

**Задача 1. Найти «конфету».**

В одной коробке к дну прилипла «конфета», другая такая же коробка пуста. Не открывая коробок, найдите ту, что с конфетой, определите как можно точнее положение центра конфеты и укажите его крестиком на крышке с миллиметровой. Обоснуйте и опишите свои действия.

*Оборудование:* скотч (тонкая клейкая лента), ножницы, белая нить, стол, карандаш, линейка, две коробки с наклеенной миллиметровой.

**Возможное решение**

Подвешивая коробки на углу стола или на линейке находим и отмечаем их центры масс. Соединяем скотчем две коробки в прямоугольник, находим общий центр масс. Полученные четыре точки позволяют найти центр конфеты: он находится на точке пересечения соответствующих прямых. Бифилярный (двухниточный) подвес коробок на линейке и нитка с привязанными ножницами в качестве отвеса позволяют найти центр конфеты с хорошей точностью. Коробки не совсем симметричны, поэтому фактический центр масс коробок немного отклоняется от точки пересечения диагоналей.

*Примерная разбаловка из 10 баллов*

1. Идея метода, обеспечивающего хорошую точность, – 2 балла.
2. Наличие измерений, позволяющих найти центр конфеты – 3 балла.
3. Повтор измерений, выбор способа и мест подвески, способа склеивания – 2 балла.
4. Нахождение центра конфеты при  $\leq 10$  мм отклонении от фактического положения – 1 балл,  $\leq 5$  мм – 2 балла,  $\leq 2$  мм – 3 балла.

**Задача 2. Линейка и нить**

Используя только предложенное оборудование, определите как можно точнее площадь всей поверхности отрезка деревянной линейки с кривым краем.

*Оборудование:* отрезок линейки, отрезок чёрной нити, скотч.

*Примечание:* использовать отрезок нити, прилагающийся к задаче.

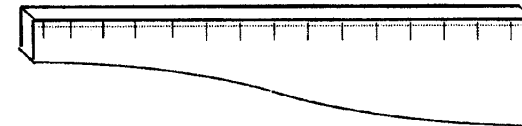


Рис. 1

**Возможное решение**

При плотной обмотке отрезка линейки нитью площадь поверхности  $S$  (без площади двух торцов) можно оценить как  $S = Ld$ , где  $L$  длина намотанной нити, а  $d$  её диаметр. При длине  $H$  отрезка с плотной намоткой диаметр  $d$

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

**Авторы задач**

**9 класс**

1. Воробьёв И. И.
2. Воробьёв И. И.

**10 класс**

1. Воробьёв И. И.
2. Воробьёв И. И.

**11 класс**

1. Воробьёв И. И.
2. Гостев В. А.

С благодарностью за участие в подготовке задач экспериментального тура V этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Брагину О. А.

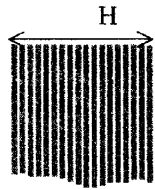
Общая редакция – Боровков В. И., Воробьёв И. И.

© Авторский коллектив  
Подписано в печать 19 апреля 2008 г.

630090, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет.

## XLII Всероссийская олимпиада школьников по физике

$= H/N$ , где  $N$  число витков (см. рис.2). Поэтому  $S = LH/N$ . Длину нити  $L$  можно измерить отрезком линейки.



Однако на такую обмотку выданной нити не хватит. Можно измерить площади участка за участком, а затем сложить их. Потребуется большой объём измерений и счёта при заметной погрешности из-за стыковки участков.

Но абсолютно плотная обмотка не обязательна!

Рис.2

Равномерно обмотаем нитью весь отрезок линейки, чтобы расстояния  $h$  между соседними витками были малы и одинаковы, в чём можно убедиться по делениям линейки (рис. 3). Это  $h$  теперь выступает в роли диаметра. В частности  $h = H/N$ , где  $N$  число витков на всей длине отрезка. По длине намотанной нити  $L$  определится и площадь боковой поверхности (за исключением двух торцов)  $S \approx hL = HL/N$ .

