

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике  
 Центрального оргкомитета Всероссийских олимпиад школьников  
 Министерства образования и науки Российской Федерации  
 Телефоны: (095) 408-80-77, 408-86-95.  
 E-mail: [fizolimp@mail.ru](mailto:fizolimp@mail.ru) (с припиской **antispam** к теме письма)

### Авторы задач

9 класс

1. Фольклор
2. Шведов О.

10 класс

1. Слободянин В.
2. Муравьев В.

11 класс

1. Дунин С.
2. Шведов О.

Общая редакция — Дунин С., Слободянин В.

Оформление и верстка — Чудновский А., Самокотин А.

При подготовке оригинал-макета  
 использовалась издательская система L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>.  
 © Авторский коллектив  
 Подписано в печать 13 марта 2005 г. в 21:12.

141700, Московская область, г. Долгопрудный  
 Московский физико-технический институт

### Задача 1. Калибровка нелинейного резинового жгута

При растяжении резинового жгута его удлинение  $\Delta L$  нелинейно зависит от растягивающей силы  $F$ .

1. Предложите метод, позволяющий с помощью груза массой 100 г откалибровать резиновый жгут, то есть установить соответствие между его удлинением  $\Delta L$  и растягивающей силой  $F$ .
2. Проведите необходимые измерения. По данным измерений постройте на миллиметровой бумаге график зависимости удлинения  $\Delta L_i$  резинового жгута, состоящего из одного кольца, от растягивающей силы  $F_i$ .
3. Заполните таблицу соответствия:

Масса груза, г	50	100	150	200	300	400	500	600
Удлинение, см								

4. Оцените ошибки измерений.

*Оборудование.* Резиновое кольцо, деревянная рейка, две кнопки с пластмассовой шляпкой, струбцина, груз массой 100 г, лист миллиметровой бумаги формата А3, кусок нити длиной  $40 \div 50$  см.

### Задача 2. Измерение электрических сопротивлений

Определите сопротивления вольтметра, батарейки и резистора. Известно, что реальную батарейку можно представлять как идеальную, последовательно соединенную с некоторым резистором (рис. 1), а реальный вольтметр — как идеальный, параллельно которому включен резистор (рис. 2).

*Оборудование.* Батарейка, вольтметр, резистор с неизвестным сопротивлением, резистор с известным сопротивлением.

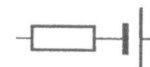


Рис. 1

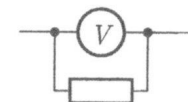


Рис. 2

**Задача 1. Прогиб балки**

«Стрелка прогиба»  $\delta$  балки зависит от длины  $L$  балки (рис. 3) и может быть представлена в виде функции:  $\delta = AL^n$ , где  $A$  и  $n$  — константы. Используйте металлическую ленту рулетки для моделирования прогиба балки.

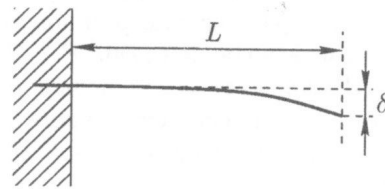


Рис. 3

1. Предложите метод, позволяющий определить показатель степени  $n$  в формуле  $\delta = AL^n$ , и зарисуйте схему установки.
2. По данным измерений постройте на миллиметровой бумаге график в координатах, удобных для определения величины  $n$ . Возможно, начиная с некоторой длины  $L_0$  металлической ленты рулетки, величина  $n$  станет изменяться. В этом случае отметьте на графике эту длину.
3. Оцените ошибку измерений.

**Оборудование.** Рулетка, обрезок доски, струбцина, миллиметровая бумага, линейка.

**Задача 2. Суп из карандаша**

Определите удельное сопротивление  $r$  графита.

**Оборудование.** Карандаш, источник известного напряжения, пробирка, резак, миллиметровая бумага, вода, термометр, секундомер.

