

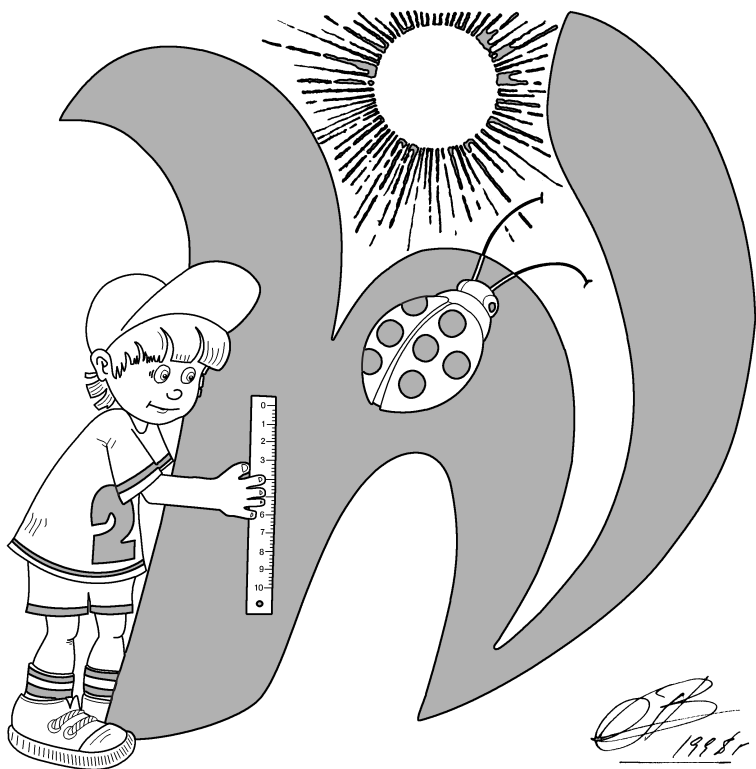
Федеральное агентство по образованию  
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

## XXXVII Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Воронеж, 2002/2003 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](mailto:fizolimp@mail.ru) (с припиской **antispan** к теме письма)

Авторы задач

9 класс  
1. Москаленко А.  
2. Бовин И.

10 класс  
1. Тураева Т.  
2. Тураева Т.

11 класс  
1. Федоров В.  
2. Татьянкин Б.

Общая редакция — Антипов С., Слободянин В.

Оформление и верстка — Ильин А.

При подготовке оригинал-макета  
использовалась издательская система  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$ .  
© Авторский коллектив  
Подписано в печать 14 марта 2005 г. в 22:42.

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

**Задача 1. Заводная машинка**

Определите энергию, запасенную в пружине заводной игрушки (машинки), при фиксированном заводе.

*Оборудование.* Заводная игрушка известной массы, линейка, штатив с лапкой и муфтой, наклонная плоскость.

*Примечание.* Заводите игрушку так, чтобы ее пробег не превышал длину стола.

**Задача 2. Плотности**

Определить плотность груза (резиновой пробки) и рычага (деревянной рейки), используя предложенное оборудование.

*Оборудование.* Груз известной массы (пробка маркированная); рычаг (деревянная рейка); цилиндрический стакан на 200 – 250 мл; нитки (1 м); деревянная линейка, вода.

**Задача 1. Резиновый шарик**

Определить массу резинового шарика.

*Оборудование.* Резиновый шарик, 2 булавки и 2 силовые кнопки, нить, миллиметровая бумага формата А5, маркированный груз.

*Примечание.* В качестве маркированного груза используется моток ниток с ярлычком, на котором указана масса ниток.

**Задача 2. Неизвестная жидкость (1)**

Определите показатель преломления неизвестной жидкости.

*Оборудование.* Тонкостенный химический стакан (цилиндрической формы), исследуемая жидкость, миллиметровая бумага, источник света (карманный фонарик), ножницы, скотч.

**Задача 1. Нить**

Измерьте силу натяжения нити, прикрепленной к столу в точках *A* и *B*, с подвешенным к ней посередине грузом. Необходимо придумать два способа измерения: с использованием часов и без использования часов.

*Примечание.* Длину верхней нити и положение точек *A* и *B* задают организаторы олимпиады.

