстие делают и во второй бутылке. Затем бутылки соединяют между собой с помощью отрезка шланга длиной 3–5 см, вставленного концами в эти отверстия. Для придания конструкции жесткости ее опоясывают узкой лентой скотча. После того, как в бутылки будет налита подкрашенная вода (примерно до половины их объема), установка готова к демонстрации. Наклонив и удерживая в наклонном положении скрепленные бутылки, демонстрируют постепенное выравнивание в них уровней в процессе

перетекания воды из одной бутылки в другую (рис. 3). Если же на бутылки навинтить крышки, то уровни воды в них не выравниваются.

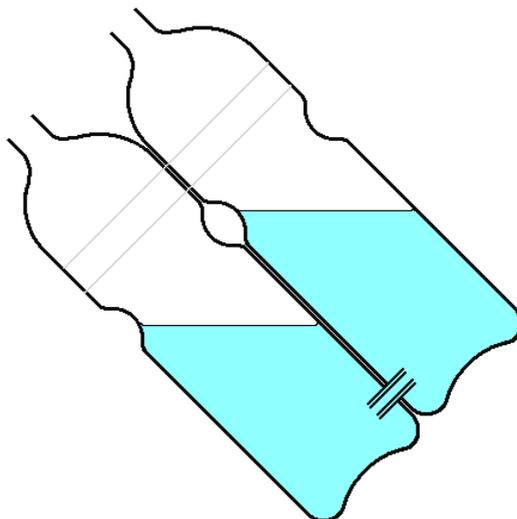


Рис. 3

## Если дунуть в бутылку

Из кусочка бумаги, фольги или из хлебного мякиша надо сделать овальный комочек размером 1–1,5 см в поперечнике. Его надо положить в горлышко бутылки, удерживаемой в горизонтальном положении. Комочек должен лежать близ края горлышка, а над ним должен оставаться промежуток для свободного прохода воздуха.

Если теперь дунуть на комочек, намереваясь загнать его внутрь бутылки, то, вопреки ожиданию, этого не произойдет! Более того, комочек при этом вылетит из горлышка наружу, навстречу воздушной струе. Причем, он вылетает из бутылки тем энергичней, чем сильнее на него дуют (рис. 4). А если

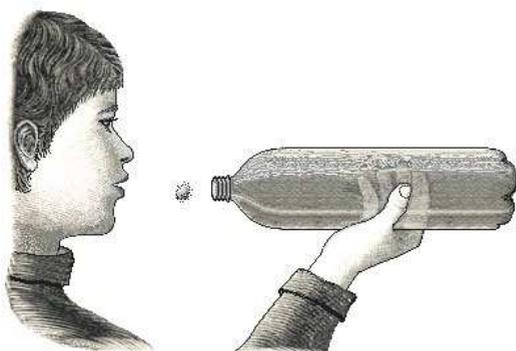


Рис. 4. «Непослушный» комочек

же горлышко бутылки приблизить к губам, то комочек может залезть и в рот.

Столь «нелогичное» поведение комочка объясняется тем, что часть выдуваемого воздуха, пройдя над ним, попадает в бутылку, что приводит к возрастанию в бутылке давления. Перед горлышком же, поскольку воздух там быстро движется,

давление в соответствии с законом Бернулли, наоборот, пониженное. Образовавшаяся разница давлений по разные стороны комочка выталкивает его наружу.

Можно, однако, изловчиться и все же загнать дуновением этот комочек в бутылку. Для этого надо подуть в основание комочка через соломку для коктейля, и тогда он легко соскользнет в полость бутылки. А можно еще поступить иначе. Надо обхватить губами горлышко бутылки и осторожно втянуть из нее воздух в себя, создав тем самым небольшое разрежение в ее полости. Если затем оторвать губы от горлышка, то входящий в бутылку воздух увлечет комочек с собой.

## Это просто надувательство

Этот опыт можно провести, как забавный аттракцион с участием наблюдателей, в котором демонстратор предлагает посоревноваться с ним силой своих легких. Со стороны опыт выглядит так. Демонстратор выставляет на стол три-четыре одинаковые бутылки. В каждую из бутылок он вкладывает по одному воздушному резиновому шарик, которые затем надевает на бутылочные горлышки. Для этого он слегка растягивает горловину шарика и, вывернув ее наизнанку, натягивает на наружную сторону бутылочного горлышка, на его резьбовую часть. Шарик должен свободно свисать внутри бутылки (рис. 5).

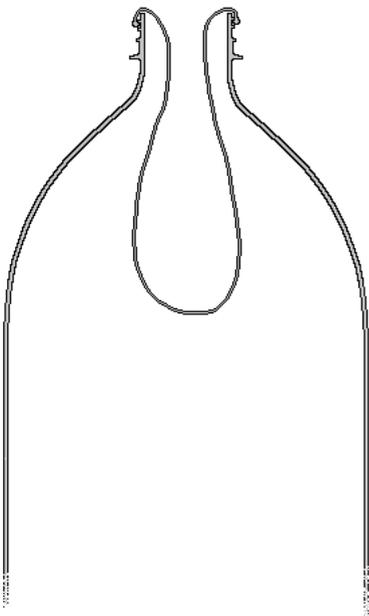


Рис. 5. Бутылка с шариком

Потом демонстратор берет одну из бутылок, приставляет ее горлышко к своим губам и надувает находящийся в ней шарик. Сделав это, он отстраняет бутылку от губ и показывает ее зрителям, обращая их внимание на то, что шарик в бутылке остается в раздутом состоянии, хотя отверстие, через которое он был надут, открыто. Этот шарик занимает большую часть полости бутылки, плотно прилегая к ее внутренним стенкам. Для большей убедительности внутрь раздутого шарика можно вставить карандаш. Это впечатляет и озадачивает наблюдателей, поскольку противоречит стереотипу: воздушный шарик с открытой полостью не может

пребывать в раздутом состоянии.

Затем для усиления эффекта демонстратор говорит, что для того, чтобы шарик «спустить», он отсосет из него воздух. Он снова прикладывает бутылочное горлышко к губам и делает из него глубокий вдох. Оболочка шарика при этом послушно сникает.

После этого демонстратор предлагает повторить проделанный им опыт двум-трем добровольцам, предложив им неиспользованные бутылки с заправленными в них шариками. Вызавшимся вручается по бутылке, и они пытаются раздуть находящийся в ней шарик. Однако, несмотря на все их старания и ухищрения, сделать это им не удастся. Шарик у них раздувается лишь чуть-чуть и сникает сразу же, как только прекращается попытка надуть его.

Секрет «послушания» шарика лишь демонстратору заключается в том, что в стенке бутылки, с которой он проводил опыт, близ ее дна имеется отверстие диаметром 3–4 мм. При надувании шарика отверстие было открыто, и потому воздух, вытесняемый из бутылки раздуваемым шариком, свободно выходил через это отверстие наружу.

Шарик в бутылке демонстратор надувает до тех пор, пока не почувствует возросшее сопротивление. Тогда он надувание прекращает, прикрывает пальцем отверстие в стенке, отнимает бутылку от губ и демонстрирует ее наблюдателям. Шарик в бутылке остается в раздутом состоянии, поскольку давление  $P_0$  внутри него больше, чем давление  $P_1$  снаружи. Эта разница давлений обусловлена силами упругой деформации в растянутой оболочке шарика (рис. 6).

Чтобы шарик спустить, надо лишь чуть отставить от отверстия прикрывающий его палец. Тогда наружный воздух проникает через это отверстие в бутылку, давления по обе стороны резиновой оболочки выравниваются, и шарик самопроизвольно приходит в исходное, спущенное состояние. Демонстративное же всасывание воздуха из шарика делается лишь для эффектности.

А что касается шариков, которые пытались надуть добровольцы, то их попытки заведомо были обречены на неудачу, поскольку в их бутылках отверстия попросту нет.

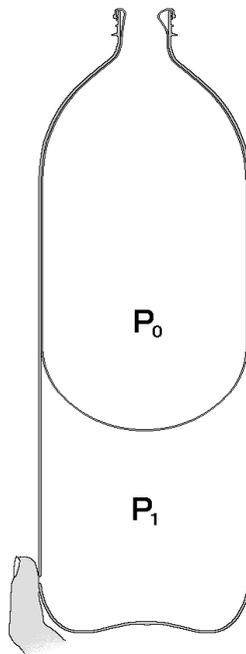


Рис. 6. Бутылка с раздутым шариком

## Телекинез

Надувание в бутылке шарика и «секрет», позволяющий незаметно управлять его состоянием, на основе которого построен предыдущий опыт, можно использовать для демонстрации «телекинеза». Под этим термином подразумевают якобы существующую у некоторых людей способность перемещать предметы мысленными усилиями.

Бутылка должна быть из непрозрачного пластика, чтобы зрители не могли видеть ее содержимое. В стенке этой бутылки близ ее дна надо сделать маленькое отверстие, а на ее горлышко, как и в предыдущем опыте, нужно надеть воздушный шарик. Бутылка и шарик должны быть одного цвета, чтобы натянутый на горлышко ободок шарика был неприметен. До демонстрации этот реквизит должен быть скрыт от наблюдателей ширмой или находиться в соседней комнате.

Перед показом опыта демонстратору надо на несколько секунд удалиться от зрителей к приготовленной бутылке, приставить ее горлышко к губам и сделать в нее энергичный выдох, надувая предварительно вставленный в бутылку шарик. Прикрыв затем боковое отверстие в бутылке указательным или средним пальцем для удержания шарика в раздутом состоянии, надо вставить в полость этого шарика карандаш, также заранее приготовленный.

Длина карандаша должна равняться глубине полости раздутого шарика; при этом карандаш не должен выглядывать из бутылочного горлышка. Чтобы ободок шарика и кончик карандаша были незаметны, бутылочное горлышко надо прикрыть крышкой (рис. 7а). На эти подготовительные манипуляции должно быть затрачено не более не более 10–15 секунд.

Непрозрачную бутылку со скрытым в ней карандашом демонстратор показывает зрителям и затем объявляет, что сможет извлечь из этой бутылки ее содержимое лишь усилием своей мысли.

Свободной рукой он снимает крышку с горлышка и делает над бутылкой магические пассы. И вскоре из горлышка показывается кончик карандаша, который медленно выползает из бутылки вверх!

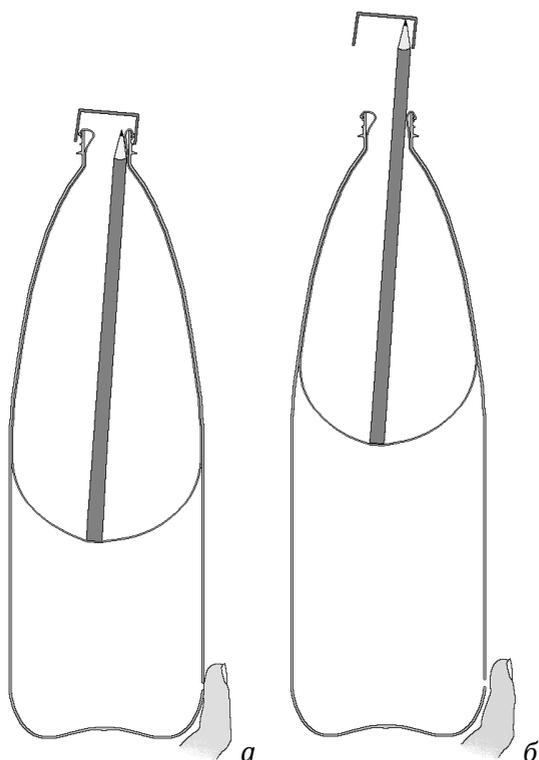


Рис. 7. Секрет вылезавшего карандаша

Понятно, что для получения этого эффекта демонстратору надо всего-то чуть отодвинуть прикрывающий отверстие палец и тем самым освободить проход наружному воздуху внутрь бутылки (рис. 7б). Прикрыв это отверстие, можно на время приостановить продвижение карандаша наружу, прокомментировав это необходимостью передышки в мысленно-силовых усилиях. Технично проведенный опыт выглядит весьма интригующе и имеет у зрителей большой успех.

## Ошпаренная бутылка

Всем известно, что тела при нагревании расширяются. Для газов тепловое расширение обусловлено увеличением кинетической энергии его частиц и совершением за счет этой энергии работы против внешнего давления. У твердых тел и жидкостей тепловое расширение связано с несимметричностью тепловых колебаний атомов, благодаря чему межатомные расстояния с ростом температуры увеличиваются.

На тепловом расширении основана работа жидкостных термометров. Тепловое расширение тел учитывают при строительстве зданий, мостов, линий электропередачи, дорог, трубопроводов, а также всевозможных установок и машин, работающих в переменных температурных условиях.

Однако объект нашего внимания — пластиковая бутылка при нагреве ведет себя не как большинство нагреваемых тел. Оказывается, если бутылку нагреть, то она, вопреки известным представлениям, сожмется. Показать же это явление весьма просто.

Надо приготовить две идентичные бутылки. Одна из них (экспериментальная) будет подвергнута тепловому воздействию. Вторая бутылка является контрольной. Экспериментальную бутылку ставят в тарелку и поливают из чайника крутым кипятком. Бутылка при этом сразу же сдувается, быстро уменьшаясь в размерах и теряя свою форму. Для наглядности представления результатов опыта экспериментальную и контрольную бутылки затем выставляют на обозрение вместе (*рис. 8*).

Демонстрацию теплового сжатия бутылки можно осуществить и по-другому. Для этого достаточно в течение нескольких секунд подержать ее над раскаленной электроплиткой в горизонтальном положении, медленно вращая поворачивая. Бутылка при этом сжимается тем быстрее и заметнее, чем интенсивнее и дольше ее нагревают. В чем же причина столь странного поведения бутылки при ее нагревании?

Бутылки эти, как отмечалось ранее, делают из полиэтилентерефталата. Этот материал является полимером, молекулы которого имеют форму очень длинных «скомканных» и перепутанных меж собой цепочек.

Делают бутылку раздуванием маленькой, предварительно нагретой, заготовки (рис. 9). При этом ее стенки растягиваются так же, как это происходит с оболочкой раздуваемого воздушного шарика. Молекулы полимера при этом отчасти распрямляются. При последующем же затвердевании сформированной бутылки ее молекулы остаются, отчасти, в распрямленном состоянии, обуславливая тем самым внутреннее механическое напряжение в ней. Это напряжение остается в теле бутылки как бы в «замороженном» состоянии.

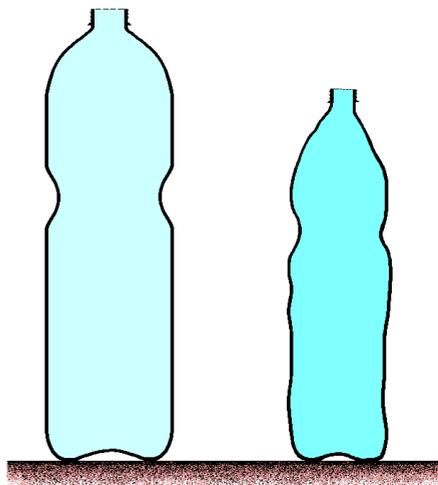


Рис. 8. Контрольная и ошпаренная бутылки

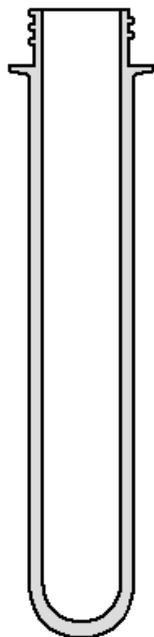


Рис. 9. Заготовка

При последующем нагреве бутылки во время опыта эти напряжения частично снимаются, и молекулы возвращаются к изначальному состоянию. Совокупный же результат подобного поведения всех молекул бутылки и обуславливает наблюдаемый в опыте эффект сжатия.

Опыт с кипятком в дидактическом отношении предпочтительнее, чем с электроплиткой, поскольку во втором случае процесс сжатия бутылки наблюдатели могут ошибочно трактовать и как результат плавления материала, из которого эта бутылка изготовлена, под воздействием более высокой, чем кипяток, температуры.

## Невесомость и перегрузка

В земных условиях тело можно ввести в состояние невесомости, если лишить его опоры или подвеса. Поэтому любое свободно падающее тело пребывает в невесомости. В методических пособиях описано немало хитроумных конструкций для демонстрации этого состояния, которые содержат комбинации пружинок, грузов и электрических цепей. Предлагаемый же способ демонстрации состояния невесомости с помощью бутылки с водой прост, надежен и убедителен.

В боку небольшой бутылки (емкостью до одного литра) близ дна делают отверстие диаметром 1,5–2 миллиметра. Бутылку заполняют водой и закрывают крышкой так, чтобы наружный воздух мог свободно проходить под нее. При этом из отверстия вытекает тонкая водяная струйка (рис. 10 а), что свидетельствует о гидростатическом давлении в придонном слое воды.

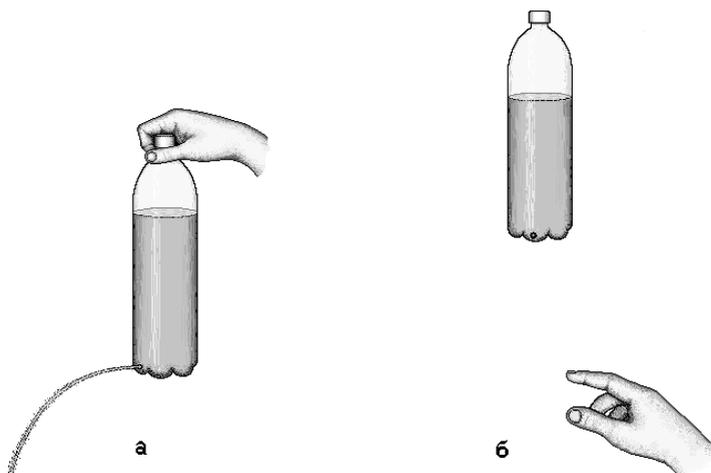


Рис. 10. Демонстрация состояния невесомости воды

Удерживая бутылку в вертикальном положении, подбрасывают ее на два-три метра вверх так, чтобы в полете она оставалась преимущественно в вертикальном положении. Тогда хорошо видно, что все то время, пока бутылка пребывает в состоянии свободного полета, вода из нее не вытекает (рис. 10 б). По возвращении бутылку надо изловчиться поймать.

Пока бутылка покоится в руке, на придонный слой воды давит вес расположенного выше водяного столба. Это давление и выталкивает воду наружу в виде струи. Прекращение же ее истечения во время полета свидетельствует об исчезновении давления столба жидкости, обусловленного отсутствием у него веса.

Явление, противоположное невесомости, — перегрузка. Продемонстрировать же перегрузку с помощью дырявой бутылки с водой даже проще, чем невесомость.

На ту же бутылку с водой крышку навинчивают плотно. Вода из отверстия при этом не вытекает (рис. 11 а). Затем, удерживая бутылку за горлышко, надо поднять ее вверх. Начало этого движения сопровождается появлением водяной струи (рис. 11 б). При последующем опускании бутылки струя появляется уже в конечной фазе движения.

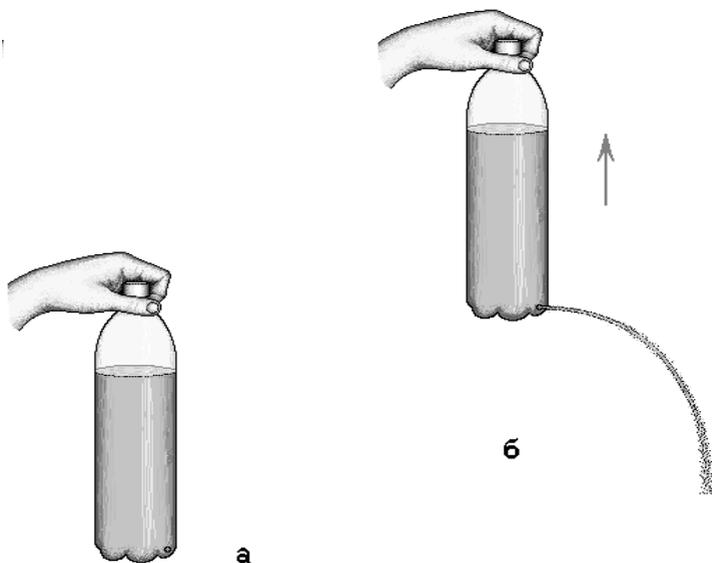


Рис. 11. Демонстрация состояния перегрузки воды

В начале подъема и в конце опускания вода в бутылке движется с ускорением, направленным вверх. В эти моменты она пребывает в состоянии перегрузки со свойственным этому состоянию увеличением веса и соответственно давления в придонном слое, которое и обуславливает появление струи.

## Едем в гору

Демонстрация этого простого и занятного опыта поначалу вызывает у наблюдателей недоумение и любопытство, а некоторых она может поставить в тупик, поскольку воспроизводимый в опыте эффект «противоречит» представлениям о механическом движении тел в поле тяжести.

Для изготовления опытной установки нужны три двухлитровые бутылки определенной формы. Боковая стенка этих бутылок должна быть цилиндрической, а верхняя, сужающаяся к горлышку часть, — конической. Одну бутылку оставляют без изменений, а из двух других делают двойной конус. Для этого у двух бутылок отрезают их верхние конические части, причем линия среза должна проходить на три-пять миллиметров ниже линии сопряжения конической и цилиндрической поверхностей. Получившиеся конусы соединяют основаниями. Для этого места срезов обмазывают клеем, и основание одного из конусов вставляют внутрь основания другого.

Из полоски металла шириной 3–4 сантиметра, длиной 80–90 сантиметров и толщиной 1–2 миллиметра делают расходящиеся рельсы. Для этого металлическую полосу надо согнуть в середине под углом приблизительно  $40^\circ$  так, чтобы получилась фигура в форме буквы V.

Рельсы устанавливают на столе наклонно, причем вверху должны быть расходящиеся концы. Для этого под них подкладывают заранее подобранный по высоте деревянный брусок (рис. 12).

Сначала демонстрируют скатывание по наклонным рельсам целой бутылки. Для этого ее кладут на рельсы в горизонтальном положении на верхнюю часть склона и отпускают. Под действием силы тяжести бутылка скатывается по рельсам вниз. Такое поведение бутылки для наблюдателей очевидно, предсказуемо и интереса не вызывает.

Однако двойной конус на этих же рельсах ведет себя совершенно иначе. Если его положить на рельсы в их нижней части и отпустить, то, вопреки ожиданию, двойной конус самостоятельно покатится по рельсам вверх, пока не упрется в брусок!

В чем же причина столь необычного поведения двойного конуса? Ведь, казалось бы, при этом нарушается закон сохранения энергии, поскольку самопроизвольный «подъем» этого

тела сопровождается кажущимся увеличением одновременно как его кинетической энергии, так и энергии потенциальной!

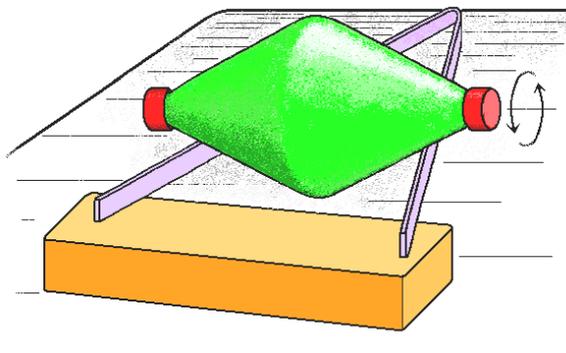


Рис. 12. Качение двойного конуса

Для получения ответа надо внимательно проследить за перемещением центра массы двойного конуса в процессе его движения по рельсам. При этом глаза наблюдателя должны располагаться на уровне катящегося по рельсам двойного конуса, причем линия наблюдения должна быть направлена вдоль его продольной оси, на которой находится центр массы. Тогда становится заметным, что при перемещении двойного конуса от основания ската к его верхней части или, как показано на рисунке 13, справа налево, его центр массы, хоть и незначительно, но все же опускается (по пунктирной линии) на некоторую высоту. Таким образом, демонстрируемое самопроизвольное движение двойного конуса вверх — это всего лишь иллюзия, порожденная удачно подобранным соотношением форм и размеров двойного конуса и рельсов.

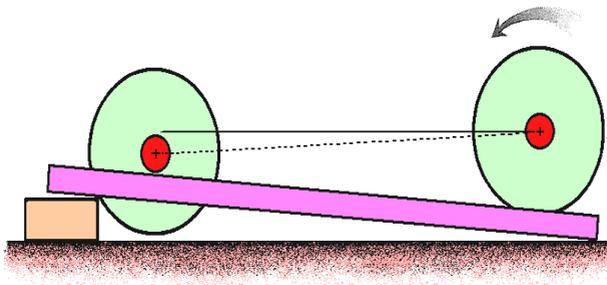


Рис. 13. Движение центра массы двойного конуса

## Торнадо

Это грозное явление природы возникает из грозового облака в виде протянутого к земной поверхности темного «хобота», длина которого порой достигает полутора километров. Торнадо, или смерч, является атмосферным вихрем, который со скоростью 40–80 км/ч может перемещаться на расстояние свыше 50 км. При этом быстро вращающийся воздух поднимается по спирали вверх и, подобно пылесосу, засасывает и уносит с собой пыль и воду, которые делают вихрь видимым.

Вихри образуются в газовой или жидкой среде вследствие вязкого трения между соседними, двигающимися с различными скоростями частицами этой среды. Поскольку действие силы вязкого трения в наибольшей степени проявляется на границе этой среды, то там вихри и зарождаются. Поэтому смерч-торнадо появляются обычно в местах, где теплый сектор циклона соприкасается с фронтом холодных воздушных масс. Так как вязкость воздуха незначительна, то образовавшийся однажды в нем вихрь может сохраняться довольно долго.

Способность такого вихря перемещать в пространстве весьма массивные предметы используют в вихревых топках, где спирально движущийся воздушный поток переносит в камеру сгорания частицы твердого топлива или обжигаемой породы.

Процесс зарождения торнадо и характерные особенности его поведения можно продемонстрировать на гидравлической модели. Поскольку моделирование осуществляется с помощью бутылки, то ее стенки должны быть бесцветными, прозрачными и гладкими, продолжительность же опыта определяется ее емкостью. В центре крышки, навинчиваемой на бутылочное горлышко, надо просверлить круглое отверстие диаметром 7–8 мм.

В бутылку, примерно на 80 % ее объема, наливают воду, а на горлышко навинчивают крышку. Отверстие в крышке надо закрыть пальцем, затем опрокинуть бутылку и, придерживая ее другой рукой за дно, сделать несколько быстрых круговых движений в горизонтальной плоскости.

После того, как вода в бутылке придет во вращательное движение, надо убрать палец от крышки, освободив отверстие в ней, и тогда вода через это отверстие устремляется наружу (рис. 14). Через одну-две секунды на поверхности воды образуется воронка, нижний конец которой затем стремительно продвинется вниз сквозь толщу воды, достигнет горлышка и через отверстие в крышке соединится с наружным воздухом, образуя характерный для смерча «хобот».

Происхождение воронки с последующей ее трансформацией в устойчивый вихрь объясняется тем, что вращающиеся частицы воды, испытывающие воздействие центробежной силы инерции, отбрасываются на периферию, к стенкам бутылки. А в пустоту, образовавшуюся на месте отошедшей воды, устремляется воздух, сначала находящийся над водой в бутылке, а уже затем наружный.

Вихрь выглядит серебристо-сверкающим благодаря внутреннему отражению света от его поверхности. Он весьма устойчив и сохраняется почти до полного опорожнения бутылки. На протяжении опыта вихрь извивается и меняет толщину.

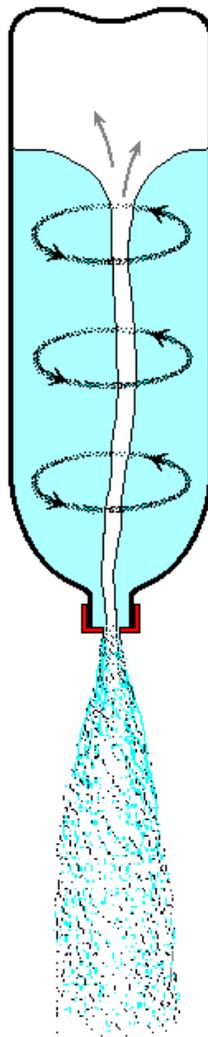


Рис. 14. Модель смерча

## Атмосферное давление

Все мы постоянно пребываем на дне воздушного океана под давлением тяжести его многокилометровой толщи. Но силовое воздействие воздуха мы обычно не замечаем, как не задумываемся и о необходимости время от времени вдыхать и выдыхать его.

Чтобы показать действие давления атмосферного воздуха, нужна теплая вода. Сто-двести граммов этой воды наливают в бутылку и затем интенсивно встряхивают ее, чтобы прогреть находящийся в ней воздух. Потом бутылку опрокидывают и, как только вода вытечет, без промедления плотно завинчивают на ней крышку и ставят на стол для обозрения.

В момент закупоривания бутылки давление воздуха в ней было одинаково с наружным атмосферным давлением. Со временем воздух в бутылке остывает, и давление внутри нее падает. Образовавшийся перепад давлений по разные стороны бутылочных стенок приводит к ее сдавливанию, сопровождающемуся характерным хрустом.

Если же наблюдателям не сообщить, что залитая вода была теплой и попросить их объяснить причину сдавливания бутылки, то многие из них сразу и не догадаются о природе этого эффекта.

## Картезианский «водолаз»

Это устройство, известное также под названием «Декартов поплавок», представляет собой небольшой сосуд, например, пробирку, пипетку или аптечный пузырек, помещенный в закрытую бутылку с водой. Конструкция «водолаза» позволяет экспериментатору перемещать его в бутылке без видимого для наблюдателей воздействия. Название опыта произошло от имени придумавшего его французского философа и математика Рене Декарта, который, как это было принято раньше среди ученых, носил латинизированное имя Ренатус Картезиус.

