

Невыполнение закона Гука может приводить и к неожиданным последствиям. Хорошо известны задачи (в том числе и экспериментальные) на использование формулы для периода колебаний пружинного маятника. Если заменить пружину на резиновый жгут, то, на первый взгляд, ничего принципиально не изменится. А если попробовать?



#### Задача 45. «Резиновый маятник»

**Оборудование.** Штатив с муфтой и лапкой, резиновый жгут шириной 6 мм, резиновый жгут шириной 3 мм, набор грузов по 100 г лабораторный, секундомер, линейка ученическая, миллиметровая бумага.

При деформации резины, в ней возникает сила упругости. Следовательно, если к резиновому жгуту подвесить груз и заставить его совершать вертикальные колебания, то это будут колебания маятника. Назовем такую систему резиновым маятником.

#### Часть 1. Колебания.

1.1 Измерьте зависимость периода колебаний грузов, подвешенных на резиновом жгуте, от их массы. Проверьте выполнимость формулы для периода колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

Определите коэффициент жесткости толстого резинового жгута.

1.2 Для узкого жгута формула (1) не подтверждается. Объясните возможные причины отклонений экспериментальных результатов от рассчитанных по этой формуле.

Если колебания являются малыми, то формулу (1) можно использовать, если в качестве жесткости использовать величину равную (так называемый дифференциальный коэффициент жесткости)

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta l}, \quad (2)$$

вычисленную в положении равновесия подвешенного груза.

1.3 Используя полученные экспериментальные данные постройте графики зависимости дифференциальной жесткости от массы подвешенного груза для обеих полосок.

*Подсказка.* Так колебания грузов на резиновом подвесе быстро затухают, то точные измерения периодов колебаний затруднительны. Советуем вам проводить измерения периодов вынужденных колебаний. Для этого маятник следует держать в руке и регулярно его «подкачивать» в так с его колебаниями.

#### Часть 2. Деформации.

2.1 Измерьте зависимости деформации резиновых полосок от приложенной нагрузки. Постройте графики полученных зависимостей.

2.2 на основании полученных в данной части результатов, постройте графики зависимости дифференциальной жесткости обеих полосок от приложенной нагрузки. Сравните эти данные с данными пункта 1.3.

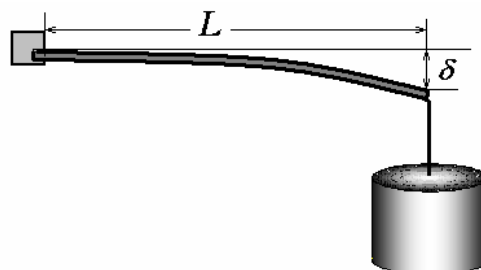
В обыденном сознании упругость чаще всего ассоциируется именно с резиной. Мы убедились, что свойства резины достаточно сложны. Оказывается, что некоторые «неупругие» материалы с большим основанием могут быть отнесены к «упругим». Например, древесина!



#### Задача 46. «Упругость линейки»

**Оборудование.** Линейка деревянная ученическая (40 см), набор грузов лабораторный 6 штук по 100 г, устройство для крепления линейки, линейка для измерения стрелы прогиба, нитки.

В данной работе необходимо исследовать деформацию изгиба деревянной линейки, жестко закрепленной с одного конца (в сопромате такой элемент называется консольной балкой<sup>2</sup>). В качестве величины деформации рассматривается стрела прогиба  $\delta$ , которая зависит от материала линейки, ее размеров и момента внешних приложенных сил.



1. Исследуйте зависимость величины прогиба  $\delta$  от массы подвешенного на свободный конец линейки груза. Длину свободной части линейки сохраняйте неизменной. Установите вид этой зависимости, определите ее параметры.

2. Исследуйте зависимость величины прогиба  $\delta$  от длины свободной части линейки  $L$ , при постоянной массе подвешенного груза. Можно показать, что данная зависимость имеет степенной вид

$$\delta = CL^n. \quad (1)$$

На основании полученных экспериментальных данных определите показатель степени  $n$  в данной формуле.

3. Если груз вывести из положения равновесия, то он начнет совершать колебания в вертикальном направлении. Исследуйте зависимость периода этих колебаний от массы подвешенного груза (при неизменной длине свободной части  $L$ ).

4. Получите (теоретически) формулу для периода вертикальных колебаний. Проверьте ее соответствие полученным экспериментальным данным.

5. Согласуются ли между собой экспериментальные данные, полученные в пунктах 1 и 2?

<sup>2</sup> Более подробно деформация изгиба будет рассмотрена в следующей задаче.

**Комментарии к условию задачи.**

1. Удобно крепить линейку к краю стола с помощью струбцины.
2. Первые два пункта задачи выполняются просто и быстро, поэтому эта часть работы может быть рекомендована не только вундеркиндам.

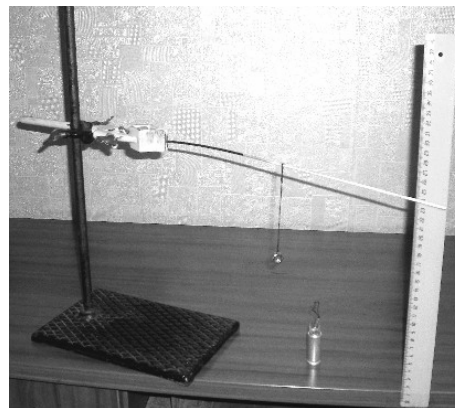
В заключение данного раздела задача с наиболее полными экспериментальными данными и комментарии – может быть, наконец-то станет понятно, о чем здесь шла речь.



**Задача 47. «Как надо прогибаться»**

**Оборудование:** Штатив с лапкой, линейка ученическая, два груза (малый – 5 г, большой -20 г), нитки, скотч, стержень для шариковой ручки, палочка деревянная для шашлыка.

