

*XLIV Всероссийская олимпиада школьников по физике*

3. Вычислим показатель преломления  $n$  материала, из которого изготовлена линза. Связь между радиусом кривизны плоско-выпуклой линзы и её оптической силой:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \frac{1}{R}, \quad \text{откуда} \quad n = 1 + \frac{R}{F}.$$

4. Определим расстояние  $d$  между соседними кольцевыми сегментами. Для этого используем линзу как отражательную дифракционную решётку. Соберём оптическую схему (рис. 22):

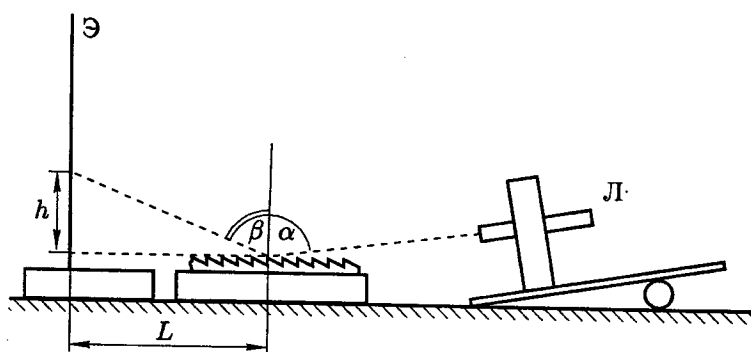


Рис. 22

Запишем условие наблюдения максимума:

$$d(\sin \beta - \sin \alpha) = n\lambda, \quad \text{где} \quad \sin \beta = \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}.$$

Здесь угол  $\beta$  — угол между вертикалью и направлением на максимум порядка  $n$ . Мы не знаем, где находится нулевой максимум, поэтому снимем зависимость  $n$  от  $\sin \beta$ . График этой зависимости линейный, и его угловой коэффициент равен  $k = d/\lambda$ . Построив график и определив  $k$ , найдём  $d = k\lambda$ .

*Критерии оценивания*

Описана идея определения $F$ .....	2
Получено верное значение $F$ .....	1
Описан метод определения $R$ .....	3
Получено верное значение $R$ .....	2
Описана методика определения $n$ .....	1
Получено верное значение $n$ .....	1
Описана методика определения $d$ и приведена схема установки .....	2
Построен график зависимости $n(\sin \beta)$ .....	2
Получено верное значение $d$ .....	1

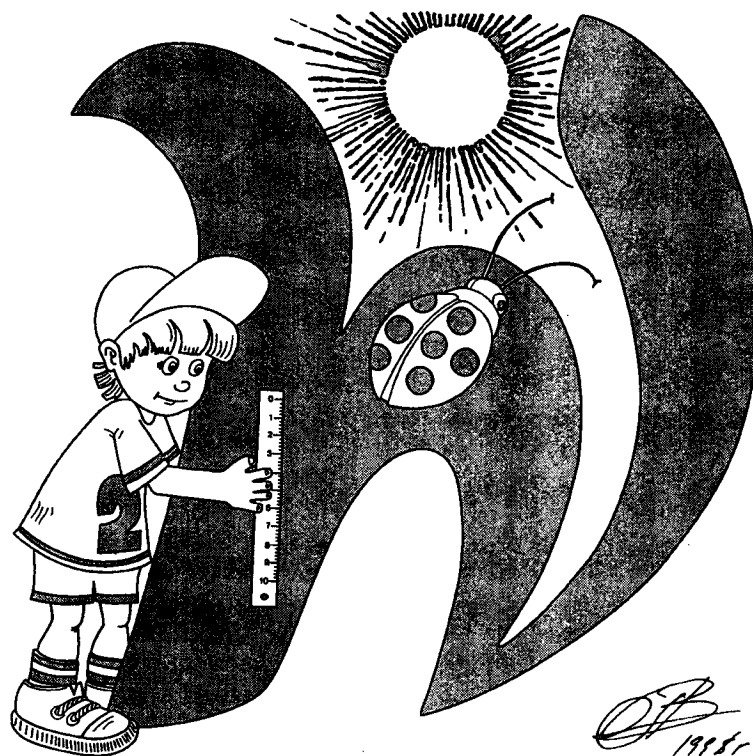
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

**XLIV Всероссийская олимпиада  
школьников по физике**

**Заключительный этап**

**Экспериментальный тур**

Методическое пособие



Белгород, 2010 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

1. Соловьёва К.
2. Старков Г.

#### 10 класс

1. Шевченко В.
2. Кудряшова Н.,  
Бычина О.

#### 11 класс

1. Проскурин М.
2. Дорошенко А.

Общая редакция — Кбзел С., Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Сметнёв Д.

При подготовке оригинал-макета использовалась издательская система  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$ .  
© Авторский коллектив  
Подписано в печать 16 апреля 2010 г. в 01:40.

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

### 9 класс

#### Задача 1. Муаровые узоры

Муаровый узор (муар, от французского *moiré*) — узор, который возникает при наложении двух периодических сетчатых рисунков (рис. 1). Явление обусловлено тем, что повторяющиеся элементы двух рисунков то накладываются друг на друга, то образуют промежутки.

Само понятие «муар» происходит от названия ткани *муар*. Муаровый узор, например, наблюдается при наложении друг на друга различных частей тюлевых занавесок. Когда-то муар использовали при пошиве дорогих костюмов, лент и так далее.

Муаровый узор возникает при цифровом фотографировании и сканировании сетчатых и других периодических изображений, если их период близок к расстоянию между светочувствительными элементами оборудования. Этот факт используется в одном из механизмов защиты денежных знаков от подделки: на купюры наносится волнообразный рисунок, который при сканировании может покрыться очень заметным узором, отличающим подделку от оригинала.

1. В данном эксперименте вам предстоит использовать эффект муара для определения периода  $d_A$  сетчатых рисунков.

При параллельном наложении (то есть когда листы полностью совпадают) друг на друга двух решёток  $A$  с одинаковым периодом  $d_A$  можно наблюдать равномерно серую картину. При относительном повороте решёток на угол  $\theta$  появляются муаровые полосы.

