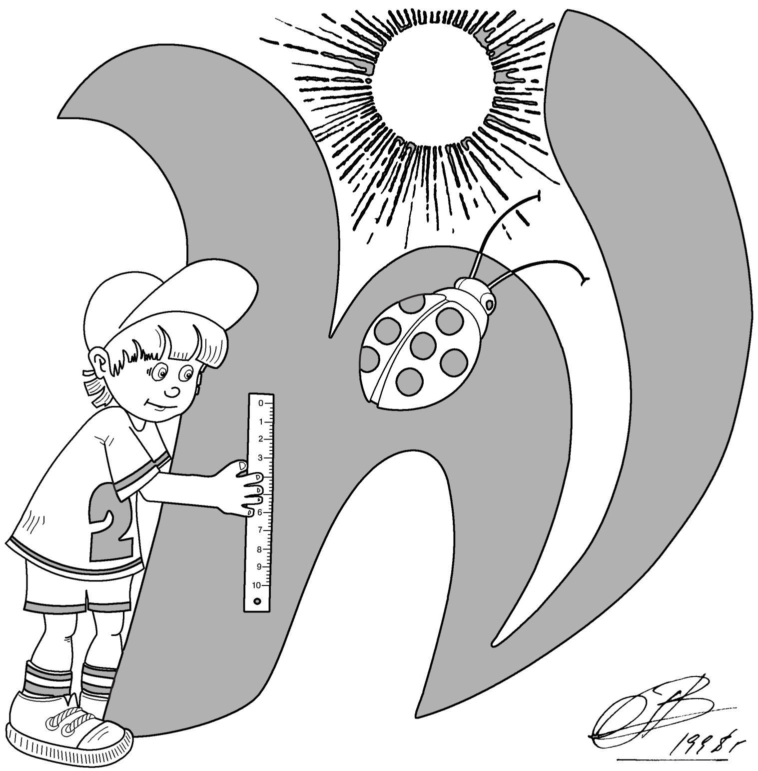
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XXXVIII Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Ярославль, 2003/2004 уч.г.

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** (с припиской **antispam** к теме письма)

Авторский коллектив — Александров Д., Алексеев В., Бойденко В., Кириков М., Козел С., Слободянин В., Яковлев А.

Общая редакция — Козел С., Слободянин В., Яковлев А.

Оформление и верстка — Метельников А., Рыбников Е., Чудновский А.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система LaTeX 2_ε.

Подписано в печать 14 марта 2005 г. в 22:43.

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

9 класс

Задача 1. Измерение плотности

Определите плотность одного плавающего и двух тонущих в воде тел. Плотность воды $\rho_w = 10^3$ кг/м^3.

Оборудование. 3 тела неизвестной плотности (кусок керамики, резиновая пробка и деревянный брусок); рычаг на штативе; линейка; стакан с водой; нити.

Задача 2. Удельное сопротивление

Определите удельное сопротивление проводника.

Оборудование. Два экземпляра исследуемого проводника, один из которых закреплен на панели с клеммами; амперметр с известным внутренним сопротивлением ($R_A = 0.046$Ом); реостат; источник постоянного тока; ключ; соединительные провода; линейка.

10 класс

Задача 1. Соударение

Определите время соударения шарика с твердой поверхностью (стеклянной пластинкой) при падении без начальной скорости с высоты 1 м.

Примечание. При малых деформациях шарика можно (но не обязательно) считать справедливым закон Гука.

Оборудование. Теннисный шарик; линейка длиной 1,5 метра; лист белой бумаги формата А4, лист копировальной бумаги; стеклянная пластина; линейка; кирпич.

Задача 2. "Черный ящик"

Определите неизвестные параметры элементов схемы черного ящика (рис. 1): $\mathscr{E}_X$, r_X, R_1, $(R_2)_{\max}$ и R_3.

ЭДС и внутреннее сопротивление эталонного источника тока заданы: $\mathscr{E}_0$=9В, $r_0 = 100$Ом. Известно также, что$\mathscr{E}_X < \mathscr{E}_0$.