«Водолаза» можно сделать из короткой (7–10 сантиметров) пробирки и плотно закрывающей ее пробки, причем, пробирка должна свободно проходить через бутылочное горлышко. На боковой поверхности пробки острым ножом прорезают продольную канавку. Бесцветную, с ровными боковыми стенками бутылку емкостью 2–2,5 литра заполняют водой. В пробирку тоже наливают воду, но не полностью, закрывают ее пробкой и помещают в бутылку так, чтобы заткнутый пробкой конец пробирки располагался снизу.

Если пробирка тонет, то ее надо извлечь из бутылки, отлить из нее часть воды и снова проверить на плавучесть. Эту операцию, возможно, придется проделать несколько раз. При правильной настройке пробирка должна плавать почти полностью погруженной в воду. Настроенного «водолаза» помещают в бутылку, которую плотно закрывают крышкой.

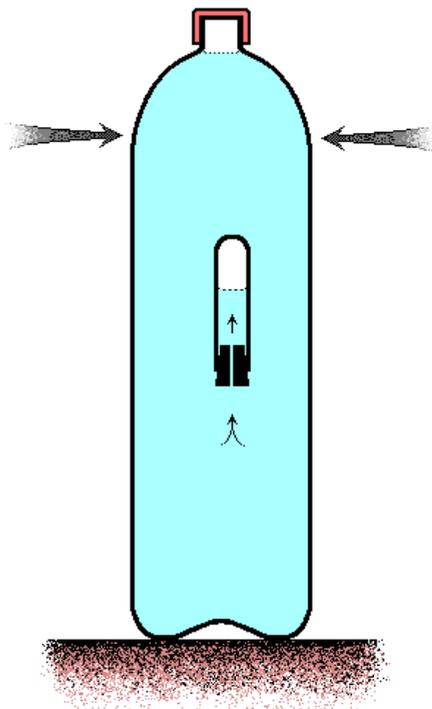


Рис.15. Картезианский водолаз из пробирки

Для перемещения «водолаза» вниз надо сдавить бутылку (рис. 15). Возникшее при этом избыточное гидростатическое давление загонит воду в пробирку через канавку в пробке, причем затечет ее туда столько, чтобы давление внутри и вне пробирки сравнялось. С принятием дополнительной порции воды пробирка тяжелеет и тонет.

Если ослабить воздействие на бутылку, то давление воздуха внутри пробирки превысит давление воды за ее стенками. Поэтому часть воды за счет этой разницы давлений будет вытолкнута из пробирки наружу, в результате чего она станет легче и всплывет. Таким образом, регулируя силу сдавливания, можно управлять погружением и всплытием «водолаза». Более того, бутылку можно сдавить так, чтобы «водолаз» неподвижно завис на нужной глубине.

Технику плавания «водолаза» можно разнообразить, «научив» его еще и вращаться. Для придания «водолазу» вращательного момента используется реакция вытекающих из него водяных струй. Конструкция такого «водолаза» несколько сложнее, а делают его из медицинского одноразового шприца емкостью 2 миллилитра.

Для формирования водяных струй, придающих «водолазу» вращательный момент, надо прикрепить к нему две изогнутые трубки. Для этого удобно использовать пишущие узлы от шариковых ручек. С помощью пассатижей узел надо выдернуть из пластмассового стержня и, сжав пишущий кончик узла теми же плоскогубцами, выдавить из него шарик. Остатки чернильной пасты в узле надо убрать, промыв его ацетоном. Затем, нагрев узел над пламенем, надо аккуратно согнуть его под прямым углом.

На диаметрально противоположных сторонах нижней части боковых стенок шприца сверлят по отверстию, в которые вставляют заготовки из пишущих узлов. Узлы в эти отверстия должны вставляться туго. Выходные отверстия узлов ориентируют так, чтобы струи из них вытекали горизонтально и в одном направлении, например, по ходу часовой стрелки.

Кончик шприца, предназначенный для насадки иглы, наглухо заваривают. Для этого его разогревают в пламени до размягчения, а затем сдавливают плоскогубцами. На этот кончик еще следует туго надеть пару гаек, которые своим весом

придадут «водолазу» устойчивое вертикальное положение в воде. С цилиндра шприца следует также срезать выступающие упоры для пальцев, чтобы он мог свободно пройти через бутылочное горлышко (рис. 16).

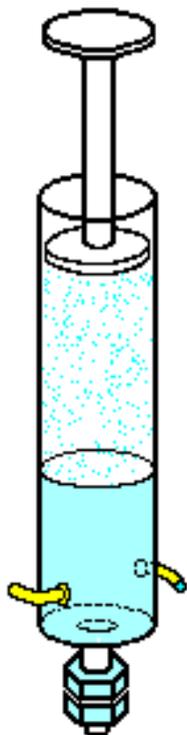


Рис. 16. Водолаз из шприца

Перед демонстрацией «водолаза» настраивают, подобрав необходимое в нем соотношение объемов воды и воздуха. Делать же это удобно не в бутылке, а в банке с водой, откуда извлекать «водолаза» просто.

Гайки, закрепленные у основания, помимо придания ему устойчивости, позволяют быстро извлекать его из бутылки наружу. Необходимость в этом возникает, когда «водолаз» тонет из-за растворения в воде содержащегося в нем воздуха. Делают это с помощью удочки, у которой в качестве наживки используется небольшой магнит. Чтобы выудить «водолаза» из бутылки, к нему надо лишь подвести на удочке «наживку». Гайки и магнит сцепляются, и «водолаз» легко извлекается наружу.

Для наблюдателей, не посвященных в тонкости конструкции «водолаза», опыт можно показать в виде фокуса. Для этого надо бутылку поставить на ладонь и обхватить ею бутылочное дно. Тогда, незаметно надавливая одним пальцем на бутылку, можно управлять перемещениями «водолаза».

Если же демонстратор при этом другой рукой делает характерные магические пассы, сопровождаемые соответствующими репликами и мимикой, то в глазах зрителей он выглядит настоящим магом.

Наконец, представим еще один способ управления «водолазом», при котором экспериментатор в ходе опыта и вовсе не касается бутылки. Давление же в ней регулируют с помощью скрытого под столом ножного насоса, используемого водителями автомобилей для накачки шин. Выходной шланг этого насоса соединяют с полостью бутылки через установленный на ее крышке штуцер. И тогда, нажимая, незаметно для зрителей, на педаль насоса, можно управлять «водолазом» на расстоянии.

## Пробка-снаряд

В опыте демонстрируется преобразование внутренней энергии продуктов сгорания в механическую работу. Опыт можно использовать в качестве модели пушечного выстрела. Для получения горючей смеси можно использовать аэрозоль из баллончика, например, с освежителем воздуха. Важно, чтобы баллончик был заправлен горючей пропан-бутановой смесью. Если же он заправлен сжатым воздухом, то опыт, естественно, не получится.

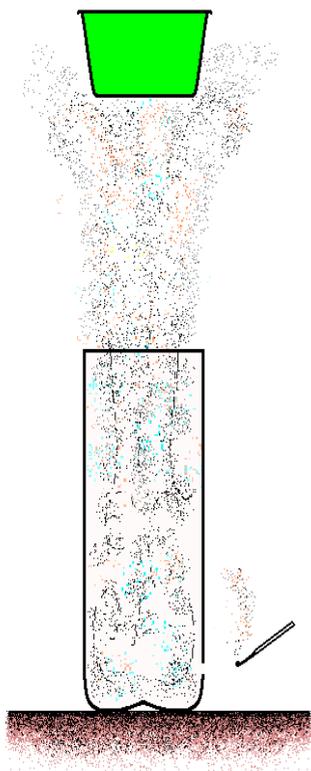


Рис. 17. Стреляющая бутылка

Ствол «пушки» делают из цилиндрической бутылки емкостью 1,5 литра (рис. 17). Для этого от бутылки отрезают ее верхнюю суживающуюся часть, а в боковой стенке проплавливают отверстие диаметром 8–10 мм с помощью разогретого на пламени гвоздя. В качестве «снаряда» удобно использовать неглубокий, но широкий конический пластиковый стакан. Этот стакан должен плотно вставляться в срез бутылки.

Чтобы зарядить «пушку», в ее ствол впрыскивают из баллончика горючее. Его количество определяют по продолжительности впрыскивания и устанавливают предварительным опробованием. При недостатке горючего выстрел получается слабым, а если горючего впрыснуто больше, чем надо, то его излишки оседают на стенках бутылки, в результате чего она может загореться. Впрыснув топливо в бутылку, не мешкая, вставляют стакан в ее срез.

Для воспламенения воздушно-топливной смеси в бутылку через ее боковое отверстие просовывают горящую спичку.

Смесь воспламеняется, а образовавшиеся при этом газы, быстро расширяясь, с хлопком подбрасывают стакан вверх, совершая тем самым работу по его перемещению.

В другом варианте опыта (рис. 18) «снаряду» можно передать значительно большую кинетическую энергию и, соответственно, переместить его на большее расстояние. В этом случае горлышко у бутылки не отрезают, но в ее боковой стенке, как и в предыдущем варианте опыта, делают запальное отверстие. «Снарядом» же служит половинка контейнера от «киндер-сюрприза», внутрь которого для его утяжеления следует прилепить кусок пластилина.

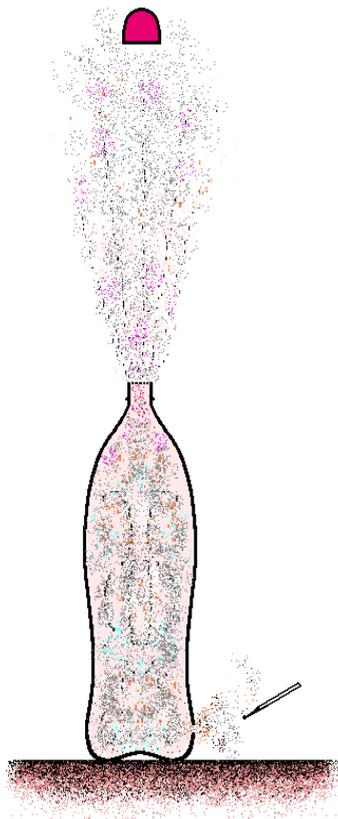


Рис. 18. Стреляющая бутылка-2

Горючую аэрозоль впрыскивают в бутылку через ее горлышко, которое затем прикрывают «снарядом». При поджигании газовой смеси «снаряд» выстреливается вверх с начальной скоростью, достаточной для подъема на высоту 20–25 метров.

Представленные здесь опыты можно использовать и как иллюстрацию работы двигателя внутреннего сгорания, поскольку в них наглядно моделируются основные этапы его работы: получение и впрыскивание в цилиндр горючей смеси, ее детонация, расширение и совершение работы по перемещению поршня. В этом случае баллончик с горючим содержимым уподобляется топливному баку, установленный на нем пульверизатор — карбюратору или инжектору, бутылка — рабочему цилиндру, стакан — поршню, а спичка — свече зажигания.

Выделяющуюся при сгорании топлива энергию можно

использовать для перемещения и самой бутылки (рис. 19). Для этого ее заправляют топливом, как и в предыдущем случае, но вместо колпачка на горлышко навинчивают ее собственную крышку. Бутылку ставят на подиум и через боковое отверстие поджигают ее содержимое.

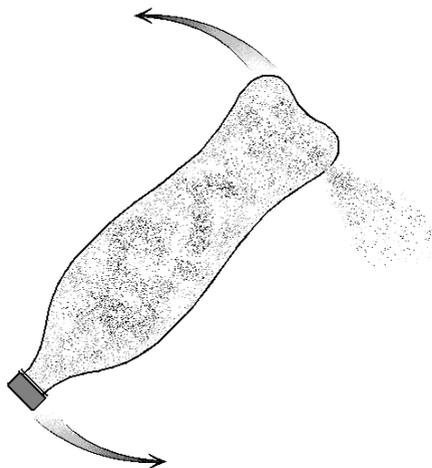


Рис. 19. Кувыркающаяся бутылка

Образовавшиеся в бутылке газообразные продукты сгорания устремляются наружу через боковое отверстие. Но, так как это отверстие относительно невелико, то газообразные продукты сгорания выбрасывается через него не одновременно, как в предыдущих опытах, а в течение некоторого времени и в виде струи. Появляющаяся при этом реактивная сила срывает бутылку с места, и она, кувыркаясь и шипя, улетает горизонтально метров на десять.

## Ракета

Реактивная сила, толкающая вперед ракету-бутылку, образуется струей вырывающихся из нее газообразных продуктов сгорания (рис. 20).

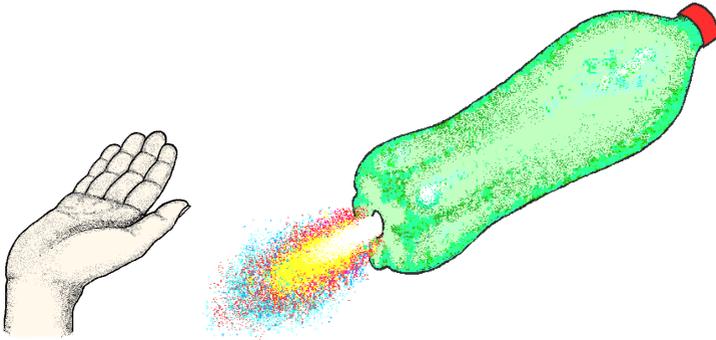


Рис. 20. Старт ракеты

В центре дна бутылки емкостью полтора-два литра сверлят отверстие диаметром около 1,5 см. Это отверстие будет служить соплом ракетного двигателя. Крышку бутылки надо слегка утяжелить, прилепив к ней снаружи кусок пластилина.

Осталось лишь заправить получившуюся бутылку-ракету топливом. Для этого в нее через горлышко или сопло впрыскивают легковоспламеняющуюся аэрозоль (о том, как это делается, сказано в предыдущем опыте). Иногда бывает полезно до впрыскивания топлива предварительно ополоснуть бутылку водой, поскольку образующиеся при этом водяные пары способствуют стабилизации горения. Продолжительность впрыскивания (обычно от 2 до 8 секунд) зависит от объема бутылки и вида топлива, и подбирается заблаговременно для конкретного баллончика с аэрозолем. После впрыскивания топлива на горлышко навинчивают утяжеленную пластилином крышку, и ракета готова стартовать.

Бутылку кладут на ладонь и ориентируют в нужном направлении, тем самым задав ей траекторию полета. Другой рукой подносят к соплу ракеты предварительно зажженную бумажную трубку. Эту трубку предварительно скручивают из листа бумаги и сгибают, придав ей форму буквы Г. Трубка эта нужна, чтобы не обжечь руку при старте ракеты. Если же

топливо поджигать непосредственно от спички, то вырвавшееся из сопла пламя непременно опалит пальцы.

Образовавшиеся газообразные продукты сгорания струей выбрасываются из сопла наружу. В соответствии с законом сохранения импульса сама бутылка при этом должна двигаться в направлении, противоположном движению газовой струи. В результате бутылка быстро слетает с ладони, слегка обдав ее теплом. Продолжительность активного участка траектории ракеты, то есть времени ее полета с работающим двигателем — менее секунды.

С руки бутылка слетает с большой начальной скоростью и, в зависимости от угла ее наклона на стартовой позиции (ладони демонстратора), она может улететь на расстояние до 40–50 метров. Поэтому запускать ракету-бутылку следует либо на свежем воздухе, либо в большом, просторном помещении, причем запускать ее надо так, чтобы она не попала в зрителей, окно или светильник.

Есть еще одно обстоятельство, которое следует учесть при запусках. В момент старта бутылка на ладони должна лежать свободно, ее нельзя при этом удерживать пальцами. В противном случае может случиться, что после воспламенения горючей смеси бутылка останется в руках, а вырвавшееся из нее пламя опалит демонстратора.

Наконец, следует заметить, что, хотя проведение этого опыта сопряжено с указанными трудностями и ограничениями, но зато он является, пожалуй, самым эффектным в ряду опытов, представленных в этой книге.

## Оптические свойства бутылки

Для опыта нужна бесцветная бутылка с гладкой цилиндрической боковой поверхностью и емкостью 1,5–2,5 литра. Если эту бутылку заполнить чистой водой, а еще лучше дистиллированной, то ее можно использовать в качестве собирающей цилиндрической линзы.

Получившуюся линзу-бутылку можно положить на расстеленную газету и посмотреть на газетные строчки сквозь бутылку. Наблюдаемый текст выглядит, по сравнению с оригиналом, увеличенным, что может быть востребовано людьми с ослабленным зрением. Более того, текст видится лучше еще и потому, что возрастает его освещенность. А происходит это потому, что бутылка собирает весь падающий на нее свет в яркую световую полосу, которая и освещает рассматриваемую газетную строку.

Затем эту бутылку можно приставить вплотную к переносице, расположив ее горизонтально напротив глаз. Что-либо разглядеть через эту бутылку весьма затруднительно. Но зато окружающие люди при этом получают удовольствие, видя ваши глаза сквозь бутылку. Они выглядят широко раскрытыми и похожими на рыбы.

Для более детального изучения оптических свойств заполненной водой бутылки потребуется еще свечка длиной около 10 сантиметров. При такой длине язычок ее пламени будет приходиться на середину линзы-бутылки. В этом опыте наблюдают изображение свечи в зависимости от расстояния между ней и бутылкой. Наблюдения следует проводить в темноте.

Бутылку с водой ставят на стол, а вплотную к ней — зажженную свечу. При рассматривании этой свечи сквозь бутылку с любого расстояния отчетливо просматриваются три ее изображения: одно центральное и два боковых. Если изображение, расположенное в середине, почти не искажено, то боковые изображения выглядят сжатыми по горизонтали и сливаются с краями бутылки (*рис. 21 а*).

Центральное изображение свечи получается так, как если бы на нее смотрели сквозь прямоугольный аквариум. Появление же боковых изображений объясняется внутренним отражением световых лучей от правой и левой боковых стенок бутылки (*рис. 21 б*).

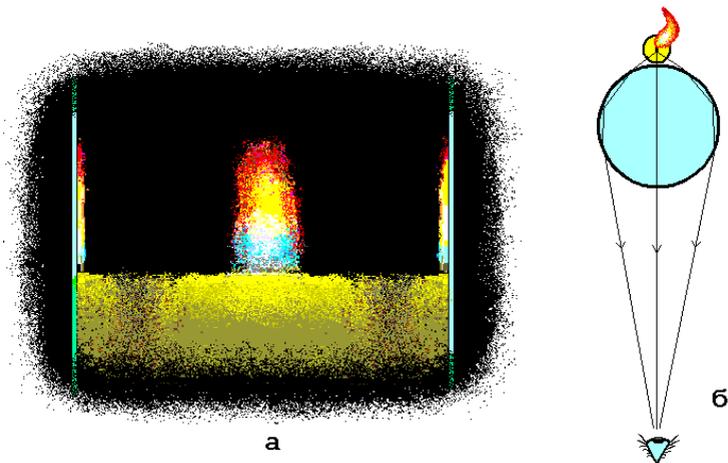


Рис. 21. а) изображения расположенной за бутылкой свечи  
б) ход лучей.

Если свечу плавно отодвигать от бутылки, то можно найти такое положение, при котором ее изображение будет сильно искажено, а именно, «размазано» по всему промежутку между краями бутылки (рис. 22 а). Для полуторалитровой бутылки расстояние между ее задней стенкой и фитилем свечи при этом составляет около 4 см.

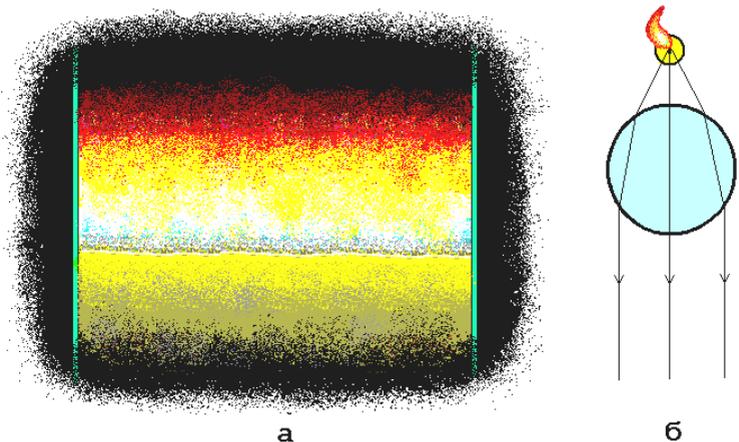


Рис. 22. а) изображение свечи, расположенной  
в фокусе бутылки;  
б) ход световых лучей

Отсутствие изображения в этом случае объясняется тем, что формирующие его световые лучи после прохождения сквозь толщу воды далее распространяются параллельным пучком, не пересекаясь друг с другом. Такая ситуация характерна для случая, когда источник света располагается в фокальной плоскости оптической системы (рис. 22 б).

Определив местоположение фокуса бутылки, несложно оценить величину ее фокусного расстояния. Оно приблизительно равно расстоянию от продольной оси бутылки до фитиля свечи. Учитывая диаметр бутылки, а у полторалитровой она обычно равна 8 сантиметрам, и расстояние от бутылки до свечи, легко определить фокусное расстояние  $f$ , которое оказывается равным 0,08 метра. Далее легко определить оптическую силу  $D$  бутылки, которая обратно пропорциональна ее фокусному расстоянию:

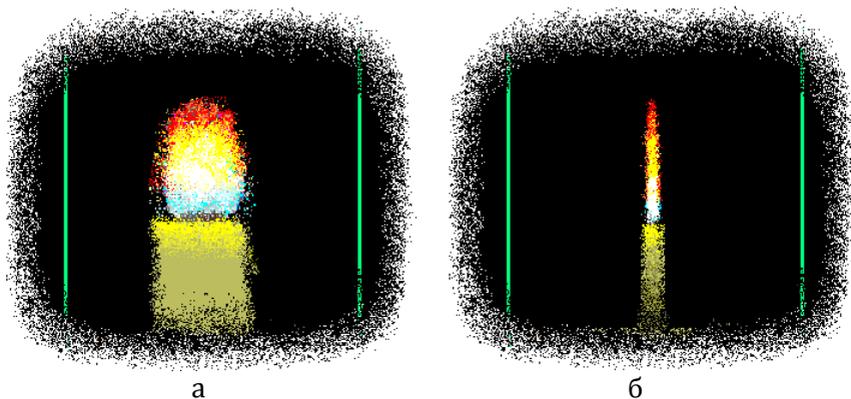
$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,08\text{м}} = 12,5 \text{ диоптрий}$$

Если же вместо воды в бутылку налить отфильтрованный раствор поваренной соли или сахара, или же иную жидкость, например, бензин, спирт, глицерин, то оптическая сила бутылки с ее содержимым будет уже иной.

Положение фокуса бутылки можно определить и другим способом. Надо расположить бутылку вдали (далее трех метров) от какого-нибудь источника света. Днем это может быть светлое окно, а вечером — потолочный светильник. Свет от источника, пройдя сквозь бутылку, собирается за ней в виде светлой полоски. Расположив там лист белой бумаги, отодвигая или приближая этот лист к бутылке, определяют положение, при котором световая полоска на нем выглядит максимально узкой и яркой. Плоскость листа при этом располагается в фокальной плоскости бутылки. Тогда фокусное расстояние цилиндрической линзы-бутылки определяется, как расстояние от листа до ее продольной оси.

Поскольку источник света в этом варианте опыта расположен вдалеке, то световые лучи от них падают на бутылку почти параллельно. После прохождения этих лучей сквозь бутылку они собираются в ее фокальной плоскости. При этом они распространяются в направлении, обратном направлению, изображенному на рисунке 22 б.

Вернемся, однако, к опытам со свечой. Итак, продолжая плавно отодвигать свечу от бутылки, можно наблюдать постепенную трансформацию ее изображения от уширенного (*рис. 23 а*) до сильно сплюснутого (*рис. 23 б*).



*Рис. 23.* Изображения свечи, расположенной за фокусом  
а — вблизи фокуса; б — на удалении от фокуса

Можно также показать, что наблюдаемое изображение является обратным. Для этого вплотную к пламени подносят какой-нибудь светлый предмет, например, кусочек алюминиевой фольги. Если предмет поднесен справа от наблюдателя, то его изображение наблюдается слева и, наоборот — при левом положении предмета его изображение располагается справа.

## Собирающая и рассеивающая линзы

Представленная в предыдущем опыте бутылка с водой использовалась как цилиндрическая линза. Из пластиковой бутылки можно сделать и сферическую линзу. Такая линза, правда, значительно уступает по своим качествам стеклянной, и пользоваться ею несколько затруднительно, но, тем не менее, сам процесс изготовления линзы и последующие наблюдения с нею имеют дидактическую ценность.

Опишем способ получения из бутылки плоско-выпуклой сферической линзы. Такую линзу называют еще увеличительной или собирающей, а также положительной. Иногда ее называют лупой. Но и этим перечнем список ее названий в русском языке, оказывается, не ограничивается. Раньше линзу называли еще чечевицей, поскольку своей формой она похожа на чечевичное зернышко.

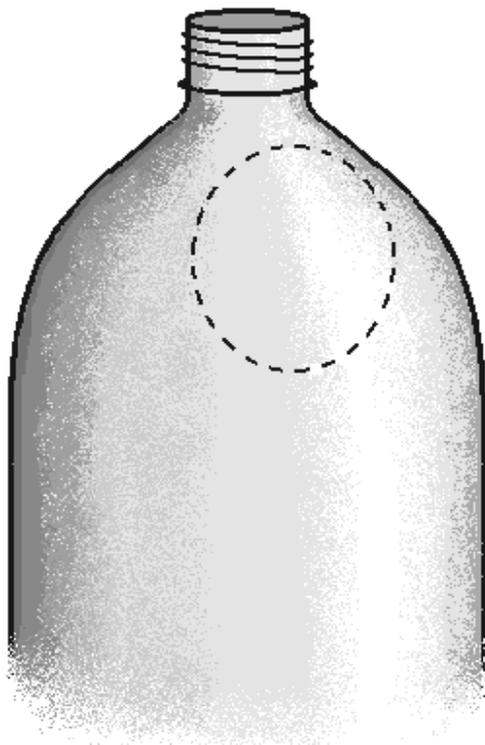


Рис. 24. Заготовка для линзы.

Из округлой верхней части бесцветной бутылки надо вырезать кружок диаметром 5–7 см (рис. 24). Получившуюся чашечку надо поставить на лежащий на столе лист бумаги с напечатанным на ней мелким текстом, аккуратно налить в нее воду, и плоско-выпуклая линза готова.

При рассматривании текста сквозь такую линзу видно, что изображение этого текста получается увеличенным, причем, буквы, расположенные в центральной части линзы, наблюдаются без искажений. Зато изображения букв, расположенных по краям линзы, искажаются до неузнаваемости и, кроме того, имеют цветную каемку, что обусловлено рядом свойственных линзам аберраций: сферической, хроматической, дисторсией.

При желании можно определить линейное увеличение линзы. В данном случае увеличение вычисляется как отношение высоты наблюдаемого изображения буквы к высоте самой буквы.

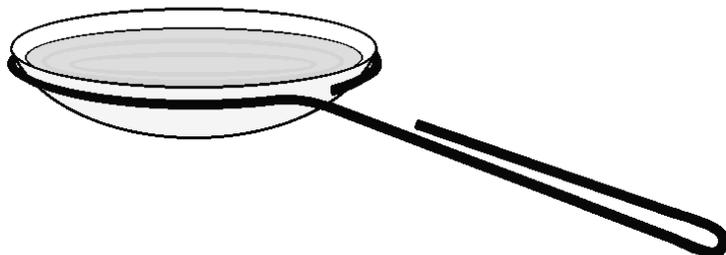


Рис. 25. Линза в оправе

Пользоваться такой линзой затруднительно, поскольку в руках она легко деформируется и готова расплескаться. Поэтому, чтобы через линзу удобно было рассматривать различные объекты, а ее оптические поверхности при этом оставались в сохранности, для линзы надо сделать жесткую оправу. Для этого кусок проволоки изгибают в виде колечка диаметром чуть меньше диаметра линзы. Конец проволоки, радиально отходящий от кольца, будет ручкой оправы. Установленная в оправу линза (рис. 25) пригодна для использования в качестве лупы.

Для определения фокусного расстояния этой линзы можно воспользоваться соотношением, известным как «формула тонкой линзы»:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где **f** — фокусное расстояние,

**a** — расстояние от предмета до линзы,

**b** — расстояние от линзы до изображения предмета.

В качестве экспериментальных принадлежностей используются свеча, линейка и потолок в затемненной части комнаты. Зажженную свечу ставят на стол, а линзу располагают над язычком пламени. Плавно перемещая линзу вверх-вниз, добиваются четкого изображения пламени на потолке. Измеряют расстояние **a** от линзы до пламени. Пусть эта величина оказалась равной приблизительно 17 см. Расстояние **b** оценивают «на глазок». Предположим, что расстояние между свечой и потолком равно 3 м. Тогда в результате вычислений получается, что фокусное расстояние нашей линзы **f** = 16 см.

Рассеивающую линзу можно сделать из той же заготовки, что и для собирающей линзы. Сначала на стол надо положить листок бумаги с каким-нибудь рисунком или текстом, который предполагается рассматривать сквозь линзу. Поверх листка кладут кусок оконного стекла, а на него наливают воду в объеме одной столовой ложки. В образовавшуюся лужицу кладут вырезанный из бутылки кружок выпуклой стороной вниз, и тогда заполненный водой промежуток между стеклом и кружком становится плоско-вогнутой рассеивающей линзой. Эту линзу еще называют уменьшительной, поскольку все рассматриваемые сквозь нее предметы видятся уменьшенными.

## Таинственный свет

Некоторые вещества могут испускать свет, находясь в холодном состоянии. Это явление, называемое люминесценцией, объясняется испусканием света атомами вещества при их самопроизвольных переходах из возбужденного состояния в основное. В зависимости от длительности свечения люминесценцию подразделяют на флуоресценцию, когда продолжительность послесвечения составляет миллиардные доли секунды и фосфоресценцию, при которой послесвечение может длиться в течение нескольких часов. В возбужденное же состояние атомы вещества переводят, сообщив им дополнительную энергию, например, осветив это вещество лампой.