Снимите зависимость общего количества  $n$  наблюдаемых полос от угла поворота  $\theta$ . Данные измерений занесите в таблицу 1. Общее количество

полос  $n$  (на рисунке 1  $n = 9$ ) — это количество полос на отрезке  $S$ , где  $S$  зависит от  $\theta$  и длины решётки  $L$ . Подумайте, какие функции от  $n$  и  $\theta$  откладывать по осям, чтобы зависимость имела линейный вид. Постройте график этой зависимости. По графику определите значение периода  $d_A$  решётки  $A$ . Приведите расчётные формулы и пояснительные рисунки.

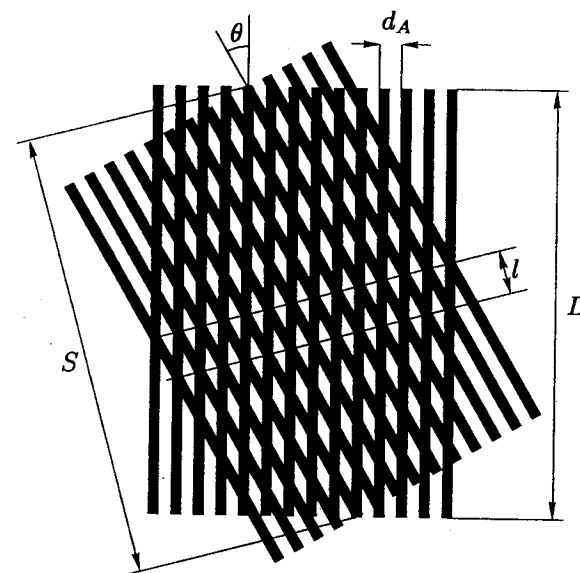


Рис. 1

2. Теперь наложите параллельно друг на друга решётки  $A$  и  $B$ . Вы должны увидеть структуру из тёмных и светлых полос, параллельных линиям решётки. Наблюдаемый эффект называется *биения*. Найдите разность периодов  $\Delta d = |d_A - d_B|$  решёток  $A$  и  $B$ .

3. Определите, у какой из решёток период больше, и найдите значение периода  $d_B$  решётки  $B$ . Не забудьте подробно описать и обосновать ваш метод.

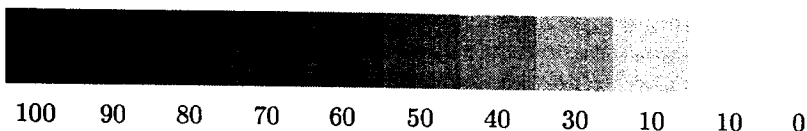


Рис. 2

4. Для передачи на печати различных оттенков серых цветов, используются изображения с разным отношением количества чёрных и белых точек. *Уровнем серого* (или просто серостью) назовём отношение количества чёрных точек к количеству всех точек. Таким образом, уровень 100% будет соответствовать чёрному цвету, а 0% — белому. Используя образцы с известным уровнем серого (рис. 2), определите ширину линии решётки  $A$ . Приведите расчётные формулы.

Таблица 1

$\theta,$	$n,$		
...	...	...	...

**Оборудование.** Две решётки  $A$ , напечатанные на прозрачной плёнке (размеры решёток 15 см  $\times$  10 см); решётка  $B$ , напечатанная на прозрачной плёнке; лист пенокартона, булавки для закрепления листов на пенокартоне; цветные образцы с указанным уровнем серого.

Пенокартон исполняет роль подставки в эксперименте. На всех решётках изображён транспортёр с ценой деления 1°.

### Задача 2. Нихромовая спираль

1. Определите удельное сопротивление  $\lambda$  нихрома.

2. Определите плотность  $\rho$  нихрома.

**ВНИМАНИЕ.** Выданную спираль запрещается разматывать и сильно деформировать.

**Оборудование.** Спираль из нихромовой проволоки, мультиметр, 5 листов офисной бумаги А4 с поверхностной плотностью 80 г/м<sup>2</sup>, линейка, карандаш.

## 10 класс

### Задача 1. Поиск замыкания в трёхпроводной линии

#### Часть I

Соберите электрический мост (рис. 3). Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  неизвестны. Участок цепи  $MN$  представляет собой нихромовый провод с большим сопротивлением  $\lambda$  на единицу длины. Амперметр включен в диагональ моста (участок  $BO$ ). Контакт (в точке  $O$ ) можно перемещать вдоль провода. При помощи балансировки моста определите отношение сопротивлений  $R_1/R_2$ . Приведите расчётную формулу.

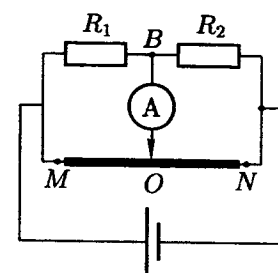


Рис. 3

**Примечание.** Мост считается сбалансированным, если ток через амперметр не идёт.

#### Часть II

Два узла связи  $T_1$  и  $T_2$ , расположенные на расстоянии  $L = 250$  м друг от друга, соединены трёхпроводной линией. Все три провода обладают одинаковым сопротивлением на единицу длины. В данной линии произошёл пробой изоляции между проводами  $B_1B_2$  и  $C_1C_2$  (рис. 4). В месте пробоя возникла перемычка, представленная некоторым сопротивлением  $r$ .

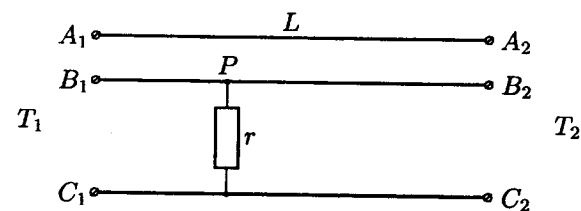


Рис. 4

**Примечание.** Так как узел  $T_1$  удалён на значительное расстояние от узла  $T_2$ , то нельзя соединять клеммы узла  $T_1$  с клеммами узла  $T_2$  (например, нельзя соединить  $A_1$  и  $B_2$  или подключить какой-нибудь прибор к клеммам  $B_1$  и  $C_2$ ).

1. Установите соответствие между выводами трёхпроводной линии (например, провод с синей меткой  $T_1$  и провод с красной меткой  $T_2$  — один и тот же провод).

2. Определите диаметр  $d$  проводов трёхпроводной линии.

**Примечание.** Для удобства коммутации к проводам трёхпроводной линии на станциях  $T_1$  и  $T_2$  подсоединены многожильные низкоомные провода.

3. Определите сопротивление пробоя  $r$ .

4. С помощью мостовой схемы определите, на каком расстоянии  $L_1$  от узла  $T_1$  произошёл пробой.

