

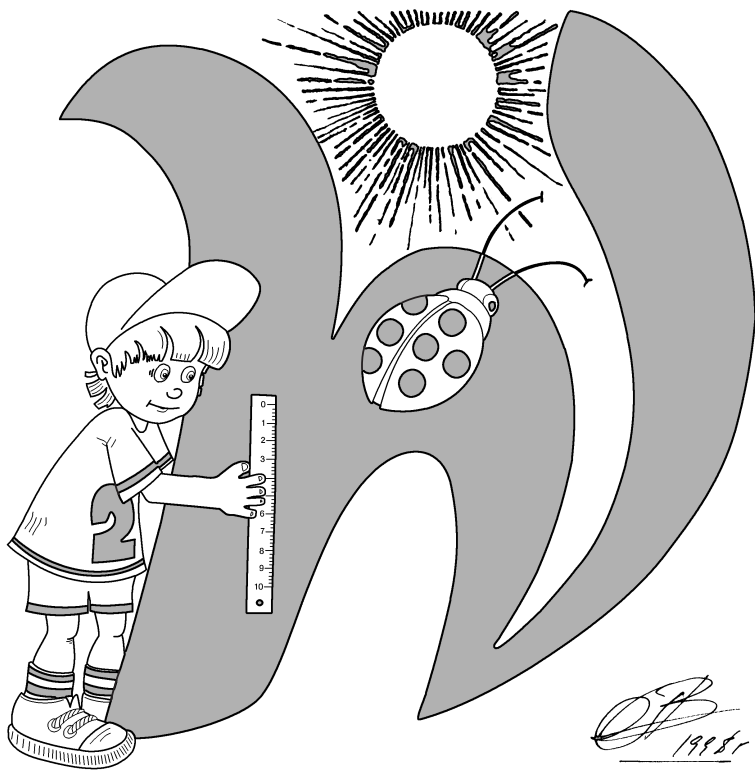
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

# XLI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Санкт-Петербург, 2007 г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике  
при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников  
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.  
E-mail: [physolymp@gmail.com](mailto:physolymp@gmail.com)

## Авторы задач

9 класс	10 класс	11 класс
1. ,	1.	1.
2. Бутиков Е.	2. ,	2.

Общая редакция —

Оформление и вёрстка — Ерофеев И., Гуцин И., Гусихин П.

При подготовке оригинал-макета  
использовалась издательская система  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ .  
© Авторский коллектив  
Подписано в печать 15 апреля 2009 г. в 08:08.

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

**9 класс**

**Задача 1. Определение внутреннего диаметра иглы**

Определите диаметр канала иглы шприца.

*Оборудование.* Шприц, игла от шприца, секундомер, линейка, вода, салфетка.

*Примечание.*

1. Воду из шприца на поверхность стола и на пол при необходимости лить можно.

2. Рекомендуется не набирать в шприц более 4 мл воды за один раз.

**Задача 2. Показатель преломления**

Определите показатель преломления материала, из которого изготовлена прозрачная призма.

*Оборудование.* Прозрачная призма с параллельными боковыми гранями, лист бумаги, линейка, карандаш.

*Примечание.* При падении луча света на поверхность границы раздела двух сред (рис. 1) углы, которые составляют падающий и преломлённый луч с нормалью, связаны следующим соотношением с их показателями преломления:  $n_\alpha \sin \alpha = n_\beta \sin \beta$ .

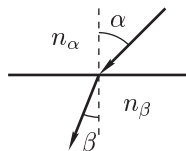


Рис. 1

**10 класс**

**Задача 1. Неизвестный газ**

1. Найдите отношение весов трёх выданных шариков в воздухе.

2. Найдите относительную молекулярную массу неизвестного газа.

*Оборудование.* Три воздушных шарика: ненадутый, наполненный воздухом и наполненный неизвестным газом, четыре отрезка нити, линейка, проволока, груз известной массы, небольшое количество воды.

*Примечание.*

1. Молекулярная масса воздуха  $M_0 = 29$  г/моль, атмосферное давление —  $1,01 \cdot 10^5$  Па

2. Считать, что массы оболочек всех трёх шариков равны с точностью 2%.

3. По окончании эксперимента оставьте оборудование на рабочем месте в том виде, в котором оно использовалось для проведения измерений.

**Задача 2. Определение внутреннего диаметра иглы**

Определите диаметр канала иглы шприца.

*Оборудование.* Шприц, игла от шприца, секундомер, нить, груз, вода, салфетка.