Оборудование. Черный ящик с выведенными на лицевую панель клеммами A, B, C, D и ручкой регулирования переменного сопротивления R_2; вольтметр с внутренним сопротивлением 1 МОм.

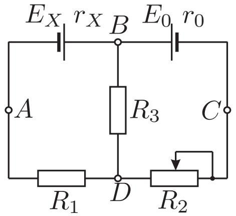


Рис. 1

11 класс

Задача 1. Оптический "черный ящик"

Оптический "черный ящик" состоит из двух линз, одна из которых является собирающей, а другая – рассеивающей. Определите их фокусные расстояния.

Примечание. Допускается использование света удаленного источника. Приближать лампочку вплотную к линзам (то есть ближе, чем позволяют стойки) не разрешается.

Оборудование. трубка с двумя линзами (оптический "черный ящик"); лампочка, источник тока; линейка; экран с листом миллиметровой бумаги; лист миллиметровой бумаги.

Задача 2. Измерение электроемкости

Определите емкость конденсатора.

Оборудование. 2 конденсатора: известной (эталонной: $C_0 = 10$мкФ) и неизвестной емкости; источник постоянного тока (гальванический элемент); вольтметр; потенциометр; ключ; монтажная плата; соединительные провода.

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Измерение плотности

1. Для определения плотностей двух тонущих в воде тел произведем следующие три измерения. Уравновесим тела на рычаге (рис. 2):

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} = a. \qquad (1)$$

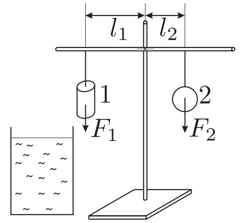


Рис. 2

Затем первое тело погрузим в воду, и, перемещая второе, восстановим равновесие:

$$\frac{F_1 - F_{A1}}{F_2} = \frac{l_2 - \Delta l_2}{l_1} = a - \Delta a, \qquad (2)$$

где $\Delta a = \frac{\Delta l_2}{l_1}$.

С другой стороны,

$$\frac{F_1 - F_{A1}}{F_2} = a \cdot \frac{F_1 - F_{A1}}{F_1} = a\left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_1}\right). \qquad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) выразим ρ_1:

$$\rho_1 = \rho_w \frac{a}{\Delta a} = \rho_w \frac{l_1 l_2}{l_1 \Delta l_2} = \rho_w \frac{l_2}{\Delta l_2}$$

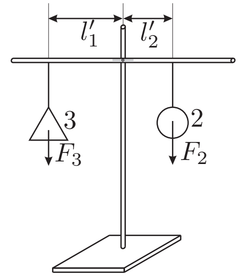


Рис. 3

2. Первое тело вынимаем из воды, а второе возвращаем в исходное положение (l_2) и погружаем в воду. Первое тело смещаем к оси рычага на Δl_1 до установления равновесия. Аналогично предыдущему случаю находим

$$\rho_2 = \rho_w \frac{l_1}{\Delta l_1}. \qquad (1)$$

На втором этапе определим плотность тела, плавающего в воде (третье тело). Для этого проведем два опыта.

1. На рычаге уравновесим третье тело со вторым (рис .2):

$$\frac{F_3}{F_2} = \frac{l_2'}{l_1'} = a' \qquad (2)$$

2. К третьему телу прикрепим первое тело, тонущее в воде, и обеспечивающее полное погружение третьего тела в воду (рис. 3). Уравновесим погруженные в воду тела путем смещения второго тела к оси рычага на $\Delta l_2'$:

$$\frac{F_3 + F_1 - F_{A3} - F_{A1}}{F_2} = \frac{l_2' - \Delta l_2'}{l_1'} = a' - \Delta a', \qquad (3)$$

где $\Delta a' = \frac{\Delta l_2'}{l_1'}$ (8)

Тогда, используя равенства:

$$\frac{F_3}{F_2} = a'; \quad \frac{F_1}{F_2} = a; \quad \frac{F_{A3}}{F_2} = a'\frac{F_{A3}}{F_3} = a'\frac{\rho_w}{\rho_3};$$

$$\frac{F_{A1}}{F_2} = a\frac{F_{A1}}{F_1} = a\frac{\rho_w}{\rho_1} = \Delta a,$$

