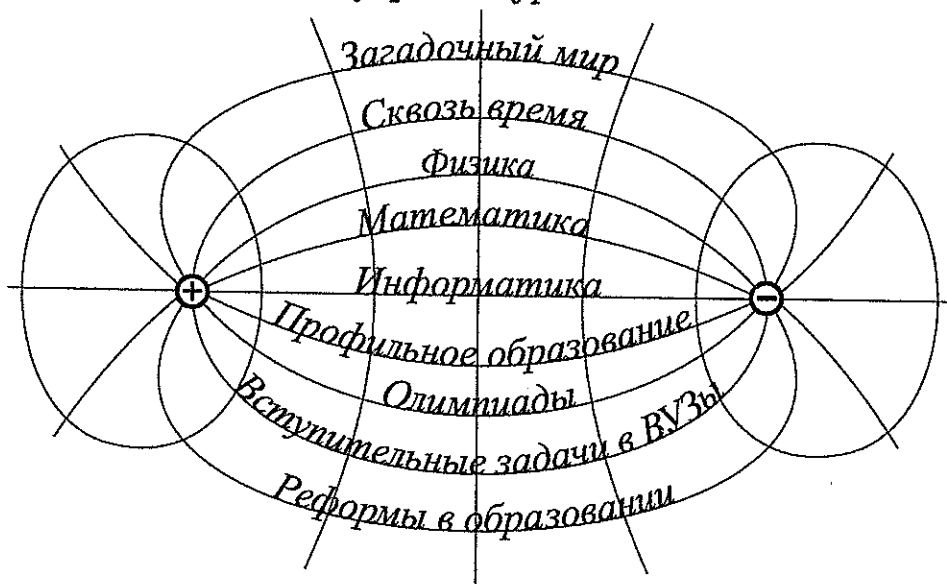


# Потенциал

В апреле 2005 года выходит третий номер научно-популярного физико-математического журнала «Потенциал» для старшеклассников и учителей. Журнал ежемесячный.

Учредителями журнала являются заочная физико-техническая школа при МФТИ и издательство «Азбука».

Рубрики журнала:



Планируемый тираж — 10000 экземпляров. Объем — 80 страниц.  
Приглашаются все желающие принять участие в работе журнала.

Координаты для связи с редакцией

г. Москва, ул. Рабочая 84  
(095) 768 2548, 787 2494

fizteh@nm.ru  
www.fizteh.nm.ru

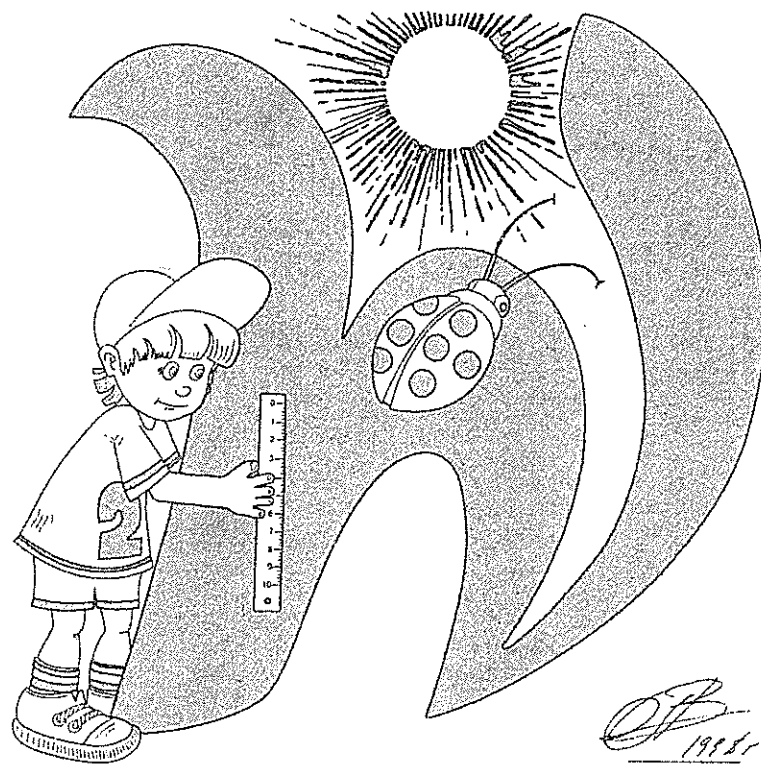
Федеральное агентство по образованию  
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

## XXXIX Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Саранск, 2005 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 *antispa*m к теме письма)

Авторский коллектив — Андреев И., Варламов С., Козел С., Слободянин В.