Из доступных в быту веществ, слабую флуоресценцию можно наблюдать у керосина; заметнее флуоресцирует водный раствор хвойного экстракта, используемого для лечебно-оздоровительных ванн. Значительно больше это свойство проявляется у раствора флуоресцеина (диоксифлуорана —  $C_{20}H_{12}O_5$ ). Для приготовления такого препарата в бутылку с водой помещают щепотку (10–50 мг) этого вещества (порошок оранжевого цвета). Спустя двое-трое суток флуоресцеин растворится, и вода приобретет яркую желто-зеленую окраску. Флуоресценция этого раствора наблюдается даже при слабом освещении рассеянным белым светом. Эффект хорошо заметен, когда бутылка освещена лампами дневного света.

Если же в физическом кабинете предусмотрено затемнение и имеется ультрафиолетовый светильник, то демонстрацию опыта можно сделать весьма красочной. При внесении бутылки с раствором флуоресцеина в поток ультрафиолетового излучения она ярко светится желто-зеленым цветом по всему объему раствора.

## Обратный клапан

Клапан — это устройство, предназначенное для управления потоком газа или жидкости, а его название происходит от немецкого *Klarre*, что в переводе означает: заслонка, крышка. Здесь представлено описание модели обратного лепесткового клапана, позволяющего воде беспрепятственно двигаться через него в прямом направлении и препятствующего ее движению обратно. Подобный клапан имеется в противогазе, надувной лодке, акваланге.

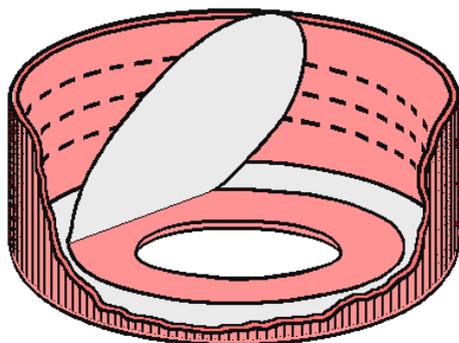


Рис. 26. Крышка-клапан

Простой клапан можно сделать из бутылочной крышки (рис. 26). Однако не всякая крышка сгодится для изготовления клапана, а лишь та, у которой прилегающая к горлышку поверхность плоская и снабжена прокладкой из тонкого эластичного пластика. Из этой прокладки и делают лепесток клапана.

Для этого в прокладке кончиком скальпеля прорезают линию в форме дуги окружности диаметром 15–18 мм и, подцепив тем же кончиком край вырезанного лепестка, отдирают его от поверхности крышки. Периферийная же часть прокладки должна, по-прежнему, плотно прилегать к крышке. Затем, стараясь не повредить отогнутый лепесток, делают в центре крышки отверстие диаметром 10–12 мм. Крышку навинчивают на прозрачную бутылку, в дне которой должно быть отверстие диаметром 3–5 мм для прохода воздуха.

Для демонстрации работы клапана бутылку берут за дно, опрокидывают и погружают в ведро с водой. Через клапанное

отверстие вода свободно затекает в бутылку, вытесняя воздух из ее полости. Протекание воды через клапан осуществляется беспрепятственно, поскольку лепесток при этом отжат от крышки наружным гидростатическим давлением.

После того, как вода затечет в бутылку, ее вынимают из ведра и, удерживая по-прежнему в опрокинутом состоянии, демонстрируют наличие в ней воды. Вода из бутылки не вытекает, поскольку лепесток перекрывает клапанное отверстие. Прилегание лепестка к краям отверстия обеспечивается давлением на него на этот раз изнутри бутылки, а именно гидростатическим давлением веса заключенной в бутылке воды.

Демонстрация опыта должна быть предварена объяснением устройства клапана и показом его конструктивных особенностей. Внимание учеников надо обратить на положения лепестка в моменты, когда бутылка погружена в воду и когда она извлечена из нее.

Этот опыт можно показать иначе, с целью создания проблемной ситуации. Для этого с бутылкой проделывают те же манипуляции, что и ранее, но секрет крышки предварительно не раскрывается. Более того, при показе извлеченной из ведра бутылки, ей можно придать нормальное положение — горлышком вверх, прикрыв при этом отверстие в ее дне пальцем. А после демонстрации опыта учащимся предлагается объяснить, как вода могла попасть в «закрытую» бутылку и почему, если в этой бутылке где-то и есть отверстие, натекая через него вода обратно не вытекает?

## Уровень

Этот несложный в изготовлении прибор предназначен для контроля горизонтальности плоской поверхности. Им пользуются на стройках при закладке фундаментов и изготовлении полов, геодезисты — при подготовке своих приборов, ювелиры и провизоры — при настройке чувствительных весов.

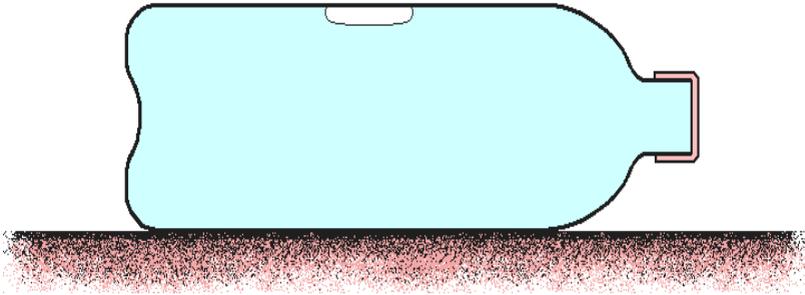


Рис. 27. Уровень

Принцип работы уровня основан на действии силы Архимеда, выталкивающей пузырек воздуха из жидкости вверх. Изготовить уровень очень просто. Для этого нужна бутылка с гладкими цилиндрическими стенками. В бутылку доверху наливают воду, плотно завинчивают на ней крышку — и уровень готов. В бутылке должен остаться маленький пузырек воздуха, который будет служить индикатором нашего прибора (рис. 27).

Чтобы проверить горизонтальность, например, столешницы, надо положить на нее эту бутылку и посмотреть на положение воздушного пузырька в ней. Если он располагается ближе к горлышку, то, значит, край столешницы со стороны горлышка располагается выше противоположного края. Если же этот пузырек при изменениях ориентации лежащей на столе бутылки не смещается, то поверхность стола горизонтальна.

## Дозатор

Дозатор — это устройство для автоматического отбора (дозирования) необходимой массы или объема сыпучих или жидких веществ. Здесь речь пойдет о приспособлении для отлива из бутылки одинаковых доз находящейся в ней жидкости.

Сначала надо соединить сваркой две одинаковые бутылочные крышки между собой. Делают это так. В каждую руку берут по крышке и одновременно прижимают на 2–4 секунды их верхнюю плоскую поверхность к раскаленной электрической плитке. Держать их так надо столько, чтобы от тепла оплавилась лишь их прижатые к плитке поверхности, бока же этих крышек должны остаться неразмягченными. Затем крышки отнимают от плитки и сразу же прижимают друг к другу оплавленными поверхностями. После остывания крышки оказываются прочно скрепленными друг с другом.

В центре скрепленных крышек сверлят отверстие диаметром 5–8 мм, в которое вставляют гибкую медицинскую трубку. Трубка через отверстие должна проходить туго, без зазора. Один конец трубки надо заглушить. Для этого его нагревают на пламени до размягчения, а затем сдавливают плоскогубцами. Затем в трубке близ этого конца делают пару отверстий.

Крышку, на которую приходится открытый конец трубки, плотно навинчивают на бутылку с разливаемой жидкостью (для демонстрации можно использовать подкрашенную воду). Этот конец должен быть погружен в жидкость и располагаться близ дна. На вторую же крышку навинчивают горловину, отрезанную от какой-нибудь другой бутылки.

Чтобы отлить из бутылки порцию жидкости, надо сдавить пальцами бока бутылки. Возросшее давление погонит жидкость по трубке вверх, а через отверстия на другом конце трубки часть этой жидкости перельется в горловину. Сдавливать бутылку надо до тех пор, пока отверстия на конце трубки не покроются жидкостью.

После этого сдавливание прекращают. Тогда упруго деформированная бутылка, стремясь принять свою первоначальную форму, увеличивается в объеме, в результате чего в ней

образуется разрежение. Атмосферное же давление погонит обратно в бутылку ту часть находящейся в горловине жидкости, которая расположена над уровнем отверстий в трубке (рис. 28).

После того, как сдавленная бутылка полностью «распрямится», ее наклоняют и переливают в стакан содержимое горловины. Аналогичным образом отмеряют вторую дозу в другой стакан. Наблюдатели, видя стоящие рядом стаканы, убеждаются, что объемы жидкости в них одинаковы.

Объем отмеряемых доз должен быть невелик, в пределах 20–100 мл. Регулируется же доза изменением уровня конца трубки в горловине.

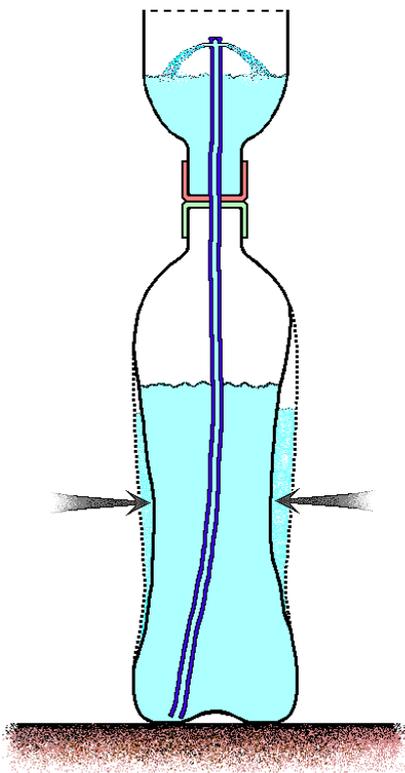


Рис. 28. Дозатор

## Автоколебания

Механические колебания обычно демонстрируют с помощью какого-нибудь маятника: пружинного, математического или физического. Поскольку все эти маятники выполнены из твердых предметов, то методически целесообразно показать еще опыты с колебаниями в жидкости или газе.

Две одинаковые полутора или двухлитровые бутылки соединяют посредством скрепленных крышек. О том, как это сделать, сказано в описании предыдущего опыта. Полости бутылок соединяют через стеклянную трубку длиной около 10 сантиметров и внутренним диаметром 4–5 миллиметров. Бокковые стенки бутылок должны быть ровными и нежесткими, легко сминаться при сдавливании. Часть объема одной из бутылок должна быть занята подкрашенной водой.

Для запуска колебаний бутылку с водой располагают сверху. Вода из нее сразу же начинает перетекать через трубку в нижнюю бутылку. Примерно через секунду вода самопроизвольно перестает течь, а по трубке в обратном направлении перемещается порция воздуха (рис. 29).

Попеременное перетекание воды и воздуха из одной бутылки в другую сопровождается соответствующими изменениями давлений в них, что заметно по их периодической деформации. В такт с выпуском воды из верхней бутылки и последующим впуском в нее воздуха из нижней она соответственно сдавливается и распрямляется. Колебательный процесс здесь регулируется самопроизвольно, автоматически. Поэтому подобные процессы принято называть автоколебаниями.

При наблюдении этих колебаний у зрителей создается впечатление, что вся конструкция при этом как бы «дышит». Сам процесс сопровождается характерным журчанием периодически вытекающей воды, бульканьем пробивающихся вверх порций воздуха и хрустом деформирующихся и распрямляющихся бутылок, что делает демонстрацию не только наглядной, но и весьма занятной.

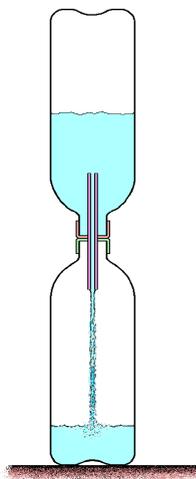


Рис. 29. Автоколебательная система

## Часы

Эти часы сделаны из двух прозрачных одинаковых бутылок, скрепленных между собой крышками. Способ соединения крышек описан в опыте «Дозатор». По оси крышек сверлят сквозное отверстие диаметром 2–5 мм (в зависимости от длительности работы часов). В верхней бутылке находится песок, который под собственной тяжестью сыпается в нижнюю бутылку.

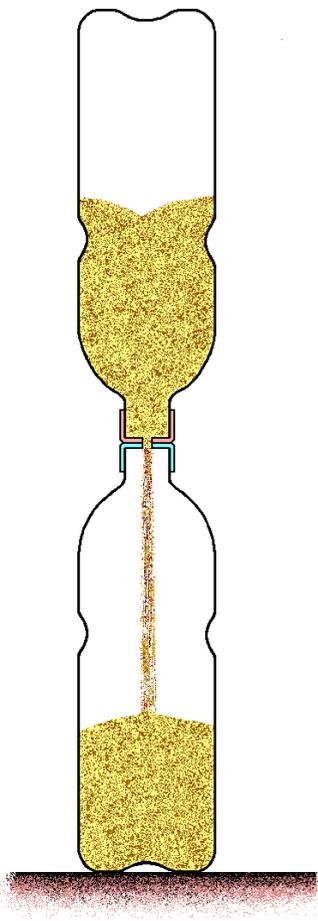


Рис. 30. Песочные часы

Песок предварительно надо просеять через сито, промыть в тазике под струей воды и просушить. Приготовленный песок засыпают в бутылку. На эту бутылку навинчивают одну из скрепленных крышек, а на свободную крышку навинчивают вторую бутылку. Чтобы часы заработали, достаточно опрокинуть конструкцию (рис. 30).

Аналогично песочным часам работают часы водяные. Основу конструкции водяных часов составляют также две одинаковые бутылки, соединенные между собой скрепленными крышками.

Полости обеих бутылок объединяют через две тонкие трубки разной длины, проходящие сквозь крышки. Трубки эти можно взять от использованных пишущих узлов (стержней) шариковых ручек. В одну из бутылок наливают подкрашенную воду. Для привлекательности опыта в каждую из бутылок можно поместить разноцветные пластмассовые шарики.

После соединения бутылок скрепленными крышками часы к работе готовы. Для приведения часов в действие достаточно

их установить так, чтобы бутылка с водой оказалась сверху (рис. 31).

Вода из верхней бутылки сразу же начинает капать в нижнюю бутылку через длинную трубку. А вытесняемый из этой бутылки воздух по короткой трубке будет порциями поступать в верхнюю бутылку.

Количество воды в часах и размеры трубок в них следует подобрать опытным путем так, чтобы продолжительность цикла работы часов составляла 10–20 минут. И тогда эти часы можно использовать на уроках, например, для контроля времени, отведенного на самостоятельное решение задач. В физическом кабинете удобно иметь несколько таких часов, изготовленных из разных по форме и размерам бутылок, с различной продолжительностью цикла.

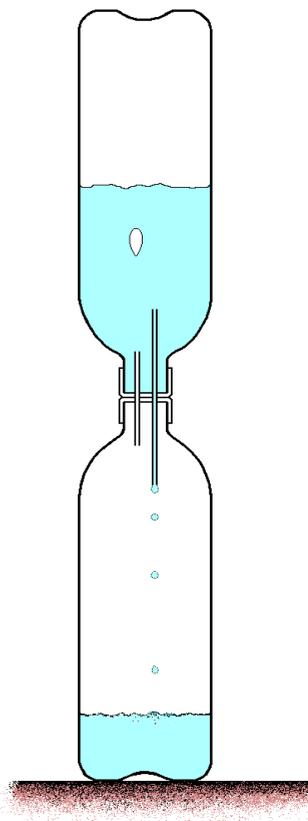


Рис. 31. Водяные часы

## Истечение струи

В 1641 году итальянский физик и математик Эванджелиста Торричелли установил, что величина скорости  $V$  истечения всех невязких жидкостей из отверстия в открытом сосуде на Земле зависит лишь от одного параметра — высоты  $h$  уровня жидкости в сосуде, отсчитанной от центра отверстия:

$$V = \sqrt{2gh} ,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения, равное  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

Это соотношение в точности выполняется лишь для идеальной, невязкой жидкости. В реальности, скорость истечения несколько меньше скорости, рассчитанной по формуле Торричелли, и зависит от вязкости жидкости, а также от формы и размера отверстия. В случае небольшого круглого отверстия скорость истечения реальной жидкости, например, воды, составляет  $0,94$ – $0,99$  от скорости, рассчитанной по приведенной формуле.

Чтобы различие скоростей истечения в начале и в конце опыта было заметным, нужно, чтобы начальная высота  $h$  столба жидкости была достаточно большой. Поэтому и бутылку для проведения этого опыта надо использовать высокую.

В нижней части боковой стенки такой бутылки протыкают нагретым на пламени гвоздем отверстие, диаметр которого должен быть около  $3 \text{ мм}$ . Над этим отверстием на расстоянии  $10$ – $15 \text{ см}$ . таким же образом делают еще одно такое же отверстие. Для проведения опыта еще требуются невысокий широкий сосуд, куда будет сливаться вода (это может быть тазик) и подставка под бутылку высотой около полуметра. До начала демонстрации бутылка с водой должна находиться в заполненном водой ведре.

С момента водружения бутылки на подставку из ее боковых отверстий истекают две струи. Эти струи, плавно изгибаясь под действием силы тяжести, стекают в широкий сосуд, причем падают они туда на разных удалениях от бутылки (*рис. 32*).

Скорость истечения воды из нижнего отверстия больше, чем из верхнего отверстия, поскольку превышение  $h_1$  уровня поверхности воды над нижним отверстием больше, чем превышение  $h_2$  того же уровня над верхним отверстием.

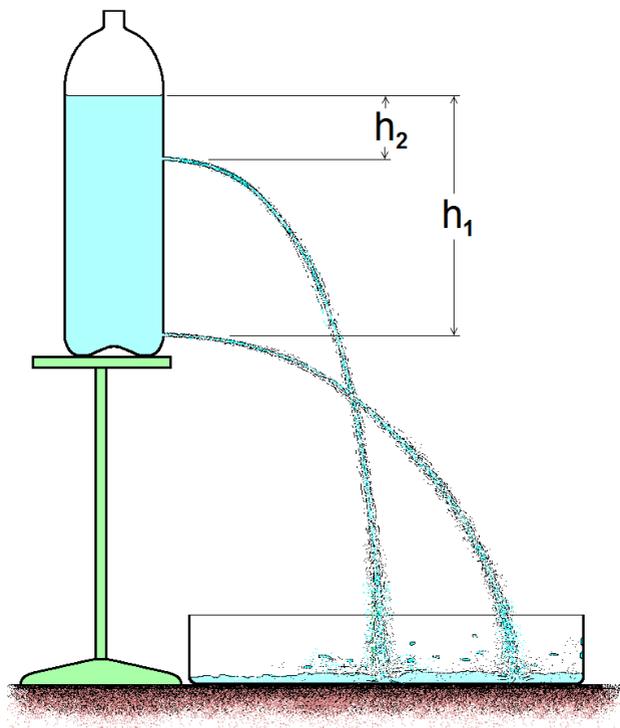


Рис. 32. Демонстрация скоростей истечения

Поэтому нижняя струя удаляется от места своего истечения на большее расстояние. По мере истечения воды из бутылки высота водяного столба в ней постепенно уменьшается, соответственно уменьшается и скорость струй, а места их падений смещаются к основанию бутылки.

## Воронка

Воронка — приспособление в виде полого конуса с трубкой в вершине, предназначенное для наливания жидкости или сыпучего материала в узкогорлый сосуд. Этот часто необходимый в быту предмет не всегда бывает под рукой в нужный момент. И здесь может выручить пластиковая бутылка. Если бутылку разрезать поперек, то ее верхнюю часть можно использовать в качестве воронки. И с такой воронкой, оказывается, можно провести занятный опыт, в котором отчетливо прослеживается различие скоростей протекания через нее жидкости в зависимости от характера ее движения.

Эффект тем заметнее, чем больше емкость воронки. Поэтому делать воронку надо из бутылки емкостью 2–2,5 литра. У этой бутылки отрезают ее донную часть, а в крышке делают круглое отверстие диаметром 13–15 мм. У второй такой же бутылки отрезают ее верхнюю, суживающуюся часть — получается мерный стакан, в который будет сливаться вода из воронки.

Демонстратор берет воронку в руку, ее выходное отверстие в крышке плотно прикрывает пальцем и наливает в эту воронку воду. А перед этим он предупреждает наблюдателей, что они будут не пассивными, как обычно, зрителями, а должны в ходе опыта измерить и затем сравнить времена опорожнения воронки от воды при различных видах ее истечения.

После того, как вода в воронке успокоится, а зрители будут готовы к хронометражу процесса, демонстратор отводит в сторону палец, закрывающий выходное отверстие, и вода из воронки устремляется вниз в подставленный под нее стакан. Длительность вытекания в этом случае равна 6–8 секундам.

Пока вода вытекает, внимание наблюдателей обращают на то, что струя на всем протяжении одинакова в сечении и прозрачна, а ее поверхность гладкая (*рис. 33 а*). Такое движение жидкости характерно для ее ламинарного течения.

Вылившуюся в стакан воду наливают обратно в воронку. Затем, взяв в свободную руку ложку, раскручивают ею воду в воронке, как это делают при размешивании сахара в чашке с чаем.

Одновременно с прекращением раскручивания открывают выходное отверстие воронки, и вода вытекает бурлящим, закрученным в вихрь потоком. Такое движение характерно для

турбулентного течения. Вытекающая вода имеет форму купола, состоящего из множества мелких струй и отдельных капель, и выглядит серебристо-белой. Время вытекания будет значительно больше, чем в предыдущем случае.

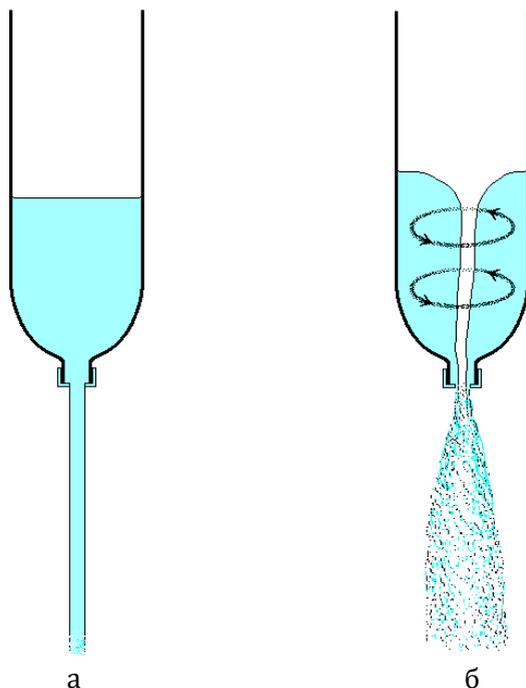


Рис. 33. Ламинарный (а) и турбулентный (б) потоки

Подобрав оптимальное сочетание формы и объема воронки, сечения ее выходного отверстия и количества воды и приспособившись раскручивать эту воду до большой скорости, можно достигнуть трехкратного превышения продолжительности турбулентного истечения над ламинарным.

## Азотная «бомба»

Данный опыт является, пожалуй, самым впечатляющим среди представленных в этой книге. Демонстрация его весьма проста и вместе с тем затруднена тем обстоятельством, что для его осуществления необходим сжиженный азот, который в открытом сосуде представляет собой бесцветную прозрачную жидкость, сохраняющую до её полного испарения температуру минус 195,8 градусов Цельсия. Для непродолжительного хранения и транспортировки жидкого азота в небольшом количестве можно использовать термос. Опыт следует проводить только с пластиковой бутылкой на открытом пространстве или же в большом просторном помещении.

Итак, в полутора или двухлитровую бутылку наливают примерно 100–200 миллилитров жидкого азота. На бутылку туго завинчивают крышку и ставят на расстоянии не ближе 7–10 метров от наблюдателей. В результате обильного притока тепла сквозь стенки бутылки жидкий азот в ней интенсивно испаряется. По мере испарения давление паров азота в бутылке возрастает. По прошествии пяти-шести минут это давление достигает величины, превышающей предел прочности стенок бутылки, в результате чего бутылка разрывается на куски.

В области, где разорвалась бутылка, образуется зона высокого давления. Возникший там перепад давлений распространяется в виде мощной звуковой волны, которая вызывает у наблюдателей ощущение оглушительного взрыва.

## Мельница

Эта модель водяной мельницы позволяет продемонстрировать превращение запаса потенциальной энергии поднятой воды в кинетическую энергию вращательного движения колеса. Основным элементом в конструкции модели является водяное колесо, которое делают из двух бутылочных крышек. В центре этих крышек просверливают отверстия, в которые вставляют колесную ось — использованный стержень от шариковой ручки. Крышки при этом должны прилегать друг к другу своими нижними частями.

Лопатки водяного колеса делают из ободка от крышки, остающегося обычно на горлышке бутылки после ее откупоривания. Для нашей модели потребуется шесть разноцветных ободков. Ободки эти надо снять с бутылок, вывернуть наизнанку и надеть вплотную друг к другу на колесо. Имеющиеся у ободков отростки при этом должны быть ориентированы наружу и в одном направлении. Отростки эти являются лопатками водяного колеса, которые принимают импульс от падающей на них водяной струи (рис. 34 а).

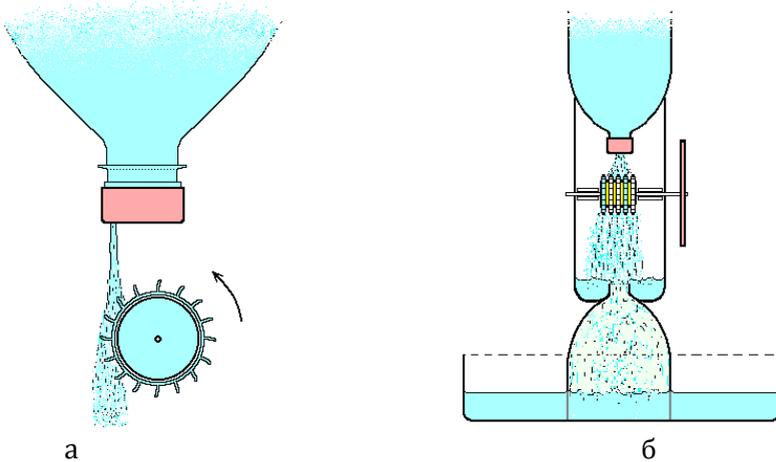


Рис. 34. Конструкция мельницы

Колесо устанавливают внутри бутылки (рис. 34 б). Для этого на противоположных сторонах ее боковой стенки делают по отверстию, в которые может свободно проходить колесная

ось. Для фиксации положения колеса на концы оси надо надеть втулки, которые можно сделать, отрезав их от более широкого стержня шариковой ручки или от соломки для коктейля. Кроме того, у этой бутылки отрезают верхнюю, суживающуюся часть, а в ее дне делают круглое отверстие с тем, чтобы в него можно было вставить горлышко другой бутылки, служащей подставкой. Способ изготовления такого отверстия описан в опыте «Ракета».

Над колесом водружают еще одну бутылку — резервуар с запасом воды. Для формирования струи, вращающей колесо, в крышке резервуара надо сделать отверстие диаметром 3 мм. В дне резервуара также должно быть отверстие, через которое в него поступает воздух на место вытекающей воды. Чтобы вращение колеса было заметнее, на его ось крепят вырезанный из бумаги кружок с забавной картинкой.

## Мыльный пузырь

Продолжительность существования мыльного пузыря обычно невелика и составляет несколько секунд, в лучшем случае — до минуты. А живет он недолго потому, что его оболочка на открытом воздухе быстро истончается вследствие испарения с его поверхности воды. Если же пузырь поместить в камеру с воздухом, насыщенным водяными парами, то он сможет просуществовать в ней весьма долго.

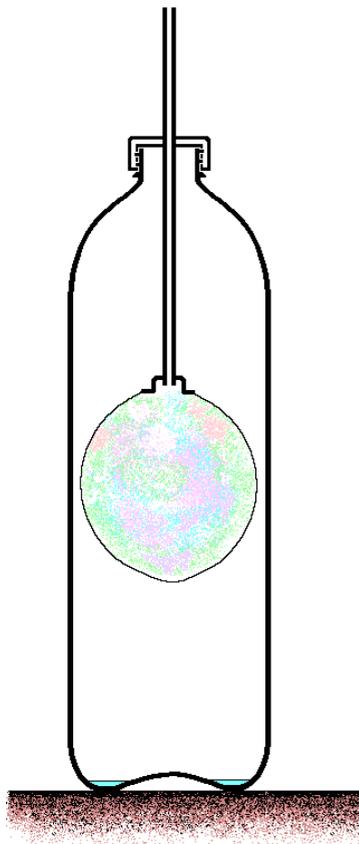


Рис. 35. Мыльный пузырь

Такой камерой будет бесцветная бутылка с ровными и гладкими боковыми стенками. В крышке надо просверлить отверстие, в которое следует плотно вставить пластиковую соломку для коктейля диаметром 3–5 мм. На кончик соломки следует насадить полиэтиленовую пробку от аптечного флакона для жидкого лекарства (рис. 35).

Для приготовления мыльного раствора надо смешать 100 мл воды и 30–50 мл жидкости для мытья посуды, а в полученную смесь добавить чайную ложку глицерина. Получившуюся смесь следует хранить в плотно закупоренной бутылочке, тогда ею можно пользоваться на длительное время.

Предварительно в бутылку надо налить 2–3 мл воды с тем, чтобы воздух в бутылке стал влажным. Кончик соломки на мгновение погружают в мыльный раствор, затем соломку с насажен-

ной на ней крышкой вставляют внутрь бутылки, а крышку наворачивают (неплотно!) на бутылочное горлышко. Надувание производят через другой конец соломки; излишки же

воздуха, вытесняемого из бутылки растущим пузырем, выходят под крышкой. Раздуть пузырь можно до такой величины, чтобы он не соприкоснулся со стенками бутылки. После того, как пузырь надут, крышку надо плотно закрутить, а бутылку выставить на обозрение.