*Примечание.*

1. Период малых колебаний груза на длинной нити рассчитывается по формуле  $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ , где  $l$  — длина нити, и  $g$  — ускорение свободного падения.

2. Воду из шприца на поверхность стола и на пол при необходимости лить можно.

3. Рекомендуется не набирать в шприц более 4 мл воды за один раз.

**11 класс**

**Задача 1. Исследование резинового шнура**

Исследуйте экспериментально и постройте графики следующих зависимостей:

1. Зависимость относительного удлинения резинового шнура от силы натяжения (до двукратного растяжения).

2. Зависимость скорости распространения поперечной волны в шнуре от силы натяжения

*Оборудование.* Исследуемый шнур (тонкий цветной), вспомогательный шнур (толстый чёрный), груз известной массы ( $m = 100$  г), лента измерительная, скоба с фиксаторами, зажим для вспомогательного шнура («крокодил»), две канцелярские клипсы, миллиметровая бумага (для графиков).

*Примечание.* Считайте, что скорость распространения поперечной волны в вспомогательном шнуре не зависит от частоты колебаний. Основная частота колебаний вспомогательного шнура при исходном натяжении (белая риска должна находиться ровно на краю скобы)  $f_0 = 30 \pm 1$  Гц.

**Задача 2. Электрические свойства бумаги**

Определите диэлектрическую проницаемость бумаги  $\epsilon$ , а также толщину  $d$  и удельное сопротивление  $\rho$  листа миллиметровой бумаги в поперечном направлении (или хотя бы оцените  $\rho$  сверху или снизу).

*Оборудование.* Миллиметровая бумага, мультиметр (Master Tech M890C+), батарейка, контактные пластины, четыре прищепки, вспомогательный конденсатор, ножницы.

*Примечание.* При решении задачи вам могут понадобиться следующие характеристики мультиметра:

В режиме омметра:

Диапазон	Точность
200 Ом	$\pm 0,8\%$ от измеряемой величины $\pm 3$ единицы последнего разряда
2 кОм	$\pm 0,8\%$ от измеряемой величины $\pm 1$ единица последнего разряда
20 кОм	
200 кОм	
2 МОм	
20 МОм	$\pm 1\%$ от измеряемой величины $\pm 2$ единицы последнего разряда
200 МОм	$\pm 5\%$ от (измеряемая величина – 10 единиц) $\pm 10$ единиц последнего разряда

Точность измерения ёмкости на всех диапазонах  $\pm 2,5\%$  от измеряемой величины  $\pm 5$  единиц последнего разряда.

Входное сопротивление в режиме вольтметра ( $10,0 \pm 0,1$ ) МОм для всех диапазонов.

Значение электрической постоянной  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

## Возможные решения

### 9 класс

#### Задача 1. Определение внутреннего диаметра иглы

Для определения диаметра канала иглы шприца можно выливать из него воду с постоянной скоростью, измеряя время вытекания. Пусть диаметр канала иглы шприца равен  $d$ . Тогда при скорости вытекания воды  $v$  за время  $t$  из него вытечет объём

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot t, \quad \text{откуда} \quad d = 2\sqrt{\frac{V}{\pi vt}}$$

Для определения скорости расположим шприц так, чтобы струя била вертикально вверх, и оценим диапазон высот, для которых мы можем поддерживать стабильную скорость струи. Наберём в шприц объём воды  $V$  и измерим время, в течение которого струя бьёт на высоту  $l$ , которую измеряем с помощью линейки. По закону сохранения энергии  $v = \sqrt{2gl}$ . Окончательно получаем

$$d = 2\sqrt{\frac{V}{\pi t\sqrt{2gl}}}$$

#### Критерии оценивания

Метод определения диаметра через скорость струи и время вытекания . . . . .	2
Метод определения скорости струи через высоту подъёма . . . . .	2
Определение скорости струи . . . . .	2
Определение объёма $V$ и времени его вытекания $t$ . . . . .	2
Получение верного численного значения . . . . .	2

#### Задача 2. Показатель преломления

Используем то, что после прохождения светового луча через параллельные грани призмы он будет смещён относительно своего положения до прохождения через призму.

Проведём с помощью линейки на бумаге прямую линию  $AA'$  и расположим на листе призму так, как показано на рисунке 2. Затем посмотрим на призму сбоку так, чтобы видеть линию через параллельные боковые грани. Отметим на бумаге, где видимое продолжение линии выходит из призмы, а саму призму обведём по контуру.

