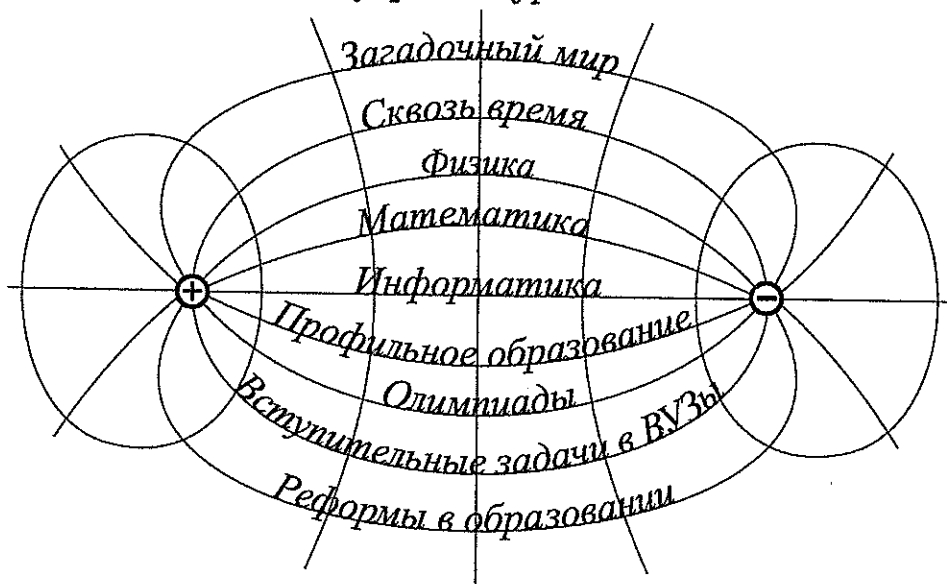


Потенциал

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

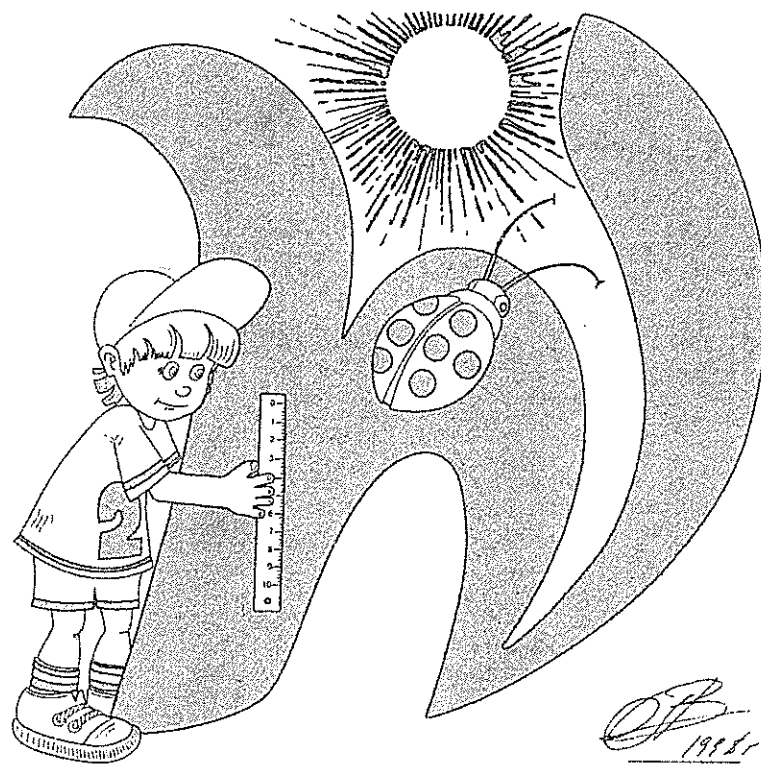
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XXXIX Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Handwritten signature
1985

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 *antispam* 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), характеризующихся 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.