Соберите установку, как показано на снимке. Вставьте палочку в стержень, который закрепите горизонтально в штативе. С помощью скотча закрепите вертикально линейку. Конец палочки должен находиться вблизи линейки.

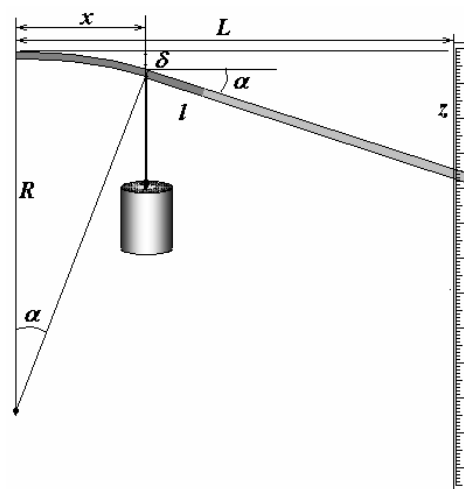


**Внимание!** Чтобы исключить влияние остаточной деформации стержня, перед каждым измерением разогните его до начального положения.

**Теоретическое введение.**

Обозначим длину стержня  $l$ , расстояние между точкой крепления стержня и линейкой  $L$  (то расстояние примерно равно суммарной длине стержня со вставленной в него палочкой). При малых деформациях профиль изогнутой части стержня можно считать дугой окружности (радиус которой обозначим  $R$ ). Изгиб стержня характеризуется *углом изгиба*  $\alpha$  (угол на который отклоняется незакрепленный конец стержня). Очевидно, что это угол также равен угловому размеру дуги, форму которой принимает стержень. Величина отклонения конца стержня от своего начального положения  $\delta$  - называется *стрелкой прогиба*. Так как эта величина в данном эксперименте не велика и трудно поддается точному измерению, то в работе измеряется отклонение конца палочки  $z$ , прикрепленной к стержню, которое легко измеряется с помощью вертикально закрепленной линейки.

Из теории упругих деформаций известно, что угол изгиба участка стержня длиной  $x$



$$\alpha = KM_0x, \quad (1)$$

где  $M_0$  - момент внешних сил (рассчитывается относительно точки крепления стержня), приложенных к изгибаемому участку стержня.

В данной работе вам необходимо исследовать деформации стержня в зависимости от приложенных к нему сил. Для этого вам необходимо подвешивать к стержню или палочке различные грузы (к стержню большой, к палочке - малый). Положение точки подвеса задается с помощью расстояния  $x$ , отсчитываемого от точки крепления стержня.

### **Часть 1. Малый груз.**

Расположите стержень со вставленной палочкой горизонтально. С помощью нити подвесьте малый груз к деревянной палочке.

**1.1** Получите теоретическую зависимость величины отклонения конца стержня от расстояния до точки крепления груза  $z(x)$ .

**1.2** Измерьте зависимость величины отклонения конца стержня от расстояния до точки крепления груза  $z(x)$ . Постройте график полученной зависимости. Сравните полученную экспериментальную зависимость с вашими теоретическими предсказаниями. Укажите возможные причины расхождений.

### **Часть 2. Большой груз.**

С помощью нити прикрепите большой груз к стержню.

**2.1** Измерьте зависимость величины смещения конца палочки от положения точки крепления груза к стержню  $z(x)$ . Постройте график полученной зависимости.

**2.2** Используя полученные данные постройте график зависимости величины стрелки прогиба стержня в точке крепления нити от длины деформируемой части стержня  $\delta(x)$ .

**2.3** Покажите теоретически, что если пренебречь весом палочки, то зависимость величины стрелки прогиба от координаты точки подвеса груза может быть представлена в степенной форме

$$\delta = Cx^\alpha \quad (2)$$

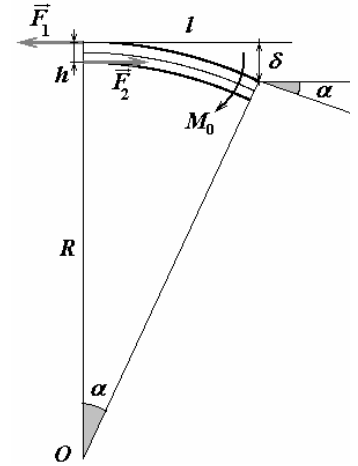
Рассчитайте значение показателя степени  $\alpha$ , используя теоретическое введение.

**2.4** Используя полученные экспериментальные данные, определите показатель степени в формуле (2). Укажите возможные причины различий между теоретической и экспериментальной зависимостями величины стрелки прогиба от координаты точки подвеса груза  $\delta(x)$ .

Теоретическое дополнение (необязательное, но любопытное).

Приведем вывод формулы, приведенной в условии.

Пусть к стержню длиной  $l$  приложен внешний изгибающий момент сил  $M_0$  (он может включать как момент сил тяжести самого стержня, так и дополнительных грузов, подвешенных к стержню). Этот момент сил уравнивается моментом сил, действующих на стержень в месте его крепления. Эти же силы равны по модулю силам упругости, возникающим в деформированном стержне. Так как изгиб стержня относительно мал, то можно считать, что его профиль имеет форму дуги окружности Некоторого радиуса  $R$ , причем части расположенные выше его средней линии растянуты, а расположенные ниже – сжаты. Рассмотрим предельно упрощенную модель изгибающегося стержня. Будем считать, что он состоит из двух одинаковых жестко скрепленных полосок, находящихся на расстоянии  $h$  друг от друга – при изгибе верхняя полоска растягивается, а нижняя сжимается. Угол изгиба связан с радиусом дуги изгиба и длиной стержня очевидным соотношением



$$l = R\alpha. \quad (1)$$

Тогда деформации полосок оказываются равными

$$l_1 = \left(R + \frac{h}{2}\right)\alpha, \quad l_2 = \left(R - \frac{h}{2}\right)\alpha. \quad (2)$$

Так как по закону Гука силы упругости пропорциональны относительной деформации<sup>3</sup>, то для них справедливы выражения

$$F_{1,2} = \gamma \frac{\Delta l_{1,2}}{l} = \pm \gamma \frac{h}{2R}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от материала стержня и его поперечных размеров, но не зависящий от его длины.