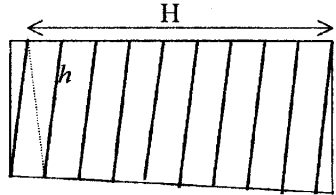


Рис.3

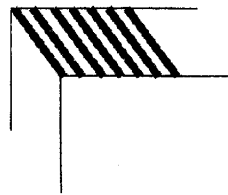


Рис. 4

При числе витков  $N \approx 50$  погрешность, связанная с особенностью концевых участков, не больше  $1/50$ . Если ввести поправку на концевые участки, то эта погрешность станет меньше 1%. Другая погрешность состоит в том, что площади наклонных полосок рассчитываются как площади прямоугольников. Если учесть, что полоска длины  $l$  при малом  $d$  и плавном искривлении, представляют собой практически параллелограмм, то его площадь  $s = hl/\sqrt{1+(h/2l)^2} \approx hl$ . Поскольку  $(h/2l)^2 \approx (H/2L)^2 \approx (1/20)^2$ , то относительная точность заведомо лучше 0,5%. Основная погрешность связана с неучётом площади торцов, она при толщине линейки в 2 мм и длине отрезка 70 мм составляет  $(2/70)100 \approx 3\%$ . Можно, глядя на ребро с угла (рис. 4), оценить число витков на квадратике ребра, а тогда примерно с 10% точностью и площадь торцов. Это снижает общую погрешность с 3% до 0,3%. При проверке с помощью микрометра и миллиметровки в грубом варианте фактическая погрешность меньше 5%, а при «концевых» и «торцевых» поправках меньше 1%.

*Примерная разбаловка из 10 баллов*

1. Идея метода, обеспечивающего хорошую точность, – 2 балла.
2. Измерения – 2 балла.
3. Идеи поправок, внесение поправок – 2 балла.
4. Анализ источников погрешностей – 1 балла.

## Заключительный этап. Экспериментальный тур

5. Оценка основных погрешностей – 1 балл.

6. Результат при  $\leq 5\%$  отклонении от «точного» – 1 балл,  $\leq 2\%$  – 2 балла.

### 10 класс

#### Задача 1. Отношение ускорений

Одна цилиндрическая банка пуста, другая заполнена жидкостью. Не используя часов, найдите отношение их ускорений при скатывании по наклонной доске. Проверьте, зависит ли это отношение от наклона доски.

*Оборудование:* пустая стеклянная банка и банка с жидкостью, портновский сантиметр, скотч, наклонная доска, бруски для изменения наклона доски и ловли банок.

*Примечание:* на доске разрешается сделать разметку карандашом.

#### Возможное решение

Одновременно отпускаем банки и фиксируем место, где одна догонит другую. При постоянном ускорении отношение ускорений равно отношению одновременно пройденных путей  $a_1 : a_2 = L_1 : L_2$ . Отношение ускорений не зависит от наклона и близко к 2.

*Примерная разбаловка из 15 баллов*

1. Идея метода, обеспечивающего хорошую точность, – 3 балла
2. Измерения – 2 балла
3. Измерения с другими наклонами – 1-2 балла.
4. Повторение, оптимальный выбор путей – 2 балла.
5. Оценка основных погрешностей и суммарной погрешности – 2 балла.
6. Полнота и качество представления данных и результатов – 2 балла.
7. Результат при  $\leq 10\%$  отклонении от «точного» – 1 балл,  $\leq 5\%$  – 2 балла.

#### Задача 2. Найти невидимое.

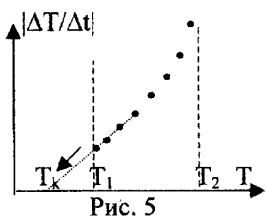
У термометра открыта шкала в диапазоне от 30 до 50°C. Нагрейте его в стакане с горячей водой до температуры чуть выше 50°C, вытащите и вытрите термометр, положите его на салфетку. Проведите необходимые измерения, чтобы установить зависимость скорости изменения показаний  $(\Delta T/\Delta t)$  термометра от его показаний (температуры  $T$ ). Постройте график зависимости  $|\Delta T/\Delta t|$  от  $T$ . Используя только предлагаемое оборудование, определите температуру воздуха в аудитории (обоснуйте способ и найдите значение).