5. Предложите способ выполнения пункта 4 без использования нихромовой проволоки. Найдите расстояние  $L_1$  этим способом.

**Оборудование.** Два спаянных неизвестных сопротивления с красной и синей меткой; дефектная трёхпроводная линия с известным удельным сопротивлением  $\rho$ ; нихромовая проволока; линейка; источник постоянного напряжения; мультиметр.

### Задача 2. Поверхностное натяжение

1. Изготовьте из листа тонкого картона пружинные весы. Один из возможных вариантов весов приведён на рисунке 5.

2. Предложите способ градуировки изготовленных вами весов и проградуируйте их.

3. Измерьте коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma$  выданной вам жидкости. Для этого вы можете воспользоваться методом отрыва. Суть метода заключается в следующем.

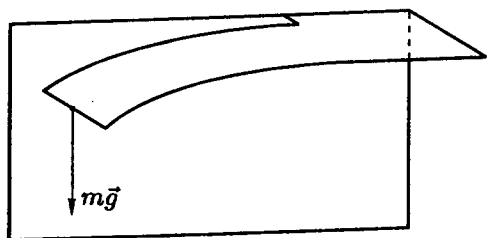


Рис. 5

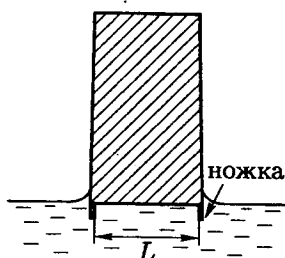


Рис. 6

Изготовьте измерительную пластину с «ножками» (рис. 6). «Ножки» нужны для защиты плёнки от бокового отрыва. Если опустить пластину в исследуемую жидкость, а затем медленно поднимать, то в момент отрыва пластины от поверхности жидкости со стороны жидкости на пластину будет действовать сила поверхностного натяжения  $F_\sigma$ . Приведите формулу для этой силы. Постройте график экспериментальной зависимости разницы показаний весов в момент отрыва и после успокоения колебаний от расстояния между ножками  $L$ . По графику определите  $\sigma$ .

**Примечание.** Не касайтесь воды и кромки измерительной пластины пальцами, так как это может сильно повлиять на результаты ваших измерений.

**Оборудование.** Лист тонкого плотного картона, лист офисной бумаги формата А4 с поверхностной плотностью  $80 \text{ г/м}^2$ , ванночка с исследуемой жидкостью, подставка, две канцелярские кнопки, ножницы, линейка, бумажная салфетка для поддержания рабочего места в чистоте.

## 11 класс

### Задача 1. Параметры нити накала

В данной задаче предлагается с помощью имеющегося оборудования исследовать электрическую характеристику лампочки и определить длину нити накала лампочки  $L$ , а также её средний диаметр  $d$  (рис. 7). В данном случае под длиной нити накала подразумевается длина раскрученной спирали, то есть проволоки, из которой сделана нить. Для проведения эксперимента и обработки данных могут пригодиться приведённые ниже теоретические сведения.

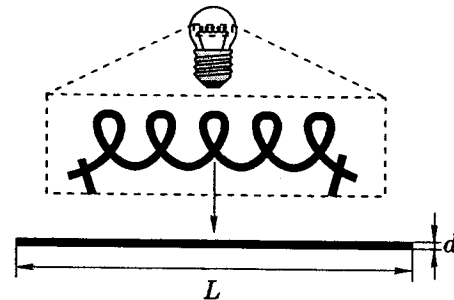


Рис. 7

Известно, что тело с площадью поверхности  $S$ , нагретое до абсолютной температуры  $T$ , излучает мощность  $P = S\sigma T^4$ , где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$  — постоянная Стефана–Больцмана. При температурах нити накала, близких к температуре окружающей среды, основную роль в отводе тепла от спирали играет теплопередача. Однако уже при температурах нити накала  $T > 700 \text{ К}$  теплопередачей можно пренебречь и считать, что вся энергия уходит с излучением.

Удельное сопротивление металлов зависит линейно от температуры в достаточно большом диапазоне температур, в частности для вольфрама этот диапазон  $300 \text{ К} - 2500 \text{ К}$ . Температурная зависимость удельного сопротивления вольфрама имеет вид  $\rho = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$ , где  $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$  — его температурный коэффициент сопротивления,  $\rho_0 = 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  — удельное сопротивление при комнатной температуре  $T_0 = 293 \text{ К}$ .

1. Используя имеющееся оборудование, соберите схему для снятия вольт-амперной характеристики лампочки. Зарисуйте схему в вашем отчёте.

2. Снимите зависимость силы тока, протекающего через нить накала лампочки, от приложенного к ней напряжения и заполните таблицу 2. Рекомендуется снять не менее 10 точек в диапазоне напряжений 1–6 В и не менее 10 точек в диапазоне 0,0–1,0 В.

3. Постройте график зависимости мощности лампочки от её сопротивления. Используя теоретические предположения об исследуемой зависимости, выберите такие координаты для построения графика, в которых большая его часть получится линейной.

4. Используя график, а также приведённые выше формулы, определите площадь  $S$  поверхности нити накала лампочки. Оцените погрешность полученного результата.

5. Постройте график зависимости силы тока от напряжения в диапазоне напряжений 0–1,0 В. Используя график, определите сопротивление  $R_0$  нити

накала в «холодном состоянии», то есть когда её температура близка к температуре окружающей среды.

6. Определите по имеющимся данным длину  $L$  нити накала, а также её диаметр  $d$ . При этом тепловым расширением можно пренебречь и считать, что размеры нити не зависят от температуры.

Таблица 2

$U$ , В	$I$ , мА	$R$ , Ом	$P$ , Вт			
...	...	...	...	...	...	...

**ВНИМАНИЕ.** Запрещается подавать на лампочку напряжение выше 6 В.

**Оборудование.** Источник постоянного тока с регулируемым напряжением, вольтметр, резистор с сопротивлением  $R_1 = 10,0$  Ом, лампочка накаливания от карманного фонарика с номинальным напряжением 6,3 В.

### Задача 2. Линза Френеля

«Плоская» линза Френеля, используемая в настоящей работе, состоит из отдельных концентрических колец ширины  $d$ . Каждое такое кольцо в радиальном сечении представляет из себя призму, гипотенузная грань которой имеет один и тот же радиус кривизны  $R$  (рис. 8). Все кольца работают как элементы обычной плоско-выпуклой линзы.