Суммарный момент сил, уравнивающий стержень, равен

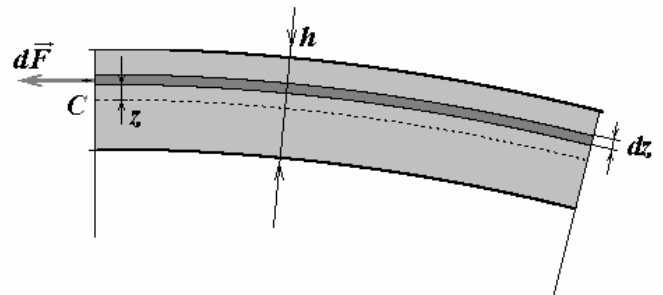
$$M = 2F \frac{h}{2} = \gamma \frac{h^2}{2R} = M_0. \quad (4)$$

Из формулы (1) выразим угол изгиба в зависимости от момента внешних сил, приложенных к стержню

$$\alpha = \frac{l}{R} = \frac{2}{\gamma h^2} M_0 l = KM_0 l, \quad (5)$$

что соответствует формуле, приведенной в условии задачи.

Приведем также для любопытных строгий вывод формул для характеристик изгиба сплошной прямоугольной в сечении балки длиной  $l$ , толщиной  $h$ , шириной  $a$  (за плоскость рисунка). Как и ранее момент внешних сил уравнивается моментом сил упругости в месте закрепления балки. Выделим внутри балки очень тонкий слой толщиной  $dz$ , находящийся на расстоянии  $z$  от центрального продольного сечения



<sup>3</sup> Мы действительно должны рассматривать относительные деформации, так как в обычном «школьном» выражении для закона Гука  $F = -kx$ , коэффициент упругости зависит от длины деформируемого тела.

балки. Эта переменная изменяется от  $-\frac{h}{2}$  до  $+\frac{h}{2}$ . По-прежнему будем считать, что профиль изогнутой балки имеет форму дуги окружности пока неизвестного радиуса  $R$ , угол изгиба обозначим  $\alpha$ . Длина центрального сечения остается неизменной при изгибе и равной  $l = R\alpha$ . Тогда длина выделенного слоя оказывается равной

$$l_z = (R + z)\alpha.$$

Следовательно, ее относительное удлинение равно

$$\varepsilon_z = \frac{l_z - l}{l} = \frac{z}{R}.$$

По закону Гука, механическое напряжение в этом слое определяется формулой

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где  $E$  - модуль Юнга материала балки.

Тогда сила упругости, действующая на место крепления равна

$$dF = \sigma dS = E \frac{z}{R} a dz,$$

а ее момент относительно точки  $C$  -

$$dM = z dF = zE \frac{z}{R} a dz.$$

Для вычисления суммарного момента сил, удерживающего балку, следует последнее выражение проинтегрировать по толщине балки

$$M_0 = \int_{-h/2}^{+h/2} dM = \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{Ea}{R} z^2 dz = \frac{Ea}{R} \frac{h^3}{12}.$$

С точностью до несущественных для нашего рассмотрения коэффициентов эта формула, связывающая радиус изгиба с моментами внешних изгибающих сил совпадает с формулой (4), полученной в рамках простейшей модели.



#### 4.6 Если у вас нету ртути...

Еще одним широко доступным и дешевым материалом для экспериментального изучения является воздух. Имея барометр можно измерить атмосферное давление. Если барометра нет, то можно его изготовить самостоятельно. Как известно, большинство открытий при изучении газов было сделано с помощью ртутного барометра, изобретенного Э. Торричелли. Однако использование ртути в школьных лабораториях запрещено – ртуть токсична. Теоретически ртуть можно заменить любой ругой жидкостью, например, водой. Правда, в этом случае высота барометра должна превышать 10 метров. А может, все-таки, попробуем? Сразу раскроем карты – если исследуемая порция воздуха соприкасается с водой, то этот воздух насыщается водяными парами, и тогда сложно установить, что вы изучаете – сухой воздух или водяной пар.



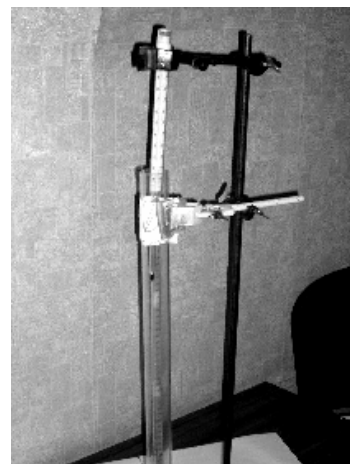
#### Задача 48. «Насыщенный пар»

*Партия учит нас, что газы  
при нагревании расширяются.  
А. Райкин*

В данной работе вам предстоит исследовать зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры. Напоминаем – эта зависимость не линейна, кроме того, давление водяного пара резко возрастает с ростом температуры.

**Оборудование:** Штатив с двумя лапками, две стеклянных трубки с миллиметровыми шкалами, термометр, трубка гибкая пластиковая, горячая и холодная вода.

Соберите установку, показанную на рисунке: в штативе закрепите трубку большего диаметра, внутри расположите трубку меньшего диаметра, закрытым концом вверх (проследите, чтобы вода могла заходить в трубку снизу), в другой лапке штатива укрепите термометр, так чтобы его измерительная часть была погружена между трубками.



***Будьте предельно аккуратны, пожалуйста, не разбейте оборудование!***

***Обязательно!*** – сначала залейте в трубку горячую воду, при этом часть воздуха выйдет из тонкой внутренней трубки, в дальнейшем количество воздуха в этой трубке должно оставаться постоянным!