**Примечание.** Теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · К), а ее плотность  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

**Задача 1. «Надувательство» шарика**

Определите работу по растяжению оболочки при надувании воздушного шарика.

**Примечание.** Шарик следует надувать до максимального диаметра около 30 см.

**Оборудование.** Воздушный шарик, водяной  $U$ -образный манометр, соединительные трубки, измерительная лента, лист миллиметровой бумаги.

**Задача 2. Мостовая схема с диодом**

В ваше распоряжение предоставляется электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке 4.

1. Установите ручку потенциометра 2 в положение, в котором сопротивление  $r_2$  делится пополам.

2. Вращая ручку потенциометра 1 и при необходимости замыкая и размыкая ключ К2, постройте график зависимости напряжения  $U$  на диоде от параметра  $x$ .

Здесь  $r_1x$  и  $r_1(1-x)$  — сопротивления левой и правой (по схеме) частей потенциометра соответственно.

3. Каким был бы этот график, если бы диод был идеальным? Как можно объяснить расхождение между «экспериментальным» и «теоретическим» графиками?

4. Как по результатам измерений построить вольтамперную характеристику диода?

Вольтметр и батарейку считайте идеальными. Сопротивления потенциометров  $r_1$  и  $r_2$  заданы.

**Оборудование.** Мостовая схема с диодом, батарейкой и потенциометрами с известными сопротивлениями.

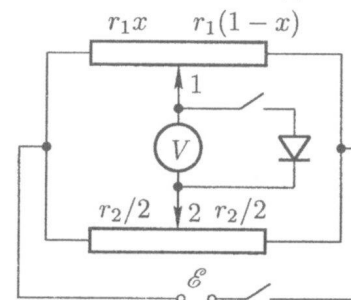


Рис. 4

Возможные решения

9 класс

**Задача 1. Калибровка нелинейного резинового жгута**

Деревянную рейку прижимаем струбциной к краю стола. К концу узкой грани рейки прикрепляем кнопкой за угол лист миллиметровой бумаги. Резиновое кольцо зацепляем за кнопку. С помощью нити к середине свободной части резинки привязываем груз (рис. 5). Место соединения отводим в сторону, изменяя таким образом длину резинки, и добиваемся требуемого растягивающего усилия.

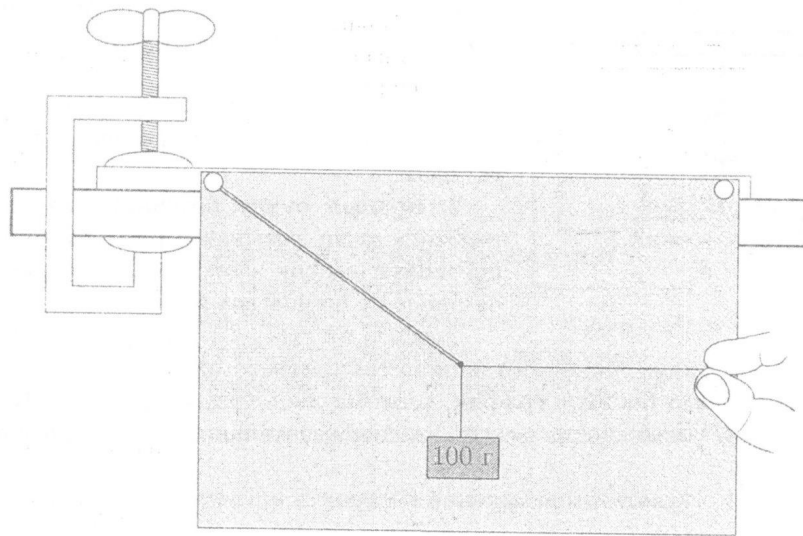


Рис. 5

*Рекомендации для организаторов.* Рейка (предварительно обработанная фуганком) должна иметь размеры (40 мм × 20 мм × 60 см). В зависимости от упругих свойств имеющихся резинок длина рейки может быть изменена. У струбцины расстояние между упорами должно составлять примерно 100 мм (быть больше, чем суммарная толщина рейки и столешницы). Если кнопки можно втыкать в край стола, то струбцина и деревянная рейка не требуются.

