

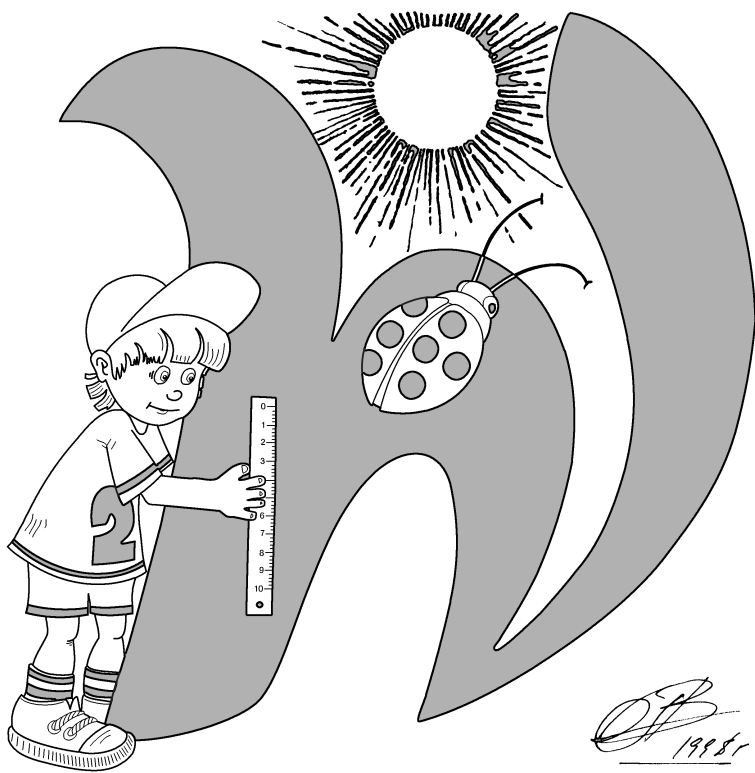
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

XLV Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Оренбург, 2011 г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников
Телефоны: (495) 408-80-77, 8(498)744-66-43.
E-mail: physolymp@gmail.com

Авторы задач

9 класс

1. Стройнов Е.
2. Тузенко Л.,
Тузенко Н.

10 класс

1. Карелина Л.
2. Дорошенко А.

11 класс

1. Кóзел С.
2. Фольклор

Общая редакция — Кóзел С., Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Старков Г., Алексеев А.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 3 мая 2011 г. в 23:08.

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

9 класс

Задача 1. Магнитное торможение

Различают два вида сил трения.

Сила сухого трения возникает на границе двух твёрдых тел. Эта сила характеризуется коэффициентом сухого трения μ . Максимальная сила сухого трения возникает при скольжении одного тела по другому:

$$(F_{\text{тр}})_{\text{max}} = \mu N,$$

где N — сила нормального давления.

Сила сухого трения практически не зависит от относительной скорости соприкасающихся тел.

Сила вязкого трения F_v возникает при движении твёрдого тела в жидкости или газе. Эта сила при достаточно малых скоростях пропорциональна скорости тела:

$$\vec{F}_{\text{тр}} = -\beta\vec{v}.$$

Она всегда направлена противоположно относительной скорости \vec{v} . Этой же закономерности подчиняется сила "магнитного торможения", возникающая при движении намагниченного тела по проводящей поверхности. Сила магнитного торможения возникает из-за магнитного взаимодействия намагниченного тела с электрическими токами, возникающими в немагнитном проводнике, по которому скользит тело. Силу магнитного торможения также условно называют силой вязкого трения.

В данной задаче предлагается исследовать скольжение намагниченной шайбы известной массы по алюминиевой балке, покрытой бумагой, при различных углах наклона балки.

1. Укажите номер установки в тетради.
2. Изготовьте наклонную плоскость с помощью штатива и алюминиевой балки, как показано на рисунке 1.
3. Определите коэффициент μ сухого трения между магнитной шайбой и полоской бумаги.
4. Если положить магнит на наклонную балку и отпустить, то через некоторое время устанавливается движение с постоянной скоростью.

Снимите зависимость установившейся скорости $v_{\text{уст}}$ скольжения от угла наклона алюминиевой балки. При каждом значении угла α измерения следует проводить не менее трёх раз, и определять среднее значение скорости.