1. Измерьте зависимость высоты столба газа в трубке от температуры, постройте график этой зависимости.

*В ходе измерений, вы можете доливать, сливать горячую и холодную воду в толстой трубке, рекомендуем для этого использовать гибкий иланг. Обязательно перемешиваете воду в толстой трубке, чтобы температура воды была одинакова по всей высоте. Для перемешивания используйте метод барбализации – пропускания через жидкость воздушных пузырьков, в качестве насоса используйте собственные легкие. Заодно – помоете пол в аудитории.*

*Измерения при высокой температуре удобно проводить, просто дожидаясь остывания воды, для получения результатов при низких (близким к комнатным) температурах требуют долива холодной воды – уж больно медленно она остывает!*

В ходе измерений фиксируйте также высоту уровня воды в широкой трубке – вдруг вам понадобится очень точное значение давления газа в узкой трубке! Значение атмосферного давления вам будет указано.

2. Допустим, что при низких температурах ( $20^{\circ} - 30^{\circ}$ ) давлением паров воды можно пренебречь. В этом случае согласно уравнению состояния идеального газа объем газа линейно зависит от температуры и обратно пропорционален давлению. Проверьте это предположение, оцените на основании своих измерений значение абсолютного нуля температуры (в градусах Цельсия).

3. В соответствии с уравнением Клапейрона-Клаузиуса (знание этого уравнения от вас не требуется) давление насыщенных паров  $P_{нас.}(T)$  связано с абсолютной температурой  $T$  соотношением

$$\ln \frac{P_{нас.}(T)}{P_{нас.}(T_0)} = -\frac{qM}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right), \quad (1)$$

где  $M = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$  - молярная масса воды,  $R = 8,31 \frac{\text{дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  - универсальная газовая постоянная;  $q$  - удельная теплота испарения воды,  $P_{нас.}(T_0)$  - давление насыщенного пара при температуре  $T_0$ .

На основании проведенных измерений проверь выполнимость формулы (1).

Приведите формулу, с помощью которой вы рассчитывали давление насыщенного пара (то есть, как вы исключили давление сухого воздуха в трубке).

Определите значение удельной теплоты испарения воды.

*Комментарии к условию задачи.*

1. При выполнении работы учащиеся должны иметь в своем распоряжении, как холодную, так и горячую воду, чтобы можно было легко изменять температуру газа в трубке.
2. Для получения хороших результатов температура должна достигать не менее  $80^{\circ}$ .





#### 4.7 Капиллярные явления.

При охлаждении насыщенного пара начинается конденсация – выпадает роса. Изучение капель и других капиллярных явлений задача достойная олимпиад самого высокого уровня.

Успешное изучение этих явлений возможно тогда, когда силы поверхностного натяжения не подавляются силой тяжести. Поэтому такие эксперименты приближаются к «микроскопическим» – маленькие капли, тонкие трубки, узкие щели.



#### Задача 49. «Изучение капель»

**Оборудование:** лампочка на подставке; соединительные провода; источник питания (батарея гальваническая 4,5 В); линза собирающая; экран; подставка для капли; пластинка, покрытая воском, шприц одноразовый, вода; линейка; миллиметровая бумага, штатив с лапкой и муфтой.

Плотность воды принять равной  $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

**Часть 1.** Используя имеющееся оборудование, определите фокусное расстояние линзы.

**Часть 2.** «Лежащая капля»

Вам необходимо исследовать форму капли, лежащей на горизонтальной не смачиваемой поверхности. Для этого с помощью лампочки и линзы добейтесь получения на экране четкого изображения капли, лежащей на пластинке. Для измерения размеров изображения разместите на экране кусочек миллиметровой бумаги.

**2.1** Приведите оптическую схему вашей установки, обоснуйте выбор ее параметров, кратко опишите методику ее юстировки (настройки), рассчитайте ее увеличение.

**2.2** Исследуйте зависимость высоты капли от ее диаметра.

Качественно объясните полученную зависимость.

Оцените поверхностное натяжение воды.

*Постарайтесь, чтобы капли имели осесимметричную форму*

**Часть 3.** «Висящая капля»

Получите на экране четкое изображение капли, свисающей из отверстия шприца, закрепленного вертикально с помощью штатива.

**3.1** Опишите изменение формы капли при увеличении ее объема.

Приведите несколько примеров полученных вами изображение (увлекаться светотенями не следует).

**3.2** Определите максимальный объем капли, способной удерживаться на шприце.

Определите по этим данным поверхностное натяжение воды.

*Комментарии к условию задачи.*

1. В качестве не смачиваемой поверхности можно использовать любую пластинку, покрытую воском или стеарином (можно накапать с горящей свечи).
2. Размер пластинки должен быть небольшим, чтобы линзу можно было расположить близко к капле для получения увеличенного изображения.

Поверхностное натяжение жидкости очень сильно зависит от наличия примесей (особенно поверхностно активных веществ). В следующей задаче исследуется влияние этилового спирта на поверхностное натяжение воды.



**Задача 50. «Исследование поверхностного натяжения спиртовых растворов»**

**Оборудование:** Стеклоанная трубка, пробирка, пипетка, линейка, вода, спирт.

**Задание 1.** Исследуйте зависимость поверхностного натяжения раствора спирта в воде от его концентрации.

**Задание 2.** Получите эмпирическую формулу этой зависимости.

Плотность спирта  $\rho_c = 0,90 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , плотность воды  $\rho_w = 1,00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , поверхностное натяжение воды  $\sigma = 70 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ .

*Примечание.* Смачивание раствора считать полным.

*Комментарии к условию задачи.*

1. Внутренний диаметр трубки не должен превышать 1-2 мм.
2. Трубки должны быть тщательно вымыты.
3. Понятно, что много спирта учащимся выдавать не следует.



#### 4.8 Электрические цепи.

Казалось бы, что может быть проще закона Ома?