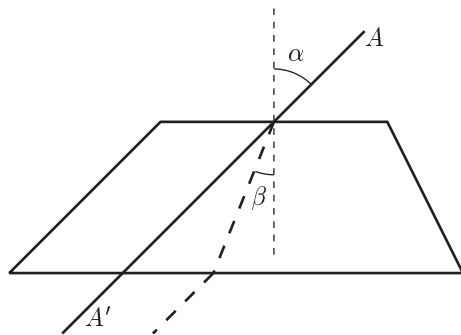


Рис. 2

С помощью призмы находим перпендикуляр к одной из её параллельных граней. Мы смотрим вдоль линии, проведённой вдоль одной из параллельных граней, сквозь призму и находим такое её положение, при котором видимое изображение линии остаётся прямой. В этом случае грань призмы перпендикулярна линии.

Получив перпендикуляр, мы вычисляем  $\sin \alpha$  и  $\sin \beta$  по измеренным с помощью линейки катету и гипотенузе. Получаем для показателя преломления

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

Опыт повторяем для нескольких значений угла  $\alpha$  и усредняем результаты. Численное значение показателя преломления  $n \approx 1,6 \pm 0,1$ .

#### Критерии оценивания

Метод определения показателя преломления . . . . .	4
Проведение измерений . . . . .	3
Получение верного численного значения . . . . .	3

10 класс

Задача 1. Неизвестный газ

1. Соорудим весы. Для этого изогнём проволоку, как показано на рисунке 3. Заметим, что для большей чувствительности центр масс коромысла должен быть как можно ближе к оси вращения. Меняя точки подвеса шаров, добьёмся равновесия. По правилу рычага, отношение действующих на коромысла сил (весов шариков)  $F_a/F_b = b/a$ .

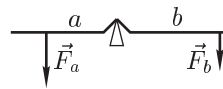


Рис. 3

Отсюда найдём  $\alpha = F_{\text{неизв.}}/F_{\text{пуст.}}$ ,  $\beta = F_{\text{возд.}}/F_{\text{пуст.}}$ .

2. Из-за упругости резиновой оболочки давление внутри шара больше атмосферного давления  $p$  на величину  $\Delta p$ . Определим её следующим образом: положим на шарик линейку, закрепим груз на одном из её концов, а другой будем удерживать рукой. Тогда суммарная сила давления  $F$  на шарик равна сумме веса груза и силы, с которой мы удерживаем линейку,  $F_p$  (её найдём по правилу рычагов). Площадь соприкосновения  $S$  можно измерить непосредственно с помощью самой линейки (рис. 4). (При этом удобно слегка смочить поверхность шарика водой для улучшения видимости.) Тогда избыточное давление в шарике  $\Delta p = F/S$ , и количество газа в шарике в  $(p + \Delta p)/p$  раз больше, чем в том же объёме атмосферного воздуха.

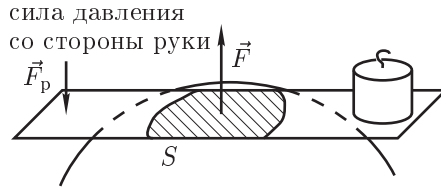


Рис. 4

Пусть  $m$  — масса оболочки шарика,  $F_A$  — сила Архимеда, действующая на шар с воздухом,  $M_x$  и  $V_x$  — молярная масса и объём неизвестного газа,  $M_0$  и  $V_0$  — молярная масса и объём воздуха. Тогда

$$F_{\text{пуст.}} = mg, \quad F_{\text{возд.}} = mg + \frac{p + \Delta p}{p} F_A - F_A,$$

$$F_{\text{неизв.}} = mg + \frac{M_x}{M_0} \frac{p + \Delta p}{p} \left( \frac{V_x}{V_0} F_A \right) - \left( \frac{V_x}{V_0} F_A \right).$$

$V_x/V_0 \approx 1$ , но это значение можно уточнить, измерив отношение обхватов  $l$  шариков по диаметру. Тогда  $V_x/V_0 \approx (l_x/l_0)^3$ . Отсюда находим:

$$\frac{M_x}{M_0} = \frac{p}{p + \Delta p} \frac{V_0}{V_x} \left( 1 + \frac{\alpha - 1}{\beta - 1} \frac{\Delta p}{p} \right).$$

В качестве неизвестного газа был взят аргон (молярная масса  $M_x = 40$  г/моль).