*Оборудование.* Закрепленная силовыми кнопками в точках *A* и *B* нить, груз известной массы *m*, кусок нити длиной 1 м.

**Задача 2. Неизвестная жидкость (2)**

Определите показатель преломления неизвестной жидкости.

*Оборудование.* Чашка Петри, плоскопараллельная пластина, скотч, линейка (треугольник), лист бумаги, неизвестная жидкость.

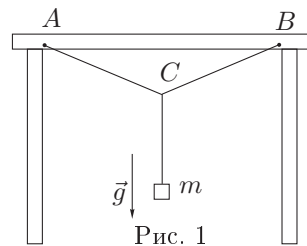


Рис. 1

**Возможные решения**

**Задача 1. Заводная машинка**

Установим наклонную плоскость под углом около  $20^\circ$  от горизонтали. Для создания плавного перехода между поверхностями можно использовать лист бумаги. При движении по столу на машинку действует сила сопротивления  $F_1$ , а при движении по наклонной плоскости —  $F_2$  (приближенно эти силы можно считать постоянными).

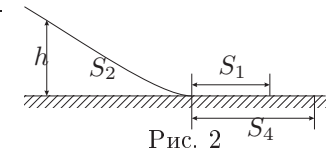


Рис. 2

Проведем следующие опыты:

1) Заведем машинку (завод во всех опытах должен быть один и тот же), поставим ее на некотором расстоянии  $S_1$  от наклонной плоскости и отпустим. Проехав расстояние  $S_1$  по столу и  $S_2$  по наклонной плоскости, машинка остановится на высоте  $h$ . При остановке она еще обладает некоторым остаточным заводом, который нужно учесть. Для этого нужно, придерживая ведущие колеса, поставить машинку на стол и отпустить. Она проедет некоторое расстояние  $S_3$ . Тогда, воспользовавшись законом сохранения энергии, получаем:

$$E = F_1 S_1 + F_2 S_2 + mgh + E', \quad E' = F_1 S_3,$$

где  $E$  — энергия, запасенная в пружине первоначально;  $E'$  — «остаточная» энергия, запасенная в пружине. Следовательно,

$$E = mgh + F_1(S_1 + S_3) + F_2 S_2. \quad (1)$$

2) Пустим машинку без завода вниз по наклонной плоскости с той же высоты  $h$ . Она проезжает путь  $S_4$  по столу, тогда:

$$mgh = F_2 S_2 + F_1 S_4. \quad (2)$$

3) Заведем машинку и пустим ее только по столу. Она проезжает расстояние  $S_0$ , тогда:

$$E = F_1 S_0. \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3) получаем:

$$E = 2mgh \frac{S_0}{S_0 + S_4 - S_1 - S_3}.$$

Зная все входящие в формулу величины, вычисляем  $E$ .

**Задача 2. Плотности**

На одной нити к концу рейки подвешивается груз, на другой крепится сама рейка (рис. 3). Вместо подвеса рычага можно использовать, в качестве опоры, край стола.

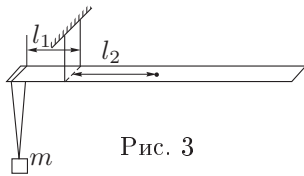


Рис. 3

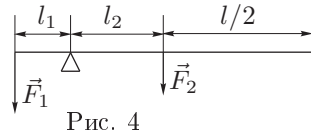


Рис. 4

Применяя правило рычага (условие равновесия), имеем (рис. 4):

$$F_1 l_1 = F_2 l_2, \quad F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1, \quad (1)$$

где  $F_2$  — сила тяжести рычага,  $F_1$  — сила тяжести груза.

Повторим опыт, опустив груз в воду (рис. 5)

$$F_1 l'_1 - F_A l'_1 = F_2 l'_2. \quad (2)$$

Так как  $F_1 = \rho_1 V_1 g$  и  $F_A = \rho_{\text{воды}} V_1 g$ , а  $F_2 = F_1 l_1 / l_2$ , то

$$\rho_1 = \frac{l'_1 l_2}{l'_1 l_2 - l_1 l'_2} \rho_{\text{воды}},$$

где  $\rho_1$  — искомая плотность груза,  $\rho_{\text{воды}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Плотность рычага (деревянной рейки)