Сила тока это, что показывает амперметр, а напряжение – то, что показывает вольтметр. Странно, но эти показания оказываются пропорциональны друг другу. В наш век сплошной электрификации это утверждение кажется очевидным. Задумаетесь, а как Георг Симон Ом установил этот закон, когда в квартирах не было розеток, не было школьных амперметров и вольтметров, а китайцы еще не завалили прилавки киосков цифровыми мультиметрами?

Мы уже встречались с задачами на эту тему, но она настолько благодатна для экспериментальных туров олимпиад: во-первых, не сложно подобрать оборудование, во-вторых, эти задачи можно предлагать даже самым младшим участникам, в-третьих, закон Ома и следствия из него не всегда выполняются строго!

Расчет простейших цепей электрического тока – традиционная задача для начинающих физиков. А пробовали вы проверить законы соединения проводников экспериментально?



### Задача 51. «Параллельное соединение проводников»

**Оборудование:** реостат школьный, резистор сопротивлением 1,0 Ом, резистор неизвестного сопротивления, вольтметр школьный, источник питания (ЛИП, или батарейка 4,5 В), ключ электрический, соединительные провода, скотч, полоска миллиметровой бумаги.

В данном задании вам необходимо проверить справедливость закона параллельного соединения проводников, а затем, используя полученные данные, определить неизвестное сопротивление резистора.

#### Часть 1. Градуировка реостата.

Прикрепите с помощью скотча полоску миллиметровой бумаги к нижней части обмотки проволочного реостата, проследите, чтобы она не мешала движению контактов движка реостата.

Соедините последовательно источник питания, реостат, резистор сопротивлением 1,0 Ом, ключ.

1.1 Используя вольтметр измерьте зависимость сопротивления реостата от положения движка. Не забудьте нарисовать схему вашей цепи и объяснить, как вы измеряли сопротивление.

1.2 Постройте график полученной зависимости.

1.3 Рассчитайте электрическое сопротивление единицы длины проволоки реостата.

#### Часть 2. Неизвестное сопротивление.

Подключите к реостату параллельно резистор с неизвестным сопротивлением.

2.1 Измерьте зависимость общего сопротивления реостата с резистором от положения движка реостата.

2.2 На основании полученных экспериментальных данных проверьте выполнимость формулы для общего сопротивления при параллельном соединении резисторов.

2.3 Определите сопротивление неизвестного резистора.

*Все измерения проводите, отступив примерно на 2 см от края обмотки реостата. Включайте цепь только во время проведения измерений!*

Если задача авторам кажется слишком простой, то можно электрическую схему спрятать. Почему задача называется «желтый ящик»? Потому, что у ее автора нашлись желтые коробочки, и он не дальтоник – отличает «желтую коробку» от черного ящика!



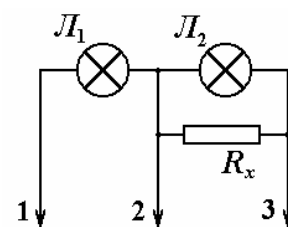
### Задача 52. «Желтый ящик»

#### **Внимание!**

**В ходе проведения эксперимента батарейка может быстро разрядиться. Подключайте батарейку к цепи только во время проведения измерений!**

**Оборудование:** коробка с двумя лампочками и резистором; вольтметры школьные, амперметр школьный, реостат, батарейка 4,5 В, соединительные провода, ключ электрический.

В выданном вам секретном желтом ящике находятся две одинаковые электрические лампочки  $L_1$  и  $L_2$ , соединенные последовательно, параллельно к одной из лампочек подключен резистор  $R_x$ , сопротивление которого вам предстоит определить. От схемы наружу сделано три вывода – от концов и середины схемы. На схеме они пронумерованы 1-2-3. На коробке выводы обозначены «А», «В», «С» (последовательность выводов может быть иной, чем показана на схеме).



**Задание 1.** Используя предоставленное оборудование, определите, какой из проводов какому выводу схемы соответствует. Иными словами, установите соответствие между номерами выводов на схеме «1», «2», «3» и обозначениями на коробке. Ответ обоснуйте проведенными опытами.

*Не забывайте – сопротивление лампочки зависит от силы протекающего тока!*

**Задание 2.** Получите вольтамперные характеристики (то есть зависимости силы тока от напряжения) лампочки накаливания и резистора. Постройте графики полученных зависимостей. Приведите электрические схемы, использованные вами при проведении исследований.

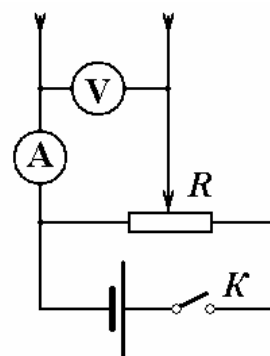
**Обязательно укажите, между какими выводами «желтого ящика» вы проводили измерения!**

Определите сопротивление резистора (не забудьте указать погрешность этого значения).

На этом можно было бы и закончить формулировку условия, но мы решили вам помочь!

Вам необходимо измерить зависимость силы от приложенного напряжения – нет проблем!? Можно собрать схему измерительного устройства, позволяющую изменять напряжение, измерять его и измерять силу тока. Но в нашем (следовательно, и в вашем) распоряжении имеется только школьный амперметр. Цена его деления 0,1 А. Силы измеряемых токов не превышают 0,2А, то есть не более двух делений. Поэтому от использования амперметра пришлось отказаться!

*Поэтому мы решили вам помочь!*



Силу тока можно определить, измеряя напряжение на резисторе с известным сопротивлением, например, 1,0 Ом. Но и эти напряжения не велики, и школьный вольтметр (6,0 В с ценой деления 0,2 В).

*Поэтому мы решили вам помочь!*

Почему бы не измерять напряжения непосредственно на реостате? Дадим вам два вольтметра! Рекомендуем (но не настаиваем) использовать для измерений следующее измерительное устройство.