Общая редакция — Козел С., Слободянин В.

Оформление и верстка — Чудновский А., Самокотин А.

При подготовке оригинал-макета  
использовалась издательская система  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ .  
© Авторский коллектив  
Подписано в печать 13 апреля 2005 г. в 15:02.

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

### Задача 1. Регулируемый «черный ящик»

В «черном ящике», имеющем 3 вывода, собрана электрическая цепь, состоящая из нескольких резисторов с постоянным сопротивлением и одного переменного резистора. Сопротивление переменного резистора можно изменять от нуля до некоторого максимального значения  $R_0$  с помощью регулировочной ручки, выведенной наружу.

С помощью омметра исследуйте схему «черного ящика» и, предполагая, что число находящихся в нем резисторов минимально,

1. изобразите схему электрической цепи, заключенной в «черном ящике»;
2. вычислите сопротивления постоянных резисторов и величину  $R_0$ ;
3. оцените точность вычисленных вами значений сопротивлений.

### Задача 2. Лед с водой

Определите массовую долю льда в смеси льда и воды на момент выдачи.

*Оборудование.* Смесь воды со льдом, термометр, часы.

*Примечание.* Удельная теплоемкость воды  $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

**Задача 1. Колебания физического маятника**

Стержень с двумя грузами  $A$  и  $B$  укреплен на горизонтальной оси и может совершать угловые колебания (рис. 1), то есть представляет собой физический маятник. Нижний груз  $A$  закреплен на стержне неподвижно, а верхний груз  $B$  может перемещаться и закрепляется на стержне с помощью винта.

1. Произведите измерения периода  $T$  малых колебаний такого маятника при различных положениях груза  $B$  (ниже и выше оси вращения), характеризуемых координатой  $x$  груза, отсчитываемой вниз от оси вращения.

2. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости  $T(x)$  с указанием погрешностей измерений.

3. Снимите со стержня груз  $B$  и измерьте с возможно большей точностью период  $T_0$  малых колебаний маятника без этого груза.

4. Отклоните маятник на угол  $\sim 30^\circ$  (на глаз) и вновь измерьте период колебаний  $T_{30}$ . Найдите отношение  $k = (T_{30} - T_0)/T_0$  в вашем эксперименте.

*Примечание.* Малыми колебаниями маятника называются колебания с угловой амплитудой, не превышающей  $(10 \div 15)^\circ$ .

*Оборудование.* Физический маятник с двумя грузами, секундомер, линейка, миллиметровая бумага.

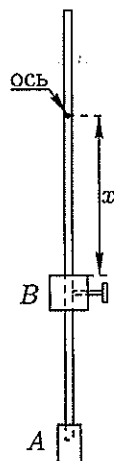


Рис. 1

**Задача 2. Бутылка с воздухом**

1. Предположим, что давление воздуха в бутылке превышает атмосферное. Придумайте и изобразите схему установки для измерения избыточного давления воздуха в бутылке.

2. Соберите установку по созданию и измерению избыточного давления в бутылке. Проверьте герметичность установки.

3. С помощью собранной установки измерьте объем части бутылки, заполненный воздухом.

*Оборудование.* Бутылка, частично заполненная водой, полиэтиленовая прозрачная трубочка с иглой, шприц с иглой, сосуд с водой, штатив, доска, лист миллиметровой бумаги, пластилин, ножницы, скотч.

**Задача 1. Трансформатор**

В коробке собрана цепь (рис. 2). В цепь последовательно с резистором  $R_0$  включена первичная обмотка малоомощного трансформатора. Определите:

1. сопротивление  $r$  первичной обмотки на постоянном токе;

2. активное сопротивление  $R$  первичной обмотки на переменном токе частотой  $f = 50$  Гц.