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} = \frac{F_2}{V_2 g}. \quad (3)$$

Так как  $F_2 = F_1 l_1 / l_2$  и объем рычага  $V_2 = abl$ , где  $a$  и  $b$  — соответственно ширина и толщина рейки,  $l$  — ее длина ( $a, b$  и  $l$  можно измерить непосредственно линейкой), то

$$\rho_2 = \frac{l_1 F_1}{g l_2 a b l}. \quad (4)$$

Толщину  $b$  более точно можно измерить следующим образом: слегка натягивая нить, намотать ее на рычаг ( $n$  витков, виток к витку). Общая длина намотанной нити  $L = 2n(a + b)$ . Отсюда

$$b = (L - 2na) / (2n), \quad V_2 = \frac{al(L - 2na)}{2n}, \quad \rho_2 = \frac{2nl_1 F_1}{al(L - 2na)l_2 g}.$$

Так как  $F_1 = m_1 g = \rho_1 V_1 g$ , то

$$\rho_2 = \frac{2nl_1 \rho_1 V_1}{al(L - 2na)l_2}.$$

10 класс

**Задача 1. Резиновый шарик**

Закрепим силовые кнопки в краю стола на одной горизонтали. Прикрепим к ним кусок нити, так чтобы она свободно провисала. В шарик (масса  $m_x$ ) и в моток ниток (масса  $m$ ) воткнуть по булавке и с помощью коротких кусочков нити привязать их к провисающей нити так, как показано на рисунке (рис. 6). Необходимо добиться того, чтобы участок нити  $AB$  был горизонтальным. Из условия равновесия следует:

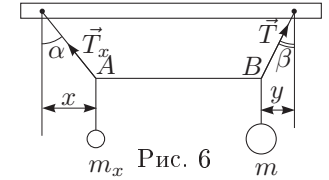


Рис. 6

$$T \sin \alpha = T_x \sin \beta,$$

$$T \cos \alpha = m_1 g,$$

$$T_x \cos \beta = m_x g.$$

Отсюда  $m_x = m \text{tg } \alpha / \text{tg } \beta$ . Легко видеть, что  $\text{tg } \alpha / \text{tg } \beta = x / y$ , следовательно

$$m_x = m \frac{y}{x}.$$

Длину отрезков  $x$  и  $y$  измеряем с помощью миллиметровой бумаги.

**Задача 2. Неизвестная жидкость (1)**

Наиболее точный метод измерения показателя преломления жидкости с помощью данного оборудования это метод толстой линзы. Снимем с фонарика отражатель, тогда при больших расстояниях фонарик можно рассматривать как точечный источник света  $S$ . Сделаем из миллиметровой бумаги экран и будем наблюдать на нем изображение  $S_1$  спирали лампочки в толстой линзе. Экран и фонарик должны быть расположены на столе так, чтобы они были одинаково удалены от стакана с водой (рис. 7). При этом ход лучей окажется симметричным, и внутри линзы параксиальные лучи пойдут параллельно оси системы, то есть  $\beta = \alpha$ , следовательно

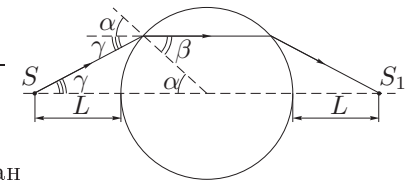


Рис. 7

$$\beta = \frac{\alpha + \gamma}{n}, \quad n = \frac{\alpha + \gamma}{\beta} = \frac{\alpha + \gamma}{\alpha} = 1 + \frac{\gamma}{\alpha}.$$

С другой стороны,  $\gamma L = \alpha D / 2$ , где  $D$  — диаметр стакана,  $L$  — расстояние от стакана до источника, откуда  $n = 1 + D / (2L)$ . Измерим расстояние  $x$  между источником и изображением:  $x = 2L + D$ . Тогда:

$$n = 1 + \frac{D}{x - D} \quad (1).$$

В данном эксперименте, как видно из формулы (1), определяется величина  $n - 1$ , что, очевидно, точнее определения величины  $n$ . Как известно, для тонкой линзы при симметричном ходе лучей расстояние между предметом и его