Для одного произвольного угла убедитесь, что на выбранном участке измерений скорость движения действительно постоянна.

5. Определите коэффициент пропорциональности β между силой "магнитного торможения" и скоростью движения магнита.

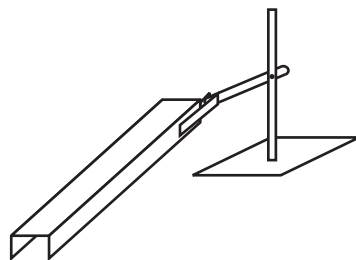


Рис. 1

Внимание!!! Магнит достаточно сильный, поэтому будьте аккуратны, если поблизости есть металлические предметы. Рекомендуем снять и отложить в сторону механические часы.

После окончания работы оставьте установку в первоначальном состоянии. Расчёт погрешностей не требуется.

Оборудование. Штатив, алюминиевая балка с наклеенными полоской бумаги и измерительной лентой, магнит с известной массой $m = 15,4$ г, линейка, секундомер, миллиметровая бумага.

Задача 2. Остывание воды

В этой задаче предлагается изучить процесс остывания малой порции воды. Так как этого нельзя сделать при помощи термометра, то предлагается использовать термопару медь-константан.

Если один из спаев термопары находится при температуре t_1 , а другой — при температуре t_2 ($t_2 > t_1$), то напряжение между концами термопары зависит от разности температур $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$U = a \cdot \Delta t + b \cdot (\Delta t)^2,$$

где $b = 5 \cdot 10^{-5}$ мВ \cdot $^{\circ}\text{C}^{-2}$ при условии, что один из спаев расположен в воде, а второй — в смеси воды со льдом.

Комнатная температура $t_{\text{к}}$ задается организаторами олимпиады. Расчёт погрешностей не требуется.

1. Определите экспериментально значение коэффициента a .
2. Постройте градуировочный график зависимости $U(\Delta t)$ напряжения между концами термопары от разности температур, при которых находятся спаи термопары, в диапазоне $25^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 90^{\circ}\text{C}$.
3. Изготовьте из проволоки подставку для пробирки и закрепите в ней пробирку. Налейте в неё горячей воды, потом вылейте и снова налейте примерно до метки 1,5 мл. Снимите зависимость температуры остывающей воды в пробирке от времени остывания. Рекомендуется проводить измерения времени в моменты изменения показаний милливольтметра.
4. Постройте график зависимости температуры t воды в пробирке от времени τ .
5. Найдите угловые коэффициенты γ_A и γ_B наклонов касательных к графику при температурах воды в пробирке $t_A = 65^{\circ}\text{C}$ и $t_B = (t_A + t_{\text{к}})/2$ и их отношение.
6. Характерное время остывания воды в пробирке вычисляется по формуле

$$\tau_0 = -\frac{t - t_{\text{к}}}{\gamma},$$

где t — температура воды в пробирке, а γ — угловой коэффициент наклона касательной к графику зависимости температуры воды в пробирке от времени при температуре воды в пробирке t .

Найдите характерное время остывания воды при $t = t_A$ и $t = t_B$, а также их отношение.

Примечание. Лед и горячая вода выдаются по требованию участника.

Оборудование. Термопара медь-константан, милливольтметр, пластмассовая пробирка, проволока для подставки, пластиковый стаканчик с водой при комнатной температуре, сосуд со смесью воды и льда, секундомер, два листа миллиметровой бумаги для построения графиков.

10 класс

Задача 1. Определение вязкости масла.

Если сферическое вязкое тело падает в бесконечной жидкой среде, и вязкость жидкости много больше вязкости этого тела, то на него действует сила вязкого трения, которая вычисляется по формуле Стокса:

$$F = 4\pi\eta r v,$$

где v — скорость шарика относительно жидкости, r — радиус шарика, η — коэффициент вязкости.

Если же сферическое вязкое тело падает в трубе с жидкостью, то уточнённая формула принимает вид:

$$F = 4\pi\eta r v \left(1 + 2,4 \frac{r}{R} \right),$$

где r и R — радиусы тела и трубы соответственно. Эта формула применима в случае движения шарика вдоль оси цилиндрической трубы.