**Задача 2. Измерение электрических сопротивлений**

Пусть  $\mathcal{E}$  — ЭДС батарейки,  $R_1$  — ее сопротивление,  $R_2$  — сопротивление вольтметра,  $R_3$  — неизвестное сопротивление,  $R$  — известное.

Соберем электрические цепи согласно схемам на рисунках 6, 7 и 8:

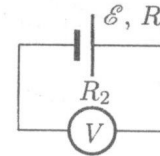


Рис. 6

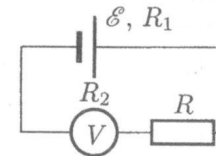


Рис. 7

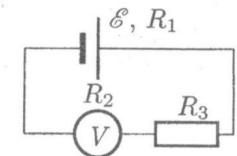


Рис. 8

Показания вольтметра будут соответственно равны

$$U_1 = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2}, \quad U_2 = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2 + R}, \quad U_3 = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Из результатов измерений найдем  $R_1 + R_2$ ,  $R_3$  и  $\mathcal{E} R_2$ .

Далее, соберем цепи, согласно рисункам 9 и 10.

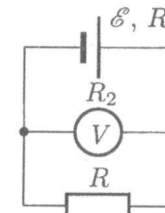


Рис. 9

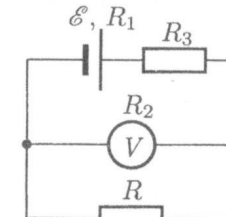


Рис. 10

Показания вольтметра в первой из этих цепей

$$U'_1 = \frac{\mathcal{E} \frac{R_2 R}{R_2 + R}}{R_1 + \frac{R_2 R}{R_2 + R}} = \frac{\mathcal{E} R_2 R}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2) R},$$

а во второй —

$$U'_2 = \frac{\mathcal{E} R_2 R}{(R_1 + R_3) R_2 + (R_1 + R_3 + R_2) R}.$$

Отсюда находим  $R_1 R_2$  и  $(R_1 + R_3) R_2$ , а, значит,  $R_1$  и  $R_2$ .

*Рекомендации для организаторов.* Сопротивления батарейки, вольтметра и резисторов должны быть одного порядка, но разными. Для этого к обычной батарейке (4,5 В) следует подсоединить резистор с сопротивлением порядка сопротивления вольтметра. Если вольтметр цифровой, резисторы надо подсоединять и к батарейке, и к вольтметру.

## Задача 1. Прогиб балки

Прикрепим рулетку с помощью струбцины к обрезку доски, установленному на край стола, так, чтобы металлическая лента выдвигалась горизонтально (рис. 11). Отклонение начального участка ленты от горизонтального положения существенно образом влияет на точность последующих измерений. По мере удлинения выдвинутой части ленты измеряем ее «стрелку прогиба» и результаты заносим в таблицу. Можно заметить, что при удвоении длины ленты «стрелка прогиба» возрастает в 16 раз, то есть  $n = 4$ .

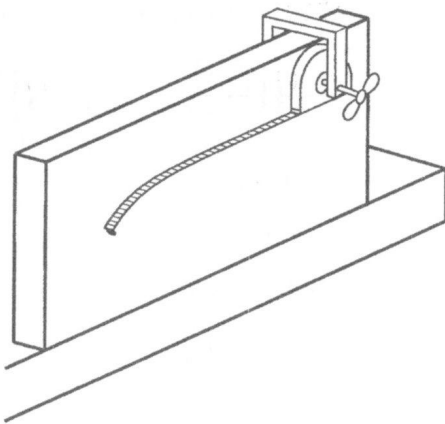


Рис. 11

Показатель степени  $n$  можно определить и графически как угловой коэффициент графика зависимости  $\ln \delta$  от  $\ln L$ .