При замкнутом ключе  $K_1$  измеренные значения напряжений  $U_1$  и  $U_0$  позволяют определить напряжение и силу тока в исследуемой цепи, при условии, что вам известны значения сопротивлений частей реостата  $R_1$  и  $R_2$ . Но, к сожалению, они не известны, поэтому мы решили вам помочь!

И предлагаем, не меняя положения движка реостата, разомкнуть ключ  $K_1$  и еще раз измерить напряжения на вольтметрах  $U_{10}$  и  $U_{00}$ . Этих четырех значений достаточно, чтобы рассчитать силу тока и напряжение на исследуемой цепи!

Итак, соберите измерительную цепь, подключите к ней нужные вам выводы из «желтого ящика» (еще раз напоминаем – обязательно укажите, какие выводы вы подключаете!). Изменяя положения движка реостата, измерьте значения четырех напряжений, проведите расчеты сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  (запишите формулы, по которым вы проводите эти расчеты – полное сопротивление реостата  $R_0$  указано на нем), рассчитайте значение силы тока  $I$  через исследуемую цепь (приведите формулу, по которой вы проводите расчет).

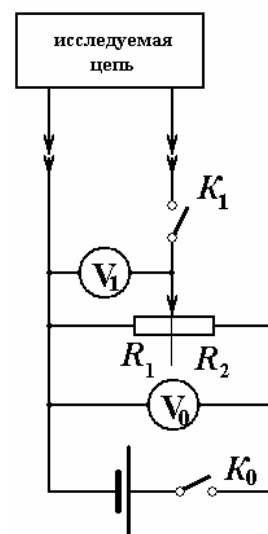
Результаты измерений предлагаем представлять в виде таблиц

$U_1, \text{В}$	$U_0, \text{В}$	$U_{10}, \text{В}$	$U_{00}, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$I, \text{А}$

***И последнее, разрешаем, рекомендуем, настаиваем проводить измерения напряжений с точностью до четверти деления шкалы, хотя это не позволительно, согласно инструкциям!***

***Комментарии к условию задачи.***

1. В работе используются лампочки с номинальным напряжением 2,5 В.
2. Сопротивление резистора внутри коробки 3-4 Ом.



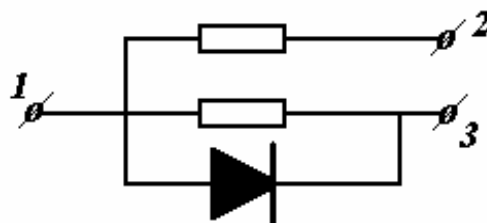
А автор этой задачи нашел красные коробки, и перекрашивать их в черный цвет не захотел!



### Задача 53. «Красный ящик»

**Оборудование:** «красный ящик» с тремя выводами, вольтметр, амперметр, микроамперметр, источник питания, реостат, соединительные провода.

Внутри коробки («красного ящика») находятся два резистора и диод, соединенные по схеме, показанной на рисунке. Диод может быть включен в любом направлении. На коробке выводы обозначены «А», «В» и «С».



1. Поставьте им в соответствие точки 1, 2, и 3 на приведенной схеме.
2. Определите сопротивления резисторов.
3. Постройте вольтамперную характеристику диода при напряжениях от 0 до 1,5 В в прямом направлении.

**Внимание!** Первоначально во всех измерениях используйте амперметр и только при необходимости используйте микроамперметр, иначе вы можете вывести микроамперметр из строя.

#### *Комментарии к условию задачи.*

1. Мы не приводим значения сопротивлений резисторов – их подбор зависит от используемого диода. Очевидно, что эти сопротивления должны быть сравнимы с сопротивлением диода в номинальном режиме.



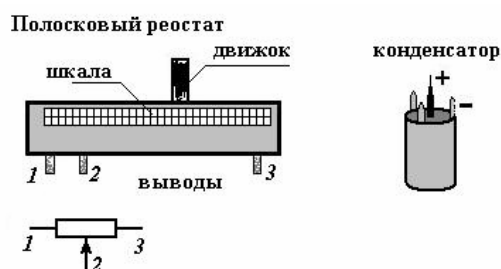
Приборы можно использовать не только по прямому назначению, так в данной работе предлагается использовать обычный школьный вольтметр в качестве измерителя прошедшего заряда – гальванометра.



### Задача 54. «Вольтметр - гальванометр»

**Оборудование:** источник питания ЛИП, вольтметр, полосковый реостат со шкалой, конденсатор известной емкости, ключ – переключатель, соединительные провода, стержень металлический с проводом, часы, кусочек металлической фольги, скрепка.

Физические приборы можно использовать для измерения различных величин. В данной работе школьный лабораторный вольтметр используется для измерения ... электрического заряда. При протекании кратковременного импульса тока отброс стрелки вольтметра зависит от прошедшего через него электрического заряда. Прибор для измерения заряда таким способом называется баллистическим гальванометром.



#### Часть 1. Градуировка реостата.

Подключите реостат к источнику питания так, чтобы с его помощью легко можно было регулировать выходное напряжение.

1. Постройте график зависимости выходного напряжения на реостате от положения движка.
2. Подключите к выходу реостата конденсатор. Постройте график зависимости напряжения на конденсаторе от положения движка реостата.

Объясните полученные зависимости.

#### Часть 2. Градуировка баллистического гальванометра.

Соберите электрическую цепь, позволяющую заряжать конденсатор до известного напряжения и разряжать его через вольтметр.

1. Постройте график зависимости величины отброса стрелки вольтметра (работающего в качестве гальванометра) от заряда, прошедшего через него.

#### Часть 3. Измерения.

1. Зарядите конденсатор до максимального напряжения. Отключенный от цепи он все равно разряжается. Постройте зависимость напряжения на конденсаторе от времени разрядки. Определите электрическое сопротивление конденсатора.
2. Оцените время столкновения металлического стержня с поверхностью стола.