Качество изображений, получаемых с помощью линз Френеля, значительно уступает качеству изображений, которые дают хорошие линзы. Но линзы Френеля имеют небольшой вес и они дешёвы, что и определяет их применение.

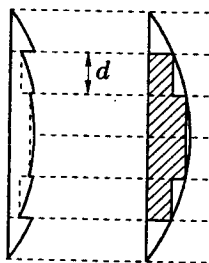


Рис. 8

Вам предлагается при помощи выданного оборудования определить некоторые параметры линзы Френеля.

1. Определите фокусное расстояние  $F$  линзы, не используя лазер.
2. Определите радиус кривизны  $R$  сферической поверхности, не используя лазер.
3. Определите показатель преломления  $n$  материала линзы.
4. Определите расстояние  $d$  между соседними кольцевыми сегментами, используя явление дифракции.

Оцените погрешности полученных результатов.

**Оборудование.** Лазерная указка (длину волны лазера примите равной  $\lambda = 650 \pm 10$  нм), диодный фонарик, линза Френеля, 3 листа бумаги формата А4, измерительная лента, линейка длиной 30 см, подставка под линзу (прямоугольный брусок с прорезью), подставка под экран, подставка под лазер, кнопки канцелярские, круглый карандаш, скотч, ножницы (выдаются по требованию), миллиметровая бумага.

## Возможные решения 9 класс

### Задача 1. Муаровые узоры

1. Расстояние между полосами  $l$  будет равно половине длинной диагонали ромба, образованного пересечениями центров линий (рис. 9). Поскольку из геометрии  $nl = S = L / \cos(\theta/2)$ , то:

$$d_A = 2 \frac{L \sin(\theta/2)}{n \cos(\theta/2)}, \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{d_A}{2L} n.$$

Построим график зависимости  $\operatorname{tg}(\theta/2)$  от  $n$ . По точкам проведём прямую и по значению углового коэффициента определим период решётки  $d_A$  по формуле  $d_A = 2Lk$ , где  $k$  — значение коэффициента наклона графика.

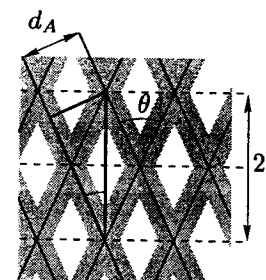


Рис. 9

2. При параллельном наложении двух решёток с разными периодами образуются тёмные и светлые полосы. Там, где линии решёток совпадают, образуются светлые полосы, а там, где из-за различия в периодах линии решёток перестают совпадать, — тёмные (рис. 10). Совпадение полос происходит через интервал  $L$ , на котором у решётки, например  $A$ , укладывается на один период больше, чем у решётки  $B$ .

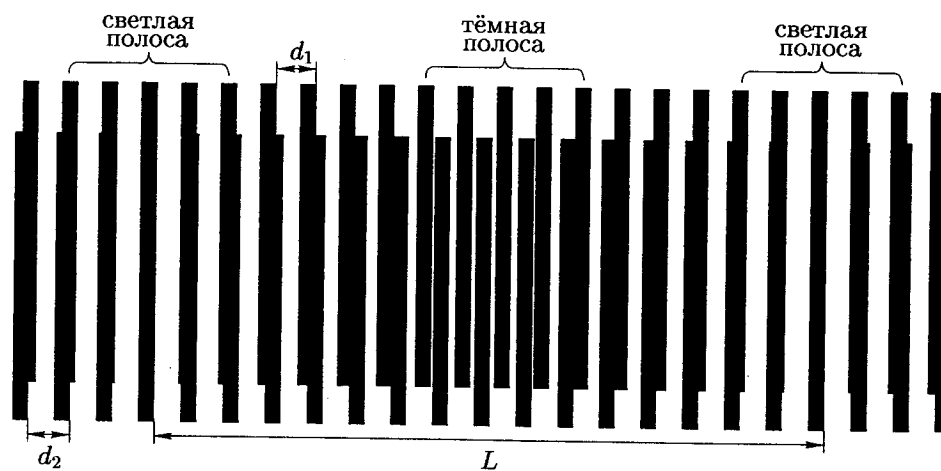


Рис. 10

Пусть расстояние между серединами светлых полос равно  $L$ . Тогда:

$$L = (n+1)d_1 = nd_2, \quad \text{откуда} \quad \Delta d = d_2 - d_1 = \frac{L}{n(n+1)} = \frac{d_1 d_2}{L} \approx \frac{d_A^2}{L}.$$

Но при этом не ясно, период какой решётки больше.

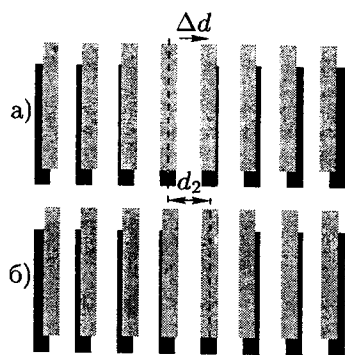


Рис. 11

3. Если внимательно рассмотреть рисунок 11, то можно увидеть, что при смещении более частой решётки (на рисунке серой) вправо на расстояние  $\Delta d$ , совпадающие полосы (середины светлой полосы) переместятся на расстояние  $d_2$  в ту же сторону. Поэтому, если мы будем сдвигать решётку  $A$  относительно  $B$  и полосы будут «бежать» в том же направлении, то это будет значить, что  $d_A < d_B$ ; если же полосы будут «бежать» в обратном направлении, то  $d_A > d_B$ .

4. Пусть ширина полосы  $x$  (рис. 12), тогда уровень серого решётки будет равен  $k = x/d$ . Сравним серости решётки с образцами, то есть

подберём такие два образца близкой серости, что серость решётки будет принимать промежуточное значение. Найдём  $x$ .

Результат можно улучшить, заметив, что если мы положим две сетки ортогонально (рис. 13), то для них относительное количество белых точек будет  $\tilde{k} = (d-x)^2/d^2$ . Так что, сравнив серость перпендикулярно перекрещенных решёток с образцами, можно получить величину  $x$  другим способом, а окончательный результат усреднить.