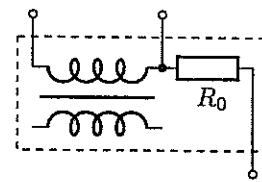


Рис. 2

3. индуктивность  $L$  первичной обмотки;

4. тепловую мощность  $P$ , выделяющуюся в железном сердечнике трансформатора в условиях эксперимента.

*Оборудование.* Электрическая цепь (рис. 2), низковольтный источник тока частотой  $f = 50$  Гц, резистор  $R_0$ , мультиметр, миллиметровая бумага.

**Задача 2. Дифракционная решетка**

Определите с наибольшей точностью период  $d$  дифракционной решетки.

*Оборудование.* Дифракционная решетка, лазер с неизвестной длиной волны (лазерная указка), компакт-диск с шириной дорожки  $d_0 = 1,6$  мкм, миллиметровая бумага, пластилин.

**ВНИМАНИЕ.** Во избежание повреждения сетчатки не направляйте свет лазера в глаза. Лазер следует включать только на время измерений.

Возможные решения

9 класс

**Задача 1. Регулируемый «черный ящик»**

1. Подключая омметр к каждой из трех пар выводов (1,2), (1,3), (2,3) и изменяя при этом сопротивление переменного резистора, убеждаемся, что все три сопротивления  $R_{12}$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{23}$  соответствующих пар выводов «черного ящика» изменяются. Это возможно при числе резисторов не меньше трех, причем если их три, то соединение должно быть выполнено треугольником (рис. 3). Сопротивление  $R_{23}$  при некотором положении регулировочной ручки обращается в ноль, значит, переменный резистор подключен между выводами 2 и 3.

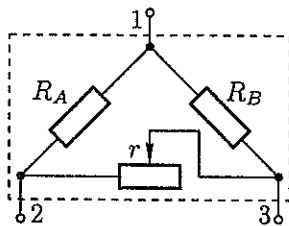


Рис. 3

2. Заметим, что сопротивления  $R_{12}$  и  $R_{13}$  при изменении сопротивления  $r$  переменного резистора изменяются, но остаются равными друг другу, следовательно, в силу симметрии схемы  $R_A = R_B = R$ . Если установить  $r = 0$ , то измерения сопротивлений между выводами дают  $R_{12} = R_{13} = 1$  кОм. При этом резисторы  $R_A$  и  $R_B$  оказываются соединенными параллельно, то есть

$$R_{12} = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} = \frac{R}{2}, \quad \text{откуда} \quad R_A = R_B = R = 2R_{12} = 2 \text{ кОм.}$$

Теперь установим максимальное значение сопротивления переменного резистора ( $r = R_0$ ) и измерим  $R_{23} = 1$  кОм. Поскольку

$$R_{23} = \frac{2R R_0}{2R + R_0}, \quad \text{то} \quad R_0 = \frac{2R R_{23}}{2R - R_{23}} = 1,33 \text{ кОм.}$$

3. Омметр обеспечивает точность 1%, следовательно, погрешность  $R_A$  и  $R_B$  равна 1%, а погрешность  $R_0$  — порядка 3%, так как она складывается из погрешностей величин, использованных при вычислении  $R_0$ .

**Задача 2. Лед с водой**

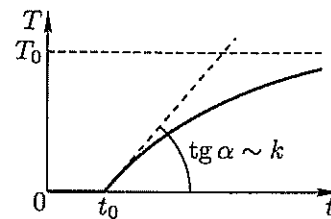


Рис. 4

Измерим зависимость температуры  $T$  смеси воды и льда от времени  $t$ . Смесь нужно постоянно помешивать, чтобы температура была одинакова на любой глубине. Температура начинает подниматься от  $0^\circ\text{C}$  не с начала эксперимента, а с момента времени  $t_0$ , когда весь лед растаял. Пока вода еще не сильно нагрелась, можно считать, что мощность  $P$  потока тепла из окружа-

ющей среды в сосуд осталась прежней, так как она пропорциональна разности температур среды  $T_0$  и смеси  $T$ . Построим график  $T(t)$  (рис. 4) и определим по нему угловой коэффициент  $k = \Delta T / \Delta t$  сразу после момента  $t_0$ . Пусть  $m$  — начальная масса льда,  $M$  — общая масса смеси, тогда уравнения теплового баланса для плавления льда и нагревания воды будут иметь соответственно вид:

$$\lambda m = P t_0, \quad c M \Delta T = P \Delta t, \quad \text{откуда} \quad \frac{m}{M} = \frac{c}{\lambda} t_0 k.$$