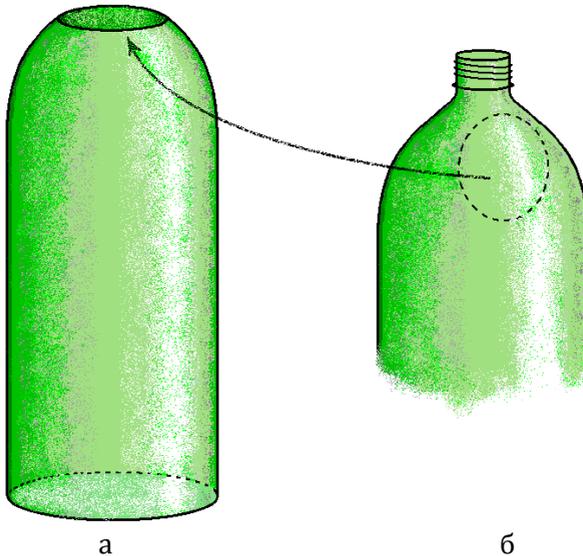
На пузыре можно видеть переливающиеся радужные пятна и полосы, возникающие вследствие интерференции отраженного от пузыря света. Бутылку можно переносить с места на место и встряхивать, пузырь при этом остается целым и невредимым. Если бутылку слегка сдавливать пальцами, то пузырь в ней уменьшается; при разжимании же пальцев деформированные стенки бутылки распрямляются, а пузырь увеличивается до начальных размеров.

А еще можно пузырь раздуть табачным дымом. Тогда он будет молочно-белым. Спустя минут десять, когда частицы дыма в пузыре под действием силы тяжести частично осядут, его внутренняя полость разделится на две части: прозрачную верхнюю и белую нижнюю с четкой границей раздела между ними.

## Неваляшка

Эта игрушка в виде куклы, известная также под названием «Ванька-встанька», занята тем, что любые попытки уложить ее не достигают цели, так как она всегда возвращается в свое «излюбленное» стоячее положение. Такое поведение неваляшки вызывает любопытство у тех, кто не знаком с ее конструкцией, стимулирует у них потребность понять причину ее «упрямства» и «несгибаемого характера».

Для изготовления игрушки нужны две бутылки, верхняя часть которых имеет сферическую форму. У первой бутылки отрезают дно и горлышко, как это показано на *рис. 36 а*. Из верхней части второй бутылки вырезают кружок размером чуть больше верхнего отверстия первой бутылки (*рис. 36 б*). Этот кружок приклеивают на место отрезанного горлышка с внутренней стороны бутылки выпуклой стороной наружу. В результате должен получиться сосуд, цилиндрические стенки которого плавно сопряжены со сферическим дном.



*Рис. 36. Заготовки для неваляшки*

Одним из основных элементов неваляшки является закрепленный в ее основании груз (*рис. 37*). Груз устанавливают так. Сосуд фиксируют в вертикальном положении и заливают

в него смесь, состоящую из расплавленного парафина и 0,5–0,7 кг охотничьей дроби. Смесь эта должна растечься по дну и застыть. Получившийся груз должен располагаться симметрично относительно продольной оси сосуда.

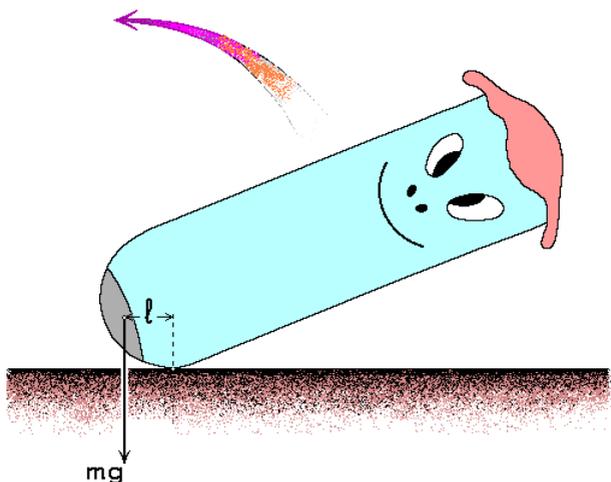


Рис. 37. Неваляшка

Чтобы игрушка выглядела привлекательной, ей надо придать форму забавного человечка, изобразив на ней с помощью кусочков бумаги и цветных фломастеров физиономию и водрузив сверху «шляпу» из куска пленки или бумаги.

Способность неваляшки подниматься самостоятельно обусловлена вращающим моментом, возникающим каждый раз, как только ее валят набок. Величина этого момента определяется как произведение действующей на неваляшку силы тяжести на плечо этой силы:  $mg \cdot l$ . Эта величина имеет наибольшее значение, когда неваляшка лежит.

По мере подъема неваляшки плечо силы тяжести уменьшается, соответственно уменьшается и момент этой силы. Когда неваляшка стоит, вращающий момент отсутствует, поскольку плечо силы тяжести при этом равно нулю. Энергетически такое положение для неваляшки наиболее выгодно, поскольку ее потенциальная энергия при этом минимальна.

## Опорожнение бутылки

Содержание опыта понятно из его названия, а проводить его следует совместно с учениками. Но сначала надо сформулировать для них задачу: **«Как быстрее всего опорожнить бутылку с водой?»**

После того, как ответы от учеников иссякнут, можно предложить двум-трем наиболее активным из них реализовать свои предложения. Предполагается, что в ходе опыта будут неоднократно предприниматься попытки добиться рекордно короткого времени. Поэтому надо заранее приготовить несколько идентичных полуторалитровых бутылок, ведро с водой, воронку и ковш. Понадобится также и секундомер для объективного контроля времени.

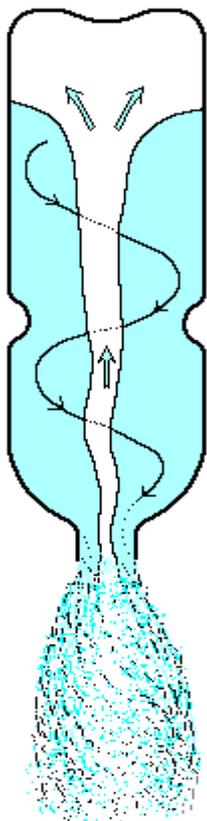
Самым простым и очевидным решением задачи является опрокидывание бутылки, в результате чего вода будет самопроизвольно вытекать из нее под действием силы тяжести. Однако этот способ малоэффективен, поскольку вытекание происходит неравномерно, порой полностью прерываясь для пропуска в бутылку встречного потока воздуха. Таким способом воду из бутылки можно извлечь за 18–20 секунд.

Процесс можно ускорить, если бутылку, после ее опрокидывания, резко поднять вверх. Если же сделать несколько подобных рывков подряд, то бутылку можно опорожнить уже за 9–10 секунд.

Еще одно решение данной задачи связано с созданием в бутылке избыточного давления. Для этого надо лишь сдавить бутылку после ее опрокидывания. Если же при сдавливании бутылку еще и встряхивать, то время опорожнения можно уменьшить до 7–8 секунд.

Среди учеников наверняка найдется и такой, кто предложит в развитие этого способа прыгнуть на лежащую бутылку. Однако такой способ следует признать некорректным, так как при этом не обеспечивается полное опорожнение бутылки и, кроме того, сама бутылка после такого опорожнения становится непригодной для использования.

Весьма эффективно опорожнение бутылки посредством раскрутки воды в ней. Делают это, как в ранее описанном опыте «Торнадо». При таком способе опорожнения встречные потоки воды и воздуха становятся упорядоченными, и потому



они не мешают друг другу продвигаться в своих направлениях. Эта упорядоченность обусловлена действием центробежной силы, прижимающей вращающуюся воду к стенкам бутылки. В результате область вокруг продольной оси бутылки оказывается свободной, и туда устремляется наружный воздух (рис. 38).

Наконец, приведем еще один способ, основанный также на применении центробежной силы. Бутылку с водой берут за дно и быстро вращают ее на вытянутой руке в вертикальной плоскости. Достаточно сделать три-четыре оборота, чтобы полностью опорожнить бутылку. При наличии навыка и решительности на такой способ опорожнения тратится около трех секунд. Решительность же здесь нужна, поскольку по завершении опыта всё вокруг экспериментатора (стены, потолок, мебель и пр.) оказывается забрызганным водой.

Рис. 38. Опорожнение раскруткой

## Гидростатическое давление

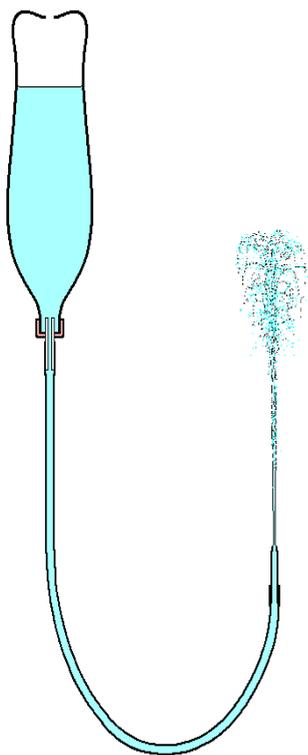


Рис. 39. Фонтан

в бутылке выше уровня сопла, то из него фонтанирует струя. Перемещая бутылку или сопло вверх или вниз, и друг относительно друга, регулируют высоту струи.

Высота фонтана зависит от разницы уровней сопла и воды в бутылке (рис. 39). Чем больше эта разница, тем выше поднимается струя. Этот опыт можно использовать и как демонстрацию превращения потенциальной энергии поднятой воды в энергию кинетическую.

Чтобы струя фонтанировала выше, надо увеличить гидростатическое давление в сопле. Сделать это просто, если воспользоваться принципом действия популярной у детворы

Гидростатическое давление — одна из основных причин движения жидкостей. Благодаря гидростатическому давлению работают множество разнообразных фонтанов, в числе которых и представленная модель фонтана в данном опыте. Гидростатическое давление создается весом водяного столба, расположенного над соплом фонтана. Конструкция позволяет регулировать высоту фонтанирующей струи.

Один из концов гибкой трубки длиной 60–80 сантиметров надевают на установленный в бутылочной крышке штуцер, в качестве которого можно использовать отрезок стеклянной или металлической трубки длиной 3–5 сантиметров. Сопло фонтана делают из использованного стержня от гелевой или шариковой ручки. В дне бутылки делают отверстие для прохода воздуха.

При демонстрации бутылку держат в одной руке, а в другой руке держат сопло. Если уровень воды

самодельной игрушки, называемой ими брызгалкой. Эта конструкция отличается от той, что представлена на *рис. 39*, отсутствием отверстия в дне. Давление же в бутылке создается сдавливанием ее стенок. Сдавливаться можно рукой, но эффект будет больше, если бутылку положить на пол и резко надавить на нее ступней. Тогда струя поднимается до высоты 5–7 метров. Правда, после этого бутылка уже непригодна для повторного использования.

Если в некоторой части значительного объема воды по какой-либо причине давление резко возрастает, то возникающая зона повышенного давления затем быстро распространяется по всему объему. При этом на любое тело, попавшее в эту зону, оказывается силовое воздействие, именуемое гидравлическим ударом. Его величина может быть настолько велика, что последствием может стать разрушение находящихся в воде конструктивных узлов и гидросооружений, а также трубопроводов, заполненных водой.

В данном опыте демонстрируется преобразование энергии гидравлического удара в кинетическую энергию воды. Опыт простой. Двухлитровую бутылку с конической верхней частью, наполненную **доверху** водой, удерживают пальцами за горлышко над массивной твердой горизонтальной поверхностью на расстоянии 5–10 сантиметров от нее. Пальцы разжимают, и падающая бутылка ударяется дном о поверхность. В результате соударения из бутылки выбрасывается вверх около десяти миллилитров воды, причем отдельные капли поднимаются на высоту до полутора-двух метров! Почему же часть воды, свободно упавшей с незначительной высоты, затем выплескивается до высоты, превышающей начальную в десятки раз?

При соударении бутылки с жесткой поверхностью дно бутылки деформируется, упруго сжимаясь вовнутрь. Последствием этого является образование в слое воды, прилегающем к дну, области повышенного давления, которая затем быстро перемещается по всему объему воды. При ее продвижении вдоль суживающейся к горлышку части, происходит ее кумуляция (от латинского *cumulo* — накапливаю). В результате на самый верхний, открытый слой воды снизу кратковременно действует возросшее давление, которое и выбрасывает этот слой вверх.

Если гидростатическое давление является одной из основных причин движения жидкостей, то оно может стать и причиной ее равновесия. Для демонстрации нужны две бутылки, в боку каждой из них надо сделать разрез длиной 3–5 см. У одной бутылки прорезь должна быть вертикальной, а у другой — горизонтальной. Чтобы сделать прорезь в бутылке, надо завинтить на ней крышку, положить бутылку на горизонтальную поверхность и в место намеченного разреза ударом вонзить нож с острым концом.

Обе бутылки затем заполняют водой, плотно закрывают крышками и выставляют на обозрение. Вода из разрезов при этом не вытекает.

В каждый из разрезов вставляют по спичке. В результате, из нижней части вертикального разреза побежит слабая струйка воды, а через верхнюю часть этого разреза внутрь бутылки будет просачиваться воздух. Это обусловлено разницей гидростатических давлений в верхней и нижней частях разреза (рис. 40 а).

Иное происходит в горизонтальном разрезе. Точнее, в нем ничего не происходит. Вода из этого разреза, вопреки ожиданиям, не вытекает (рис. 40 б), хотя над ним возвышается внушительный столб воды! В этом случае разницы давлений, заставляющей течь воду, нет. Демонстрационный эффект можно усилить, если горизонтальный разрез сделать длиннее (6–7 см) и вставить в него монету (рис. 40 в).

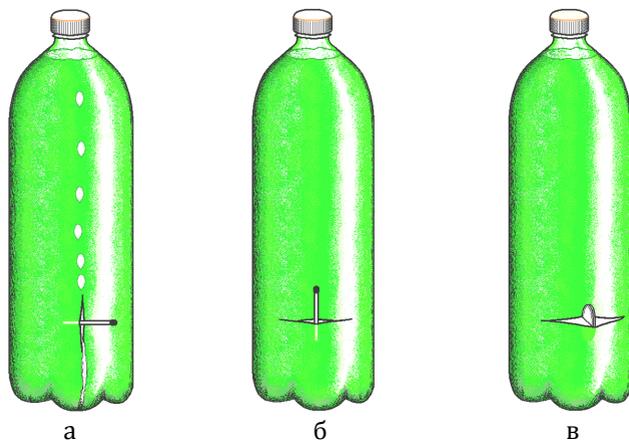


Рис. 40. Бутылки с надрезами

## Объём лёгких

При спокойном дыхании наши легкие вентилируют приблизительно 0,5 л воздуха. Если взрослый мужчина после глубокого вдоха сделает максимальный выдох, то объем выдохнутого воздуха, называемый жизненной емкостью легких, достигает 3–4,5 л. Но и после полного выдоха в легких еще остается более 1 л воздуха. У женщин эти показатели обычно на 10–20 % меньше. Определение легочных объемов важно для оценки состояния органов дыхания.

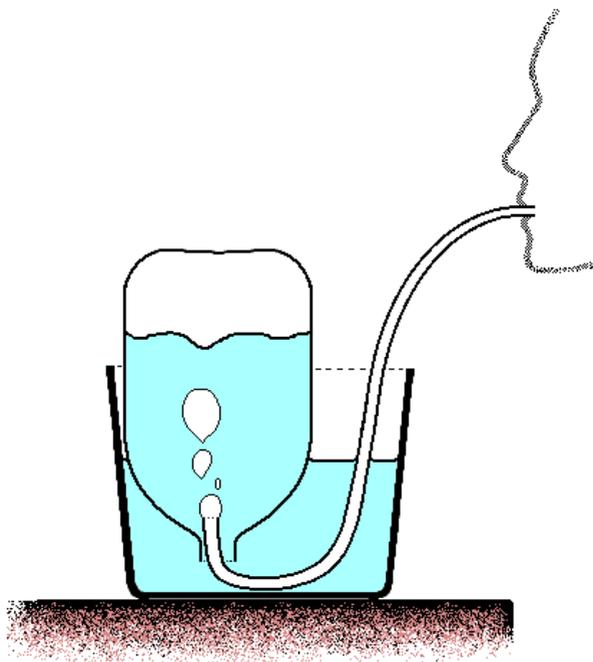
В 1846 г английский ученый Хатчисон предложил измерять емкость легких с помощью спирометра (от латинского *spiro* — дую, дышу). Действие этого прибора основано на вытеснении воды выдыхаемым воздухом.

Аналог спирометра, с помощью которого можно оценить легочные объемы, состоит из пластиковой бутылки объемом 5 л, мягкого шланга длиной около полуметра и внутренним диаметром 1–1,5 см и кастрюли. В кастрюлю на половину ее объема наливают воду, в которую погружают весь шланг. Водой заполняют и бутылку, после чего ее закупоривают. Затем бутылку опрокидывают, а ее горлышко погружают в кастрюлю. Там с бутылки отвинчивают крышку, в ее горлышко просовывают один конец шланга, а второй конец вынимают из кастрюли. Спирометр к работе готов.

Для измерения объема выдыхаемого воздуха надо сделать выдох в свободный конец шланга. Выдохнутый воздух поступает через шланг в бутылку и вытесняет из ее полости часть находящейся в ней воды (*рис. 41*). Бутылку в кастрюле при этом надо придерживать, чтобы ее горлышко оставалось постоянно погруженным в воду. По окончании выдоха конец шланга вынимают из бутылки, на ее горлышко навинчивают крышку и лишь после этого бутылку вынимают из кастрюли.

Для определения объема выдохнутого воздуха надо от известного объема бутылки вычесть объем оставшейся в ней воды. Эту процедуру можно упростить, если на бутылке сделать шкалу, проградуированную в миллилитрах. Шкалу делают так. Ленту медицинского пластыря наклеивают на бутылку от ее горлышка до дна. В бутылку наливают 100 миллилитров воды, закупоривают ее, опрокидывают и в таком положении

отмечают на ленте уровень воды в ней. Затем последовательно проделывают то же самое с 200, 300, 400 миллилитрами воды до полной маркировки всей бутылки.



*Рис. 41. Устройство спирометра*

Для определения объема выдохнутого воздуха достаточно лишь зафиксировать деление шкалы, на которое приходится уровень оставшейся в бутылке воды.

## Фонтан

В этом опыте показывают струю воды, фонтанирующую из бутылки вследствие изохорического нагрева находящегося в ней воздуха. Соплом фонтана служит выработанный стержень шариковой ручки, кончик которого сточен напильником. В бутылочной крышке сверлят отверстие, в которое вставляют стержень с обращенным наружу наконечником. Стык стержня и крышки для герметичности промазывают пластилином.

На стержень надевают кусок мягкой трубки, которая должна плотно облегать его. В бутылку на треть ее объема заливают прохладную воду и плотно закручивают крышку. Свободный конец трубки после этого должен находиться под водой и располагаться у дна бутылки.

Для образования фонтана надо облить бутылку теплой водой (рис. 42). Вода эта должна быть именно теплой, но не горячей, чтобы бутылка при ее обливании не сжалась, как это происходит в опыте «Ошпаренная бутылка».

Воздух в бутылке быстро прогревается, его давление возрастает, а это приводит к выталкиванию воды из бутылки в виде фонтанчика высотой до полутора метров.

Опыт можно использовать при изучении зависимости давления газа от его температуры, а также для демонстрации работы по поднятию воды за счет внутренней энергии нагретого воздуха.

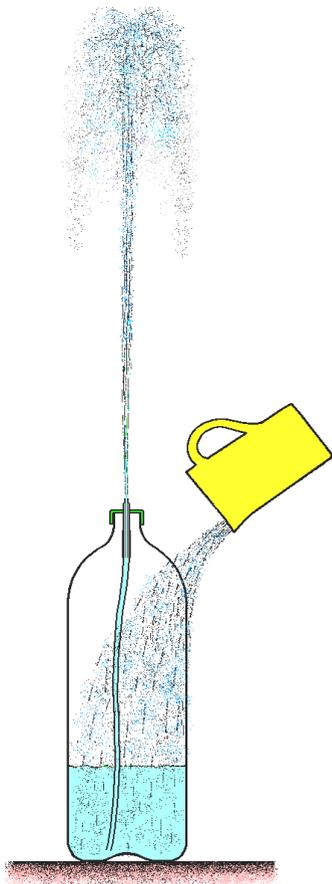


Рис. 42. Тепловой фонтан

## Инерция

Заполненная водой и закупоренная бутылка, содержащая еще и маленький пузырек воздуха, лежит на столешнице (см. ранее описанный опыт «Уровень»). Если потянуть бутылку за горлышко вдоль ее продольной оси, не отрывая от столешницы, то пузырек воздуха, располагавшийся до начала движения бутылки на ее середине, поведет себя несколько неожиданно. В то мгновение, когда бутылка только-только начинает двигаться, пузырек быстро перемещается вперед по ходу движения — к горлышку бутылки.

Такое поведение пузырька объясняется инерцией воды. Инерция — это свойство тела сохранять состояние покоя (или прямолинейного равномерного движения), обусловленное массой этого тела. А поскольку плотность воды много больше плотности воздуха, то вода соответственно обладает и большей, чем воздух, инерцией (при равных, разумеется, объемах воды и воздуха). Поэтому «стремление» воды остаться там, где она покоилась до начала движения, проявляется у нее в большей степени, чем у воздуха, что и приводит к наблюдаемому эффекту.

А вот другой вариант демонстрации свойства инерции той же бутылки с водой. На гладкую столешницу надо положить бумажный лист формата А4, а на край этого листа поставить бутылку с водой. Ухватив пальцами свободный край листа, надо плавно тянуть его в горизонтальном направлении с тем, чтобы лист и стоящая на нем бутылка медленно перемещались по столешнице.

Переместив так бутылку к краю стола, движение прекращают. Большая часть листа при этом должна быть вне столешницы. Крепко удерживая свободный край листа, ребром ладони другой руки ударяют по этому листу. При ударе лист выскальзывает из-под бутылки целым и невредимым, бутылка же остается на прежнем месте, даже не шелохнувшись. Почему же характер движения листа так разительно влияет на поведении бутылки? Ведь ее инертные свойства в ходе опыта оставались неизменными.

В случае, когда лист тянули плавно и медленно, действующий на бутылку импульс силы был достаточен, чтобы привести ее в движение. Импульс силы — это величина, определяемая как произведение силы (в данном случае силы трения бутылки о бумагу) на время ее действия. При резком же ударе по листу импульс силы уже недостаточен для изменения состояния покоя бутылки.

## Неинерциальная система

Поверхность неподвижной жидкости горизонтальна. Строго говоря, свободная поверхность жидкости, покоящейся в достаточно большом сосуде на Земле, практически горизонтальна, если этот сосуд покоится, либо движется прямолинейно и равномерно. Система отсчета, связанная с таким сосудом, является инерциальной.

Если же жидкость пребывает в неинерциальной системе, то ее поверхность может сильно отличаться от горизонтальной плоскости. Это можно продемонстрировать в опыте с водой во вращающемся сосуде, сделанном из двух бутылок (рис. 43).

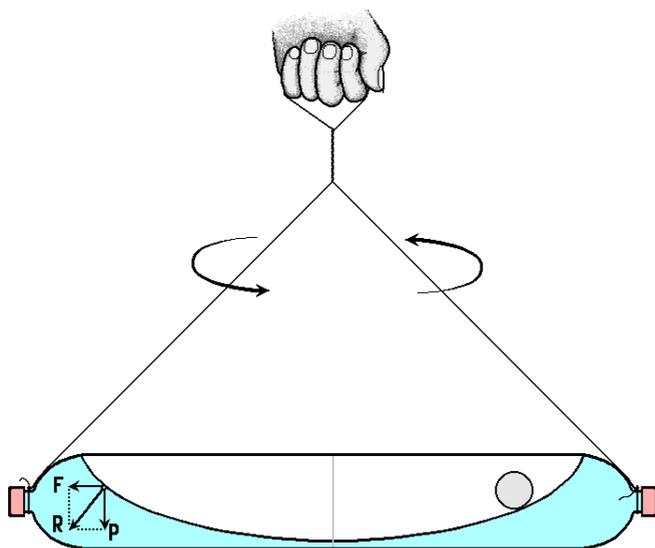


Рис. 43. Демонстрация параболической поверхности вращающейся воды

У двух бесцветных одинаковых полторалитровых бутылок с ровными цилиндрическими стенками надо отрезать донышки. Затем эти бутылки следует соединить, вставив их отрезанными местами одну в другую на 1–2 сантиметра. Внутри бутылок перед их стыковкой можно поместить шарик для настольного тенниса. Для придания стыку прочности и герметичности его обматывают липкой прозрачной лентой.

Концы капроновой нити длиной 1–1,5 метра привязывают к горлышкам, на одно из которых навинчивают крышку, а через другое наливают 0,7 литра подкрашенной воды. После закупорки второго горлышка получившуюся конструкцию берут за середину нити и держат на весу. Бутылки при этом должны располагаться горизонтально, а вода в них должна распределиться поровну.

Обхватив кистью другой руки место соединения бутылок, толчком закручивают их, после чего вся конструкция должна самостоятельно вращаться в горизонтальной плоскости.

На каждую из вращающихся частиц воды одновременно действуют две силы: центробежная сила  $F$  и сила  $P$  тяжести. Под воздействием этих сил вода в сосуде перераспределяется, причем ее свободная поверхность принимает форму параболоида вращения. Характерно, что направление равнодействующей  $R$  этих сил на частицы воды перпендикулярно этой поверхности.

Следует заметить, что этот опыт получается не всегда из-за трудности установки конструкции в исходное положение. Поэтому для его успешной реализации потребуются не только сноровка, но и удача.

## Автопоилка

Здесь представлены две простые конструкции, которые можно применить в хозяйстве, использовать в быту. Одна из них предназначена для автоматического пополнения воды в поилке для кур, мелких животных и птиц. Другая поилка обеспечивает влагой почву комнатных растений.

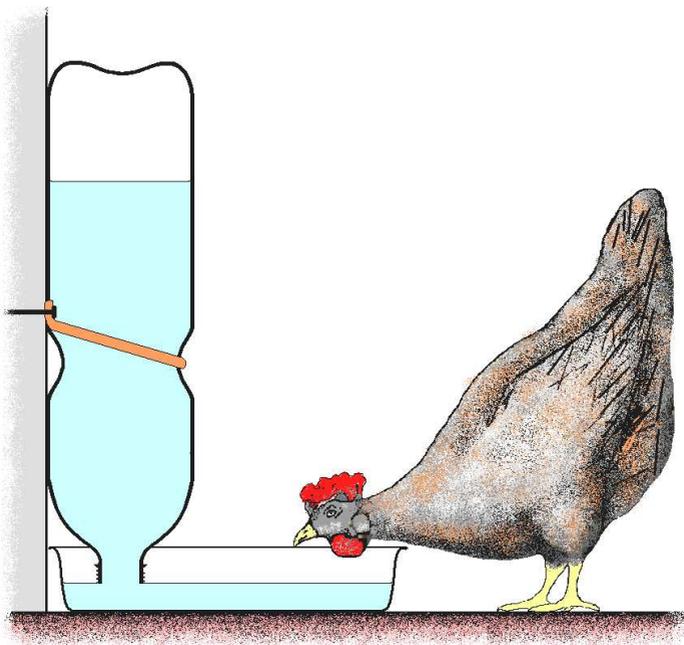


Рис. 44. Поилка для кур

Чтобы сделать первую поилку (рис. 44), надо заполнить бутылку водой и опрокинуть ее в миску, чуть приподняв горлышко над дном этой миски. Бутылку в таком положении нужно жестко зафиксировать, например, с помощью хомутика из резинки.

Вода в миске всегда будет на уровне края горлышка. При расходовании или испарении воды ее уровень в миске понизится, и тогда через оголившееся горлышко в бутылку проникнет несколько пузырьков воздуха. При этом из бутылки в миску выльется столько воды, чтобы ее уровень поднялся до края горлышка.

Поилка для комнатных растений удобна тем, что может поддерживать почву влажной в течение длительного времени,

пока нет возможности постоянного ухода за растениями. Работает она по тому же принципу, что и фитиль керосиновой лампы, свечи. Один конец хлопчатобумажной веревки закапывают в горшок с растением, а другой конец погружают в наполненную водой бутылку (рис. 45).

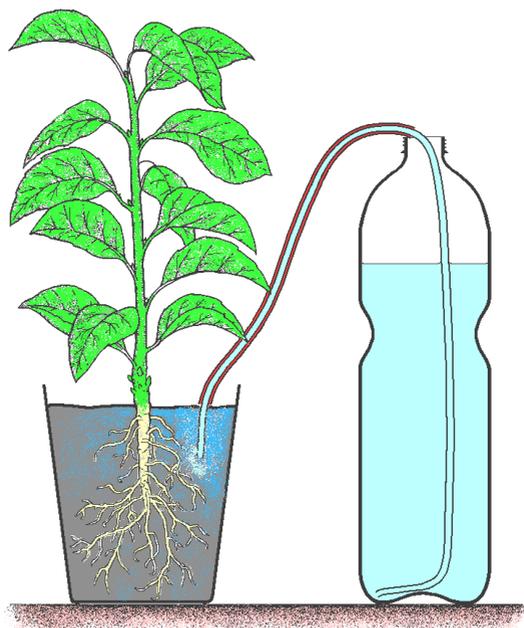


Рис. 45. Поилка для комнатных растений

Множество тонких веревочных волокон представляет собой густую сеть капилляров. Благодаря явлению смачивания вода перемещается по этим капиллярам из бутылки в почву. В процессе движения вода может частично испаряться с поверхности веревки и не доходить до почвы. Чтобы этого не происходило, на открытый участок веревки следует надеть гибкую трубку. Из одной бутылки таким образом «поить» можно одновременно несколько растений; достаточно лишь подвести к ним веревку-водопровод.

## Негаснущая свеча

Для проведения опыта нужны две высокие цилиндрические бутылки, заполненные для устойчивости водой или речным песком. Для большей убедительности результатов опыта можно предложить кому-нибудь из наблюдателей принять участие в его проведении в качестве ассистента.