Рис. 12

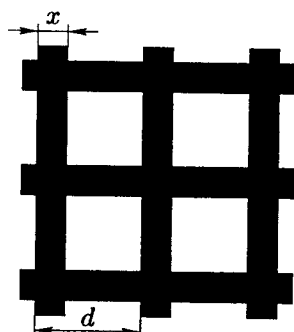


Рис. 13

**Критерии оценивания**

Заполнена таблица экспериментальных данных.....	3
Найдена формула, связывающая $\theta$ , $d_A$ и $n$ .....	1
Построен график зависимости $f(\theta)$ от $n$ .....	3
Определён $d_A$ .....	2
Определён $ d_A - d_B $ .....	2
Установлено, период какой решётки больше.....	2
Определена ширина линии $x$ .....	2

**Задача 2. Нихромовая спираль**

1. Определим диаметр  $d$  проволоки, из которой изготовлена спираль, методом рядов. Для этого измерим суммарную ширину нескольких витков сжатой спирали и поделим на количество витков.

Диаметр  $D$  спирали (рис. 14) определим, прокатив спираль вдоль линейки, отметив расстояние  $l$ , которое прошла спираль, и подсчитав количество её оборотов  $N$ . Тогда:

$$D = \frac{1}{\pi} \frac{l}{N}$$

Длину проволоки спирали  $L_0$  определим, подсчитав количество витков  $N_0$  в ней. Тогда:

$$L_0 = N_0 \cdot \pi D$$

Измерим сопротивление  $R_0$  всей спирали при помощи мультиметра в режиме омметра. При измерении спираль нужно немного растягивать, чтобы витки не касались друг друга. Окончательно для удельного сопротивления  $\lambda$  запишем:

$$\lambda = R_0 \frac{\pi d^2 / 4}{L_0}$$

2. Определим массу  $m_0$  листа А4:

$$m_0 = 80 \times 0,297 \times 0,210 \text{ [г]} \approx (5,00 \pm 0,01) \text{ г.}$$

Уравновесим линейку на карандаше, найдя таким образом её центр масс.

Сложим  $n = 5$  листов А4 вдоль длинной стороны несколько раз, чтобы образовалась тонкая трубочка. Уравновесим этой трубочкой на линейке спираль, предварительно расположив карандаш около края стола, чтобы спираль могла свободно свешиваться.

Пусть листы А4 расположились на расстоянии  $l_0$  от центра масс, а спираль — на расстоянии  $l_1$ . Тогда масса  $m_1$  пружинки составит

$$m_1 = n m_0 \frac{l_0}{l_1}$$

Окончательно,  $\rho = \frac{m_1}{V} = \frac{m_1}{l \times \pi d^2 / 4} = \frac{4 m_1}{\pi l d^2}$ .

**Критерии оценивания**

Найден диаметр проволоки $d$ .....	2
Найден диаметр спирали $D$ .....	3

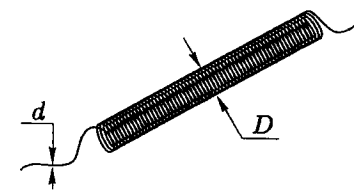


Рис. 14

Измерена длина проволоки спирали $l$ .....	3
Определено удельное сопротивление $\lambda$ .....	3
Вычислена масса листа $m_0$ .....	1
Определена плотность $\rho$ .....	3

10 класс

Задача 1. Поиск замыкания в трёхпроводной линии

Часть I

Собираем схему, как показано на рисунке 3. Перемещая вдоль провода подвижный контакт, добиваемся балансировки моста. При этом мы можем записать:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{MO}{ON}.$$

Соответствующие плечи  $MO$  и  $ON$  реохорда измеряем с помощью линейки.

Часть II

1. В режиме омметра найдём среди клемм одного из узлов (например,  $T_1$ ) такие две, сопротивление между которыми не равно бесконечности (это будут клеммы  $B_1$  и  $C_1$ ). Между соответствующими проводами произошёл пробой. Оставшийся конец провода принадлежит линии  $A$ . Проведём аналогичную операцию на другом конце линии. Таким образом, определим концы провода  $A$ . Поскольку провода  $B$  и  $C$  эквивалентны, то мы можем смело обозначить на конце  $T_1$  провода  $B_1$  и  $C_1$ , и останется выяснить, какой из двух оставшихся проводов на конце  $T_2$  принадлежит, скажем, линии  $B$ . Для этого соединим концы  $A_1$  и  $B_1$  и измерим на другом конце линии сопротивления между концом  $A_2$  и двумя другими концами. Тогда конец, соответствующий меньшему сопротивлению, и будет  $B_2$ . Оставшийся конец провода —  $C_2$ .

2. Соединим концы  $A_2$  и  $B_2$  на одном конце линии и измерим омметром сопротивление  $R_{AB}$  между  $A_1$  и  $B_1$ . Тогда для этого сопротивления можно записать:

$$R_{AB} = \rho \frac{2L}{S} = \rho \frac{2L}{\pi d^2/4}, \quad \text{откуда} \quad d = \sqrt{\frac{8\rho L}{\pi R_{AB}}}.$$

3. Сопротивление  $r$  пробоя можно найти прямым измерением сопротивления между клеммами  $B_1$  и  $C_1$ , потому что  $r \gg R_{AB}$ , в чём можно убедиться, измерив его для обоих концов линии.

4. Для определения положения точки пробоя собираем электрическую схему (рис. 15). Пусть  $R$  — полное сопротивление линии,  $R_1$  — сопротивление части провода от узла  $T_1$  до разрыва,  $R_2$  — сопротивление оставшейся части провода. Балансируем получившуюся мостовую схему реохордом, сделанным из выданной нихромовой проволоки. Тогда:

$$\frac{R + R_2}{R_2} = \frac{R + R_1}{R - R_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_2},$$

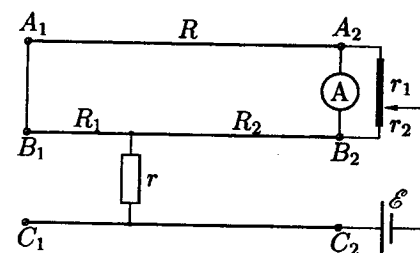


Рис. 15

где  $l_1, l_2$  — длины плеч реохорда, измеряемые линейкой. Таким образом определим:

$$R_1 = R \frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2}, \quad \text{откуда} \quad L_1 = L \frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2}.$$

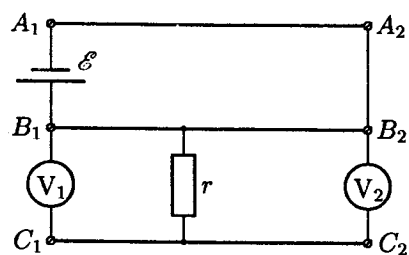


Рис. 16

5. Для определения места пробоя без использования мостовой схемы можно предложить следующий метод. Соберём схему согласно рисунку 16, на который через  $V_1$  и  $V_2$  обозначен один и тот же мультиметр, поочерёдно подключенный в режиме вольтметра к разным точкам (то есть при проведении измерений его нужно подключить вначале к клеммам  $B_1$  и  $C_1$ , а затем к клеммам  $B_2$  и  $C_2$ ). Считая, что сопротивление вольтметра много больше сопротивления линии, отношение показаний вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  равно отношению длин линии до и после пробоя, откуда:

$$L_1 = L \frac{U_1}{U_1 + U_2},$$

где  $U_1$  — показания вольтметра  $V_1$ ,  $U_2$  — показания вольтметра  $V_2$ .