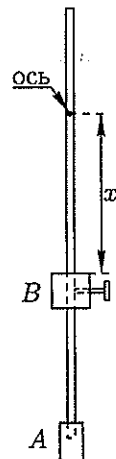


Рис. 1

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.

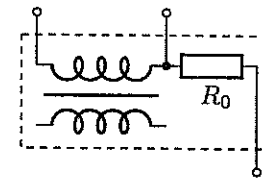


Рис. 2

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.

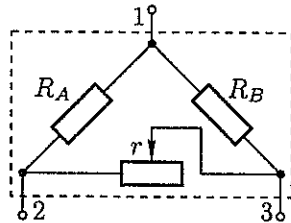


Рис. 3

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

$$R_{23} = \frac{2RR_0}{2R + R_0}, \quad \text{то} \quad R_0 = \frac{2RR_{23}}{2R - R_{23}} = 1,33 \text{ кОм.}$$

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

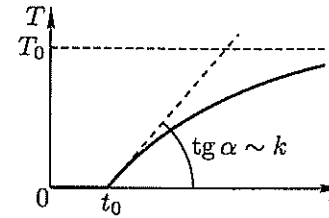


Рис. 4

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°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:

$$\lambda m = Pt_0, \quad cM\Delta T = P\Delta t, \quad \text{откуда} \quad \frac{m}{M} = \frac{c}{\lambda} t_0 k.$$

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.

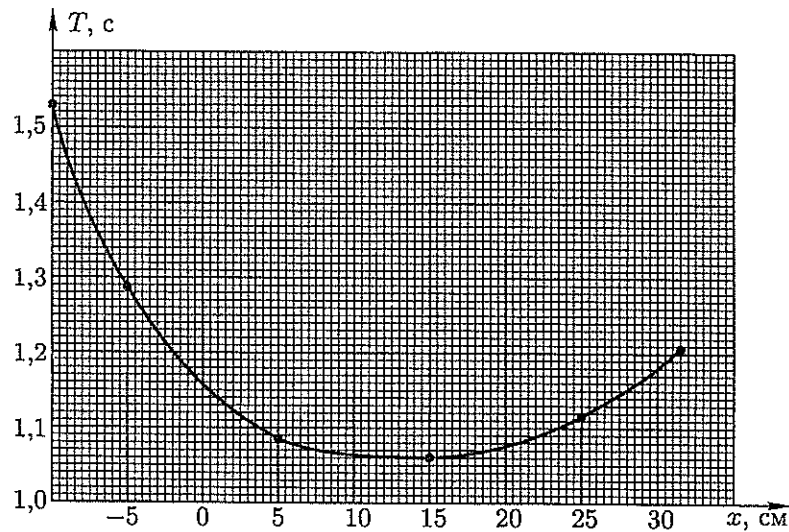


Рис. 5

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° 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

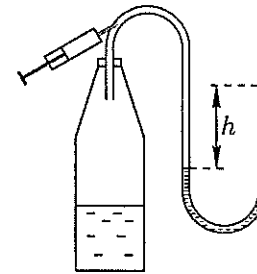


Рис. 6

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 ΔV воздуха (перед этим давление в бутылке равно атмосферному). Пусть V — объем воздуха в бутылке, p_0 — атмосферное давление, Δp — 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 ~ 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

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

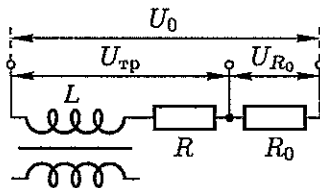


Рис. 7

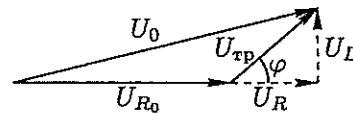


Рис. 8

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 λ определяется по формуле

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

где m — порядок дифракционного максимума, а φ_m — соответствующий угол отклонения. Поскольку компакт-диск представляет собой решетку с достаточно малым периодом, то при определении λ нельзя пользоваться приближением малых углов. Для расчета λ 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 λ 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%.