Вызвавшийся на эту роль сначала должен показать, что он может легко затушить свечу, подув на нее с расстояния около полуметра. Затем посередине между ним и свечой ставят две бутылки так, чтобы между этими бутылками оставался вертикальный зазор шириной 7–10 миллиметров (рис. 46, вид сверху). Свечу снова зажигают и предлагают ее потушить тем же способом. Хотя свеча при этом хорошо просматривается в зазоре между бутылками, но, тем не менее, все попытки загасить ее будут безуспешными.

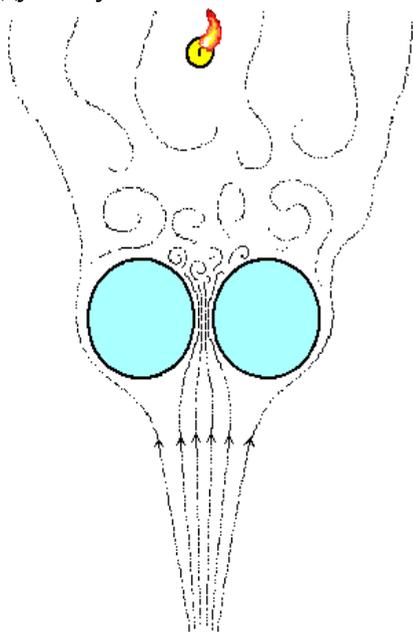


Рис. 46. Схема опыта  
«Негаснущая свеча»

Объяснение этому следующе. Направленный в сторону свечи воздушный поток, встретив препятствие в виде двух бутылок, обтекает их и разбивается на подветренной стороне на множество беспорядочных вихрей, которые постепенно рассеиваются с удалением от этого места. А поскольку свеча расположена достаточно далеко от зоны турбулентности, то до пламени доходят лишь слабые вихревые потоки, не способные загасить его.

Сомневающийся наблюдатель может возразить, что свечу не удастся погасить потому, что большая часть направленного на нее воздушного потока попросту не проходит через зазор между бутылками из-за его малой пропускной способности.

Чтобы показать, что это не так, на свечу надо подуть через узкую трубку, расположив ее выходной конец в зазоре. Хотя сечение воздушного потока в этом случае ограничено еще больше, пламя легко тушится.

А вот еще один опыт с негаснувшей свечой. У двухлитровой бутылки надо отрезать дно. Горлышко этой бутылки охватывают губами, а ее противоположный конец направляют на горящую свечу. Попытка погасить пламя, дуя на него через такой раструб, успехом не увенчается. Дело здесь в том, что скорость воздушного потока на выходе из раструба мала и недостаточна, чтобы сбить пламя.

## Сосуд Мариотта

Этот опыт целесообразно проводить после опыта, в котором демонстрируется зависимость скорости истечения струи из сосуда от высоты уровня находящейся в нем воды (см. «Истечение струи»). Французский ученый Э. Мариотт предложил простой способ стабилизации скорости истечения жидкости из сосуда, которая не зависела бы от уровня этой жидкости. Свое техническое решение он опубликовал в 1686 году в ряду описаний множества других устройств с перетекающими жидкостями.

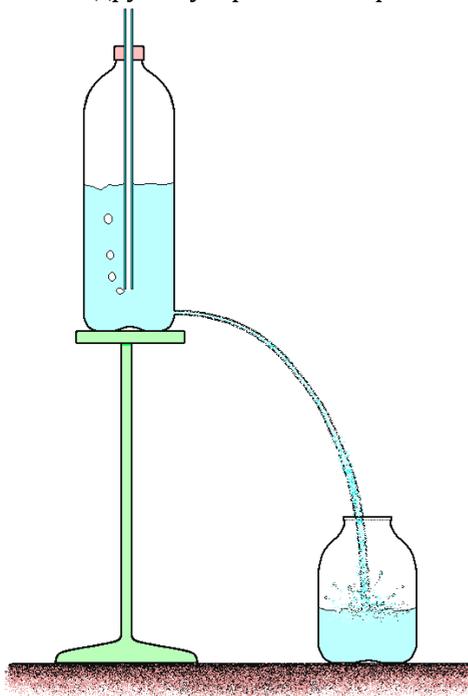


Рис. 47. Истечение воды из сосуда Мариотта

В стенке бутылки близ ее дна делают отверстие диаметром около 3 мм. В крышке сверлят отверстие, в которое герметично вставляют стеклянную трубку, внутренний диаметр которой находится в пределах 3–6 мм. Нижний конец этой трубки при закрытой крышке должен возвышаться над отверстием в стенке на 3–5 см.

Бутылку заполняют водой, прикрыв выходное отверстие в ней пальцем. На горлышко навинчивают крышку с трубкой, и сосуд Мариотта готов. Его ставят на подставку, а на место предполагаемого падения струи — банку (рис. 47).

Убрав палец с отверстия, воде дают возможность свободно вытекать из сосуда. На протяжении опыта, вплоть до момента оголения нижнего конца трубки, скорость истечения не меняется, что фиксируется по неизменности формы струи и по тому, что эта струя все время попадает в горлышко банки.

Постоянство скорости истечения обусловлено неизменностью высоты водяного столба в сосуде, равной расстоянию от выходного отверстия до уровня нижнего конца трубки. По мере истечения воды, высвобождаемое пространство в сосуде занимает атмосферный воздух, проникающий туда через трубку и толщу воды в виде цепочки пузырьков.

Если для изготовления такого сосуда Мариотта под рукой не окажется нужной трубки, то можно воспользоваться другим устройством (рис. 48). Его делают из двух одинаковых бутылок. Верхнюю половинку одной из бутылок отрезают, а в ее стенке так же, как и в сосуде Мариотта, делают сливное отверстие.

В дне второй бутылки делают небольшое отверстие для прохода воздуха. Эту бутылку заполняют водой и, опрокинув, вставляют в обрезанную бутылку, причем горлышко должно располагаться на 3–6 см выше сливного отверстия. Стенки обеих бутылок должны плотно прилегать друг к другу.

Сначала часть воды из опрокинутой бутылки быстро переливается вниз и заполняет полость нижней бутылки до уровня горлышка. Затем перелив прекращается, так как этому препятствует запертый между бутылками воздух. После этого из сливного отверстия появляется струя.

Скорость истечения задается превышением уровня воды в нижнем сосуде (или уровня горлышка опрокинутой бутылки) над сливным отверстием. Поскольку в ходе эксперимента эта величина остается постоянной, то и скорость истечения воды будет неизменной.

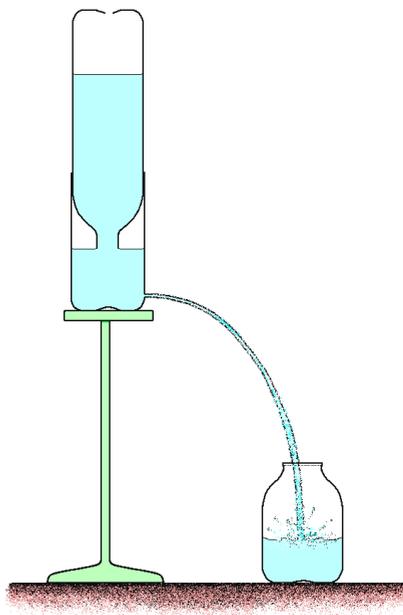


Рис. 48. Сосуд Мариотта-2

Наконец приведем еще один, пожалуй, самый простой способ сделать скорость истечения постоянной. Здесь потребуется бутылка, в боковой стенке которой сделаны два отверстия на разных уровнях. Горлышко бутылки надо плотно закрыть крышкой. Вода из этой бутылки течет лишь из нижнего отверстия (рис. 49). А через верхнее отверстие в бутылку будет входить воздух в виде цепочки пузырьков. Скорость истечения струи здесь определяется величиной давления водяного столба, заключенного между верхним и нижним отверстиями.

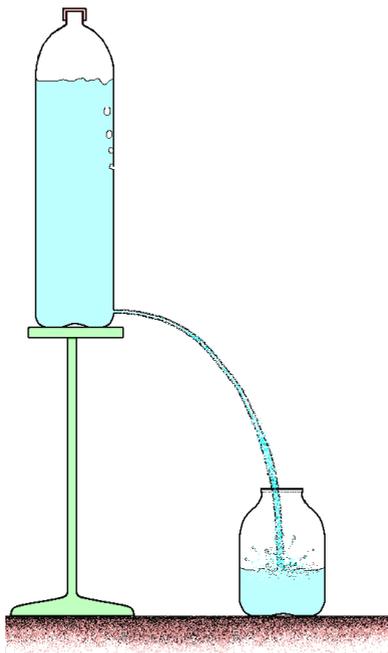


Рис. 49. Сосуд Мариотта-3

## Опрокинутая бутылка

Этот опыт можно использовать при изучении понятий силы тяжести и веса. Перед демонстрацией опыта ученикам надо задать вопрос: «Весит ли вода в открытой и опрокинутой бутылке?» Ответ обычно звучит так: «Нисколько не весит, поскольку вода из бутылки после ее опрокидывания выльется». Ответ правильный, но лишь при условии, что вода из опрокинутой бутылки действительно выльется. А разве может быть иначе? Да, может.

Для проведения опыта нужна бутылка и миска с водой. Заполненную водой бутылку (без крышки) опрокидывают, и погружают ее горлышко в миску. Вода из бутылки вытекать не будет, так как этому препятствует превышение давления снаружи бутылки над давлением внутри нее. Вес находящейся в бутылке воды ощущается по усилию, необходимому для удержания ее в руке.

## Вязкость воздуха

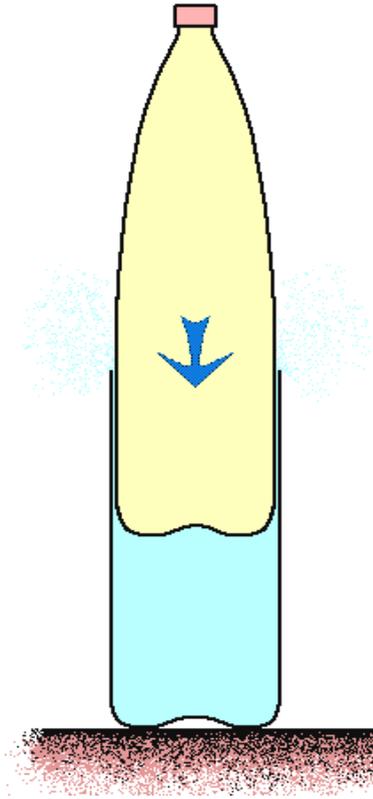
Вязкость, или внутреннее трение, — это свойство текучих тел (газов и жидкостей) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Благодаря этому свойству летают птицы и насекомые, плавают рыбы. Вязкость среды обязательно учитывают при проектировании и строительстве газо- и нефтепроводов, водопроводов, турбин, насосов, самолетов, кораблей. Также и состояние здоровья объективно оценивают по вязкости крови, отражающейся в реакции оседания эритроцитов (РОЭ).

Возникновение вязкости в газе связано с тепловым движением его молекул, приводящим к обмену импульсами между слоями газа, перемещающимися относительно друг друга. Механизм вязкости в жидкости несколько сложнее, поскольку из-за межмолекулярного взаимодействия подвижность ее молекул ограничена. Поэтому молекулы текущей жидкости проникают в соседние слои лишь при появлении в них полостей.

Для опыта нужно подобрать пару таких бутылок, чтобы диаметры их стенок отличались лишь чуть-чуть. Такую пару можно подобрать среди полуторалитровых бутылок, поскольку они распространены больше других и производятся с большим разнообразием форм и размеров. У бутылки большего диаметра отрезают ее верхнюю, суживающуюся часть, чтобы получился высокий цилиндрический стакан. Вторая бутылка должна входить в этот стакан с минимальным зазором.

Опыт показать просто. На стол ставят стакан из бутылки, а в него вставляют доньшко целой бутылки. Бутылку отпускают, и она под действием силы собственной тяжести и силы трения выдавливаемого через зазор воздуха медленно и плавно погружается в стакан. В хорошо подобранной паре бутылки со стаканом время погружения составляет не менее трех секунд. Если стакан и бутылка различаются еще и расцветкой, то демонстрация опыта весьма впечатлительна (*рис. 50*).

Опыт можно продолжить. Погруженную в стакан бутылку надо взять за горлышко и приподнять. Вместе с бутылкой поднимется также и стакан. Затем этот стакан будет медленно сползать с бутылки вниз.



*Рис. 50.* Демонстрация  
вязкости воздуха

В обоих случаях относительные перемещения бутылки и стакана являются прямолинейными и равномерными. А это значит, что в соответствии с первым законом Ньютона сумма сил, действующих на движущуюся бутылку (или стакан), равна нулю. При этом сила тяжести движущейся бутылки (или стакана) уравновешивается силой внутреннего трения в воздухе, обусловленного его вязкостью.

## Искрящаяся струя

В этом зрелищном опыте демонстрируется распространение света в водяной струе, вытекающей из отверстия в боку бутылки. Результат получается тем эффектнее, чем ярче световой источник и чем лучше затемнено помещение, в котором проводят опыт. Для увеличения продолжительности демонстрации следует использовать бутылку большой емкости, например, пятилитровую.

Свет, направленный в струю, далее распространяется в ней благодаря явлению внутреннего отражения (рис. 51). Однако отражение здесь неполное. При каждом отражении часть световых лучей выходит за пределы струи. Выглядит такая струя искрящейся из-за наличия множества бликов на ее поверхности.

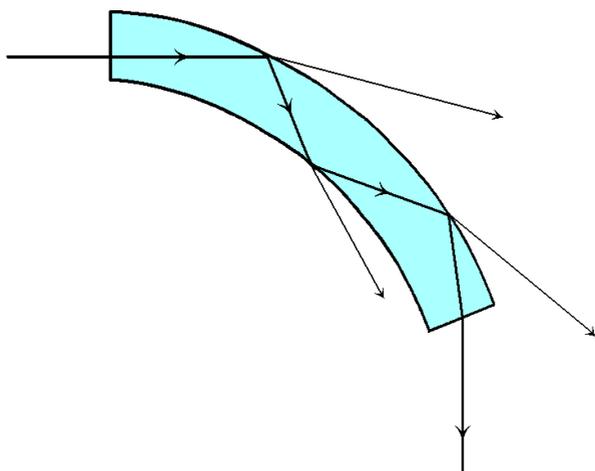


Рис. 51. Струя-световод

В качестве источника света удобно использовать диапроектор, причем желательно, чтобы источником света в нем была галогеновая лампа, поскольку такая лампа излучает световой поток большой интенсивности.

В кадровое окно проектора вместо диапозитива (слайда) устанавливают диафрагму с круглым отверстием. Чтобы изготовить такую диафрагму, надо вставить в диапозитивную рамку

кусок фольги. Центральную часть фольги надо проткнуть иглой, после чего в фольге должно остаться отверстие диаметром приблизительно 1,5 мм.

В нижней части боковой стенки бутылки надо просверлить отверстие диаметром 3–4 миллиметра. Бутылку заполняют водой, плотно закрывают крышкой и ставят на край стола или же на подставку высотой 40–60 см. Хотя это отверстие и открыто, но вода из него вытекать не должна благодаря разности давлений внутри и вне бутылки, что позволяет настраивать установку к работе.

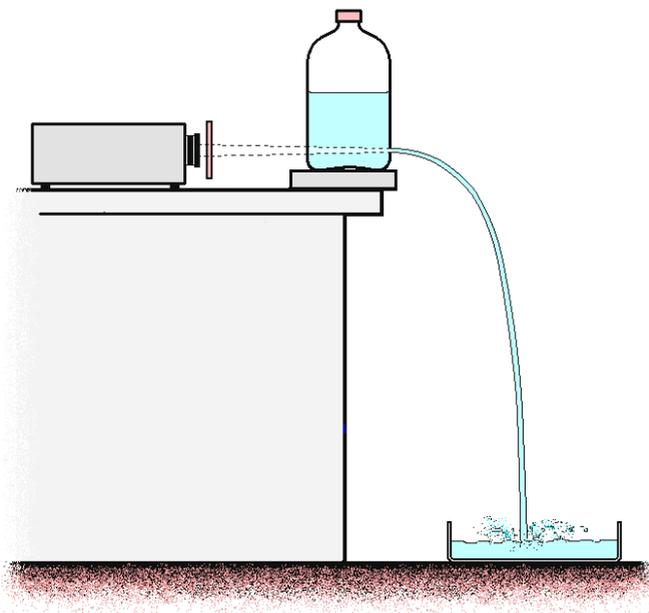
Вышедший из проектора узкий световой пучок направляют сквозь толщу воды на отверстие в стенке бутылки. Для проектора подбирают такое положение, чтобы контур сечения сфокусированного светового пучка совпал с контуром этого отверстия. В толще воды при этом наблюдается яркий световой шнур.

Отвинтив крышку, позволяют воздуху проникнуть в бутылку. В результате из ее бокового отверстия потечет светящаяся водяная струя (рис. 52). Если демонстрацию опыта осуществляют при полном затемнении, то вид изогнутой, искрящейся струи создает у наблюдателей весьма яркое впечатление.

Для усиления эффекта можно потрясти испачканной в мелу сухой тряпкой над промежутком между проектором и бутылкой. Тогда становится видимым еще и участок распространения светового пучка в воздухе. При этом можно обратить внимание наблюдателей на прямолинейность светового пучка при его распространении, как в воздухе, так и в воде.

Можно, наконец, продемонстрировать струи, окрашенные в разные цвета: красный, зеленый, голубой и др. Для этого на пути выходящего из проектора светового пучка поочередно ставят соответствующие светофильтры. Их можно сделать также из бутылки. Для этого из боковой стенки бесцветной бутылки надо нарезать небольшие кусочки и затем закрасить их фломастерами.

Появление в продаже небольших лазеров (например, лазерных указок), излучающих свет в различных диапазонах длин волн белого света, позволяет существенно упростить технологию демонстрации этого опыта. Кроме того, замена проектора лазером повышает и эффективность демонстрации.



*Рис. 52. Схема подсветки струи*

## Больше бутылки

Идея и название этого опыта заимствованы из старинной книги 19 века «Научные забавы» замечательного французского популяризатора физики Тома Тита. Хотя он рекомендует использовать в опыте стеклянную бутылку, но отличный результат получается также и с бутылкой из пластика.

Правой рукой надо взять за доньшко полутора или двухлитровую пластиковую бутылку. Ладонь левой руки, а точнее, основание большого пальца, прижимают к бутылочному горлышку так, чтобы осталась лишь узкая щель (рис. 53). Краю этой щели надо плотно обхватить губами и с силой выдохнуть через нее воздух в бутылку, создав тем самым избыточное давление в ней. Не прекращая компрессию, резким поворотом левой ладони надо быстро перекрыть эту щель. После этого воздуха в бутылке будет «больше» объема самой бутылки.

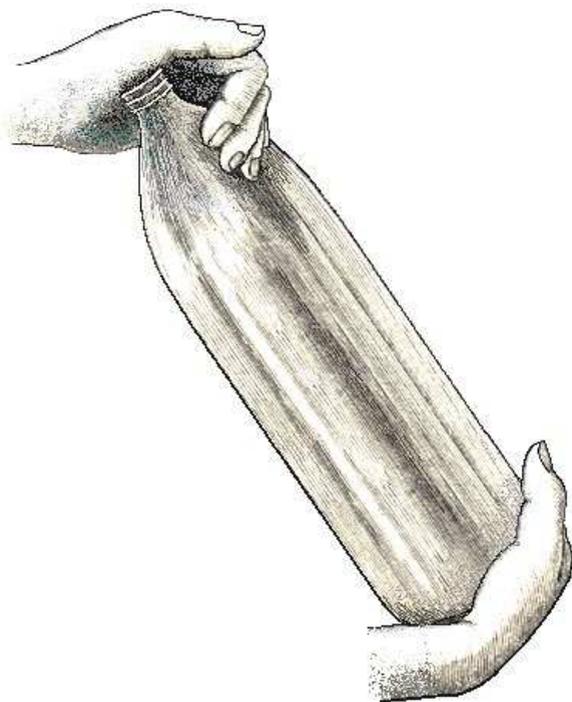


Рис. 53. Положение бутылки перед закачкой воздуха

Если теперь горлышко этой бутылки расположить в 3–5 см сбоку от пламени свечи и чуть приоткрыть щель, то струя вырвавшегося из нее избыточного воздуха эту свечу погасит.

А вот другой вариант демонстрации повышенного давления воздуха в бутылке. Предварительно в бутылку наливают 100–200 мл воды, а затем в нее закачивают воздух описанным выше способом. Бутылку наклоняют горлышком вниз и чуть приоткрывают щель у горлышка. Оттуда при этом вырывается тугая струя воды, брызги которой отлетают на расстояние до 2 м (рис. 54).

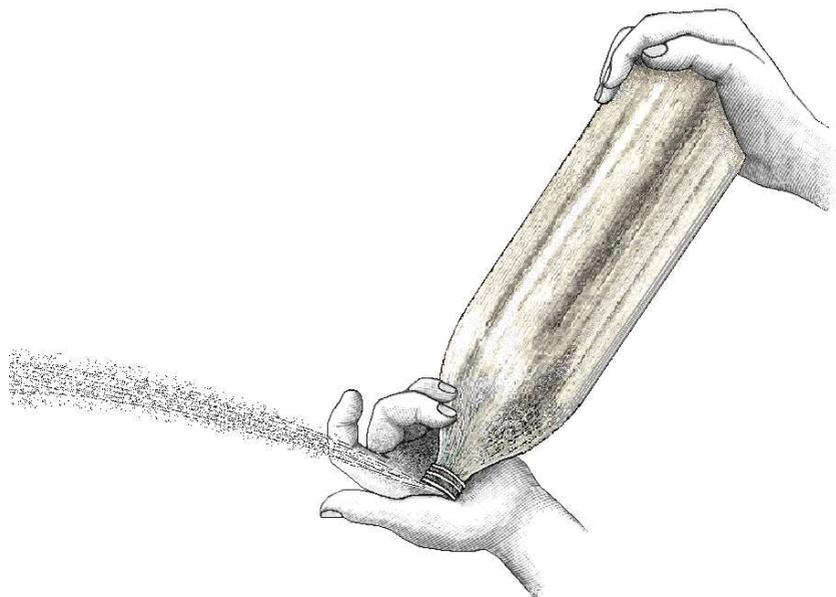


Рис. 54. Сжатый воздух выбрасывает струю воды

## Если дунуть в бутылку-2

Техника выполнения этого акустического опыта весьма проста. Нужны лишь две пустые бутылки: одна — емкостью полтора-два литра, а другая — около полулитра. Надо приставить к нижней губе горлышко одной из бутылок и слегка подуть над ним в горизонтальном направлении. При этом возникает гудящий утробный звук — бутылка «поет».

То же самое затем проделывается со второй бутылкой. Звучать она будет уже иначе. Тональность извлекаемого звука определяется размерами и формой бутылки. Почему же бутылка звучит при обдувании ее горлышка? Как появляется в ней звук?

Выдуваемая воздушная струя, ударившись о горлышко, разбивается на вихри с характерными для них перепадами



Рис. 55. Образование звука в «поющей бутылке»

давления и плотности (рис. 55). Эти локальные воздушные неоднородности и являются зародышами звуков. Возникшие у горлышка слабые звуковые колебания различных частот распространяются в полость бутылки и, многократно отражаясь от ее стенок, образуют множество накладывающихся друг на друга звуковых волн.

Обдуваемая бутылка представляет собой акустический резонатор, теория которого была разработана Гельмгольцем и Рэле-

ем. Характерной особенностью акустического резонатора является способность совершать низкочастотные собственные колебания, длина волны которых значительно больше разме-

ров самого резонатора. Собственная частота резонатора вычисляется по формуле:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}},$$

где  $c$  — скорость звука в воздухе,

$S$  и  $l$  — площадь поперечного сечения и длина резонатора соответственно,

$V$  — объем резонатора.

Данное явление используется в музыкальных духовых инструментах. А поскольку высота звучания оркестровых труб определяется их размерами, то для извлечения звуков низкой частоты нужно, чтобы резонатор был больших размеров. Поэтому духовые инструменты среднего и нижнего регистров: теноры, баритоны, басы — представляют собой многометровую металлическую трубу, свернутую для удобства пользования в компактную спираль.

Эффект поющей бутылки в старину использовали для озвучивания жилищ. Для этого в стены строящегося дома закладывали разные сосуды (горшки, бутылки) так, чтобы их горлышки располагались заподлицо с наружной поверхностью стены. И стоило подуть ветру, как дом «оживал», наполняясь необычными протяжными звуками, причем со сменой направления ветра или при изменении его скорости изменялся и характер звучания стен.

## Звонящая бутылка

В этом опыте демонстрируется зависимость высоты и тембра звука от давления воздуха. Для этого требуются две идентичные бутылки емкостью 1,5–2 л, небольшая палочка (карандаш) и велосипедный насос. Крышку одной из бутылок надо оборудовать воздушным клапаном. О том, как сделать такой клапан, подробно описано в опыте «Туман в бутылке».

Сначала демонстрируют идентичность звучания обеих бутылок. Для этого бутылки берут за горлышки и, поочередно постукивая карандашом по их стенкам, обращают внимание наблюдателей на то, что извлекаемые из них звуки одинаково непродолжительные и «глухие».

Затем бутылку, оборудованную клапаном, соединяют с насосом и закачивают в нее воздух. Эффект получается тем заметнее, чем большее давление создано в бутылке. Если теперь постучать по бутылкам, то разница в их звучании становится заметной, причем звук от накачанной бутылки звонкий, более громкий и продолжительный, как от барабана, а от контрольной бутылки остается прежним.

При ударе по бутылке ее стенка упруго деформируется (рис. 56) и затем совершает несколько быстрых порождающих

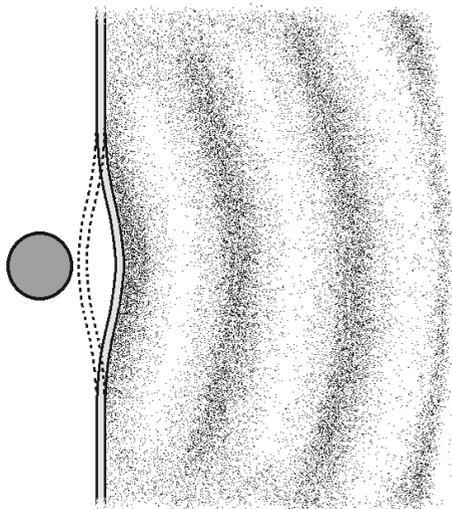


Рис. 56. Образование звуковых волн в бутылке

звук затухающих колебаний. Возникшие звуковые колебания усиливаются в полости бутылки, которая выполняет здесь функцию акустического резонатора (о резонаторе см. предыдущий опыт «Если дунуть в бутылку-2»). А так как в накачанной бутылке плотность воздуха возросла, то возросла и скорость и, соответственно, частота порождаемых звуковых колебаний.

## Свисток

Чтобы смастерить один хороший свисток, надо запастись двумя-тремя бутылками различной формы и вместимости и десятком крышек к ним. В этих крышках надо просверлить по одному отверстию, причем, отверстия эти должны различаться диаметрами. Их величина должна находиться в пределах 4–5 миллиметров. У бутылок же надо отрезать их доннюю часть. Еще понадобится высокая банка с водой. В качестве такой банки удобно использовать двухлитровую цилиндрическую бутылку, у которой отрезана часть, суживающаяся к горлышку.

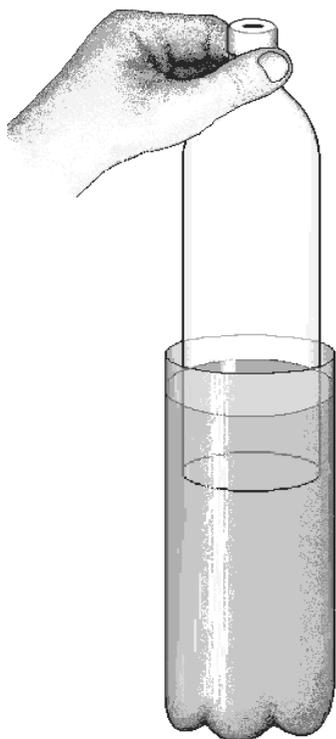


Рис. 57. Свисток

Держа за горлышко бутылку с плотно навинченной на нее крышкой, надо плавно погрузить ее в банку с водой (рис. 57). При правильно подобранных условиях опыта (здесь важны форма и размеры бутылки, диаметр отверстия и скорость погружения) возникает свист. Если же бутылка шепелявит или же вовсе не звучит, то надо либо сменить на ней крышку, либо к данной крышке подобрать другую бутылку. Комбинируя в разных сочетаниях просверленные крышки и бездонные бутылки и, сравнивая воспроизводимые при этом звуки, можно подобрать такую их комбинацию, чтобы издаваемый звук был «чистым» и достаточно громким.

Более того, таким подбором можно добиться того, чтобы свист возникал как при погружении, так и при подъеме бутылки. Опыт получается весьма эффектным, если сделать две различно звучащие бутылки. И тогда, взяв в каждую руку по бутылке и попеременно окуная их в ведро с водой, можно получить подобие какой-нибудь мелодии.

При изготовлении музыкальных бутылок следует обратить внимание на то, что характер их звучания в значительной степени зависит от конструкции крышки. На внутренней стороне некоторых крышек имеется мягкая прокладка, обеспечивающая герметичность укупорки, а на других вместо прокладки сделан выступающий ободок.

Значительное влияние на характер звучания оказывает также и то, каким инструментом было сделано отверстие в крышке. Так, например, при наличии малозаметных зазубрин на кромке отверстия, оставшихся после сверления, бутылка может издавать весьма громкий свист, а стоит эти зазубрины убрать, и способность свистеть пропадет. Еще способность издавать свист может нарушиться, если края отверстия смочены водой, а также при неплотно завернутой крышке. Поэтому способные к свисту крышки лучше хранить в предназначенной для них коробочке, чтобы не испортить, ненароком, их «музыкальный талант».