*Можете держать стерженек в руке и постукивать им по столу.*

Сопротивление вольтметра считайте равным  $R_V = (4,3 \pm 0,2) \text{ кОм}$

***Комментарии к условию задачи.***

1. Полосковые реостаты используются в различных приборах – телевизорах, музыкальных центрах. Обращаем внимание, что часто его сопротивление нелинейно зависит от положения движка. Рекомендуем использовать реостат с максимальным сопротивлением в несколько кОм.
2. Конденсатор должен емкостью не менее 10мкФ.
3. В данной работе используется обычный школьный вольтметр с относительно небольшим внутренним сопротивлением, в этом случае время разрядки оказывается небольшим (несколько миллисекунд), поэтому отклонение стрелки вольтметра и оказывается пропорциональным прошедшему заряду.
4. Для выполнения последней части нужен металлический стержень диаметром порядка 1 см и длиной около 5 см. Один из концов этого стержня следует слегка закруглить. Ко второму концу стержня нужно присоединить провод. Вместо кусочка фольги можно использовать металлическую пластинку. Но в любом случае, фольгу или пластинку следует располагать на твердой поверхности, чтобы удар стержня был достаточно упругим.

**Дополнение.**

Использовать вольтметр в качестве гальванометра можно и в других задачах. Например, при быстром извлечении магнита из катушки индуктивности в ней возникает кратковременная ЭДС. Можно замкнуть катушку на вольтметр и измерить прошедший заряд, который оказывается пропорциональным изменению магнитного потока через катушку. Такой эксперимент позволяет изучать характеристики магнитов, а также проверить закон электромагнитной индукции.



#### 4.9 Производство электроэнергии

Энергетическая безопасность страны есть важнейшая составляющая ее всеобщей безопасности. В стране, которая бедна природными энергетическими ресурсами (за исключением болотного торфа), проблема поиска альтернативных источников энергии всегда будет актуальной. Для решения этой проблемы можно использовать практически все – как гидроэнергию малых рек (которых у нас достаточно), так и гальваническую энергию лимонов, которые у нас, к сожалению, могут произрастать только на подоконниках. Прежде чем создавать промышленные установки, необходимо разобраться в принципах их работы, создать экспериментальные образцы, провести их исследование, чем сейчас мы сейчас и займемся.



## Задача 55. «Гальванический лимон»

**Оборудование:** медная и оцинкованная пластинки, стальная игла, кусок медной проволоки, соединительные провода, ключ электрический, резистор с сопротивлением 1,0 Ом, мультиметр, набор цитрусовых, раствор лимонной кислоты.



Между двумя разными металлами, помещенными в электролит, возникает гальваническая ЭДС. В качестве электролита могут выступать и фруктовые соки. Изучение «фруктовых» гальванических элементов является основной целью данного экспериментального задания.

*В данной работе мультиметр следует использовать только в качестве вольтметра, так как измерение с его помощью малых токов проводится с большой и неконтролируемой погрешностью.*

*Сопротивление мультиметра при измерении напряжения превышает 500 кОм.*

### Часть 1. «Фрукты»

Воткните стальную иглу и медную проволоку в кусок фрукта, при этом между этими электродами возникает гальваническая ЭДС.

Измерьте возникающую гальваническую ЭДС в лимоне, грейпфруте и мандарине (не забудьте оценить погрешность проведенных измерений).

Объясните полученные результаты.

### Часть 2. «Лимон в стакане»

Для дальнейших экспериментов используйте «модифицированный лимонный элемент»: между двумя металлическими пластинками (медной и оцинкованной) расположите марлевый тампон, смоченный раствором лимонной кислоты. Ваша задача – исследовать электрические характеристики этого элемента, при его разрядке через резистор известного сопротивления.

*Внимание: электрические характеристики гальванического элемента зависят от электрического заряда, протекшего через него, поэтому сначала полностью соберите электрическую цепь, только после этого приступайте к измерениям силы тока.*

2.1 Соберите электрическую цепь, позволяющую измерять зависимость силы тока и ЭДС источника от времени.

2.2 Проведите измерения зависимости силы тока, протекающего через резистор, и ЭДС источника от времени разрядки.

2.3 Постройте графики полученных зависимостей. Дайте их качественное объяснение.

2.3 Постройте зависимость внутреннего сопротивления «лимонного» элемента от заряда, прошедшего через источник. Предложите эмпирическую функцию, описывающую полученную зависимость, определите ее параметры.

***Комментарии к условию задачи.***

1. В данной работе вместо мультиметра использовать миллиамперметр.
2. Для изготовления гальванического элемента следует использовать пластинки площадью не менее  $5 \text{ см}^2$ . Марлевый тампон сложен из 8-10 слоев марли и зажат между пластинками, которые можно обвязать ниткой.
3. Результаты измерений сильно варьируются для разных элементов, поэтому приведенные данные следует рассматривать как один из возможных примеров.

Основой большинства промышленных электрических энергетических установок является генератор, устройство которого принципиально совпадает с устройством электродвигателя, поэтому изучать их работу надо совместно.



### Задача 56. «Двигатель и генератор»

**Оборудование:** модель электродвигателя; батарейка 4,5 В; амперметр; вольтметр; реостат; соединительные провода; секундомер; нитки, набор грузов, линейка.

Известно, что электрический двигатель и электрический генератор устроены одинаково. Если через обмотку двигателя пропускать электрический ток, то вал двигателя начинает вращаться, а если вращать вал двигателя, то в цепи обмотки может появиться электрический ток.

#### Часть первая. «Двигатель»

1. Постройте зависимость силы тока через обмотку двигателя от приложенного напряжения при неработающем двигателе. Определите сопротивление обмотки и амперметра.

*Будьте аккуратны – сопротивление обмотки мало!*

Закрепите двигатель на краю стола, на вал двигателя намотайте нить, к которой нужно привязывать грузы различной массы.