*Оборудование:* термометр, с частично заклеенной шкалой, стакан, источник горячей воды в аудитории, салфетки, часы, показывающие секунды.

**Возможное решение**

С помощью часов и видимых показаний термометра, составляем таблицу (строим график) зависимости температуры термометра от времени  $T(t)$  в доступном диапазоне температур. Скажем, измеряя время при охлаждении на  $2-1^\circ$  от температуры  $50^\circ$  до  $30^\circ\text{C}$ , можно получить 8-10 точек. Возможно, используя часы в режиме секундомера, засекая время  $\Delta t$  изменения температуры в заданных интервалах температуры от  $50$  до  $46^\circ\text{C}$ , от  $46$  до  $44^\circ\text{C}$  и так далее, повторно подогревая и вытирая термометр.

Средняя скорость изменения температуры  $\Delta T/\Delta t$  находится по соответствующим приращениям. Можно эту скорость относить или к начальной, или к конечной температуре интервала. Но точнее относить к средней температуре интервала, что заметно снизит погрешность. По полученному графику зависимости  $|\Delta T/\Delta t|$  от  $T$  (рис. 5) можно заметить, что в области  $30 - 40^\circ$  точки лежат почти на прямой (отступления от прямой заметны лишь в районе максимальной температуры). Считая, что такой характер зависимости скорости охлаждения от температуры сохранится в дальнейшем, можно найти температуру  $T_k$ , при которой скорость изменения температуры станет нулевой.



Это указывает на тепловое равновесие, когда температура термометра сравнивается с температурой среды и перестаёт меняться. Продолжая по прямой полученный график до точки, где  $|\Delta T/\Delta t| = 0$ , мы получаем значение комнатной температуры  $T_k$ .

Рис. 5

Поскольку интервал температур, в котором установлен практически линейный характер зависимости скорости охлаждения от температуры термометра  $dT/dt = A - kT$ , заметно превышает разницу между нижней границей измеряемых температур  $T_1$  и  $T_k$ , то наш метод достаточно надёжен.

Использование формулы для потока тепла  $N = \alpha(T_k - T)$  и вывод из неё выражения  $dT/dt = k(T_k - T)$  полезны для осознания задачи, но не обязательны и не заменяют прямых измерений. Ведь сама эта формула приближённая. Скажем, для температур порядка  $45^\circ\text{C}$  уже заметны отклонения от линейного закона, вызванные конвективной передачей тепла.

*Примерная разбаловка из 15 баллов*

1. Идея метода, обеспечивающего в принципе хорошую точность, – 3 балла.
2. Измерения, 2 балла.
3. Представление данных и результатов, грамотная обработка – 3 балла.
4. График  $|dT/dt|$  от  $T$  – 2 балла.
5. Идея нахождения комнатной температуры по экстраполяции – 1 балл
6. Оценка основных погрешностей и суммарной погрешности – 2 балла
7. Результат при отклонении от «точного» на  $2-5^\circ$  – 1 балл, менее  $2^\circ$  – 2 балла.

**11 класс**

**Задача 1. Лампа накаливания**

На цоколе лампы от фонарика указаны её номинальные напряжение  $U_n$  и ток  $I_n$ . Рассчитайте по ним её номинальное сопротивление  $R_n$ . Переключив указанный мультиметр в режим измерения сопротивления, непосредственно определите сопротивление лампы  $R_0$ . Найдите отношение этих сопротивлений  $R_n/R_0$  и объясните, почему они так заметно отличаются.