получим: $a' + a - a'\frac{\rho_w}{\rho_3} - \Delta a = a' - \Delta a'$. (9)

Откуда следует: $\rho_3 = \rho_w \frac{a'}{a+\Delta a'-\Delta a}$. (10)

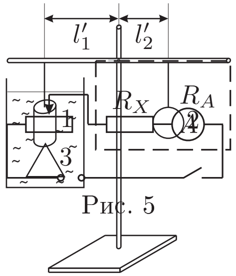


Рис. 5

Рис. 4

Задача 2. Удельное сопротивление

Удельное сопротивление ρ проводника выразим через его сопротивление R, диаметр d и длину l по формуле $\rho = R\frac{S}{l} = R\frac{\pi d^2}{4l}$. Длину l найдем прямым измерением. Диаметр определим следующим способом: незакрепленный проводник кладем на стол так, чтобы часть его выступала за край стола, и загибаем выступающий конец под прямым углом. Сверху проводник накрываем линейкой, двигая которую вдоль края стола, "прокатываем" проводник на некоторое расстояние L. По вращению загнутого конца проволоки считают число оборотов N. Тогда диаметр проводника d найдем из условия:

$$L = \pi \cdot d \cdot N; \quad d = \frac{L}{\pi \cdot N}$$

Чтобы предотвратить проскальзывание проводника, целесообразно под проводник подложить бумагу, а линейку двигать с небольшим нажимом на проводник.

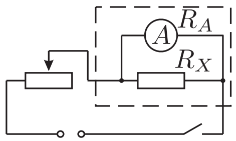


Рис. 6

Для измерения сопротивления R_x сначала собираем цепь, схема которой изображена на рис.1 и определим силу тока I. Затем собираем цепь (см. рис.2) и измеряем напряжение U на R_X. Сопротивления реостата устанавливаем на максимум ($R \approx 6$ Ом). Поскольку сопротивление участка, обведенного пунктиром, в обоих случаях много меньше R реостата, с большой точностью можно считать, что сила тока в обеих схемах одинакова. Тогда из показаний амперметра I' определяем напряжение на R_X: $U = I' \cdot R_A$ и находим сопротивление

$$R_X = R_A\frac{I'}{I - I'}.$$

Для подключения амперметра следует выбирать самые короткие провода из всех предложенных так, чтобы $R_{\text{пр}} << R_A$.

После определения R_X, d и l вычисляют удельное сопротивление ρ.

10 класс

Задача 1. Соударение

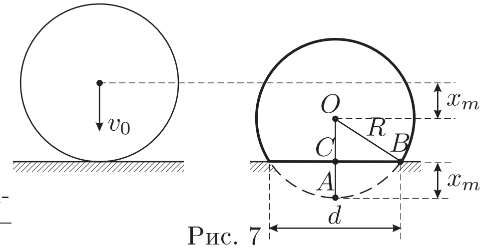


Рис. 7

Время τ соударения шарика с твердой поверхностью равно половине периода гармонического колебания:

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}.$$

При гармонических колебаниях максимальная скорость $v_m = \omega x_m$, где x_m — амплитуда колебаний, поэтому

$$\tau = \pi\frac{x_m}{v_m}.$$

Таким образом, для определения τ достаточно определить максимальную деформацию x_m и скорость v_m шарика перед ударом.

Деформацию x_m можно определить, положив на стеклянную пластину листы белой и копировальной бумаги и измерив диаметр пятна d, образовавшегося на белом листе после удара шарика. Из рис. 2 найдём

$$x_m = |CA| = |OA| - |OC| = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} \approx \frac{d^2}{8R},$$

где R — радиус шарика, который можно определить, обернув вокруг него в 1-2 слоя лист бумаги.