При слишком большой длине свободной части ленты «стрелка прогиба»  $\delta$  становится столь значительной, что угол  $\alpha$  уже нельзя считать малым (рис. 12). В этом случае отклонения от зависимости  $\delta = AL^n$  могут стать существенными.

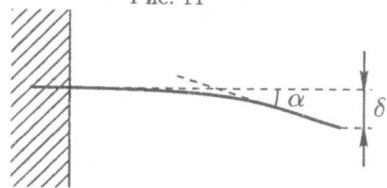


Рис. 12

**Рекомендации для организаторов.** Обрезок доски (предварительно обработанной фуганком) должен иметь размеры (40 мм × 20 см × 20 см). Предполагается, что учащиеся будут устанавливать обрезок доски так, чтобы грань (40 мм × 20 см) лежала на поверхности стола. У струбцины расстояние между упорами должно составлять примерно 100 мм. Рулетку выбирайте с длиной ленты 3 ÷ 5 м и с фиксатором выдвинутой части. Вместо обрезка доски можно использовать штатив с лапкой.

## Задача 2. Суп из карандаша

Графитовый стержень является хорошим проводником. Если через него пропустить электрический ток, то грифель будет нагреваться. Заточим карандаш с обоих концов, подсоединим к ним два провода, которые подключим к источнику напряжения. Поместим карандаш в пробирку с водой. За время  $\Delta t$  на карандаше выделится количество теплоты:

$$\Delta Q = cm\Delta T = \frac{U^2}{R} \Delta t, \quad (1)$$

где  $m$  — масса воды в пробирке,  $\Delta T$  — изменение ее температуры,  $U$  — напряжение источника,  $R$  — сопротивление карандаша.

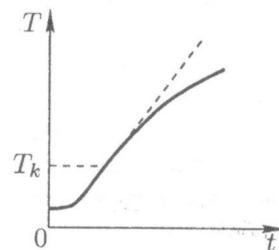


Рис. 13

Снимем зависимость  $T(t)$  и построим ее график (рис. 13). В течение первых 20 ÷ 30 с от начала эксперимента температура воды практически не изменяется, поскольку происходит прогрев деревянной части карандаша. При температурах близких к комнатной ( $T_k$ ) теплообменом с окружающей средой можно пренебречь и считать формулу (1) точной. Максимальное значение углового коэффициента графика

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{U^2}{cmR}, \quad \text{откуда} \quad R = \frac{U^2}{cpVk},$$

где  $V$  — объем воды в пробирке, измеряемый с помощью миллиметровки перед погружением в нее термометра и карандаша.

Удельное сопротивление  $r$  можно выразить через сопротивление  $R$  грифеля по известной формуле:

$$r = R \frac{S}{l} = \frac{U^2 \pi d^2}{4cpVkl}.$$

Здесь  $S = \pi d^2/4$  — площадь сечения грифеля. Длину  $l$  графитового стержня измеряем миллиметровой бумагой, а диаметр  $d$  — прокатывая кусочек грифеля по ней или методом рядов.

**Рекомендации для организаторов.** В качестве источника напряжения разумно использовать школьные пятивольтовые преобразователи. При подключении низкоомного графитового стержня к источнику напряжения, его величина может уменьшаться, поэтому участникам олимпиады необходимо указать фактическое напряжение. Диаметр пробирки должен быть таким, чтобы в нее кроме карандаша могла поместиться колбочка термометра, содержащая спирт. Концы проводов, подсоединяемых к грифелю должны обеспечивать надежный контакт с ним. Карандаш можно заменить толстым грифелем, тогда резак не нужен.