Определите вязкость масла. Для этого:

1. Придумайте и опишите способ получения капель воды одинакового размера и определите их радиус.
2. Имеет ли смысл пользоваться уточнённой формулой? Ответ обоснуйте.
3. Определите коэффициент вязкости экспериментально, проведя серию из не менее 15 измерений.
4. Повторите измерения, используя вторую иглу. Сравните полученные значения коэффициента вязкости.
5. Оцените погрешности измерений. Оцените путь релаксации — длину участка, на котором устанавливается скорость шарика.

Примечание. Вязкость воды много меньше вязкости масла. В случае избытка жидкости в цилиндре, обратитесь к дежурному по аудитории. Если вы утопили пробку в масле, обратитесь к дежурному по аудитории.

Оборудование. Мерный цилиндр известного диаметра D с маслом, стакан с водой, 2 иглы разных диаметров, шприц 2 мл, шприц 1 мл, секундомер, пенопластовая пробка.

Задача 2. Серый ящик

Вам выдан “серый ящик” с пронумерованными выводами (рис. 2). Внутри него находится пять резисторов с сопротивлением r и один резистор с сопротивлением R , соединенные, как показано на рисунке 3. Однако соответствие между выводами ящика и выводами на приведённой электрической схеме неизвестно.

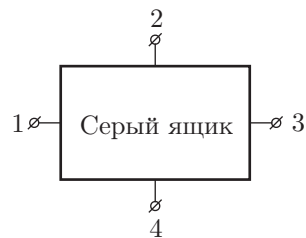


Рис. 2

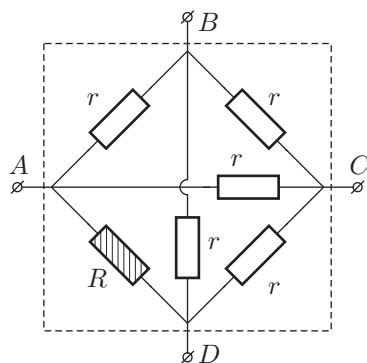


Рис. 3

1. Укажите в работе номер выданного вам ящика.
2. Измерьте значения сопротивлений между каждой парой выводов "серого" ящика и занесите результаты измерений в таблицу.
3. Используя полученные в ходе измерений данные, предложите способ установления верного соответствия между парами выводов $A - D$ и $B - C$ и цифрами 1, 2, 3, 4.
4. Определите значения сопротивлений R и r .
5. Оцените погрешности найденных величин.

Оборудование. "Серый ящик", мультиметр в режиме омметра.

11 класс

Задача 1. Плотность пластилина.

Определите плотность пластилина.

Примечание. Если вам понадобится формула для кинетической энергии пружины массы M , один конец которой закреплён, а другой движется со скоростью v вдоль оси пружины, то вы можете считать, что

$$E_{\text{кин}} = \frac{Mv^2}{6}.$$

Массы пружины M и гайки m_0 , выраженные в граммах, указаны на рабочем столе.

Выданный вам пластилин по окончании работы оставить на рабочем месте.

Оборудование. Кусок пластилина, гайка массы m_0 , пружина массы M , нить, секундомер, штатив, лист бумаги нестандартных размеров.

Задача 2. Оптический чёрный ящик.

Внутри чёрного ящика (трубы с отверстиями, закрытыми плоскими стеклами) находится оптическая система. В её состав входят две дифракционные решетки и круглая диафрагма, прислонённая вплотную к одной из решёток. Определите:

1. расстояния от решёток до конца серой трубки, обозначенного стрелочкой;
2. угол между штрихами решёток;
3. периоды (расстояния между штрихами) дифракционных решёток;
4. диаметр диафрагмы.

Оборудование. Чёрный ящик с подставкой, бумажная линейка (с миллиметровыми делениями), лазер (длина волны $\lambda = 650 \pm 10$ нм) на подставке, миллиметровая бумага, лист бумаги (выдерните из тетради).

Возможные решения 9 класс

Задача 1. Магнитное торможение

1. Собираем установку согласно условию.
 2. Устанавливаем угол наклона балки равным нулю и кладем на неё магнит. Постепенно увеличивая угол наклона, находим критический угол α_0 , при котором шайба начинает соскальзывать. При этом $\mu = \operatorname{tg} \alpha$. Проводим несколько опытов, полученные результаты усредняем.