Для определения скорости v_m исследуем зависимость диаметра пятна от высоты h падения шарика. Так как $v \sim x_m \sim d^2$, зависимость d^4 от h при малых высотах будет линейной ($v^2 = 2gh$), а при увеличении высоты начнёт сказываться сопротивление воздуха. По начальному линейному участку можно найти коэффициент пропорциональности между v и d^2, а с его помощью найти скорость шарика при падении с высоты 1,5 м. По этой скорости можно вычислить потери механической энергии.

Задача 2. "Черный ящик"

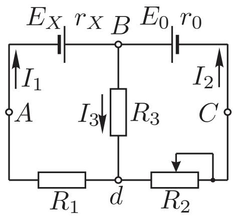


Рис. 8

Поскольку источники тока подключены навстречу друг другу, и $\mathscr{E}_0 > \mathscr{E}_X$, то при некотором значении сопротивления R_2 сила ток на участке BAD будет равна нулю, (ЭДС $\mathscr{E}_X$ окажется скомпенсирована падением напряжения на R_3). При этом $U_{AD} = 0$, что и является признаком компенсации. Тогда неизвестную ЭДС $\mathscr{E}_X$можно определить прямым измерением:

$$\mathscr{E}_X = U_{BA}. \tag{4}$$

При этом сила тока на участке CBD равна: $I = \frac{\mathscr{E}_0 - U_{BC}}{r_0}$. Сопротивление резистора

$$R_3 = \frac{U_{BD}}{I} = \frac{U_{BD}}{\mathscr{E}_0 - U_{BC}}r_0. \tag{5}$$

Установим максимальное значение сопротивления $R_2 = (R_2)_{\max}$. Сила тока I_2 на участке DCB равна

$$I_2 = \frac{\mathscr{E}_0 - U_{BC}}{r_0},$$

а ток через резисторR_3

$$I_3 = \frac{U_{BD}}{R_3}.$$

Из первого правила Кирхгоффа для узла B следует: $I_1 = I_3 - I_2$.

Теперь определим параметры оставшихся элементов схемы:

$$R_1 = \frac{U_{AD}}{I_1}, \tag{6}$$

$$r_X = \frac{\mathscr{E}_X - U_{BA}}{I_1}, \tag{7}$$

$$(R_2)_{\max} = \frac{U_{CD}}{I_2}. \tag{8}$$

11 класс

Задача 1. Оптический “черный ящик”

Определим, какая из линз является собирающей, а какая – рассеивающей. Для этого получают на экране изображение удаленного предмета (например, окна аудитории). При этом оказывается, что получить его можно только со стороны линзы Л$_1$ (когда к окну обращена линза Л$_2$), а при прохождении света с противоположной стороны “черного ящика” изображение на экране не наблюдается, то есть является мнимым. Этот результат позволяет однозначно установить, что линза Л$_1$ является собирающей, а Л$_2$ – рассеивающей.

Действительно, если предположить обратное, то ход лучей, при котором получается действительное изображение, должен иметь вид, изображенный на рис.1.

В соответствии с рисунком, собирающая линза в этом случае должна создавать первичное изображение, расположенное между рассеивающей линзой и ее задним фокусом F$_2$, то есть должно выполняться неравенство:

$$F_1 - L < F_2 \tag{9}$$

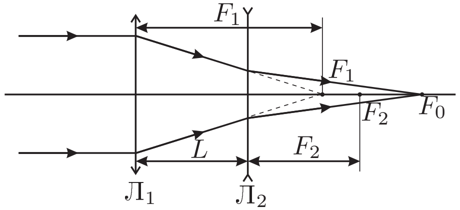


Рис. 9

где через F_1 обозначено фокусное расстояние собирающей линзы, через $-F_2$ - рассеивающей, через L - расстояние между ними (то есть длина трубки).

Однако при этом условии в случае прохождения света в противоположном направлении первичное изображение будет создаваться рассеивающей линзой в ее фокальной плоскости, то есть согласно неравенству (**??**) будет

расположено от собирающей линзы Л$_1$ на расстоянии, большим ее фокусного расстояния (рис. 2).

В этом случае получение действительного изображения неизбежно, что противоречит опыту.