**Задача 1. «Надувательство» шарика**

Работа по растяжению оболочки шарика численно равна площади графиком зависимости  $p$  от  $V$ , где  $V$  — объем шара, а  $p$  — превышение давления внутри него над атмосферным. Поскольку измерять давление и объем при надувании воздуха в шарик неудобно, для построения графика воспользуемся «обратным» методом.

Надуем шар до указанного в условии размера и подсоединим его к манометру. Манометр покажет величину  $p$ , которую нужно пересчитать из сантиметров водяного столба в паскалы. Охватив шарик измерительной лентой по наибольшей и наименьшей окружностям центрального сечения, рассчитаем его средний радиус  $R_{ср}$ . Объем шарика примем равным  $V = \frac{4}{3}\pi R_{ср}^3$ .

Будем теперь понемногу выпускать воздух из шарика, повторяя измерения давления и объема. По результатам измерения построим график на миллиметровой бумаге и определим площадь под полученной кривой. Повторим измерения несколько раз, чтобы оценить погрешность и убедиться, что измеряемая величина достаточно слабо зависит от количества циклов надувания. Среднее значение полученной величины и будет искомой работой.

**Рекомендации для организаторов.** Шарик для эксперимента желательно предоставить такие, чтобы в надутом состоянии их форма была достаточно близка к сферической. Когда шарик надувают в первый раз, работа по растяжению его оболочки заметно больше, чем в последующие, поэтому каждый шарик обязательно необходимо два раза надуть до максимального указанного объема перед тем, как выдавать его учащимся.

Следует убедиться, что давление внутри надутого шарика укладывается в диапазон измерений манометра. В качестве манометра можно использовать школьный так называемый демонстрационный манометр, в комплект которого входит тройник с пробкой, позволяющий удобно выпускать воздух из шарика. В случае отсутствия таких манометров можно изготовить  $U$ -образный манометр, например, соединив отрезком резиновой трубки две стеклянные трубки длиной около 30 см, закрепленные вертикально на какой-либо стойке.

Необходимо выдать соединительную резиновую трубку для подсоединения шарика к манометру и отрезок стеклянной трубки, такой, что на один ее конец может быть надета резиновая трубка, а на второй — «горлышко» шарика. Если «горлышко» шарика имеет слишком большой диаметр и не держится на стеклянной трубке в надутом состоянии, то необходимо добавить в комплект оборудования нитки, позволяющие плотно присоединить его к трубке.

**Задача 2. Мостовая схема с диодом**

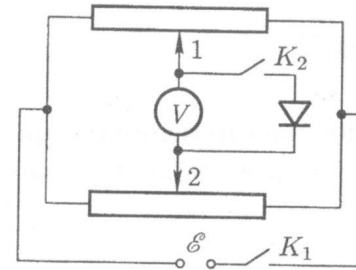


Рис. 14

1. С помощью ключа  $K_1$  подключаем цепь к батарее. Пусть ключ  $K_2$  разомкнут (рис. 14). Потенциометр 2 можно установить в среднее положение так: установим потенциометр 1 в крайнее положение; тогда при вращении ручки потенциометра 2 напряжение на вольтметре будет меняться от 0 до  $\mathcal{E}$ , причем деление сопротивления пополам будет соответствовать показанию вольтметра  $\mathcal{E}/2$ . Проверить правильность установки потенциометра 2 можно следующим образом:

при вращении ручки потенциометра 1 показание вольтметра должны меняться от  $-\mathcal{E}/2$  до  $\mathcal{E}/2$ .

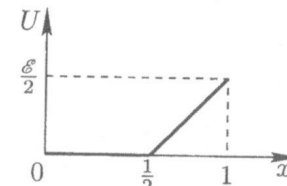


Рис. 15

2. Снимем зависимость показаний  $U$  вольтметра при замкнутом ключе  $K_2$  от его показаний  $U_0$  при разомкнутом ключе для различных положений ручки потенциометра 1. Учитывая, что  $U_0 = \mathcal{E}(x - 1/2)$ , по результатам измерений построим график  $U(x)$ .