3. Снимаем зависимость времени t прохождения магнитом участка определённой длины l от перепада высот h на этом участке (рис. 4). В этом случае можно записать:

$$v = \frac{l}{t}, \quad \sin \alpha = \frac{h}{l}.$$

Для того, чтобы убедиться, что мы измеряем скорость действительно в установившемся режиме, при фиксированном угле снимаем зависимость времени соскальзывания от длины l и строим её график. Основные измерения следует проводить на том участке, где график линейен.

4. Запишем второй закон Ньютона для установившегося движения шайбы в проекции на поверхность балки:

$$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - \beta v = 0,$$

откуда получаем:

$$v = \frac{mg}{\beta} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \kappa (\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (1)$$

Для каждого значения угла мы можем рассчитать коэффициент "вязкости" β а затем полученные результаты усреднить. Однако гораздо более точным методом обработки является графический способ.

Из формулы (1) следует, что зависимость $v_{\text{уст}}(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ является линейной. Построив её график и определив угловой коэффициент его наклона κ , мы можем рассчитать величину коэффициента β :

$$\beta = \frac{\kappa}{mg}.$$

Критерии оценивания

Найден коэффициент сухого трения μ	3
Получена зависимость $v_{\text{уст}}(\alpha)$	3
Проверена постоянность скорости соскальзывания	2
Выведена формула, связывающая $v_{\text{уст}}$ с углом α	2
Построен график зависимости $v_{\text{уст}}$ от $(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ или проведены расчёты коэффициента β для различных углов	3
Определены значения коэффициента β	2

Задача 2. Остывание воды

1. Опустив один спай термопары в смесь воды со льдом, а другой — в стакан с водой при комнатной температуре, измеряем милливольтметром напряжение $U_0 = 1,0$ мВ между концами термопары. Зная комнатную температуру $t_{\text{к}} = 27^\circ\text{C}$, находим:

$$a = \frac{U_0 - b \cdot t_{\text{к}}^2}{t_{\text{к}}} = 0,035 \frac{\text{мВ}}{^\circ\text{C}}.$$

2. Зная коэффициенты a и b , строим градуировочный график $U(\Delta t)$.

3. Закрепляем пластмассовую пробирку в подставке, прогреваем горячей водой и заполняем пробирку по метке 1,5 мл. Снимаем зависимость напряжения между концами термопары от времени. Используя градуировочный график, строим график зависимости температуры воды в пробирке от времени.

4. На полученном в пункте (3) графике проводим касательные в точках А и В, где температуры воды в пробирке соответственно равны $t_A = 70^\circ\text{C}$ и $t_B = 48^\circ\text{C}$. Находим угловые коэффициенты наклонов касательных в этих точках и их отношение:

$$k = \frac{\gamma_A}{\gamma_B} = 2.$$

Критерии оценивания

Написано выражение, связывающее значение коэффициента a с измеряемыми величинами	1
Найдено значение a в диапазоне $0,032 < a < 0,038$ мВ/ $^\circ\text{C}$	1
Заполнена таблица зависимости $U(\Delta t)$	1
Построен график зависимости $U(\Delta t)$	2
Заполнена таблица экспериментальной зависимости $t(\tau)$	5
Построен график зависимости $t(\tau)$	2
определены значения γ_A , γ_B и их отношение	2
определены значения τ_A , τ_B и их отношение	1

10 класс

Задача 1. Определение вязкости масла.

1. Для определения радиуса каплеь наполним шприц водой до некоторого уровня, так чтобы мы знали весь объём воды в шприце. Будем выдавливать из шприца капли, пока вода в шприце не закончится. При этом нужно подсчитывать количество выдавленных каплеь. Тогда:

$$NV_0 = V,$$

где N — количество каплеь выдавленных из шприца, V — объём воды в шприце, V_0 — объём одной каплеь. Тогда радиус можно посчитать из известной формулы для объёма шара:

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Для получения каплеь воды одинакового размера протыкаем пробку шприцем, а затем затыкаем пробирку пробкой с продетым шприцем.

2. Будем считать, что скорость движения каплеь установилась, тогда η можно найти из второго закона Ньютона:

$$(\rho_v - \rho_m) g V_0 = 4\pi \eta r v_{уст} \left(1 + 2,4 \frac{r}{R} \right).$$

Тогда получаем:

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{(\rho_v - \rho_m) g r^2}{v_{уст} \left(1 + 2,4 \frac{r}{R} \right)}. \quad (2)$$

Для того, чтобы решить, имеет ли смысл пользоваться уточнённой формулой, нужно сравнить 1 и поправку $2,4 \frac{r}{R}$. Если поправка соизмерима с 1, то её нужно учитывать.