Критерии оценивания

Метод определения отношения весов шариков .....	1
Конструкция весов .....	2
Определение верного численного значения $\alpha$ .....	2
Определение верного численного значения $\beta$ .....	2
Метод определения молярной массы неизвестного газа .....	2
Метод определения избыточного давления в шаре .....	2
Проведение измерений $\Delta p$ .....	2
Получение верного численного значения $M_x$ .....	2

Задача 2. Определение внутреннего диаметра иглы

Для определения диаметра канала иглы шприца можно выливать из него воду с постоянной скоростью, измеряя время вытекания. Пусть диаметр канала иглы шприца равен  $d$ . Тогда при скорости вытекания воды  $v$  за время  $t$  из него вытечет объём

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot t, \quad \text{откуда} \quad d = 2\sqrt{\frac{V}{\pi vt}}.$$

Для определения скорости расположим шприц так, чтобы струя била вертикально вверх, и оценим диапазон высот, для которых мы можем поддерживать стабильную скорость струи. Возьмём теперь нить с длиной  $l$ , попадающей в данный диапазон, наберём в шприц объём воды  $V$  и измерим время, в течение которого струя бьёт на высоту, равную длине нити. Длину нити найдём, привязав к ней снизу груз и измерив период  $T$  малых колебаний полученного маятника.

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2}.$$

По закону сохранения энергии  $v = \sqrt{2gl}$ . Окончательно получаем

$$d = 2\sqrt{\frac{\sqrt{2V}}{gtT}}.$$

Критерии оценивания

Метод определения диаметра через скорость струи и время вытекания .....	2
Метод определения скорости струи через высоту подъёма .....	2
Измерение высоты подъёма струи с помощью нити .....	2
Определение длины нити по периоду колебаний .....	2
Определение скорости струи .....	2
Определение объёма $V$ и времени его вытекания $t$ .....	2
Получение верного численного значения .....	3

**11 класс**

**Задача 1. Исследование резинового шнура**

1. Для того, чтобы измерить зависимость относительного напряжения от приложенной силы, соберём установку, показанную на рисунке 5. Обозначим через  $2l_0$  начальную длину шнура, тогда

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1.$$

Сила натяжения шнура  $T$  определяется из условия равновесия груза:

$$T = \frac{mg}{2 \sin \alpha} = \frac{mgl}{2h}.$$

Меняя угол  $\alpha$ , построим несколько точек графика  $T(\varepsilon_l)$ .

2. Воспользуемся формулой  $v = f\lambda$ , где  $v$  — скорость распространения поперечной волны,  $f$  — частота колебаний,  $\lambda$  — длина волны.

Если между закрепленными концами шнура укладывается целое число полуволн (в простейшем случае одна), возникает стоячая волна. Когда два шнура настроены в резонанс (их собственные частоты равны или кратны друг другу), колебания одного шнура будут возбуждать колебания другого. Будем изменять натяжения исследуемого шнура небольшими шагами, вытягивая шнур через фиксатор и наблюдая его отклик на колебания вспомогательного шнура, частота колебаний которого известна.

Относительное удлинение шнура удобно найти, вытягивая его за свободный конец, не трогая фиксатор. Тогда, когда фиксатор вот-вот начнёт отходить от скобы, относительное удлинение шнура будет такое же, как и у его части, закреплённой в скобе. Таким образом, определим его относительное удлинение, а следовательно, и силу натяжения. Скорость распространения волны в шнуре составит  $v = f\lambda = 2L_0f$ , где  $L_0$  — длина скобы.

Вторую точку можно определить следующим образом: не меняя натяжения вспомогательного шнура, уменьшим его длину при помощи зажима (рис. 6). Частота колебаний возрастёт обратно пропорционально длине волны.

Будем увеличивать натяжение исследуемого шнура, пока не наступит резонанс. Таким образом, найдём значение скорости распространения волны при большем натяжении. Уберём зажим и вытянем вспомогательный шнур, чтобы он вошёл в резонанс. Тогда его частота будет  $f_1 = f_0 \cdot L_0/L_1$ , где  $L_1$  —

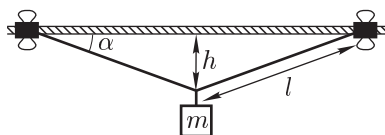


Рис. 5

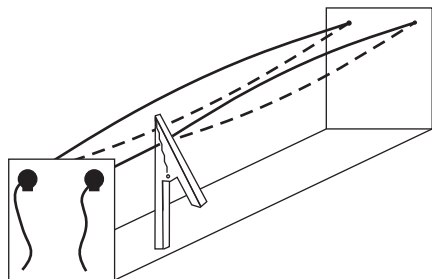


Рис. 6

расстояние от края скобы до зажима. Повторяя это действие, получим частоты вспомогательного шнура  $f_n = f_0 \cdot (L_0/L_1)^n$ . Подбирая натяжение шнура, получим значения скоростей в этих точках.