## Задача 1. Колебания физического маятника

Период малых колебаний необходимо измерять с погрешностью порядка сотых долей секунды. Чтобы достичь такой точности, следует измерять длительность не менее 20 колебаний, а также выполнять повторные измерения. Построив график зависимости  $T(x)$ , обнаруживаем плавное «провисание» кривой (рис. 5). Минимальный период  $T_{\min} = (1,06 \pm 0,01)$  с наблюдается при  $x \approx 15$  см. Эти значения могут несколько различаться для разных экспериментальных установок.

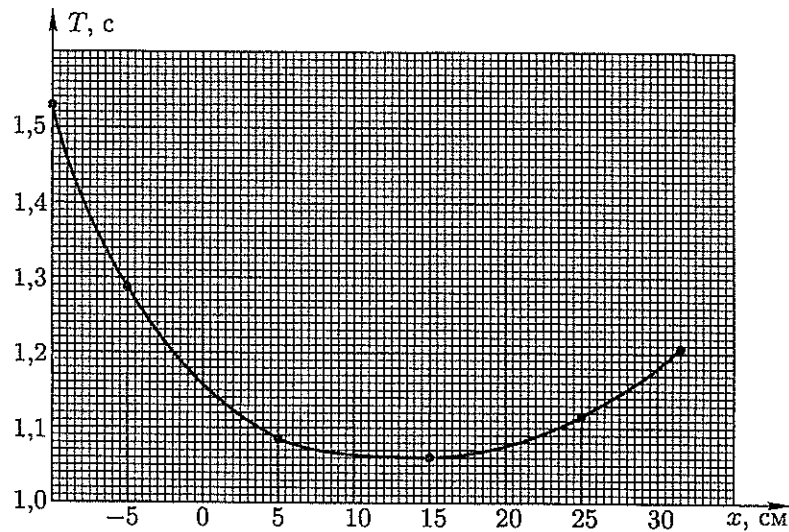


Рис. 5

При измерении периода малых колебаний маятника без груза  $B$  получается значение  $T_0 = (1,18 \pm 0,01)$  с. Период колебаний маятника с угловой амплитудой около  $30^\circ$  оказался равным  $T_{30} = (1,20 \div 1,21)$  с. Это значение является приблизительным, так как оно зависит от устанавливаемого «на глаз» начального отклонения маятника. Во всех опытах было отмечено, что  $T_{30} > T_0$ . По приведенным экспериментальным данным можно найти

$$k = \frac{T_{30} - T_0}{T_0} = 0,017 \div 0,025.$$

## Задача 2. Бутылка с воздухом

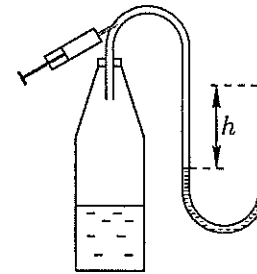


Рис. 6

С помощью штатива устанавливаем доску вертикально и закрепляем на ней лист миллиметровой бумаги. Делаем из трубочки водяной манометр и соединяем его с бутылкой (рис. 6). Присоединяем к системе шприц. Все соединения герметизируем пластилином. После этого проводим проверку на герметичность: нагреваем бутылку рукой и наблюдаем повышение давления в ней по манометру. После этого вдвигаем шприцем в бутылку объем  $\Delta V$  воздуха (перед этим давление в бутылке равно атмосферному). Пусть  $V$  — объем воздуха в бутылке,  $p_0$  — атмосферное давление,  $\Delta p$  — изменение давления воздуха в бутылке. По закону Бойля-Мариотта

$$p_0(V + \Delta V) = (p_0 + \Delta p)V, \quad \text{откуда} \quad V = \frac{p_0}{\Delta p} \Delta V = \frac{p_0 \Delta V}{\rho g h},$$

где  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  — плотность воды,  $h$  — разность уровней воды в коленях манометра (измеряется по миллиметровке). Поскольку процесс не является строго изотермическим, то в течение  $\sim 30$  с после вдвигания воздуха происходит выравнивание температур и давление падает. Измерять нужно именно это установившееся значение давления.