3. Для определения η по формуле (2) нужно определить $v_{уст}$ — скорость установившегося движения шарика воды в масле. Её можно измерить с помощью секундомера и делений на пробирке. Расстояние между двумя делениями пробирки можно определить по формуле:

$$\Delta l = \frac{\Delta V}{\pi R^2},$$

где ΔV — объём, соответствующий одному делению пробирки.

4. Чтобы оценить погрешность определения η нужно сначала оценить погрешности прямых измерений. Тогда погрешность можно посчитать, продифференцировав выражение для η по всем измеряемым переменным. В таком

случае получаем:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta r}{r} + \frac{2,4\Delta r}{R + 2,4r} \right)^2}.$$

Пусть L_0 — полный путь, который капля проходит в жидкости за время t_0 с момента отрыва от иглы шприца. Тогда путь релаксации можно оценить следующим образом:

$$S_{уст} = v_{уст} \cdot t_0 - L_0.$$

Критерии оценивания

Вывод формулы для коэффициента вязкости η 1
 Способ формирования каплеь постоянного радиуса 3
 Способ определения радиуса каплеь и численное значение 1
 Установлена необходимость учёта поправки $2,4 r/R$ 1
 Оценка пути релаксации 1
 Две серии из пятнадцати измерений (для каждой иглы) 4
 Получено верное численное значение в диапазоне $0,1 - 0,6 \text{ кг} \cdot (\text{м} \cdot \text{с})$ 3
 Проведена разумная оценка погрешности 1

Задача 2. Серый ящик

Используя выданный мультиметр, измерим сопротивления между каждой парой выводов и заполним предложенную таблицу (погрешности найденных значений составляют $0,2 \text{ кОм}$).

Таблица 1: Сопротивления между различными парами выводов

№ вывода	1	2	3	4
1	x	135,1 кОм	112,0 кОм	112,0 кОм
2	x	x	112,0 кОм	112,0 кОм
3	x	x	x	42,8 кОм
4	x	x	x	x

Выразим сопротивления между выводами схемы через сопротивления составляющих её резисторов. Сопротивление между выводами A и D :

$$R_{AD} = \frac{rR}{r + R}.$$

Сопротивление между выводами B и C :

$$R_{BC} = \frac{r}{2}.$$

Для остальных пар выводов можно заметить, что их сопротивления равны между собой. Значит, резистор R может быть подключен либо между точками 1 и 2, либо между точками 3 и 4.

1. Предположим, что R включено между точками 1 и 2. Получим, что

$$1 - 2 \Leftrightarrow A - D, \quad r = (85,5 \pm 0,4) \text{ кОм}, \quad R = -(233 \pm 3) \text{ кОм} < 0.$$

Как известно, резистор не может иметь отрицательное сопротивление.

2. Предположим, что R включено между выводами 3 и 4. В этом случае:

$$3 - 4 \Leftrightarrow A - D, \quad r = (270,0 \pm 0,4) \text{ кОм}, \quad R = (51,0 \pm 0,5) \text{ кОм}.$$

Значит, паре $A - D$ соответствует 3 - 4; паре $B - C$ соответствует 1 - 2.

$$r = (270,0 \pm 0,4) \text{ кОм}, \quad R = (51,0 \pm 0,3) \text{ кОм}.$$

Критерии оценивания

Таблица заполнена верными значениями сопротивлений между каждой парой выводов.....	4
Выведена формула для сопротивления между точками A и D	1
Получена формула для сопротивления между точками B и C	1
Указано, что R включено либо между точками 1 и 2, либо между точками 3 и 4.....	3
Показано, что резистор R не может быть включён между точками 1 и 2...	3
Получено верное значение сопротивления R и приведена формула, по которой делался расчет.....	1
Получено верное значение сопротивления r и приведена формула, по которой делался расчет.....	1
Оценены погрешности величин R и r	1

11 класс

Задача 1. Плотность пластилина.

1. Определение массы пластилина.

Подвешиваем на пружине груз известной массы m_0 и определяем период колебаний T_0 . Поэтому подвешиваем на пружине груз с пластилином и определяем период колебаний T .