2. Постройте зависимость напряжения на работающем двигателе от силы протекающего через него электрического тока при фиксированной массе подвешенного груза.
3. Измерьте зависимость силы тока, протекающего через двигатель при постоянном напряжении источника, от массы подвешенного груза.
4. Измерьте зависимость механической мощности двигателя от приложенного к двигателю напряжения при постоянной массе подвешенного груза.
5. Постройте график зависимости КПД двигателя от его мощности.

#### Часть вторая. «Генератор»

1. Постройте график зависимости КПД генератора от приложенной механической мощности.

*В качестве «полезной» мощности используйте мощность электрического тока, выделяемую на амперметре.*

#### **Комментарии к условию задачи.**

1. В работе можно использовать разборную модель электродвигателя, либо любой другой небольшой электродвигатель для детских игрушек.
2. Набор грузов следует подобрать так, чтобы двигатель смог их поднимать. Эти же грузы используются и во второй части работы, как источник энергии генератора.

Нельзя разрабатывать энергетические установки, не зная закона электромагнитной индукции!



### Задача 57. «Закон электромагнитной индукции»

**Оборудование:** головной телефон, мультиметр, секундомер, конденсатор, диод полупроводниковый, магнит кольцевой, грузик, соединительные провода, штатив, нитки, линейка.

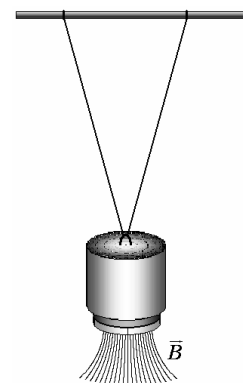
Емкость конденсатора  $C = (50 \pm 1) \text{ мкФ}$ .

Сопротивление катушки головного телефона  $R = 1,2 \text{ кОм}$

Соберите установку, как показано на рисунке: железный груз подвесьте на двух нитях (бифилярный подвес), что бы колебания проходили в одной плоскости. К железному грузу прикрепите снизу магнит.

На подставке штатива закрепите с помощью кусочка пластилина головной телефон. Подвешенный груз с магнитом должен проходить точно над катушкой телефона. Длина маятника должна быть не менее 70 см.

Для измерения амплитуды колебаний прикрепите к основанию штатива линейку.

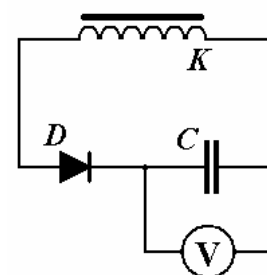


При раскачивании груза с магнитом в катушке телефона возникает ЭДС. Этот импульс не сложно увидеть на экране осциллографа, но очень сложно обеспечить всех участников олимпиады индивидуальными осциллографами.

Для экспериментального исследования явления вам предлагается использовать следующую электрическую схему. К катушке головного телефона  $K$  подсоедините последовательно диод  $D$  и конденсатор  $C$ , к последнему подключите мультиметр. Измерения следует проводить в диапазоне 2000 мВ.

Теперь, ЭДС индукции, возникающая в катушке, заряжает конденсатор, напряжение на котором легко измерить.

Соберите установку. Убедитесь в ее работоспособности. Добейтесь, чтобы напряжение на конденсаторе достигало не менее 500 мВ.



Основная цель вашей работы – экспериментальное изучение закона электромагнитной индукции.

1. Измерьте период колебаний вашего маятника.
2. Зарядите конденсатор и измерьте зависимость напряжения на нем от времени при разрядке только через мультиметр. Определите сопротивление мультиметра.
3. Зарядите конденсатор и измерьте зависимость напряжения на нем от времени при разрядке через вольтметр, диод и телефон.

4. Измерьте зависимость максимального напряжения на конденсаторе от амплитуды колебаний груза.
5. Теоретически опишите зависимость напряжения на конденсаторе от времени (можно и нужно сделать разумные допущения). Постройте примерный график этой зависимости. Получите приближенную формулу, описывающую зависимость максимального напряжения на конденсаторе от амплитуды колебаний маятника.
6. Проверьте, выполняется ли в данном эксперименте закон электромагнитной индукции Фарадея. Оцените максимальный магнитный поток, который создает магнит в катушке головного телефона.

#### **Примечания и подсказки.**

1. ЭДС индукции, возникающая в катушке головного телефона, очень сильно зависит от расстояния между магнитом и телефоном. Не стремитесь добиться максимальной ЭДС (нам удалось зарядить конденсатор почти до 2 В) – проводите измерения (в п. 4) при расстояниях между магнитом и телефоном порядка 1 см – в этом случае показания будут более стабильными.
2. Проведите разумные оценки времен разряда конденсатора через мультиметр и телефон и сравните их со временем прохождения магнита над телефоном.
3. Конденсатор заряжается до максимального напряжения далеко не сразу – нужно подождать не менее 10 проходов магнита над катушкой! Никто не запрещает вам время от времени подталкивать маятник!
4. Заряжать конденсатор (для проведения измерений в п. 2 и 3) следует с помощью магнита, в этом случае расстояние между магнитом и телефоном можно уменьшить.

#### ***Комментарии к условию задачи.***

1. Нами использовались головные телефоны ТОН-2. Можно попробовать использовать и другие типы наушников с магнитным сердечником.





#### 4.10 Да будет свет!

Без преувеличения можно сказать, что изучение оптических явлений во многом определило развитие современной физики целиком. Теория относительности, квантовая физика выросли из оптических проблем, и это наиболее яркие примеры. В средние века именно оптика послужила полигоном, на котором начали отрабатываться методы математического описания физических процессов. И в настоящее время оптические методы являются одними из основных во всех естественных науках. Не можем и мы пройти мимо оптических задач, тем более что, в источниках света дефицита не наблюдается – даже еще недавно экзотические лазеры продаются в киосках, доступны светодиоды, не говоря уж об обычных лампочках накаливания. Посмотрим же внимательно на некоторые знакомые и привычные оптические явления, как источники интересных экспериментальных задач.