Почему же бутылка звучит? Дело в том, что при погружении бутылки в воду воздух из нее вытесняется наружу, а при подъеме, наоборот, воздух устремляется внутрь, причем эти воздушные потоки имеют наибольшую скорость при прохождении через отверстие в крышке. В этот момент воздушная струя разбивается на отдельные вихри. Эти периодически возникающие неоднородности давления в воздухе и являются источником звуковых колебаний. Затем эти колебания усиливаются полостью бутылки, служащей звуковым резонатором.

## Трение

В серии этих опытов демонстрируют влияние трения на перемещение катаемых бутылок. Для этого нужны прямоугольное оконное стекло 30×50 см толщиной 5–6 мм и деревянный брусок 2×4×30 см. Подкладывая этот брусок разными гранями под разные стороны стеклянного полотна можно получить, в зависимости от условий опыта, наклонные плоскости с различной длиной ската и с разным углом наклона.

Поскольку скатившаяся с горки бутылка может продвигаться на значительное расстояние, то эти опыты следует проводить на полу. Поверхность пола должна быть горизонтальной, жесткой и гладкой.

Бутылки должны быть емкостью 1,5–2 л и цилиндрической формы. По горизонтальной поверхности они должны катиться вдоль прямой. Одну из бутылок заполняют водой. Вторую бутылку заполняют сухим песком, причем этот песок не должен пересыпаться в бутылке при ее переворачивании. В третьей же бутылке песок, также сухой, должен занимать две трети ее объема и свободно пересыпаться при наклонах и поворотах бутылки.

В первом опыте демонстрируют зависимость пути, проходимого катящейся бутылкой, от сообщенной ей энергии. Для этого заполненную песком бутылку кладут боком на вершину наклонной плоскости малой высоты и отпускают. Скатившись на горизонтальную поверхность, бутылка катится с замедлением, обусловленным воздействием на нее силы трения, останавливается, продвинувшись на некоторое расстояние.

Повернув установленный под стеклом брусок, увеличивают высоту горки и снова спускают с нее ту же бутылку. В этом случае она продвигается заметно дальше. Поскольку место отправления при этом располагается выше предыдущего, то и потенциальная энергия бутылки в начале движения больше. А большой запас энергии в начале движения означает, что и продвинуться бутылка может на большее расстояние.

Во втором опыте (рис. 58) демонстрируется зависимость пути, проходимого катящейся бутылкой, от коэффициента трения. Для этого бутылку, заполненную песком (или водой) спускают с горки и, наблюдая ее замедляющееся движение по горизонтальной поверхности, отмечают место ее остановки.



Рис. 58. Движение бутылки по песчаной дорожке

Затем на горизонтальном участке пути под горкой на протяжении 1,5–2 метров рассыпают горсть песка и снова скатывают ту же бутылку с прежнего места. В этом случае расстояние, на которое продвигается бутылка до полной остановки, существенно короче.

Большое трение при перемещениях по песчаной дорожке используют в гололедицу, для чего тротуары и проезжую часть улиц посыпают песком. Загородные шоссе для повышения безопасности езды имеют обочины — грунтовые полосы, заехав на которую мчащийся автомобиль быстро теряет скорость.

Показ следующего опыта можно представить в виде экспериментальной задачи. Нужны две одинаковые бутылки: одна из них должна быть заполнена водой, а другая — песком. Наклон ската должен быть минимальным. Демонстрацию надо предварить обращенным к наблюдателям вопросом: «Какая из этих бутылок прокатится дальше, если их скатить с горки с одной и той же высоты?».

Сначала с горки скатывают бутылку с водой. Разогнавшись на спуске, по горизонтальной поверхности она катится весьма далеко. Затем из такой же позиции скатывают бутылку с песком. Путь этой бутылки оказывается значительно короче.

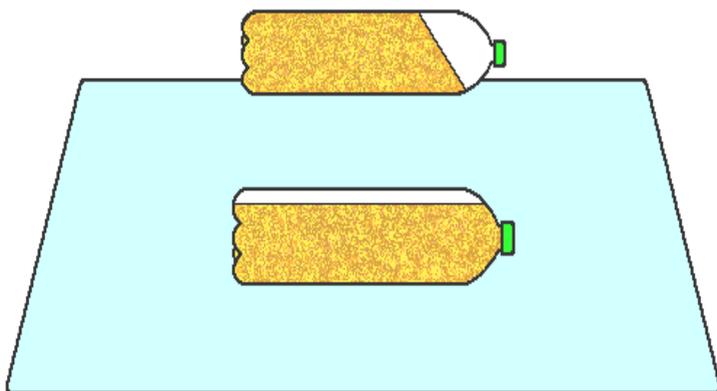
Различие в поведении бутылок можно объяснить так. В первом случае находящаяся в бутылке вода из-за малости силы внутреннего трения в ней и незначительной продолжительности движения не успевает раскрутиться в бутылке и потому движется поступательно. Во втором случае бутылка и находящийся в ней песок двигаются, как целое твердое тело. Фактором, определяющим продвижение этой бутылки, является трения качения, которое в данном опыте оказывается больше жидкого трения.

В следующей экспериментальной задаче используется бутылка, заполненная песком частично. Горка же должна быть

больше. Ее скат делают из толстого оконного стекла длиной около 120 см и шириной 40 см. Высота подставки 10–15 см.

Перед проведением опыта экспериментатор озадачивает наблюдателей вопросом: «До какого места докатится бутылка, если ее отпустить с вершины горки?» В своих прогнозах наблюдатели обычно указывают место, отстоящее на несколько метров от основания ската.

Бутылку встряхивают, держа ее в вертикальном положении, а затем, плавно наклонив, кладут на вершину наклонной плоскости и отпускают. Под действием силы тяжести она сначала катится вниз с некоторым ускорением. Докатившись примерно до середины склона, бутылка самопроизвольно замедляет свое движение и останавливается, так и не скатившись на горизонтальную поверхность! На *рис. 59* эта бутылка изображена на наклонной плоскости в двух положениях: в начале движения и в момент остановки.



*Рис. 59.* Демонстрация внутреннего трения

Самопроизвольное торможение катящейся бутылки объясняется различием в поведении песчинок в ней в начале движения и через некоторое время после этого. В момент, когда бутылку кладут на вершину наклонной плоскости, песчинки в ней располагаются более или менее плотно друг к другу, поскольку их перед этим встряхнули. А так как пустот между песчинками немного, то в начале скатывания песок движется преимущественно как единое с бутылкой тело, почти не пересыпаясь. Это означает, что внутреннее трение в бутылке

при этом относительно невелико, что позволяет ей свободно катиться вниз с некоторым ускорением.

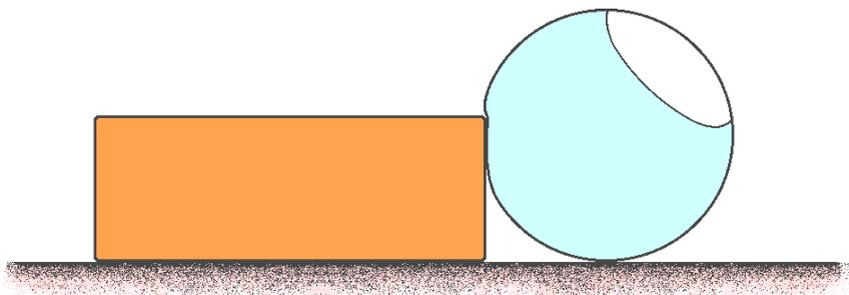
При скатывании бутылки песок в ее полости пересыпается и перераспределяется, что приводит к возникновению двух механизмов ее торможения. Во-первых, скатывающий бутылку момент силы тяжести постепенно уменьшается и становится равным нулю, когда свободная поверхность песка становится горизонтальной. Во-вторых, количество одновременно пересыпающихся песчинок, длина их перемещений и размеры пустот среди них увеличиваются, что в совокупности приводит к возрастанию силы внутреннего трения в бутылке. Следует так подобрать соотношение между наклоном ската, его протяженностью и количеством песка в бутылке, чтобы бутылка оставалась в конце ската.

Расходование энергии движения бутылки можно осуществить еще соударением ее о твердую массивную преграду. Такой преградой может служить кирпич, установленный на расстоянии около двух метров от нижнего конца наклонной плоскости. Массивность преграды при необходимости можно увеличить, положив сверху на этот кирпич еще один. Если заполненную водой бутылку спустить с наклонной плоскости, то она, прокатившись по столу, ударяется о кирпич и возвращается назад, к основанию наклонной плоскости.

Затем из бутылки отливают примерно пятую часть ее содержимого и снова повторяют опыт. Однако на этот раз бутылка после соударения с кирпичом преодолевает лишь половину первоначального обратного пути. Куда же в этом случае подевалась энергия, необходимая для возврата бутылки на прежнее место?

Дело в том, что в течение времени контакта бутылки с покоящимся кирпичом, она практически неподвижна. Однако вода в бутылке все еще продолжает двигаться по инерции дальше. Но, поскольку этому препятствует неподвижная бутылочная стенка, то вода волной накатывается на эту преграду (рис. 60).

До соударения вода в бутылке находилась в состоянии равновесия, а ее свободная поверхность была горизонтальной. Соударение вывело воду из этого состояния и привело ее в колебательное движение. На возбуждение этих колебаний и была израсходована та часть кинетической энергии, которой не хватило для возвращения бутылки на прежнее место.



*Рис. 60.* Соударение бутылки с кирпичом

Наконец, приведем еще одну демонстрацию эффекта, обусловленного проявлением внутреннего трения. Если между трущимися поверхностями двух твердых тел ввести тонкий слой жидкости, то трение между этими поверхностями уменьшается во много раз. Для демонстрации этого эффекта нужна бутылка большой емкости со стенками цилиндрической формы, заполненная водой и плотно закупоренная. Если снаружи эта бутылка сухая, то, обхватив ее сбоку пальцами одной руки, можно легко удерживать ее на весу.

Затем бока бутылки надо натереть мокрым мылом, а ладонь — смочить водой. Тогда все попытки взять эту бутылку прежним способом не увенчаются успехом, поскольку она, стоит лишь сдавить на ней пальцы, выскальзывает из руки.

## Реакция струи

Одно из проявлений реактивной силы, возникающей при истечении струи, ранее уже было представлено в этой книге при описании опыта с бутылкой-ракетой (см. «Ракета»). Здесь же представлен другой вариант проявления силы реакции вытекающих из бутылки водяных струй, которые заставляют эту бутылку вращаться.

Дно бутылки должно иметь хорошо выраженные рельефные выступы. Чаще всего встречаются бутылки с пятью выступами. Однако бывают бутылки и с четырьмя, и с шестью выступами, которые для данного опыта (рис. 61) предпочтительнее, поскольку количеством этих выступов определяется количество истекающих струй. А чем больше струй, тем зрелищнее демонстрация.

В каждом из выступов с помощью разогретого на пламени шила протыкают по одному отверстию диаметром 1,5–2 мм. Все отверстия должны располагаться по одну сторону выступов и так, чтобы вода из них вытекала горизонтально и в одном направлении, например, по ходу часовой стрелки.

Еще надо сделать два отверстия в плоской части крышки. Через отверстие, сделанное в центре крышки, продевают тонкую леску. С внутренней стороны крышки на леске завязывают узелок, удерживающий на весу эту крышку, а вместе с ней и бутылку с водой.

К другому концу лески привязывают колечко, за которое удерживают конструкцию во время опыта. В качестве такого колечка удобно

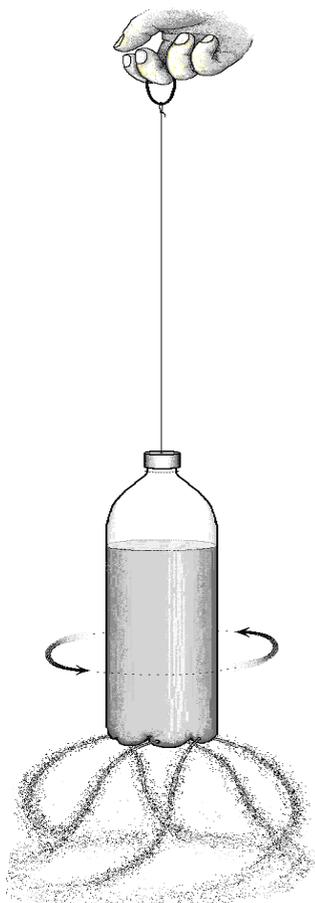


Рис. 61. Реактивная карусель

использовать ободок от крышки, остающийся на горлышке бутылки после ее раскупоривания. Второе отверстие в крышке нужно для доступа воздуха в бутылку.

Перед проведением опыта бутылку заполняют водой, закрывают крышкой, снабженной леской с колечком, и помещают в емкость с водой. В качестве такой емкости удобно использовать бутылку больших размеров без горловины. Для демонстрации опыта надо лишь вынуть бутылку из емкости и подвесить ее на леске, держа за колечко. Вытекающие из бутылки водяные струйки приводят бутылку в быстрое вращение, а сами они при этом образуют блестящий купол из брызг.

## Емкость для зарядов

Емкость эта электрическая, а речь далее пойдет о конденсаторе — устройстве для накопления и хранения электрических зарядов. Вот как описывается изобретение конденсатора.

«Первый конденсатор был невольно устроен деканом Каминского капитула в Померании фон Клейстом в 1745 г. Желая наэлектризовать ртуть в стеклянной бутылки, он пропустил через пробку железный стержень до погружения его в ртуть. Затем, держа бутылку в руке, привел стержень в соприкосновение с кондуктором электрической машины. Нечаянно дотронувшись после этого другой рукой до того же кондуктора, Клейст в то же мгновение почувствовал сильное сотрясение в плече и локте.

В следующем году то же самое явление было обнаружено в Лейдене (Голландия). Профессор Мушенбрек поручил своему ассистенту Кунеусу наэлектризовать воду, налитую в бутылку. Держа последнюю в одной руке, Кунеус другой рукой потянулся, чтобы удалить металлическую цепочку, соединявшую бутылку с кондуктором машины, и в этот момент почувствовал сильное мышечное сотрясение.

Лейденская банка, как назвал описываемый прибор аббат Нолле, вскоре сделалась весьма популярной, и многим захотелось испытать на себе её электрическое воздействие. Для быстрого удовлетворения любопытства своих посетителей Нолле предлагал им братья за руки так, чтобы они образовывали живую цепь. На одном конце этой цепи становился он сам, держа в свободной руке наэлектризованную лейденскую банку, а участник действия, находившийся на другом конце, свободной рукой касался проводящего стержня, пропущенного сквозь пробку банки. Так именно был произведен этот опыт в Версале в присутствии Людовика XIV и его двора. Цепь составлялась двумястами сорока гвардейцами, и каждый из них пытал мышечное содрогание, произведенное электрическим разрядом.

Лейденская банка до такой степени вошла в моду, что ее стали готовить в форме тросточек и других вещей обихода, благодаря чему каждый получал возможность испытать терпение своих приятелей.

Современная лейденская банка представляет собой цилиндрический сосуд из диэлектрика, наружная и внутренняя поверхности которого обклеены фольгой.

Чтобы изготовить лейденскую банку — конденсатор, нужны две бутылки с ровными цилиндрическими боковыми стенками, которые должны незначительно отличаться своими диаметрами. У большей бутылки отрезают ее верхнюю, суживающуюся к горлышку, часть. В нее должна свободно вкладываться бутылка меньших размеров.

Наружную поверхность меньшей бутылки (кроме суживающейся к горлышку части) обклеивают фольгой, которая будет одной из обкладок конденсатора. Второй обкладкой служит мишура для новогодней елки (разноцветные полоски металлизированной пленки), помещенная внутрь этой бутылки.

Выводы конденсатора делают из двух кусков мягкого высоковольтного провода длиной по 50 см. Можно выводы сделать и из многожильного монтажного провода, пропустив его для улучшения изоляции через полихлорвиниловую трубку. На каждом проводе, на расстоянии 15–20 см от конца завязывают узелок, а сам конец оголяют от изоляции.

В крышке целой бутылки и в дне обрезанной бутылки разогретым на пламени шилом делают по отверстию диаметром 4–5 мм. Один провод продевают изнутри через отверстие в дне обрезанной бутылки, а второй — через крышку целой бутылки (рис. 62). Емкость такого конденсатора составляет около 500 пф.

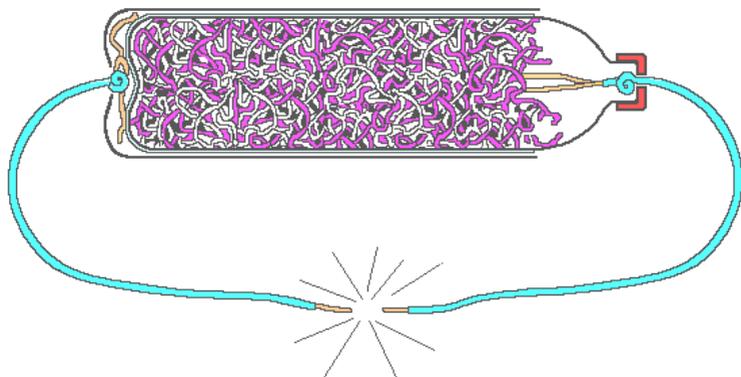
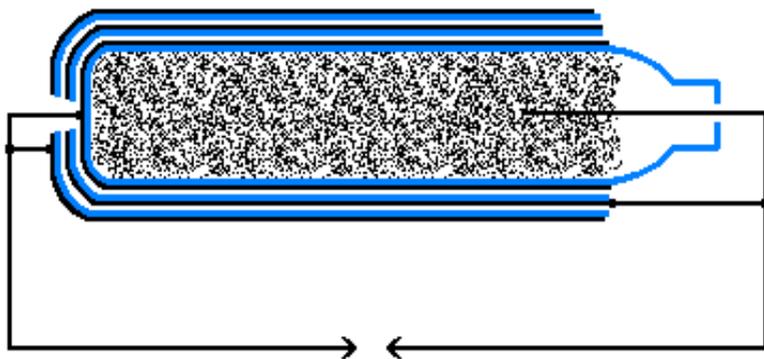


Рис. 62. Конструкция конденсатора

Чтобы продемонстрировать способность этого конденсатора накапливать и хранить электрические заряды, его сначала заряжают. Для этого надо прикоснуться его выводами к электродам работающей электрофорной машины. Затем эти концы следует сблизить на расстояние до одного сантиметра, и тогда между ними проскакивает электрическая искра.

Поскольку при нормальных условиях электрический пробой воздуха происходит при напряженности электрического поля около 30 кВ/см, то получается, что разность потенциалов между обкладками конденсатора составляет не менее 30000 вольт. По известным величинам электроемкости конденсатора и напряжения между его обкладками легко подсчитать величину заряда на нем, который в нашем случае оказывается равным 15 мкКл.

Электроемкость самодельного конденсатора можно увеличить за счет увеличения поверхности его обкладок. Для этого фольгу наклеивают еще и на наружную поверхность обрезанной бутылки. Для изоляции же этой обкладки надо подобрать бутылку еще большего диаметра. У этой бутылки также отрезают горловину и делают отверстие в дне для конденсаторного вывода. В эту бутылку вкладывают, подобно матрешке, две предыдущие. Обкладки конденсатора соединяют согласно схеме, приведенной на *рис. 63*.



*Рис. 63.* Многослойный конденсатор

## Струя в электрическом поле

В опытах по электростатике в качестве электризуемых тел обычно используют твердые предметы. В одном из представленных здесь опытов показывают, что жидкости тоже реагируют на электростатические силы.

Сначала показывают водяную струйку, вытекающую из отверстия в нижней боковой части бутылки. Отверстие должно быть диаметром около 2 мм. Наблюдатели видят, что удаляющаяся от бутылки струя под действием силы тяжести плавно изгибается и падает по дуге вниз.

Пока вода течет, экспериментатор свободной рукой берет еще одну пустую бутылку, натирает ее о шерстяную ткань, например, о рукав пиджака и затем подносит сверху эту бутылку к струйке. Струйка притягивается к наэлектризованной



Рис. 64. «Электрическая» струя

бутылке, ее траектория искривляется кверху, а сама она распадается на отдельные капли. Этот момент обычно вызывает у зрителей улыбки, смешки и оживление, поскольку он ассоциируется с незатейливой шалостью писающего мальчишки — пустить струйку повыше.

Искривление струи (рис. 64) объясняется так. Электростатическое поле заряженной бутылки индуцирует в находящейся под ней струе заряд, противоположный заряду на бутылке. Их взаимное притяжение и при-

водит к искривлению струи. Происходящий при этом распад струи на отдельные капли обусловлен также электростатическим взаимодействием между одноименно заряженными частицами воды.

Следующим опытом можно развлечься на досуге. Нужна полуторалитровая бутылка, маленький комочек медицинской

ваты и кусок шерстяной ткани. Все эти вещи обязательно должны быть сухими, причем, бутылка должна быть чистой и сухой как снаружи, так и изнутри.

Ватку надо распушить, чтобы она была как можно более рыхлой, похожей на тополиный пух, и затем положить на стол. Взяв бутылку за горлышко, надо натереть ее бока о ткань, и, тем самым, наэлектризовать ее. После поднесения наэлектризованной бутылки к ватному комочку он притянется к бутылке и прилипнет к ее поверхности. Бутылку с прилипшей к ней ваткой поднимают над столом и резко отводят в сторону так, чтобы набежавший воздушный поток оторвал ватку от бутылки. Не позволяя ватке упасть, под нее подводят эту бутылку, ватка опять прилипает к ней, и их снова разделяют. И так проделывают подряд несколько раз.

И вот, при очередном поднесении бутылки, ватка, приняв от бутылки часть ее заряда, будет отталкиваться от нее силами электростатического взаимодействия (рис. 65). И тогда можно заняться увлекательным процессом управления ваткой. Манипулируя бутылкой можно заставить ватку произвольно подниматься и опускаться, перемещаться вбок, или же неподвижно зависнуть. Если же не удастся добиться парения ватки, надо изменить условия опыта: заменить либо бутылку, либо ткань, либо вату.

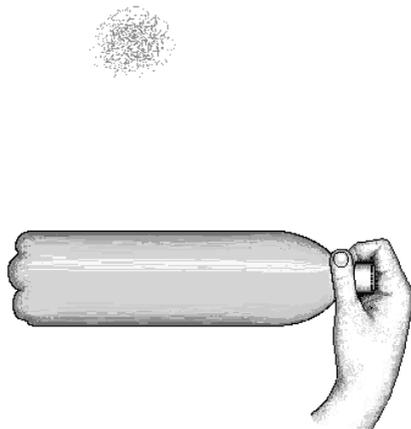


Рис. 65. Ватка, парящая над бутылкой

# Сифон

Сифон — это изогнутая трубка с коленами разной длины, по которой переливается жидкость из сосуда с более высоким уровнем в сосуд с более низким уровнем, причем верхняя часть трубки расположена выше уровня жидкости в верхнем сосуде. Чтобы сифон заработал, его необходимо заполнить предварительно жидкостью.

Действие сифона объясняется тем, что на объем жидкости, заполняющей верхнюю часть сифона, давление слева больше, чем давление справа (заштрихованный участок на рис. 66). Давление слева равно  $p_0 - \rho gh_1$ , а справа  $p_0 - \rho gh_2$ , где  $p_0$  — давление воздуха на свободную поверхность жидкости,  $\rho$  — плотность жидкости, а  $g$  — ускорение свободного падения, причем  $h_2 > h_1$ .

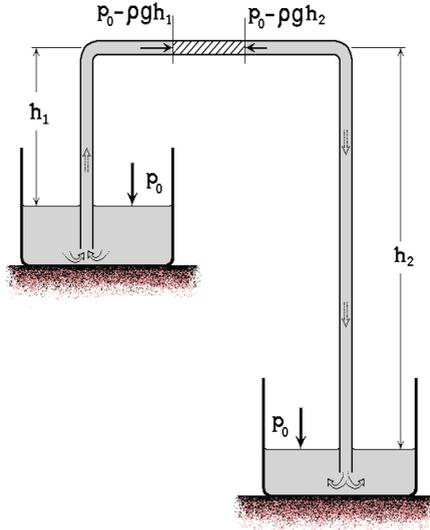


Рис. 66. Схема работы сифона

При течении жидкости по сифону в верхней его части устанавливается давление, пониженное по сравнению с  $p_0$ . Перепад давлений здесь тем больше, чем больше разность высот  $h_2 - h_1$ . При перекачивании сифоном холодной воды, находящейся под нормальным атмосферным давлением, предельная разность высот обычно не превосходит 6–7 м.

Из бутылок и трубок можно сконструировать различные конфигурации сифона. В качестве сифонной трубки удобно

использовать соломку для коктейля и сока, которую можно согнуть и зафиксировать под нужным углом, или кусок гибкого шланга. Вот одна из занятных конструкций сифона.

Бутылку с непрозрачными стенками надо разрезать поперек на две части, а в ее дне — сделать отверстие. В это отверстие с внутренней стороны бутылки вставляют конец гибкого шланга (медицинской трубки), причем края отверстия должны плотно облегать его. Шланг изгибают так, чтобы другой его конец располагался близ того же дна. Стык шланга с краями отверстия надо герметизировать, промазав его влагостойким клеем.

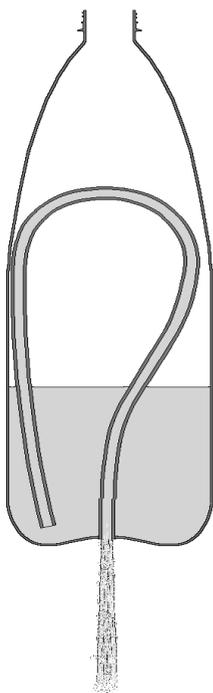


Рис. 67. Сифон

Обе части бутылки состыковывают друг с другом, а их стык скрепляют по всей длине липкой лентой. Чтобы этот стык был незаметен, на бутылку наклеивают этикетку. Получившаяся конструкция внешне ничем не должна отличаться от обычной бутылки (рис. 67).

Для демонстрации опыта бутылку «с секретом» берут за горлышко и наливают в нее воду из кувшина или из другой, обычной бутылки. И вот, начиная с некоторого момента, из дна бутылки «с секретом» вдруг появляется водяная струя, вытекающая со значительным напором. Тогда заливание воды прекращают и демонстрируют ее вытекание вплоть до полного опорожнения бутылки.

Опыт можно повторить, результат будет тот же. А после этого можно обратиться к наблюдателям с вопросом: «Почему вода, налитая в дырявую бутылку, вытекает лишь после ее заполнения?»

Ответ можно пояснить рисунком с изображением устройства этой бутылки. В начале опыта спрятанный в бутылке сифон не действует, поскольку он пуст. При заливании бутылки вода постепенно заполняет левое колено сифона. После того, как вода заполнит его, она получит возможность свободно вытекать по правому колену. И вытекать она будет до тех пор, пока не оголится находящийся в бутылке конец шланга.

## Опорожнение стакана

Использованный в предыдущем опыте сифон выполнен в классическом варианте — в виде изогнутой трубки. Однако наличие собственно самой трубки в сифоне не обязательно.

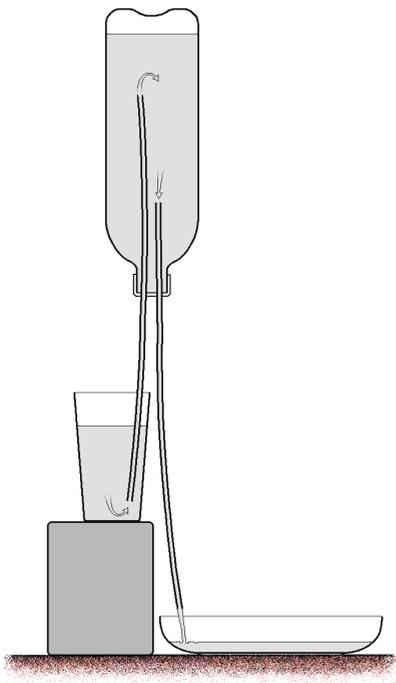


Рис. 68. Бутылка-сифон

перемещать эту воду вверх — в бутылку (рис. 68). Перетекание воды из стакана в бутылку, а из бутылки наружу, происходит до тех пор, пока не оголится конец соломки в стакане.

Опыт можно сделать привлекательнее, если в процессе его демонстрации в опорожняемый стакан подлить густой раствор марганцовки. И тогда можно видеть изливающийся в бутылке розово-фиолетовый фонтан.

В бутылочной крышке сверлят два отверстия, в которые вставляют по соломке для коктейля, причем их концы должны располагаться на разных уровнях. Стыки соломок с краями отверстий для герметичности промазывают пластилином. Небольшую бутылку заполняют водой и плотно закрывают крышкой с соломками. Бутылку опрокидывают, и тогда из соломки, наружный конец которой расположен ниже, потечет вода, а через другую соломку в бутылку будет проникать воздух на место вытекшей воды.

Затем конец соломки, засасывающей воздух, опускают в стоящий на возвышении стакан с водой. И тогда вместо воздуха она будет засасывать воду, и

она будет засасывать воду, и

она будет засасывать воду, и

## Волшебная бутылка

Волшебство этой бутылки в том, что она может превращать наливаемую в нее воду в масло: растительное, автомобильное или любое другое жидкое масло в зависимости от того, на какое из них настроена бутылка. Со стороны опыт смотрится, как забавный фокус.

На демонстрационном столе стоит непрозрачная бутылка, в пробку которой вставлены маленькая воронка и изогнутая трубка для коктейля. Демонстратор наливает в воронку воду, и несколько секунд спустя из трубки появляется струйка масла, которая стекает в подставленную под нее мензурку. Если прекращают лить воду, то перестает течь и масло; с возобновлением заливки воды начинается и выделение масла (рис. 69).