## Задача 1. Трансформатор

1. Сопротивление первичной обмотки на постоянном токе измеряется мультиметром, включенным в качестве омметра к выходам обмотки:

$$r = 120 \text{ Ом.}$$

2,3. Электрическая схема обмотки трансформатора может быть представлена в виде последовательно соединенных идеальной катушки индуктивностью  $L$  и резистора сопротивлением  $R$  (рис. 7). Заметим, что  $R > r$ . Это связано с дополнительными тепловыми потерями энергии на периодическое перемагничивание железного сердечника.

Вследствие нелинейных свойств железного сердечника параметры  $L$  и  $R$  зависят от протекающего по виткам обмотки тока, а, следовательно, и от приложенного напряжения. Результаты измерений ( $U_{\text{тр}} = 1,3 \text{ В}$ ,  $U_{R_0} = 3,9 \text{ В}$ ) получены с использованием источника переменного напряжения с действующим значением  $U_0 = 5,0 \text{ В}$ .

Заметим, что  $U_{R_0} + U_{\text{тр}} > U_0$ . Это объясняется наличием фазовых сдвигов между напряжениями на различных участках. Изобразим диаграмму напряжений (рис. 8). С помощью теоремы косинусов находим

$$\cos \varphi = \frac{U_0^2 - U_{R_0}^2 - U_{\text{тр}}^2}{2U_{R_0}U_{\text{тр}}} \approx 0,80, \quad \text{откуда} \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 0,60.$$

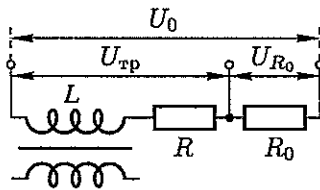


Рис. 7

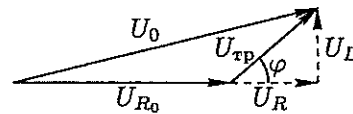


Рис. 8

Активная и реактивная составляющие напряжения на трансформаторе

$$U_R = U_{\text{тр}} \cos \varphi \approx 1,04 \text{ В}, \quad U_L = U_{\text{тр}} \sin \varphi \approx 0,78 \text{ В}.$$

С помощью мультиметра в качестве омметра измеряем  $R_0 = 5 \text{ кОм}$ , откуда находим то в цепи  $I = U_{R_0}/R_0 = 0,78 \text{ мА}$ . Таким образом,

$$R = \frac{U_R}{I} \approx 1,3 \text{ кОм}, \quad L = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{U_L}{I} \approx 3,2 \text{ Гн}.$$

4. Тепловая мощность, выделяющаяся в железном сердечнике,

$$P = I^2(R - r) \approx 0,7 \text{ мВт}.$$

## Задача 2. Дифракционная решетка

Для выполнения данного задания необходимо провести два эксперимента с дифракционными решетками.

1. Измерение длины волны лазера. В этом эксперименте компакт-диск с известной шириной дорожки  $d_0$  используется в качестве отражательной дифракционной решетки. Длина волны  $\lambda$  определяется по формуле

$$\lambda = \frac{d_0 \sin \varphi_m}{m},$$

где  $m$  — порядок дифракционного максимума, а  $\varphi_m$  — соответствующий угол отклонения. Поскольку компакт-диск представляет собой решетку с достаточно малым периодом, то при определении  $\lambda$  нельзя пользоваться приближением малых углов. Для расчета  $\lambda$  следует использовать максимумы 1 и 2 порядков. Проведенные измерения дали:  $\varphi_1 = 24,2^\circ$ ,  $\varphi_2 = 54,0^\circ$ , откуда  $\lambda \approx 650 \text{ нм}$ .

2. Измерение периода  $d$  решетки. В этом эксперименте используется длина волны  $\lambda$  лазера, определенная в предыдущем опыте. Предложенная дифракционная решетка работает «на просвет». Она является достаточно грубой, поэтому при вычислениях можно пользоваться приближением малых углов:

$$d \approx \lambda \frac{m}{\varphi'_m}.$$

Для расчета лучше использовать максимумы высоких порядков, так как это уменьшает относительную погрешность. Из измерения  $\varphi'_6 = 0,132$  находим  $d \approx 30 \text{ мкм}$ . Относительная погрешность измерений не превосходит 5%.