3. Для идеального диода график зависимости  $U(x)$  должен иметь вид, изображенный на рис. 15.

Отклонения от этого «теоретического» графика связаны с неидеальностью диода.

4. По результатам измерений зависимости  $U(x)$  можно построить вольтамперную характеристику диода. Действительно, рассмотрим электрическую цепь, изображенную на рисунке. Напряжение на резисторе  $r_1 x$  равно  $\mathcal{E}/2 + U$ , на резисторе  $r_1(1 - x)$  равно  $\mathcal{E}/2 - U$ .

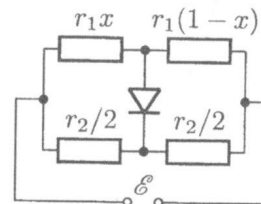


Рис. 16

Следовательно, токи через резисторы равны соответственно

$$\frac{\mathcal{E}/2 + U}{r_1 x} \quad \text{и} \quad \frac{\mathcal{E}/2 - U}{r_1(1 - x)}.$$

Ток через диод равен их разности:

$$I = \frac{\mathcal{E}/2 + U}{r_1 x} - \frac{\mathcal{E}/2 - U}{r_1(1 - x)}.$$

Следовательно, зависимость  $x(U)$  пересчитывается в  $I(U)$ .

**Рекомендации для организаторов.** Рекомендуется использовать плоскую батарейку с ЭДС 4,5В, потенциометры с сопротивлениями в несколько килоом. В качестве вольтметра целесообразно использовать цифровой мультиметр. Подойдет и любой другой вольтметр, сопротивление которого много больше сопротивлений потенциометров. Диод должен иметь обратный ток порядка нескольких микроампер. Ползунки потенциометров должны легко устанавливаться в крайние положения.

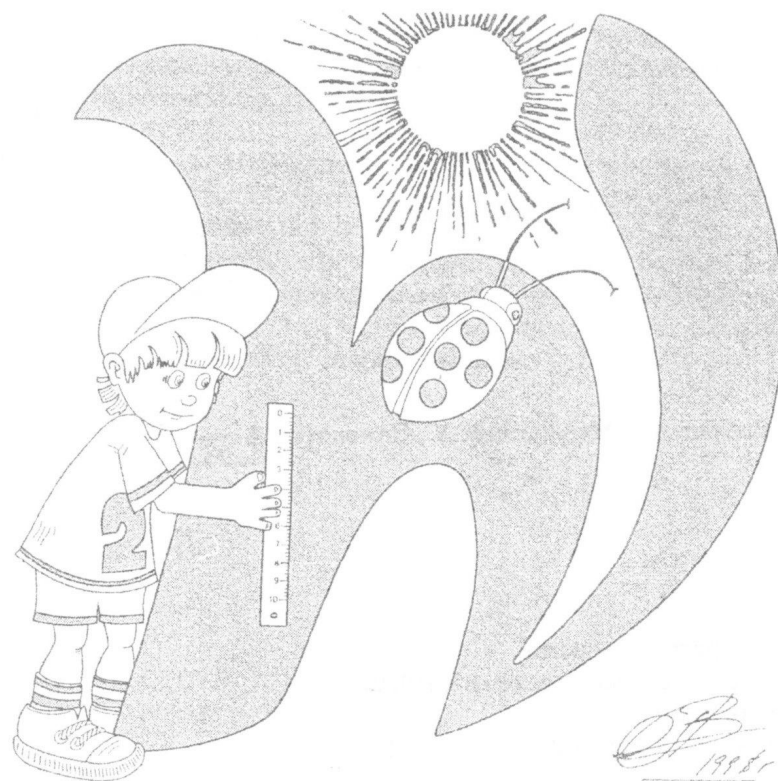
Федеральное агентство по образованию  
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

# XXXIX Всероссийская олимпиада школьников по физике

Окружной этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2004/2005 уч.г.