Если же Л$_1$ является собирающей, а Л$_2$ рассеивающей, то результаты опыта удовлетворительно объясняются, если предположить, что фокус собирающей линзы находится внутри ящика, то есть

$$F_1 \leqslant L \tag{10}$$

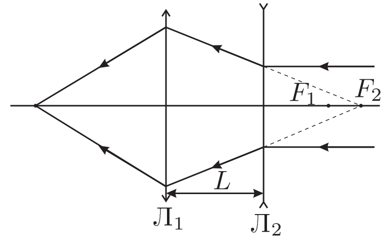


Рис. 10

Найдем фокусные расстояния линз. Найдем такое положение лампочки, при котором ее поперечное смещение с оптической оси h вызывает равные перемещения изображения на экране H.

Для случая, когда ближайшей к лампочке является собирающая линза, ход лучей изображен на рис. 7. (h' - первичное изображение, создаваемое линзой Л$_1$).

В соответствии с ним из подобия треугольников можно записать:

$$\frac{h}{h'} = \frac{a}{a'}; \quad \frac{H}{h'} = \frac{b}{a' - L}$$

следовательно

$$\frac{a}{a'} = \frac{b}{a' - L} \quad \Rightarrow \quad a' = \frac{aL}{a - b}$$

Отсюда с помощью формул:

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

$$-\frac{1}{F_2} = -\frac{1}{a' - L} + \frac{1}{b}$$

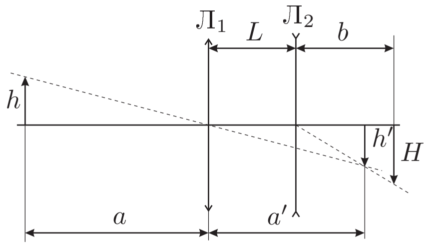


Рис. 11

определяются искомые фокусные расстояния:

$$F_1 = \frac{a \cdot a'}{a + a'} \tag{11}$$

$$F_2 = \frac{(a' - L) \cdot b}{b - a' + L} \tag{12}$$

Задача 2. Измерение электроемкости

На монтажной плате собираем мостовую схему (рис. 12). При замыкании ключа K по участку ACB пройдет кратковременный ток зарядки конденсаторов. Если при этом потенциалы точек C и D окажутся различными, то вольтметр зафиксирует кратковременный импульс напряжения. Смещая движок потенциометра, можно получить равновесие моста, т.е. найти такое его положение, при котором стрелка вольтметра при замыкании (и размыкании) ключа остается неподвижной. При этом $\phi_{\text{C}} = \phi_D$, или U_{AC}=U_{AD}; U_{CB}=U_{DB}. (**??**)

Тогда для последовательно соединенных конденсаторов можно записать:

$$\frac{U_{AC}}{U_{CB}} = \frac{U_{C_0}}{U_{C_X}} = \frac{C_X}{C_0}. \tag{13}$$

В то же время для напряжений на клеммах потенциометра можно записать:

$$\frac{U_{AD}}{U_{DB}} = \frac{R_{AD}}{R_{DB}}. \tag{14}$$

С учетом (**??**) получаем: $\frac{C_X}{C_0} = \frac{R_{AD}}{R_{DB}}$. (4)

Отношение сопротивлений $\frac{R_{AD}}{R_{DB}}$ можно определить, измеряя вольтметром напряжения U_{AD} и U_{DB}: $\frac{U_{AD}}{U_{DB}} = \frac{R_{AD}}{R_{DB}}$

Таким образом: $C_X = C_0 \frac{U_{AD}}{U_{DB}}$. (5)

Примечание. Для большей точности определения C_{X} рекомендуется дважды уравновесить мост, приближаясь к равновесному положению потенциометра с разных сторон (при этом полярность подключения вольтметра следует изменить), после чего полученные результаты усреднить.

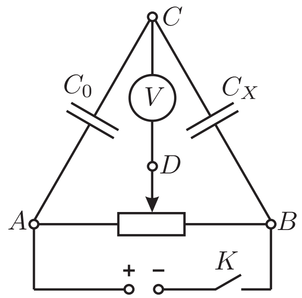


Рис. 12