Для получения точек при меньших натяжениях можно наблюдать резонанс, когда на скобе укладывается две полуволны (вторая мода).

*Критерии оценивания*

Зависимость относительного удлинения от приложенной силы.....	5
Идея резонанса.....	2
Связь скорости распространения волны с её длиной.....	1
Определение скорости распространения волны при $f_0$ .....	3
Получение точек при больших натяжениях.....	2
Получение точек при меньших натяжениях.....	2

**Задача 2. Электрические свойства бумаги**

1. Для определения  $\varepsilon$  бумаги соберём из контактных пластин конденсатор, проложив между ними бумагу (можно сделать размер бумажной прокладки чуть больше, чем пластины) и зажав конструкцию прищепками. (Вообще говоря, результаты будут меняться при различных способах зажима, поэтому следует запомнить/зарисовать способ крепления прищепок и в последующих измерениях придерживаться именно его). Ёмкость полученного конденсатора измерим непосредственно (нужно отсоединить щупы во время измерения ёмкости). С другой стороны, ёмкость равна

$$C_0 = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d},$$

где  $S$  — площадь пластин, которая находится при помощи миллиметровой бумаги.

Теперь вырежем из бумажной прокладки квадратное отверстие площади  $s$ , существенной по сравнению с площадью пластин, но тем не менее такой, чтобы отверстие не заходило в области прижатия прищепок. Тогда не сложно убедиться, что новая ёмкость составит

$$C_1 = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S - s}{d} + \varepsilon_0 \frac{s}{d},$$

следовательно,  $\varepsilon$  найдётся как

$$\varepsilon = \left( 1 - \frac{S}{s} \left( 1 - \frac{C_1}{C_0} \right) \right)^{-1}.$$

2. Толщина  $d$  найдётся из тех же соображений:

$$d = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{C_0}.$$

Для заметок

3. Электрическое удельное сопротивление определяется по формуле  $\rho = RS/d$ . Попытавшись измерить сопротивление  $R$  напрямую, можно заметить, что оно больше, чем максимальный предел измерения мультиметра в режиме омметра (200 МОм). Поэтому для того, чтобы измерить сопротивление бумаги между пластинами, соберём измерительную схему (рис. 7).

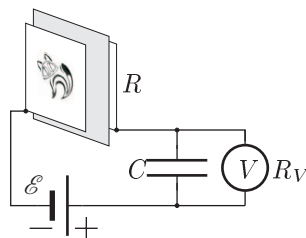


Рис. 7

Вольтметр покажет напряжение на конденсаторе, при котором ток разряда через вольтметр равен току заряда через сопротивление бумаги.

$$\frac{U_C}{R_V} = \frac{\mathcal{E} - U_C}{R}, \quad R = R_V \frac{\mathcal{E} - U_C}{U_C} \approx R_V \frac{\mathcal{E}}{U_C}.$$

Минимальное значение напряжения, измеряемое вольтметром равно  $10^{-4}$  В, следовательно, мы можем измерять сопротивления до  $10^{12}$  Ом.

Предложенный метод измерения можно описать другим способом. Известно, что вольтметр можно использовать в качестве амперметра с ценой деления  $c_A = c_V/R_V$ . Для нашего мультиметра  $c_V = 10^{-4}$  В,  $c_A = 10^{-11}$  А.

Конденсатор играет вспомогательную роль — шунтирует вольтметр по переменному току, так как при малых токах, текущих в цепи, электромагнитные помехи приводят к хаотичности показаний при малейшем движении проводов.

Сопротивление предлагаемого листа миллиметровой бумаги сильно зависит от влажности. В среднем, сопротивление  $R \approx 2 \cdot 10^9$  Ом, а удельное сопротивление  $\rho \approx 2 \cdot 10^9$  Ом · м.

Площадь контакта может быть меньше площади пластин, поэтому найденное значение является верхней границей.

Критерии оценивания

Сборка бумажного конденсатора и измерение его ёмкости . . . . .	3
Проведение измерений с разными площадями бумажной прокладки . . . . .	3
Определение $\epsilon$ . . . . .	2
Определение $d$ . . . . .	2
Схема измерения больших сопротивлений . . . . .	3
Определение $\rho$ . . . . .	2