По формуле для периода колебаний груза на пружине:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + m_0 + 1/3M}{k}},$$

откуда находим:

$$m = \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1 \right) m_0.$$

2. Определение объёма куска пластилина.

В предложенном оборудовании нет масштабной линейки. Необходимый масштаб можно установить, измеряя период колебаний математического маятника $T_{\text{мат}} = 2\pi \sqrt{l/g}$.

Измерения можно проводить в следующем порядке:

Кусок пластилина превращаем в шар (возможно более аккуратно). Обматываем шар несколько раз (N) ниткой по диаметральному сечению. Обозначим длину нитки l . Подвешиваем груз на нитке длиной l и измеряем период колебаний $T_{\text{мат}}$ математического маятника. Опыт нужно повторить несколько раз, обматывая шар ниткой по различным сечениям и определяя затем среднее значение l . Радиус шара вычисляем по формуле:

$$R = \frac{l}{2\pi N}.$$

Объём шара вычисляется по формуле:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

3. Определение плотности пластилина.

Плотность:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Численно $\rho \approx 1,25 \text{ г/см}^3$.

Критерии оценивания

Описание методики определения массы.....	1
Расчётная формула для массы пластилина.....	1
Определение массы пластилина с относительной погрешностью 6%.....	2

Таблица результатов измерений для расчёта массы.....	1
Описание методики определения объёма.....	2
Расчётная формула для объёма пластилина.....	2
Определение объёма пластилина с относительной погрешностью 6%.....	2
Таблица результатов измерений для расчёта объёма.....	1
Получение плотности пластилина.....	3

Задача 2. Оптический чёрный ящик.

Закрепим лазерную указку и трубку на подставках. Направим луч лазера в чёрный ящик со стороны прозрачного стекла. За ящиком расположим экран из миллиметровки. Первая дифракционная решетка R_1 разлагает луч на несколько лучей. Каждый из полученных лучей разлагается на решётке R_2 , и на экране наблюдается двумерная дифракционная картина. Если же светить в ящик с другой стороны, на диафрагму (Д), находящуюся на решётке R_1 , одновременно попадает только один дифракционный максимум решетки R_2 . Этот луч затем дифрагирует на R_1 , и картина на экране получается одномерной. Она дает нам возможность сразу определить направление штрихов решетки R_1 . Повернув ящик вместе с подставкой, но не вращая трубку вокруг оси симметрии, вновь получим на экране двумерную картину. Теперь мы можем определить направление штрихов решетки R_2 и угол между штрихами решеток. В нашем случае он близок к 70° . Определим периоды и положения решеток. Для этого снимем зависимость расстояния между максимумами x , соответствующими каждой из решеток, от расстояния L от конца трубки до экрана.

В пределе малых углов и нормального падения

$$\Delta x_{1,2} = \Delta n \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (L + L_{1,2}),$$

где d — период дифракционной решетки, L_1 и L_2 — расстояния от одного края трубки до дифракционных решеток внутри, n — номер дифракционного максимума.

Для определения искомых параметров достаточно 4 измерений. Для большей точности нужно располагать экран как можно дальше от трубки, используя всю длину стола, а также измерять расстояние между несколькими максимумами: $\Delta n = 3 - 5$.

В собранной схеме ближайшая к лазеру решетка работает также и на отраженном свете. По дифракционной картине, образующейся позади лазера, можно провести аналогичные измерения.

Определим размер диафрагмы. Направим лазерный луч в чёрный ящик со стороны темного стекла. Можно подобрать такое положение указки, при котором картины не будет, но при смещении луча вправо или влево на 2мм будут возникать разные прямые, соответствующие разным максимумам на R_2 .

Зная, что расстояние между решетками равно 12 см, определим диаметр диафрагмы

$$D = 0,2 + 12 \cdot \frac{\lambda}{d_2} \text{ (см)}.$$

В ваших черных ящиках были использованы решетки 50 штрихов/мм (R_1) и 150 штрихов/мм (R_2).

Критерии оценивания

Найден угол между штрихами решёток.....	3
Найдено расстояние от первой решётки до края.....	1
Найдено расстояние от второй решётки до края.....	3
Найден шаг первой решётки.....	4
Найден шаг второй решётки.....	4