**Критерии оценивания**

Определено отношение $R_1/R_2$ .....	3
Определено соответствие клемм разных концов .....	3
Найден диаметр проволоки .....	3
Определено сопротивление пробоя .....	2
Приведена схема измерения положения пробоя с мостовой схемой .....	1
Приведена схема измерения положения пробоя без мостовой схемы .....	1
Найдено $L_1$ .....	2

**Задача 2. Поверхностное натяжение**

На измерительную пластину, помещённую в жидкость, в момент отрыва от поверхности жидкости действует сила  $F_\sigma = 2\sigma L$ . В этой формуле коэффициент 2 появляется из-за того, что у плёнки две поверхности.

Сделаем из листа плотного картона пружинные весы. Из офисной бумаги сделаем прямоугольные разновесы, массу которых вычислим, определив площадь разновеса и умножив на известную поверхностную плотность. Проведём калибровку весов, отмечая какое отклонение соответствует массе нагрузки. Из оставшейся бумаги сделаем измерительную пластину с «ножками». На противоположном конце пластины сделаем сгиб (крючок) и взвесим пластину на весах.

Будем поднимать ванночку с жидкостью до тех пор, пока не произойдёт соприкосновение жидкости и пластины. После этого будем медленно опускать

ванночку и заметим показания весов  $M$  в момент отрыва пластины от поверхности жидкости. После этого определим массу пластины  $m_0$  (определять массу стоит после касания пластины жидкости, так как бумага смачивается жидкостью и её масса увеличивается). Вычислим коэффициент поверхностного натяжения по формуле:

$$\sigma = \frac{(M - m_0)g}{2L}.$$

Повторим эксперимент несколько раз, изменяя  $m_0$  и  $L$ . Построим график зависимости  $(M - m_0)$  от  $L$ . Экспериментальные точки лягут на прямую с наклоном  $2\sigma/g$ . Определим среднее значение  $\sigma$  и вычислим погрешность.

При надлежащей аккуратности значение коэффициента поверхностного натяжения находится с относительной погрешностью около 10 %.

**Критерии оценивания**

Произведена градуировка весов .....	4
Приведено выражение для $F_\sigma$ .....	2
Проведены измерения при различных значениях $m, L$ .....	3
Построен график зависимости $(M - m_0)$ от $L$ .....	2
Получен верный результат для $\sigma$ .....	3
Определена погрешность определения $\sigma$ .....	1



**Задача 1. Параметры нити накала**

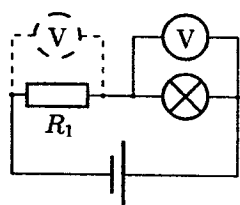


Рис. 17

Соберём схему для снятия вольт-амперной характеристики (рис. 17). При этом для определения силы тока будем измерять напряжение на резисторе с известным сопротивлением. Так как вольтметр один, будем подключать его попеременно то к лампочке, то к резистору. Тогда, воспользовавшись законом Ома, можно найти силу тока. Снимем зависимость силы тока, протекающего через лампочку, от приложенного напряжения в диапазоне 0–6 В с шагом в 0,5 В. Посчитаем для каждого значения напряжения выделяющуюся мощность и сопротивление нити накала по формулам  $P = UI$ ,  $R = U/I$ .

Из формулы  $\rho = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$  явно следует аналогичное выражение для сопротивления нити:

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0)),$$

причём  $R_0$  находится как предельное отношение  $R = U/I$  при очень малых токах и напряжениях, когда нить лампочки вообще не светится. Построив зависимость  $I(U)$  в диапазоне напряжений 0–1,0 В с шагом в 0,1 В, можно определить  $R_0$  графически через угловой коэффициент касательной к графику в нуле (рис. 18).

Зависимость  $R(T)$  имеет линейный характер. Чтобы график зависимости  $P(R)$  был линейным (при больших  $P$ ), необходимо взять некоторую функцию от мощности  $P$  такую, чтобы она также линейно зависела от температуры  $T$ . При этом  $P$  и  $R$  будут линейно зависеть от общего неизвестного параметра – температуры  $T$ . Простейшей функцией является  $\sqrt[4]{P} = \sqrt[4]{S\sigma}T$ . Поэтому график стоит строить в координатах  $(R, \sqrt[4]{P})$  (рис. 19). В этом случае при сопротивлениях  $R$  близких к  $R_0$  график будет вести себя нелинейно, так как тогда существенную роль в тепловых потерях играет теплопередача окружающей среде. При больших же температурах и, соответственно, сопротивлениях график ведёт себя линейно, причём угловой коэффициент равен:

$$\frac{\Delta \sqrt[4]{P}}{\Delta R} = \frac{\sqrt[4]{S\sigma} \cdot \Delta T}{R_0 \alpha \Delta T} = \frac{\sqrt[4]{S\sigma}}{R_0 \alpha} = k.$$

Отсюда несложно найти площадь поверхности нити накала  $S = (kR_0\alpha)^4/\sigma$ .