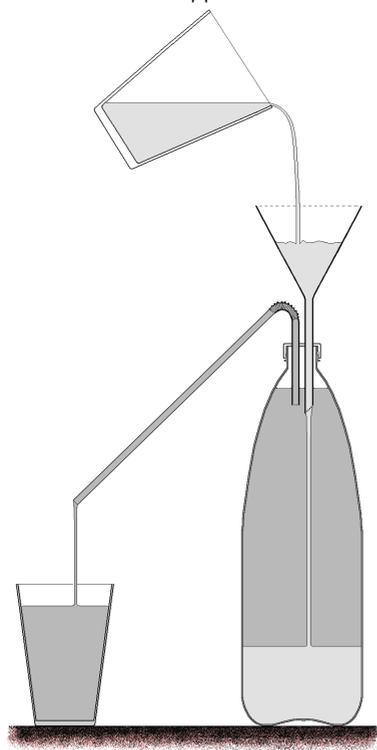


Рис. 69. Схема опыта «Волшебная бутылка»

Секрет бутылки прост. Перед тем, как представить бутылку взору наблюдателей, демонстратор заполняет ее маслом и плотно закрывает на ней крышку. В крышке имеются два отверстия, в которые герметично вставлены конец воронки и трубка для коктейлей. Последняя должна быть диаметром не менее 5 мм и иметь гофрированный участок, позволяющий зафиксировать трубку в согнутом положении.

Плотность воды больше плотности масла. Поэтому, попав в бутылку, она располагается внизу, вытесняя при этом масло по трубке вверх и далее наружу. Таким образом, с помощью одной двухлитровой бутылки можно два литра воды «превратить» в такое же количество масла.

## Поляризация

Материал, из которого делают бутылки, обладает хорошими диэлектрическими свойствами и потому может поляризоваться. Напомним, что поляризация диэлектрика — это смещение связанных положительных и отрицательных электрических зарядов в диэлектрике в противоположные стороны. Поляризация происходит под действием внешнего электрического поля или некоторых других факторов. Если бутылку поместить в электрическое поле, то в результате поляризации у нее образуются два разноименно заряженных макроскопических участка — полюса, наличие которых обнаруживается по поведению бутылки.

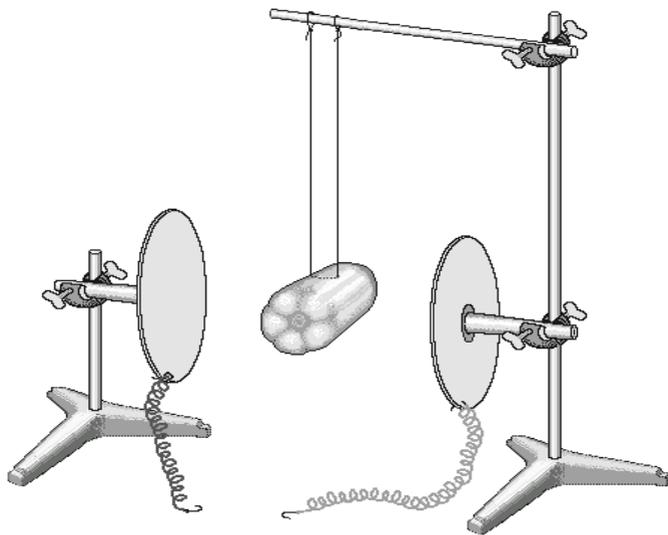
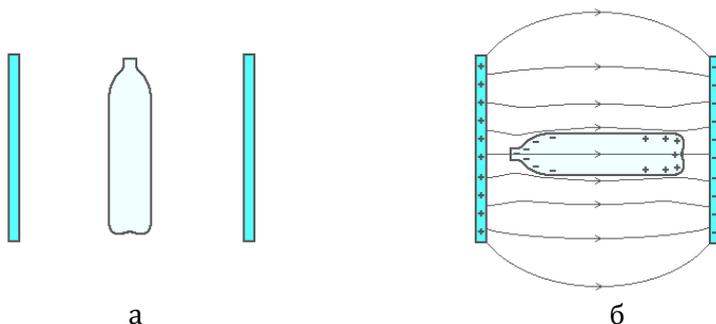


Рис. 70. Положение бутылки в отсутствие поля

Для демонстрации опыта (рис. 70) нужна небольшая бутылка емкостью 0,3–0,6 литра, электрофорная машина, демонстрационный конденсатор (две металлические пластины, снабженные рукояткой) и два штатива. В боку бутылки нагретым шилом протыкают два отверстия, в которые продевают нитку для бифиллярного подвеса. Бутылку подвешивают между вертикально закрепленными в штативе конденсаторными пластинами.

Будучи подвешенной, бутылка обычно наклоняется, а происходит это оттого, что центр ее массы располагается не под нитью. Если у бутылки перетягивает дно, то следует утяжелить ее противоположный конец, что можно сделать, навинтив крышку на горловину либо прилепив туда кусочек пластилина. Если же подвешенная бутылка склонилась в сторону горлышка, то пластилиновый комочек следует прилепить ко дну. В исходном состоянии бутылка должна располагаться между пластинами, как это показано на *рис. 71 а*.



*Рис. 71.* а — исходное положение бутылки, б — бутылка в поле заряженных пластин

С помощью соединительных проводов пластины подсоединяют к выводам электрофорной машины. Приведя машину в действие, создают между пластинами электростатическое поле. Материал бутылки в этом поле поляризуется, в результате чего на ней образуются два разноименно заряженных участка, которые вступают во взаимодействие с зарядами на пластинах.

Незначительная асимметрия во взаимном расположении бутылки и конденсаторных пластин приводит к соответствующей асимметрии распределения индуцированных на бутылке электрических зарядов, что предопределяет появление вращающего момента сил электростатического взаимодействия. В результате бутылка разворачивается (*рис. 71 б*) и становится в положение, при котором вращающий момент кулоновских сил уравнивается моментом силы упругости нитей, скрутившихся при повороте бутылки.

Затем с помощью провода замыкают пластины между собой. В результате электростатическое поле между пластинами исчезает, и бутылка возвращается в исходное положение (рис. 71 а).

При подготовке этого опыта надо иметь в виду, что разные виды бутылок и поляризуются различно. Так, бутылки со слабо выраженной поляризацией на электрическое поле практически не реагируют, и поэтому их следует сразу же отбраковать. Хорошего эффекта можно добиться, пробуя бутылочки из-под шампуня. Они для данного опыта даже предпочтительнее, поскольку выбор среди них по размеру, форме и материалу гораздо шире, чем среди бутылок из-под прохладительных напитков.

## Ракета, летающая на воде

Полет этой игрушечной ракеты, как и реальной, обусловлен реактивной силой, возникающей при выбросе вещества из корпуса ракеты наружу, в сторону, противоположную направлению движения. Для изготовления ракеты нужна бутылка емкостью 0,33–0,6 литра. В центре дна такой бутылки надо сделать сопло — круглое отверстие диаметром 8–12 мм. К соплу надо подобрать плотно закрывающую его резиновую пробку. На широком конце пробки вдоль ее диаметра надо просверлить отверстие, в которое следует продеть отрезок веревки с тем, чтобы пробка не затерялась после старта ракеты.

В бутылочной крышке монтируют ниппельный клапан от велосипедной камеры. Чтобы предохранить клапан от ударов при падении ракеты, на крышку надо надеть защитный кожух — обтекатель головной части ракеты. Для этого подойдет половинка пластмассового контейнера от «киндер-сюрприза» — детского лакомства в форме шоколадного яйца с игрушкой внутри. Для стабилизации полета внутри обтекателя надо закрепить груз, в качестве которого можно использовать пластилин (рис. 72).

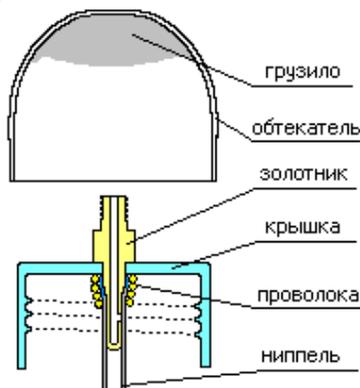


Рис. 72. Головная часть ракеты

Пуск ракеты осуществляют из ствола, сделанного из жесткой целлофановой пленки, которую сворачивают в трубу длиной около 1 метра и диаметром, несколько больше диаметра бутылки. Трубу скрепляют прозрачным скотчем. Для подготовки ракеты к старту еще нужен велосипедный насос со шлангом.

Ствол фиксируют с помощью штатива наклонно, задавая тем самым траекторию полета ракеты. В бутылку, сопло которой заткнуто пробкой, наливают воду, примерно на треть ее объема, и навинчивают крышку. С помощью соединенного с клапаном насоса в бутылку закачивают воздух. После этого насос отсоединяют от ракеты, надевают на нее обтекатель и устанавливают в нижней части направляющего ствола (рис. 73).

Старт осуществляют выдергиванием пробки из сопла. При этом избыточное давление в бутылке выталкивает из нее струю воды. В силу закона сохранения импульса ракета при этом движется в противоположном направлении. Дальность ее полета зависит от угла наклона ствола, внутреннего начального давления, а также исходного соотношения объемов воды и воздуха и достигает 30 метров.

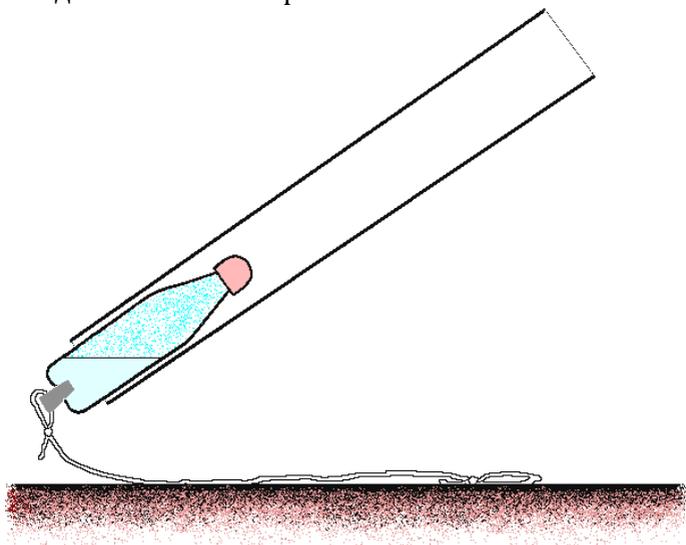


Рис. 73. Ракета на стартовой позиции

На активном участке траектории полета (с работающим двигателем) из ракеты выбрасывается вода, которая обильно орошает окрестности и находящихся поблизости наблюдателей, вызывая у них оживленное обсуждение последствий старта.

## Идеальный газ

Все ранее представленные здесь опыты — демонстрационные, поскольку наблюдаемые в них явления представлены на качественном уровне. Однако с помощью бутылок и нескольких простых измерительных приборов можно провести и количественные опыты с соответствующими измерениями и вычислениями. В таких опытах изучаемые явления описываются уже значительно глубже — на уровне функциональных зависимостей, представляемых формулами, таблицами, графиками.

Здесь дано описание двух экспериментальных работ по тепловым процессам в идеальном газе. Если их использовать как лабораторные работы, то в ходе их выполнения ученики смогут познакомиться с основными газовыми законами, на практике познать закономерности поведения газов (законы Клапейрона-Менделеева, Бойля-Мариотта, адиабатный процесс), приобрести некоторые навыки физических наблюдений и обработки результатов.

Для проведения первой работы необходимо следующее оборудование: две одинаковые пластиковые бутылки, велосипедный насос, весы с набором разновесов, термометр, барометранероид, линейка, одноразовый медицинский шприц (без иглы) и стакан с водой. В крышке одной из бутылок надо установить воздушный клапан. Конструкция такого клапана описана в опыте «Туман в бутылке». Оборудованная клапаном бутылка является рабочей, а вторая бутылка — вспомогательной.

В рабочую бутылку наливают 2–5 миллилитров воды, туго завинчивают на ней крышку с клапаном и ставят на весы. На другую чашу весов ставят вспомогательную бутылку и крышку. Во вспомогательную бутылку выпрыскивают из шприца воду до момента уравнивания весов.

Затем к клапану рабочей бутылки подсоединяют насос, которым закачивают в бутылку атмосферный воздух. При этом надо вести подсчет количества сделанных качаний. Пусть в бутылку объемом  $V_B = 1,5$  литра накачали воздух, сделав при этом 60 качаний ( $\alpha = 60$ ). Тогда объем  $V_A$  атмосферного воздуха, закачанного в бутылку:

$$V_A = \alpha V_B, \quad (1)$$

где  $V_H$  — объем рабочей полости насоса. Величину  $V_H$  вычисляют как объем цилиндра, диаметр  $D$  которого равен диаметру полости насоса, а высота  $h$  равна расстоянию, на которое выдвигается рукоятка насоса (рис. 74).

$$V_H = \frac{1}{4} \pi D^2 h \quad (2)$$

Величины  $D$  и  $h$  измеряют линейкой. Пусть измерения показали:  $D = 2$  см,  $h = 27$  см.

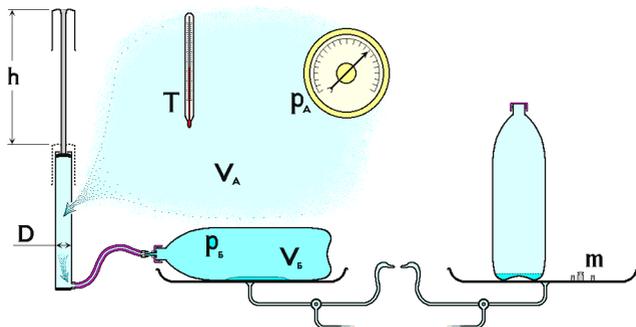


Рис. 74. Схема опыта для расчета данных

По завершении закачки шланг отсоединяют от бутылки, и ее вновь ставят на весы. При этом следует обратить внимание учащихся на то, что стенка этой бутылки стала жёсткой и упругой, а звук, возникающий при ударе по ней более звонкий и продолжительный, нежели чем при таком же ударе по вспомогательной бутылке.

Объяснение этому явлению приведено в опыте «Звонящая бутылка».

Поскольку накачанная бутылка стала тяжелее вспомогательной, то для восстановления равновесия весов на чашу с вспомогательной бутылкой кладут необходимое количество грузов из набора разновесов. Общая масса  $m$  этих грузов равна массе закачанного в бутылку воздуха. Пусть взвешивание показало, что  $m = 5,9$  г.

По имеющимся данным можно определить плотность  $\rho_A$  атмосферного воздуха:

$$\rho_A = \frac{m}{V_A} = \frac{4m}{\pi D^2 ah} .$$

Далее снимают показания термометра. Пусть температура воздуха в помещении  $20^{\circ}\text{C}$ , что по шкале абсолютных температур составляет  $293\text{K}$ . Несмотря на то, что воздух при его закачивании и нагревался, но вследствие хорошей теплопроводности стенок бутылки и достаточной длительности эксперимента температуру заключенного в бутылку воздуха можно считать равной температуре окружающей среды.

Теперь можно вычислить давление  $p_3$ , закачанного в бутылку воздуха, воспользовавшись для этого уравнением Клапейрона-Менделеева:

$$p_3 = \frac{m RT}{M V_B}, \quad (3)$$

где  $R$  — газовая постоянная, равная  $8,31 \text{ Дж/К}\cdot\text{моль}$ ,  
 $M$  — молярная масса воздуха, равная  $29\cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ,  
 $T$  — температура окружающей среды.

После подстановки в формулу (3) соответствующих значений получим:

$$p_3 = \frac{5,9\cdot 10^{-3} \text{ кг}}{29\cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \frac{8,31 (\text{Дж/К}\cdot\text{моль})\cdot 293 \text{ К}}{1,5\cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \gg 330 \text{ кПа}$$

Следует обратить внимание на то, что давление  $p_3$  — это не давление в бутылке, а лишь та его часть, которая обусловлена принесенным воздухом. Действительное же давление  $p_B$  в бутылке больше, и оно складывается из давления воздуха находившегося там еще до работы с насосом, то есть атмосферного давления, и давления  $p_3$ :

$$p_B = p_A + p_3.$$

Величину атмосферного давления  $p_A$  определяют по показаниям барометра. Предположим, что на момент проведения эксперимента стрелка барометра указывала на отметку  $99 \text{ кПа}$ . Тогда давление в бутылке составляет величину:

$$p_B = 99 \text{ кПа} + 330 \text{ кПа} = 429 \text{ кПа}.$$

(Для справки: в колесах легковых автомобилей давление вдвое меньше.)

Зная давление в бутылке, можно определить количество содержащихся в ней частиц воздуха, а именно, общее число заключенных в ней молекул азота, кислорода и других, составляющих воздух, газов:

$$n = \frac{p_B V_B}{kT},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана.

После подстановки в эту формулу соответствующих числовых значений получим:

$$n = \frac{429 \times 10^3 \text{ Па} \times 1,5 \times 10^{-3} \text{ м}^3}{1,38 \times 10^{-23} (\text{Дж/К}) \times 293 \text{ К}} = 1,59 \times 10^{23} \text{ молекул.}$$

После этого можно удостовериться в выполнении закона Бойля-Мариотта, в соответствии с которым произведение давления газа на занимаемый им объем должно оставаться неизменным при изотермическом процессе. Применительно к закачанному в бутылку воздуху это означает, что должно выполняться соотношение:

$$p_A V_A = p_B V_B.$$

Или, принимая во внимание соотношения 1, 2, 3:

$$p_A \frac{\pi}{4} \alpha D^2 h = \frac{m}{M} RT.$$

После подстановки в это выражение соответствующих данных получим:

$$504 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 \approx 495 \text{ Па} \cdot \text{м}^3.$$

Практика проведения этой лабораторной работы в реальных условиях учебного процесса показывает, что наибольший вклад в погрешность результатов привносится в процессе закачки воздуха. Поэтому перед проведением эксперимента надо, прежде всего, проверить компрессию насоса и герметичность его соединений. Для этого надо плотно закрыть большим пальцем выходное отверстие насоса, а затем сильно

надавить на рукоятку поршня. Если в течение пяти-семи секунд непрерывного надавливания поршень не достигает дна цилиндра, то насос исправен. В противном случае следует протереть и затем смазать внутреннюю поверхность цилиндра. Если это не помогает, надо проверить исправность поршня, а при необходимости заменить его на новый.

Также надо проверить и герметичность соединительного шланга и штуцеров на его концах. Для этого один конец шланга соединяют с насосом, а второй конец прикрывают пальцем. Дно насоса и шланг погружают в ведро с водой и вдвигают рукоятку поршня. Появление воздушных пузырьков свидетельствует о нарушении герметичности компрессионного канала.

При тщательной подготовке экспериментального оборудования и аккуратной работе расхождение между рассчитанными в соответствии с уравнением Бойля-Мариотта значениями не превышает 3–5 %.

Образовавшийся перепад в давлениях воздуха внутри и вне бутылки по окончании измерений можно использовать для наблюдения весьма эффектного явления. Надо быстро, одним движением, свинтить крышку с бутылки, и тогда в момент ее разгерметизации сжатый воздух с хлопком вырывается наружу, и полость бутылки становится молочно-белой.

Это явление объясняется тем, что при быстром, то есть адиабатном расширении воздуха температура его резко понижается, в результате чего находящиеся в нем водяные пары конденсируются в аэрозольные капельки тумана, на которых происходит рассеяние падающего на них света. Воздух, вырвавшийся из бутылки наружу, также охлаждается. Но содержащиеся в нем водяные пары конденсироваться не успевают, поскольку этот воздух сразу же прогревается при перемешивании с теплым комнатным воздухом.

Следующая лабораторная работа проще и имеет целью проверку уравнения состояния идеального газа. Поскольку на проведение этой работы времени требуется немного, а используемое оборудование простое, то ее можно использовать в качестве фронтальной, то есть выполняемой в классе одновременно всеми учениками.

Для ее проведения нужны: бутылка (емкостью 1,5 л), 3 банки (емкостью 0,5–1 л), термометр, линейка и мерный

стакан. Кроме этого нужен один на весь класс барометр. В бутылочной крышке делают отверстие, в которое устанавливают термометр. Первая банка должна быть до краев заполнена водой комнатной температуры. Вторую банку такая же вода должна заполнять частично. Третья банка должна быть пустой.

Из предварительно подогретого чайника в бутылку наливают полстакана воды. Температура воды должна быть в пределах 50–60 °С. На бутылку навинчивают крышку с термометром и затем эту бутылку несколько раз интенсивно встряхивают. В результате находящийся в бутылке воздух прогревается. Через минуту-другую, когда показание термометра установится, фиксируют это значение температуры  $T_1$  заключенного в бутылку теплого воздуха.

После этого с бутылки свинчивают крышку с термометром, а бутылку опрокидывают в пустую банку. Как только вода из бутылки вытечет, ее горлышко без промедления погружают в банку, заполненную водой. В момент погружения давление воздуха в бутылке равно атмосферному давлению  $p_1$ , а его объем  $V_1$  равен объему бутылки. Прогретый воздух постепенно остывает и сжимается, в результате чего бутылка засасывает в себя воду из банки. Чтобы горлышко бутылки все время осталось под водой, эту воду подливают из второй банки.

Через некоторое время между бутылкой с заключенным в ней воздухом и окружающей средой установится термодинамическое равновесие. О наступлении этого состояния можно судить по стабилизации уровня воды в бутылке. Температура воздуха в бутылке при этом выравнивается с температурой  $T_2$  наружного воздуха. Давление же  $p_2$  заключенного в бутылке воздуха определяется как разность между наружным давлением и давлением водяного столба в бутылке:

$$p_2 = p_1 - \rho gh,$$

где  $\rho$  — плотность воды (1000 кг/м<sup>3</sup>),

$g$  — ускорение свободного падения (9,8 м/с<sup>2</sup>),

$h$  — высота водяного столба.

Чтобы измерить объем  $V_2$  воздуха в бутылке, ее приподнимают над банкой так, чтобы край горлышка находился на одной высоте с уровнем воды в банке (рис. 75). Уровень воды в бутылке при этом отмечают на ее стенке фломастером. Потом

бутылку устанавливают в нормальное положение (горлышком вверх), наливают в нее воду до той же отметки, а объем этой воды затем измеряют с помощью мерного стакана. Полученное значение и является объемом  $V_2$ .

Итак, в то мгновение, когда горлышко опрокинутой бутылки соприкоснулось с водой в банке, термодинамические параметры, характеризующие состояние воздуха в бутылке, имели величину:  $p_1, V_1, T_1$ . После того, как воздух в бутылке остыл, значения тех же параметров составляли:  $p_2, V_2, T_2$ . Эти величины должны удовлетворять уравнению Клапейрона-Менделеева:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

При аккуратном выполнении всех этапов эксперимента численные значения обеих частей этого соотношения отличаются не более, чем на 2–3 %, что является достаточно высокой точностью для работ по молекулярной физике.

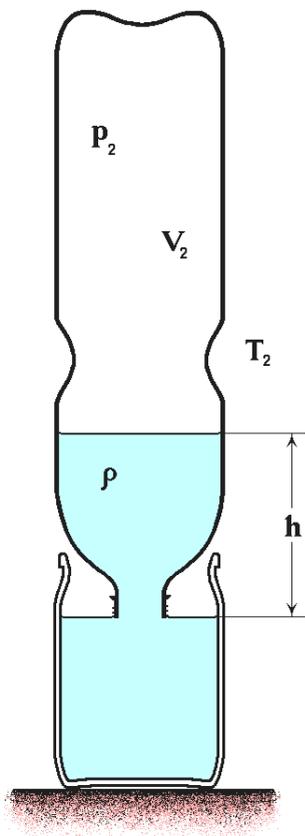


Рис. 75. Установка в конце опыта

## Ветер и свеча

На стол ставят бутылку, которая для устойчивости заполнена водой или песком. Вплотную к бутылке, со стороны, обращенной к наблюдателям, демонстратор ставит зажженную свечу и объявляет, что сможет потушить эту свечу, подув на нее сквозь бутылку. Это утверждение вызывает у неосведомленных зрителей сомнение, поскольку им кажется, что широкая и высокая бутылка достаточно надежно укрывает своим телом маленький язычок пламени. С расстояния 30–50 см демонстратор дует на бутылку, не обязательно сильно, но резко, и пламя моментально гаснет (рис. 76 а, вид сверху).

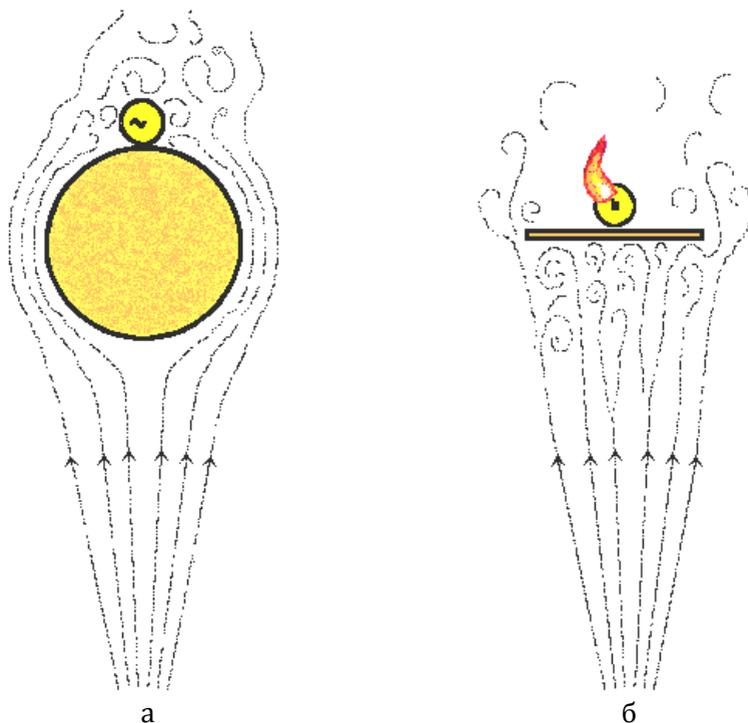


Рис. 76

а) Свеча за бутылкой

б) Свеча за картонкой

Объяснение эффекта следующее. Воздушный поток от демонстратора после встречи с бутылкой разбивается надвое и симметрично обтекает ее с обеих сторон. Обогнув бутылку,

потоки сталкиваются, образуя в месте столкновения зону турбулентности в виде беспорядочных воздушных вихрей, со свойственными им резкими перепадами давления и скоростей. Эти вихри и сбивают пламя свечи.

Критически настроенному наблюдателю приведенное объяснение может показаться не вполне очевидным, поскольку при проведении опыта он не видит упомянутые воздушные потоки и вихри. Однако подобные сомнения можно легко развеять, если вслед за этим опытом провести другой, заменив хорошо обтекаемую бутылку на преграду с большим лобовым сопротивлением.

Для этого из картона надо вырезать фигуру, контур которой имеет форму и размеры используемой в опыте бутылки. Демонстратор берет в руку горящую свечу, а другой рукой заклоняет ее от себя этой картонкой. Свеча при этом, как и в случае с реальной бутылкой, должна располагаться также вплотную к картонке. Однако попытки загасить пламя свечи, дующая в ее сторону с прежнего расстояния и с той же силой, на этот раз оказываются безуспешными (*рис. 76 б*).

Этот эффект объясняется тем, что воздушный поток, встретив плоскую преграду, уже не обтекает ее, как прежде, а разбивается, образуя перед этой преградой множество беспорядочных завихрений. При этом в зоне расположения свечи будет относительное затишье. Таким образом, если в опыте с реальной бутылкой «опасная» для горящей свечи область завихрений приходилась на место расположения этой свечи, то в опыте с картонной «бутылкой» свеча была надежно защищена от гасящих вихрей.

## Естественный цвет

Окраска окружающих нас предметов и их цветоощущение — это проявление сложных и пока мало изученных процессов, являющихся объектом исследований волновой оптики, квантовой физики, физиологии и психологии зрения.

Основы современных представлений о восприятии цветов света разработаны в 19 веке Юнгом и Гельмгольцем в виде теории трихроматического зрения, согласно которой в сетчатке нашего глаза имеются три типа фоторецепторов, чувствительных в разной степени к красному, зеленому и синему цветам. У насекомых зрение дихроматическое, то есть основанное на работе двух типов светоприемников, а у птиц и черепах, возможно, четырех.

Спектральный состав света, отраженного рассматриваемым предметом, зависит как от окраски предмета, так и от падающего на него света и поэтому подвержен значительным изменениям при перемене условий освещения. Для проведения соответствующих опытов потребуются источник белого света, белый экран, несколько бесцветных бутылок с ровными гладкими стенками и цветные чернила. В качестве источника света удобно использовать диапроектор с галогеновой лампой.

В две бутылки наливают воду на 70–80 % их объема. В одну бутылку доливают красные чернила, а в другую — синие. Потом в эти бутылки доливают еще воду до заполнения. Получившиеся растворы должны иметь насыщенную окраску и быть прозрачными. Следует иметь в виду, что, если для приготовления растворов используется дистиллированная вода, а сами растворы хранятся в затененном месте, то их цвета могут сохраняться неизменными в течение нескольких лет. Набор цветных растворов при необходимости можно увеличить, добавив к нему зеленый, фиолетовый и черный растворы, приготовленные из чернил соответствующих цветов.

Опыты проводят в условиях различной освещенности. Поэтому помещение должно быть затемнено, а в проекторе предусмотрена регулировка яркости его светового потока. Для этого электропитание проектора осуществляют через автотрансформатор, напряжение на выходе которого можно плавно менять в пределах от 0 до 220 вольт.

Световой поток можно регулировать и с помощью светопоглощающей заслонки. В качестве таковой удобно использовать тонкую прозрачную ткань, сложенную слоями. Такой заслонкой закрывают объектив проектора. В зависимости от того, сколько раз сложена ткань, можно получить нужную освещенность.

Сначала проводят опыт, из которого следует, что цветное зрение действует лишь при освещенности, превышающей некоторое ее минимальное значение. Если освещенность ниже этого порога, то цвета различить невозможно. То есть различно окрашенные тела выглядят одноцветными, а точнее, серыми с различной степенью черноты.

Бутылки с цветными растворами устанавливают на демонстрационном столе заблаговременно, до начала опыта. От взоров наблюдателей они должны быть скрыты под покрывалом. Это покрывало снимают при затемнении, а затем бутылки освещают настолько слабым светом, чтобы можно было увидеть лишь их очертания. Бутылки при этом выглядят одинаково темными.

Освещенность постепенно увеличивают, и тогда появляется еле заметное различие между бутылками — одна из них выглядит уже чуть светлее, но, тем не менее, цвета их по-прежнему все еще не узнаваемы. Следовательно, в сумерках наше зрение черно-серое. Это свойство человеческого глаза отражено и в пословице: «Ночью все кошки ночью серы».