изображением минимально. Нетрудно убедиться, что то же самое выполняется для толстой линзы. Так как это минимум, то небольшие отклонения линзы от центра системы не вносят значительной ошибки в результат и особо точной установки стакана не требуется — это еще одно достоинство данного метода. Оценим погрешность результата:

$$\mathcal{E}_n \approx \frac{\frac{D}{x-D}(\mathcal{E}_D + \frac{\Delta x + \Delta D}{x-D})}{1 + \frac{D}{x-D}}. \quad (2)$$

Для измерения диаметра  $D$  необходимо обмотать стакан в несколько оборотов полоской миллиметровой бумаги. Таким образом погрешность  $\Delta D$  можно сделать весьма малой и в формуле (2) ею можно пренебречь:

$$\mathcal{E}_n \approx \frac{D\Delta x}{x(x-D)}.$$

Характерные значения:  $x \approx 1$  см,  $D \approx 4$  см,  $\Delta x \approx 1$  мм,  $\mathcal{E}_n \approx 2\%$ .

11 класс

### Задача 1. Нить

В равновесии  $mg = 2T \sin \alpha$ , где  $\sin \alpha = (L_1 - L_2)/L$ . Отсюда, сила натяжения нити

$$T = \frac{mgL}{2(L_1 - L_2)} = \frac{mg}{2} \frac{L/L_2}{(L_1/L_2 - 1)}.$$

Длину  $L_2$  целесообразно выбрать равной  $L$  и измерить  $L_1/L_2$ , возбуждив в системе колебания маятника. Частоты колебаний маятника вдоль осей  $x$  и  $y$  соответственно равны  $\omega_x = \sqrt{g/L_1}$  и  $\omega_y = \sqrt{g/L_2}$ ; при этом координаты  $x$  и  $y$  изменяются со временем по законам  $x = A \cos \omega_x t$  и  $y = B \cos \omega_y t$ .

1. При наличии часов измеряют периоды колебаний маятника в направлениях  $x$  и  $y$ . Тогда

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{T_x}{T_y}\right)^2 \quad \text{и} \quad T = \frac{mg}{2} \frac{1}{\left(\frac{T_x}{T_y}\right)^2 - 1}.$$

2. При отсутствии часов рассматривается маятник, совершающий колебания в произвольном направлении. В результате суперпозиции  $x$  и  $y$  колебаний груз будет описывать траекторию с изменяющимся направлением движения. Если отношение  $\omega_x/\omega_y$  является рациональной дробью вида  $X/Y$ , то после  $X$  циклов в направлении  $x$  и  $Y$  циклов в направлении  $y$  траектория замыкается. Тогда

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{Y}{X}\right)^2 \quad \text{и} \quad T = \frac{mg}{2} \frac{1}{\left(\frac{Y}{X}\right)^2 - 1}.$$

### Задача 2. Неизвестная жидкость (2)

Обведите чашку Петри по листу бумаги и найдите центр получившейся окружности. Проведите через центр прямую  $MM'$ . Наклейте скотч на верхнее и нижнее основания призмы и нанесите на него метки  $A$  и  $B$ , не лежащие на одной нормали к этим основаниям. Установите призму на листе так, чтобы метка  $B$  совпала с центром окружности, и проведите на листе вдоль основания призмы линию  $MM'$ . Отметьте на листе точку  $A$ . Совместите чашку Петри с нарисованной окружностью и установите призму в чашке Петри так, как это делали в предыдущем пункте (рис. 9). Наклейте скотч на боковую поверхность чашки Петри. Нанесите метку  $C$  на скотч там, где видимое продолжение линии  $AB$  пересекает нарисованную окружность. Налейте в чашку Петри исследуемую жидкость и отметьте точку  $D$  на окружности, повторив предыдущую операцию. Согласно обобщенному закону Снелла:

$$n_{\text{стекла}} \sin \alpha = \sin \beta, \quad (1)$$

$$n_{\text{стекла}} \sin \alpha = n_{\text{жидкости}} \sin \gamma. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует:

$$n_{\text{жидкости}} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}.$$

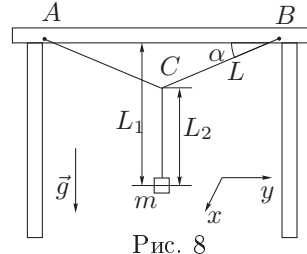


Рис. 8