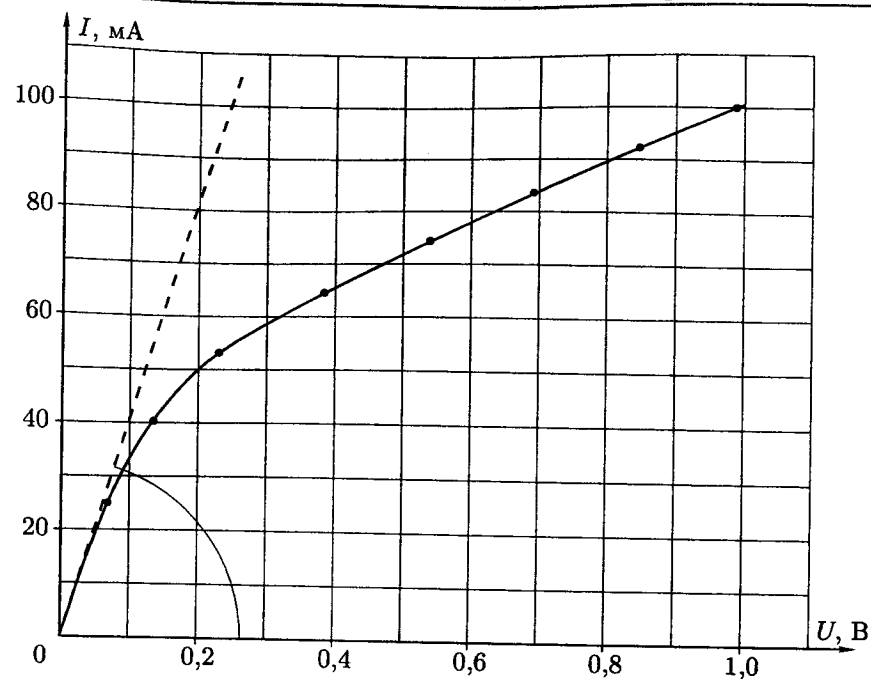


Рис. 18

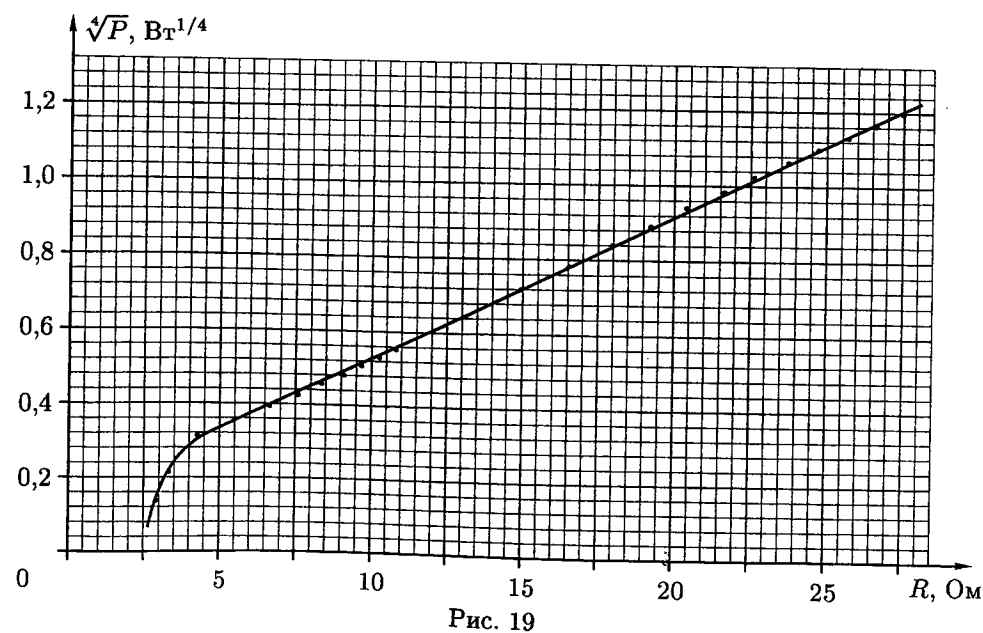


Рис. 19

Теперь воспользуемся геометрическими соображениями. Нить накала представляет собой тонкую проволоку, то есть можно считать её длинным тонким цилиндром радиуса  $r$  и длины  $L$ . Тогда площадь поверхности этого цилиндра (при этом площадью торцов можно пренебречь) будет  $S = 2\pi rL$ . С другой стороны, известно, что  $R_0 = \rho_0 L / S_0$ , где  $S_0 = \pi r^2$  — площадь сечения проволоки. Используя последние три выражения, легко найти:

$$r = \sqrt[3]{\frac{S\rho_0}{2\pi^2 R_0}} \quad \text{и} \quad L = \sqrt[3]{\frac{S^2 R_0}{4\pi\rho_0}}$$

Диаметр нити накала будет равен  $d = 2r$ .

*Критерии оценивания*

Нарисована схема измерений .....	1
Заполнена таблица .....	2
Построен график $\sqrt[3]{P(R)}$ .....	3
Получено выражение для определения $S$ .....	1
Найдена $S$ и оценена погрешность её определения .....	2
Предложен способ определения $R_0$ .....	1
Найдено $R_0$ .....	1
Приведены выражения для определения $L$ и $d$ .....	2
Определены $L$ и $d$ .....	2

**Задача 2. Линза Френеля**

1. Определим фокусное расстояние линзы Френеля. Для этого удобно воспользоваться методом Бесселя.

Соберём следующую схему, изображённую на рисунке 20. В качестве источника используем фонарик.

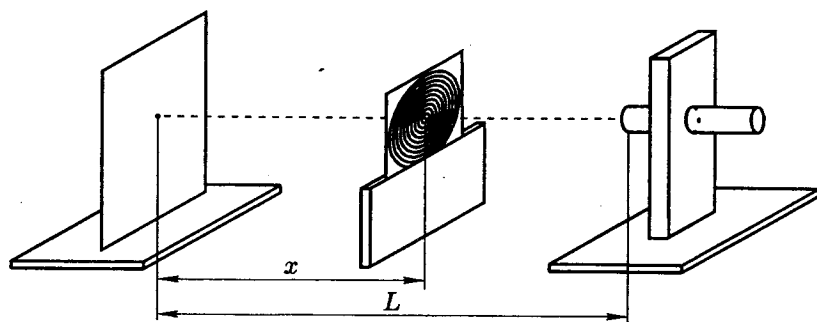


Рис. 20

Запишем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{x} + \frac{1}{L-x},$$

*Заключительный этап. Экспериментальный тур*

откуда после алгебраических преобразований получим:

$$x^2 - Lx + FL = 0.$$

При заданном  $L$  возможны два значения  $x$ , при которых изображение оказывается сфокусированным на экране:

$$x_{1,2} = \frac{L \pm \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}.$$

Уравнение имеет действительные корни при  $L > 4F$ . Расстояние между двумя положениями линзы Френеля, при которых получается чёткое изображение источника:

$$l = |x_2 - x_1| = \sqrt{L^2 - 4FL}, \quad \text{откуда} \quad F = \frac{L}{4} - \frac{l^2}{4L}.$$

Если подобрать  $L = 4F$ , то погрешность  $\varepsilon_F = \varepsilon_L$ , при этом точность измерений будет практически зависеть только от точности фокусировки.