При дальнейшем увеличении освещенности постепенно проявляются цвета находящихся в бутылках растворов, причем распознаются цвета не все одновременно. Первым идентифицируется красный раствор. Это объясняется тем, что при малой освещенности человеческий глаз чувствительнее всего к красному цвету. Поэтому носители первоочередной зрительной информации об опасности (запрещающий сигнал светофора, запрещающие дорожные знаки, кнопки аварийного выключения, противопожарная техника и пр.) окрашивают преимущественно в красный цвет. При последующем нарастании освещенности выявляется цвет раствора и во второй бутылке.

После этого можно провести опыт, показывающий зависимость цветоощущения предметов от спектрального состава падающего на них света (*рис. 77*). На стол ставят бутылки

с красным и синим растворами, и направляют на них от диапроектора яркий поток белого света. Цвета содержимого бутылки при этом легко узнаваемы и хорошо различимы.

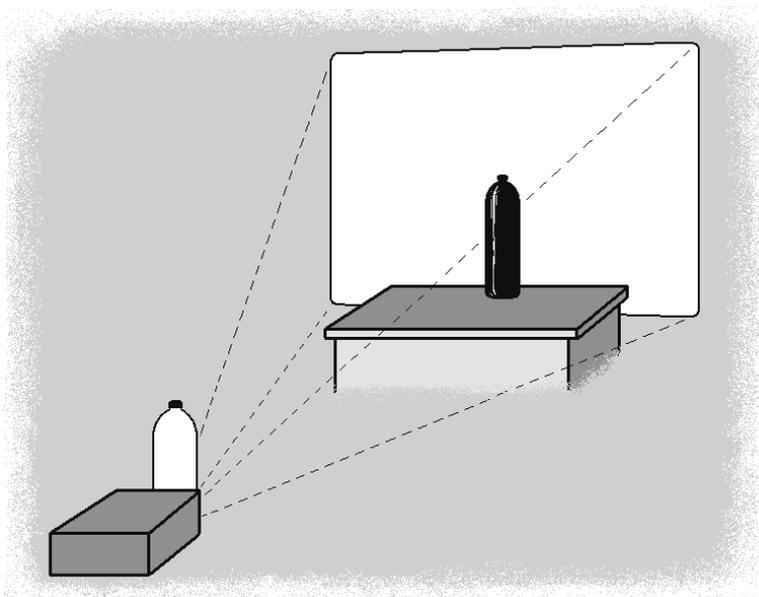


Рис. 77. Демонстрация цветовосприятия

Затем берут бутылку с красным раствором и ставят ее вплотную к объективу проектора на пути выходящего из него светового пучка. Тогда прошедший через бутылку свет будет насыщенно красным. Оставшаяся же на столе бутылка с синим раствором при таком освещении выглядит черной!

Опыт с цветными растворами можно сделать еще более красочным при наличии дисперсионной призмы. В диапроектор ставят диапозитивную рамку, причем вместо кадра фотопленки в нее вставлена прямоугольная пластинка из фольги. В середине этой пластики лезвием бритвы надо вырезать прямоугольное отверстие размером 2 мм×15 мм. При проецировании такого «слайда» на белый экран зрители видят ярко белый, вытянутый вдоль вертикали прямоугольник. После установки призмы на пути выходящего из проектора света на экране отображается сплошной спектр белого света.

Берут бутылку с красным раствором и приставляют ее к тому месту на экране, на которое приходится красная область

спектра. Бутылка при этом выглядит также красной. Затем бутылку плавно перемещают по экрану вдоль спектра в сторону его фиолетовой области. Во всех остальных участках спектра, кроме красного, она выглядит черной.

После этого аналогичные манипуляции проделывают с бутылкой, заполненной синим раствором. В красно-оранжевой области спектра эта бутылка выглядит, как черная, а свой естественный синий цвет она приобретает лишь при освещении синими лучами.

Результаты таких опытов имеют и практическое значение. Поскольку цветоощущение зависит от спектрального состава освещения, то при выборе расцветки платья и накладывании макияжа надо знать условия освещения, при котором они будут смотреться.

## Туман в бутылке

Для проведения этого опыта нужна бесцветная бутылка, в крышку которой вмонтирован воздушный клапан, и велосипедный насос (рис. 78). Хороший клапан можно получить, отрезав от негодной велосипедной камеры ее клапанной отрезок. В крышке надо сделать отверстие под клапан, а его зафиксировать посредством имеющегося на нем резьбового соединения, предварительно промазав герметиком место стыка с крышкой. Конструктивно этот клапан несколько сложнее, описанного ранее в опыте «Ракета, летающая на воде». Но зато с ним можно получить большее давление.

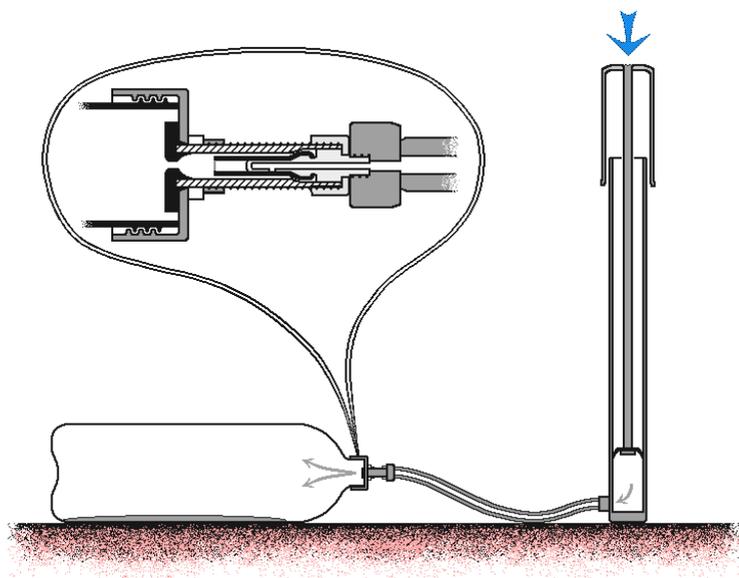


Рис. 78. Конструкция опытной установки

В бутылку наливают 50–100 миллилитров воды, плотно закрывают ее крышкой, подсоединяют к ней насос и затем закачивают воздух. Опыт получается тем эффектнее, чем большее давление создано в бутылке. Бояться разрыва бутылки не стоит, так как запас прочности ее стенок вполне достаточен для проведения опыта.

После закачивания воздуха внимание зрителей обращают на то, что полость бутылки осталась такой же прозрачной

и бесцветной, как и до начала опыта. Шланг отсоединяют от бутылки и затем быстрым движением откупоривают ее. Этот момент сопровождается характерным хлопком выходящего из бутылки сжатого воздуха и образованием в ее полости молочно-белого тумана, который через 5–10 секунд после этого постепенно рассеивается.

Образование тумана можно объяснить так. Предварительно налитая в бутылку вода, частично испарившись, образовала в ней насыщенный водяной пар. Накачав же воздух в бутылку, мы совершили работу по его сжатию; в результате чего внутренняя энергия паро-воздушной смеси в бутылке увеличилась.

При разгерметизации бутылки часть заключенной в ней парогазовой смеси быстро выходит наружу. Расширение смеси сопровождается падением ее температуры. Газы, вырвавшиеся наружу, сразу же прогреваются вследствие их перемешивания с теплым комнатным воздухом. А вот оставшиеся в бутылке газы ведут себя иначе.

Быстрое понижение температуры в полости бутылки приводит к конденсации содержащихся в ней водяных паров в капельки тумана. Этот туман существует до тех пор, пока его капельки постепенно не испарятся от тепла, проникающего через бутылочные стенки.

Конденсация водяного пара в бутылке в момент ее разгерметизации происходит весьма быстро. А так как теплопередача — процесс относительно долговременный, то тепло в бутылку за это время практически не успевает проникнуть. Поэтому процесс образования тумана в бутылке можно считать адиабатным. Аналогичный эффект наблюдается и при «выстреле» пробки из бутылки с шампанским.

А еще туман, правда, не столь густой, как в описанном выше опыте, можно получить более простым способом.

В бутылку емкостью 1–2 литра налить 100 миллилитров воды и несколько раз интенсивно встряхнуть, чтобы содержащийся в бутылке воздух стал влажным. Затем в бутылку надо бросить горящую спичку, а ее горлышко плотно закупорить. Упав на дно, спичка гаснет, выделив при этом немножко дыма. На частицах этого дыма в последующем будут конденсироваться капельки тумана.

Затем, взяв эту бутылку в руку, надо ее быстро сжать пальцами и затем сразу же разжать их. Это действие с бутылкой надо проделать раз двадцать-тридцать подряд. После этого становится заметно, что в промежутках между надавливаниями на бутылку заключённый в ней воздух становится мутно-белесым. А когда бутылка находится в сдавленном состоянии, воздух в ней бесцветен и прозрачен. Объяснение образования тумана в бутылке при разрежении влажного воздуха в ней аналогично тому, как это описано в предыдущем опыте.

Для лучшей видимости тумана в бутылке демонстрировать ее надо при хорошей освещенности и обязательно на темном фоне, например, перед темной писчей доской. На светлом же фоне туман почти незаметен.

## Давным-давно

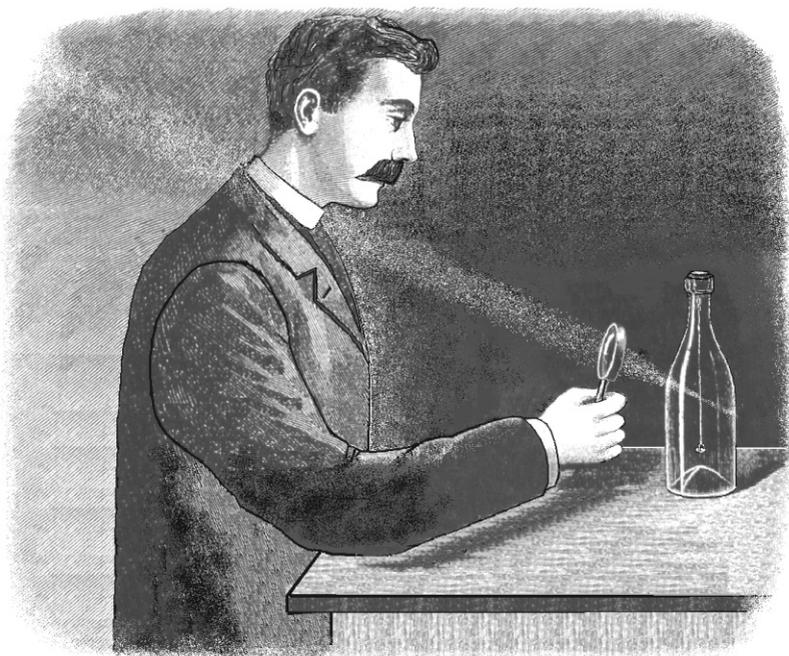
Пластиковая бутылка стремительно вошла в наш быт и быстро стала одним из «естественных» атрибутов среды нашего обитания благодаря удачному сочетанию в ней ряда нужных и полезных свойств: прочности, упругости, легкости, прозрачности, доступности, а также разнообразию размеров, форм и расцветок.

А если учесть, что такая бутылка к тому же весьма легко и просто обрабатывается механическим и термическим способами, то вполне закономерно, что она стала привлекательным объектом для технического творчества. Пресса и телевидение время от времени сообщают, как некоторые умельцы и чудаки возводят из бутылок дом, делают из них туристический плот и даже жилой плавучий остров.

Наряду с тем известно, что «все новое — это хорошо забытое старое». А это значит, что и в давние времена тема поучительных опытов и полезных поделок из бутылок наверняка привлекала к себе внимание педагогов и популяризаторов науки, изобретателей и энтузиастов технического творчества. В научно-популярных и учебно-методических изданиях давно минувших лет можно отыскать немало описаний использования бутылок в натуральных опытах, бытовых поделках, научных забавах и фокусах. Пластмасс, правда, в те времена не было, а бутылки делали лишь из стекла. Заинтересовавшийся же читатель сможет воспроизвести многие из таких опытов, используя для этого либо современные стеклянные бутылки, либо адаптировав эти опыты к бутылкам из пластика.

Среди этих книг большой интерес представляют книги французского ученого-популяризатора Тома Тита в переводе и обработке детского писателя и переводчика М. А. Гершензона (Тит Том. Научные развлечения. — М.-Л.: Изд. детской литературы, 1936. 368 с.). В их описаниях намеренно сохранен стиль изложения, чтобы читатель мог прочувствовать атмосферу досуга и научных развлечений давно минувших лет.

## Обрывание верёвки в бутылке



Фиг. 79

В солнечный день ты легко оборвёшь верёвку в бутылке, не прикасаясь к ней, а лишь направив на одну точку верёвки двояко-выпуклым стеклом лучи солнца (фиг. 79). Лучи солнца зажгут верёвку в этом месте, и верёвка оборвётся.

## Верчение воды

Вотъ бутылъ, наполовину залитая водой (см. фиг. 80). Она закупорена пробкой. Въ пробку воткнуть конецъ длинной проволоки или вязальной спицы. Конецъ спицы погружёнъ въ воду и не доходитъ до дна бутылки сантимѣтровъ на 5.

Другая пробка отъ горчицы, въ центре которой сделано довольно широкое отвѣрстіе, плаваетъ на воде и въ ея отвѣрстіе входитъ спица.

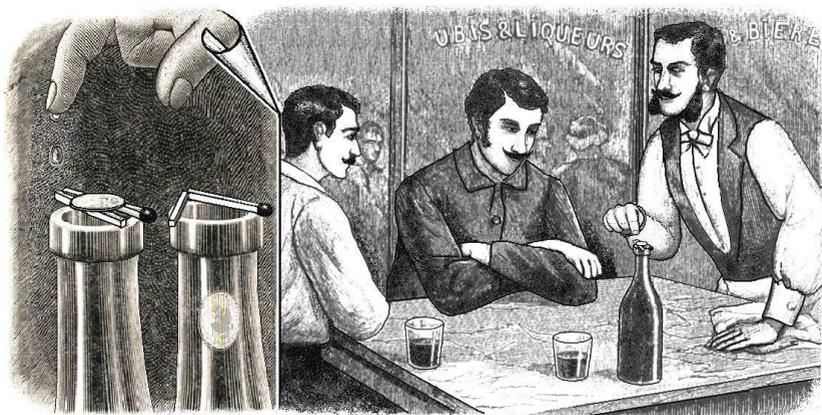
Попробуйте снять плавающую пробку со спицы, не откупоривая бутылки. Долго вы будете биться надъ этимъ и ничего

не сможете сделать, пока не раскрутите бутылку, описавъ на столе несколько круговъ. Из-за центробѣжной силы уровнь воды въ бутылки перестанетъ быть горизонтальнымъ и превратится в конусъ. Вѣрхушка конуса будетъ у самого дна бутылки. Пробка опустится вмѣстѣ съ водой вдоль спицы и соскочитъ с нея. Такъ глубоко опускается корабль, попавшій въ центръ циклона.



Фиг. 80

## Спичка, монета и бутылка



Фиг. 81

А вот непростая головоломка с пустой бутылкой, монетой и спичкой. На горлышко бутылки положена надломленная спичка, а на неё — гривенник. Как сбросить монету в бутылку, но — чур, не дотрагиваясь ни до монеты, ни до спички, ни до бутылки? Причем стол, на котором стоит бутылка, трести нельзя. Ну и как, не удаётся?

А фокус оказывается сделать легче лёгкого. Надо окунуть палец в воду, а затем уронить с пальца одну-две её капли на спичку в том месте, где она надломлена (фиг. 81). После этого концы спички расходятся — больше и больше. Опора уходит из под гривенника, и он со звоном падает на дно бутылки. Готово, фокус удался!

## Таинственный флакон

Непонятно, как закупорили флакон, потому что внутри флакона через пробку поперёк пропущен длинный гвоздь (фиг. 82). Если воткнуть гвоздь в пробку до того, как закупорить ею флакон, она не вошла бы в горлышко. А если сперва закупорить и потом проткнуть пробку гвоздём внутри флакона? Это кажется невозможным. Но сделай сам такую диковинку.

1. Пробку для флакона выточи из дерева. Эта пробка должна проходить во флакон глубоко — на  $1\frac{1}{2}$  см глубже

горлышка. Спили верхнюю часть пробки примерно на полсантиметра; эту пробковую пластинку не выбрасывай — она тебе ещё понадобится.

2. Просверли буравчиком или прожги раскалённой спицей дырку по длине пробки, но не насквозь, а так, чтобы 1 см пробки остался не просверленным.

3. На расстоянии 1 см от основания пробки сделай в ней поперечную дырку, диаметром равную толщине гвоздя; вертикальный канал и горизонтальный встретятся под прямым углом, наподобие перевёрнутой буквы Т.

4. Пропусти в вертикальный канал сложенную вдвое крепкую нитку; когда она дойдёт до горизонтального канала, протолкни петлю спичкой вбок так, чтобы нитка вышла наружу через боковое отверстие.

5. Выточи напильником небольшую каёмку посередине гвоздя и привяжи за неё сложенный вдвое конец нитки; приклей хвостики нитки к гвоздю, от узелка на каёмке до острого конца, и дай клею хорошо просохнуть.

6. Введи в свой флакон сперва гвоздь, который болтается на нитке, продетой через пробку, а потом и саму пробку. Опрокинь флакон; тогда ты сможешь без большого труда ввести конец гвоздя в боковое отверстие пробки, то, через которое выходит нитка. Поставь флакон снова вертикально и тяни за нитку, как показано на рисунке. Нитка, отклеиваясь понемногу от гвоздя, втянет его в горизонтальный канал; каёмка окажется под вертикальной дыркой.

7. Осталось только замаскировать дырку в верхней части пробки. Приклей к пробке столярным клеем срезанную с неё пластинку, причём защеми между пластинкой и пробкой концы нитки. Гвоздь будет сидеть прочно даже в том случае, если горизонтальный канал будет немного шире его. Чтобы склейка не виднелась, покрась головку пробки тушью.

Если же пробка корковая, нет нужды даже в том, чтобы спиливать с неё пластинку; просто, закупорив бутылку, можно залить пробку сургучом.



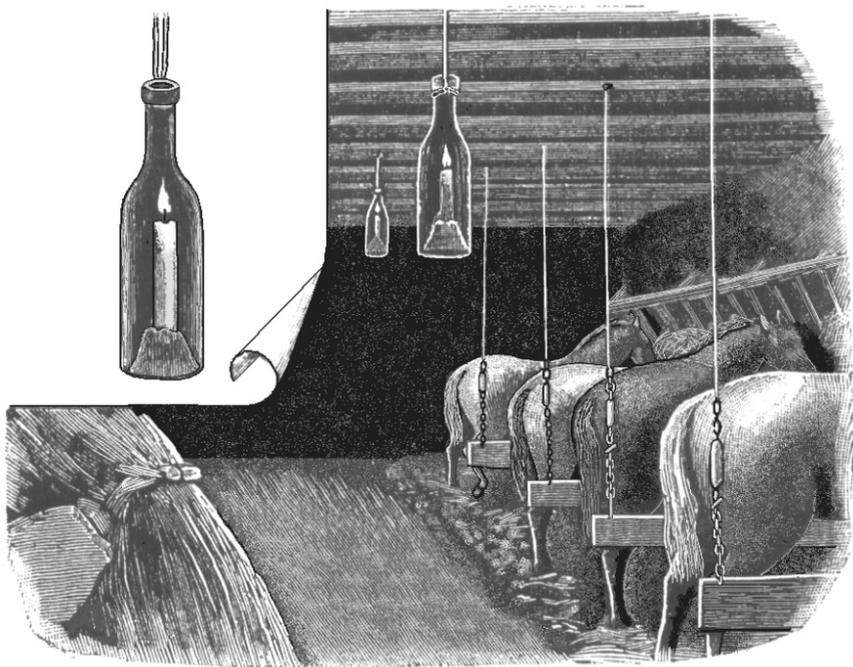
Фиг. 82

### Разсеивая тьму

Если вамъ нужѣнъ фонарь, а его у васъ нетъ, то сделайте такъ. Возьмите бутылку изъ прозрачнаго стекла съ высокимъ донышкомъ, вогнутымъ внутрь, и опрокинувъ ея, пробейте вѣрхнюю часть конуса, ударяя по ней какимъ-нибудь острымъ предметомъ.

Зажгите свѣчку и ввѣдите ея въ бутылку черезъ это отвѣрстіе, отвѣрстіе заткните деревянною пробкою, но такъ, чтобы осталась дырка для того, чтобы въ вашъ фонарь притекалъ снизу воздухъ для горенія.

Подвесьте бутылку къ потолку на верѣвке, привязанной къ горлышку (см. фиг. 83). Фонарь готовъ.



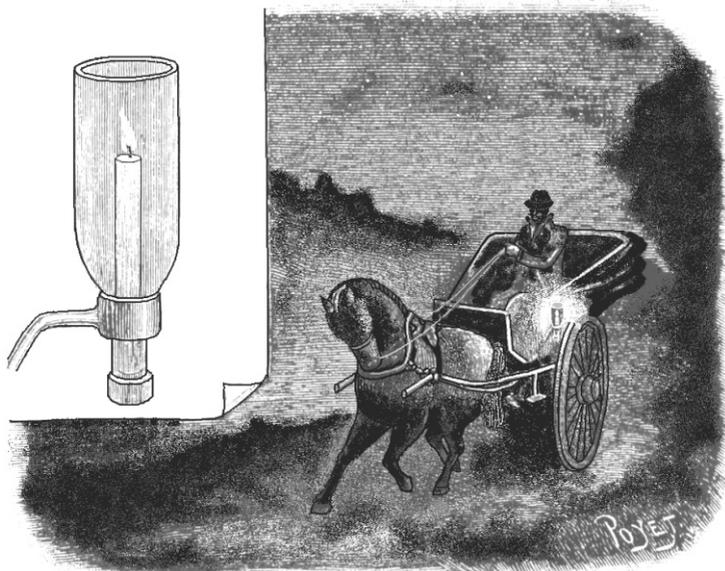
Фиг. 83

### Езда в ночи

Застигнутые ночью безъ фонаря, вы будете въ большомъ затрудненіи. Изъ одной бутылки мы сделали ранѣе дворовый фонарь, приготовимъ тепѣрь фонарь для экипажа (см. *фиг. 84*).

Зайдите въ пѣрвый постоялый дворъ или магазинъ и спросите себѣ пустую прозрачную бутылку. Налейте въ нея 1 или 2 сант. воды и поствьте её на очень горячую пѣчку или на раскалённыя угли. Какъ только вода начнѣтъ закипать, дно бутылки отвалится какъ разъ на высоте уровня воды. Остаётся только перевѣрнуть бутылку, горлышко бутылки должно быть почти равно толщине свѣчки, и вставить въ неё горящую свѣчку.

Вложите бутылку въ отвѣрстіе для экипажного фонаря, окружив ея бумагой или соломой такъ, чтобы она плотно сидѣла въ этомъ отвѣрстіи, и отправляйтесь спокойно дальше въ дорогу.

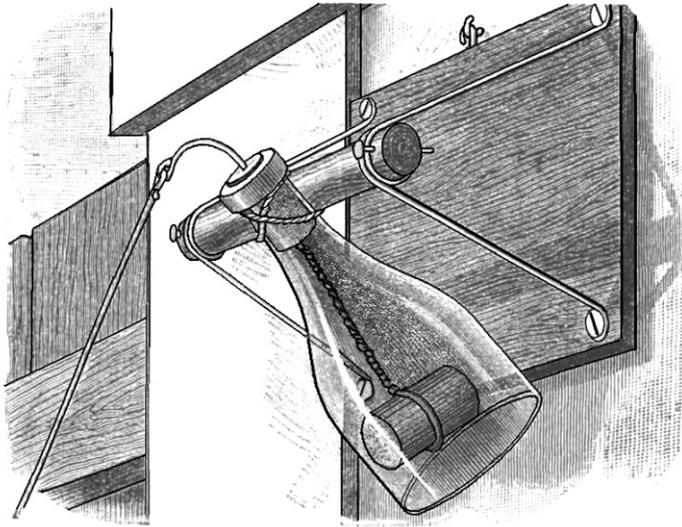


Фиг. 84

### Чудный звонокъ

Разсмотримъ тепѣрь какъ можно сделать изъ бутылки звонокъ. Спѣрва надо разрезать бутылку надвое. Вотъ, пожалуй, самый лучший способъ разрезанія — надо нагреть бутылку вдоль линіи, по которой вы хотите срезать, и затемъ внезапно ея охладить. Нагретое стекло расширяется, и при послѣдующимъ быстромъ охлажденіи сжимается и трѣскается по линіи нагрѣва.

Нагреть стѣкло можно, окруживъ бутылку горячимъ хлопчато-бумажнымъ фитилѣмъ, пропитаннымъ спиртомъ, или быстро тереть бутылку всё въ одномъ мѣсте по окружности тонкой верѣвочкой. Отъ тренія стенки бутылки нагрѣваются. Въ обоихъ этихъ случаяхъ охладить бутылку можно холодною водою, налитой на нагрѣтыя стенки. Можно поставить бутылку съ водою на горячую пѣчку или уголья, и она треснетъ по прямой линіи. Наконецъ, можно провѣсти горящимъ углѣмъ по зарубке, сделанной на бутылке треугольнымъ напильникомъ.



Фиг. 85

Бутылка с отрезаннымъ дномъ можѣтъ пригодиться вамъ для различныхъ надобностей: для прозрачнаго или для тѣмного колпака для комнатныхъ растений, въ зависимости отъ того, боятся ли они лучей солнца или нѣтъ, или ещё, на примѣръ, для изготовленія звонка. Языкъ этого звонка можно сделать изъ мѣталлической пуговицы на нитке, прикреплѣнной къ пробке, вставленной въ горлышко, или изъ дерѣвяннаго стержня, какъ это видно изъ *фиг. 85*.

### Индикаторъ уровня

Водяной уровѣнь съ воздушнымъ пузырькомъ — приборъ довольно дорогой. Однако можно самимъ приготовить водяной уровѣнь много проще, но такой, который будетъ работать нисколько не хуже всемъ извѣстнаго (см. *фиг. 86*).

Проткнѣмъ малѣнькую пробку булавкой такъ, чтобы острый конецъ булавки выставился, и привяжемъ къ ея головке конецъ небольшой нитки. Другой конецъ этой нитки приклѣимъ замазкой или хорошимъ синдетикономъ (нужно только дать замазкѣ или синдетикону хорошо высохнуть), къ сѣрѣдине дна пустой бутыли.



Фиг. 86

Нальёмъ въ бутылку воды столько, чтобы пробка плавала и нитка натянулась. Когда жидкость успокоится, пробка остановится приблизительно посѣрѣдине.

Закроемъ горлышко бутылки пробкою, въ которую воткнута остриёмъ внизъ спица или длинная булавка такая, чтобы она могла достать до острея булавки, воткнутой въ первую пробку.

Поворачивая и наклоняя пробку въ горлышке, нужно добиться того, чтобы, если бутылка стоитъ на ровной горизонтальной повѣрхности, обѣ булавки своими острыми концами приходились какъ разъ одна противъ другой. Когда это достигнуто, укрѣпите осторожно, чтобы нельзя было сдвинуть съ мѣста, верхнюю пробку сургучомъ, воскомъ или парафиномъ къ горлышку бутылки, и приборъ къ использованию готовъ.

## Об авторе



Даминов Рустам Валиевич, кандидат педагогических наук, доцент; кафедра общей физики Института физики Казанского федерального университета

**Даминов Рустам Валиевич**

**Физические опыты с бутылками**

*Учебно-практическое пособие*

*Текст приводится в авторской редакции*

Ответственный редактор *С. Краснова*  
Верстальщик *А. Губарева*

Издательство «Директ-Медиа»  
117342, Москва, ул. Обручева, 34/63, стр. 1  
Тел/факс + 7 (495) 334-72-11  
E-mail: [manager@directmedia.ru](mailto:manager@directmedia.ru)  
[www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)  
[www.directmedia.ru](http://www.directmedia.ru)



## Издайте свою книгу у нас!

Издательство «Директ-Медиа» публикует учебники, монографии, литературу NON-FICTION, аудиокниги, новые издания и те, что с годами не утратили своей актуальности, коллективные научные сборники.

Наше издательство берет свои корни в книгоиздательских традициях и технологиях Германии. Мы – лидеры современного книгоиздательского процесса, охватывающего цифровые образовательные платформы для школ и вузов, издание электронных и печатных книг. Нашу продукцию отличает высокое полиграфическое качество и высокотехнологичный процесс продвижения книги.

Наши авторы – ведущие ученые и преподаватели страны. За 20 лет работы в России нами издано более 10 000 изданий учебной, академической и научно-популярной литературы.

Приобрести наши книги можно в интернет-магазине DIRECTMEDIA.RU и в ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (BIBLIOTHECA.RU), в книжных и в интернет-магазинах страны.

***Хотите приобрести книгу издательства «Директ-Медиа»  
или издать свое произведение?***

**Мы ждем Вас!**

[www.directmedia.ru](http://www.directmedia.ru)

Email: [manager@directmedia.ru](mailto:manager@directmedia.ru)

Tel.: 8-800-333-6845 (звонок бесплатный)



# DIRECT-MEDIA — ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ИЗДАТЕЛЬСКИХ УСЛУГ

- Редактура, корректура
- Присвоение ISBN
- Передача в Российскую книжную палату
- Присвоение DOI
- Печатный тираж
- Верстка
- Дизайн обложки
- Продвижение
- Поддержка

**[www.directmedia.ru](http://www.directmedia.ru)** — магазин электронных и аудиокниг. В нашем каталоге вы найдете тысячи нон-фикшн книг, которые помогут в учебе и жизни: книги по саморазвитию, учебники, научные и научно-популярные книги, обучающие курсы для взрослых и детей. Мы сотрудничаем с ведущими издательствами, а также представляем электронные и печатные книги собственного издательства, доступные только в нашем магазине.