Опыт проведём несколько раз, результаты усредним.

2. Определим радиус кривизны  $R$  выпуклой поверхности линзы Френеля. С помощью карандаша делаем в экране отверстие для диодного фонарика:

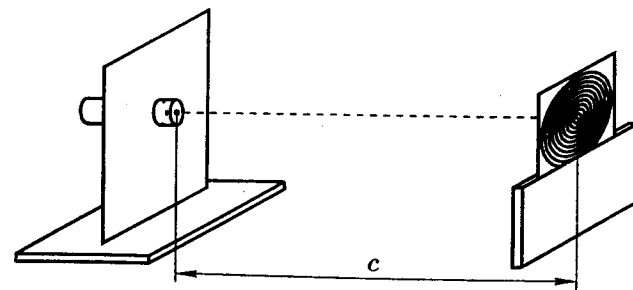


Рис. 21

Соберём рабочую схему (рис. 21). Линза должна быть повернута к экрану плоской стороной. Тогда свет, отразившийся от ребристой поверхности, сфокусируется на экране на некотором расстоянии  $c$ . Получается, что свет проходит через систему «линза-вогнутое зеркало-линза». Поскольку оптические силы вплотную расположенных оптических приборов складываются:

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{c} = \frac{1}{F} + \frac{2}{R} + \frac{1}{F}, \quad \text{откуда} \quad R = \frac{Fc}{F-c}.$$

Расстояние  $c$  измеряем при помощи измерительной ленты.

*XLIV Всероссийская олимпиада школьников по физике*

3. Вычислим показатель преломления  $n$  материала, из которого изготовлена линза. Связь между радиусом кривизны плоско-выпуклой линзы и её оптической силой:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \frac{1}{R}, \quad \text{откуда} \quad n = 1 + \frac{R}{F}.$$

4. Определим расстояние  $d$  между соседними кольцевыми сегментами. Для этого используем линзу как отражательную дифракционную решётку. Соберём оптическую схему (рис. 22):

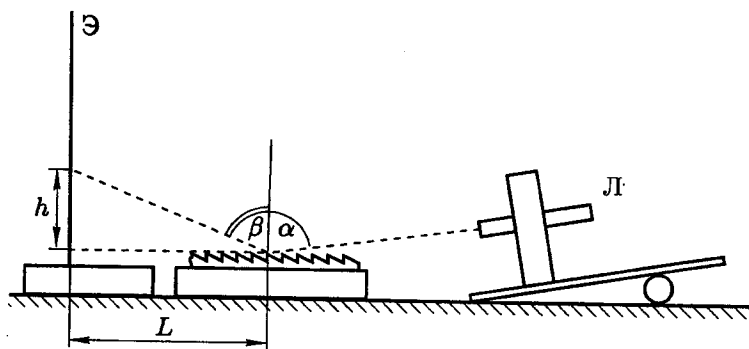


Рис. 22

Запишем условие наблюдения максимума:

$$d(\sin \beta - \sin \alpha) = n\lambda, \quad \text{где} \quad \sin \beta = \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}.$$

Здесь угол  $\beta$  — угол между вертикалью и направлением на максимум порядка  $n$ . Мы не знаем, где находится нулевой максимум, поэтому снимем зависимость  $n$  от  $\sin \beta$ . График этой зависимости линейный, и его угловой коэффициент равен  $k = d/\lambda$ . Построив график и определив  $k$ , найдём  $d = k\lambda$ .

*Критерии оценивания*

Описана идея определения $F$ .....	2
Получено верное значение $F$ .....	1
Описан метод определения $R$ .....	3
Получено верное значение $R$ .....	2
Описана методика определения $n$ .....	1
Получено верное значение $n$ .....	1
Описана методика определения $d$ и приведена схема установки .....	2
Построен график зависимости $n(\sin \beta)$ .....	2
Получено верное значение $d$ .....	1

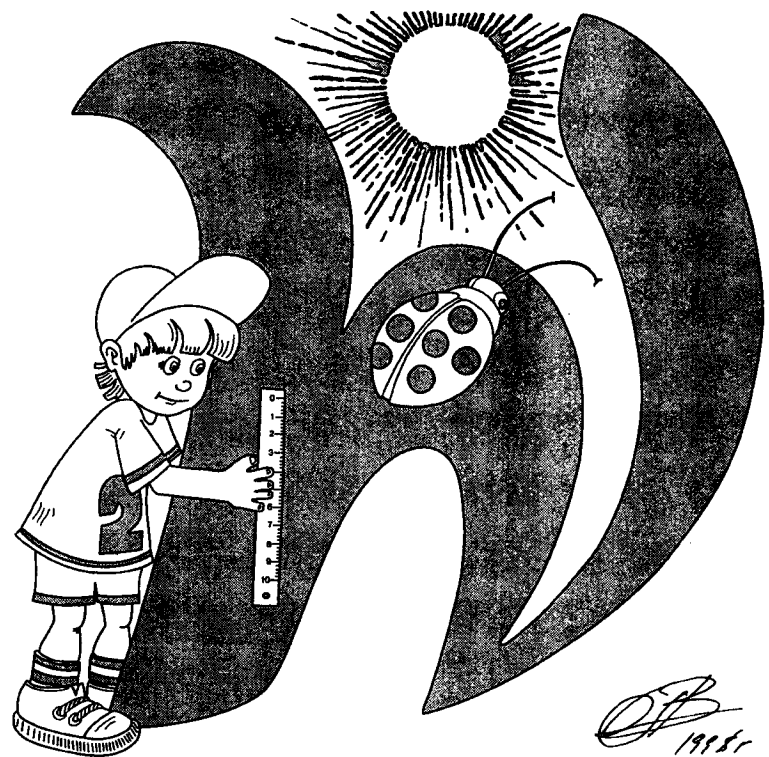
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

**XLIV Всероссийская олимпиада  
школьников по физике**

**Заключительный этап**

**Экспериментальный тур**

Методическое пособие



Белгород, 2010 г.