Переключите указанный мультиметр в режим измерения тока, а второй – в режим измерения напряжения и снимите вольтамперную характеристику лампы (зависимость тока  $I$  через лампу от поданного напряжения  $U$ ). Определите ток при  $U = U_n$  и сопротивление лампы. Определите сопротивление лампы при предельно малых измеряемых токах  $R_{\min}$  и сравните его с  $R_0$ . Если они отличаются, то в чём причина отличия?

Постройте график зависимости мощности лампы  $N$  от её сопротивления  $R$ . При температуре  $T$ , много большей комнатной температуры  $T_k$  (по шкале Кельвина), сопротивление нити накала  $R \approx R_k T/T_k$ , где  $R_k$  сопротивление при комнатной температуре. Оцените, исходя из измерений, температуру нити накала при номинальном напряжении. Найдите мощность лампы при этой температуре и температуре меньшей на 30%.

*Оборудование:* лампа от фонарика, батарея, два мультиметра, переменное сопротивление, соединительные провода, миллиметровка.

**Возможное решение**

При постоянном сопротивлении лампы её вольтамперная характеристика была бы линейной ( $U/I = const$ ). Однако, сопротивление зависит от температуры и растёт по мере её роста. Поэтому вольтамперная характеристика является нелинейной. Сопротивление у раскалённой нити накала при номинальном напряжении примерно в 7 раз больше, чем у «холодной» нити накала (при малом токе). Температура нити накала устанавливается из баланса выделяющейся на ней мощности  $N = UI$  и мощности оттока тепла из-за теплопроводности, конвекции и теплового излучения, которые зависят от температуры нити накала и температуры окружающей среды.

При измерении сопротивления мультиметром в режиме омметра через лампу течёт некоторый ток, если он отличается от минимального тока при снятии вольтамперной характеристики, то у нити накала другая температура, а значит и другое сопротивление.

По измеренным значениям напряжения  $U$  и тока  $I$  находится как мощность  $N = UI$ , так и сопротивление  $R = U/I$ , а тем самым построить график зависимости  $N$  от  $R$ . Приведённое в условии приближённое выражение для сопротивления нити накала позволяет этот график рассматривать как приближённый график зависимости мощности от температуры (при температуре  $T$  заметно большей комнатной). Считая, что  $R_0$  или  $R_{\min}$  отвечает температуре близкой к комнатной ( $\approx 300\text{ K}$ ), можно оценить температуру нити накала по измеренному сопротивлению  $R$ . Мощности же находятся из графика по сопротивлению  $R_n$  при номинальном напряжении и сопротивлению  $R_x = 0,7 R_n$ .

*Примерная разбаловка из 15 баллов*

1. Измерение  $R_0$  и нахождение отношения  $R_n/R_0$  – 1 балл.
2. Объяснение заметного отличия  $R_n$  и  $R_0$  – 1 балл.
3. Схема для нахождения вольтамперной характеристики – 1 балл.
4. Вольтамперная характеристика (таблица, график) – 2 балла.
5. Ток и сопротивление при  $U = U_n$  – 1 балл.
6. Сопротивление  $R_{\min}$ , сравнение с  $R_0$ , причина отличия – 2 балла.
7. График  $N$  от  $R$  – 2 балла.
8. Оценка температуры нити накала – 1 балл.
9. Нахождение мощностей – 2 балл.
10. Качество представления данных и результатов, обработка – 2 балла.

**Задача 2. Толщина стекла**

Стекланный брусок с приклеенной на одну грань фольгой находится в оболочке, исключающей прямое измерение толщины. Противоположная грань покрыта полупрозрачным скотчем, в котором имеется небольшое отверстие. Используя предложенное оборудование, определите толщину стекла между указанными гранями и его показатель преломления. Оцените погрешности.

*Оборудование:* стекланный брусок в оболочке, лазерная указка, карандаш, миллиметровка, угольник, скотч...

*Примечание:* включайте лазерные указки лишь на время измерений.

**Возможное решение**

Фиксируем лазерную указку на горизонтальном листе миллиметровки. Расположим на том же листе брусок так, чтобы луч от него попадал на отверстие (точка  $O$  на рис. 6). Свет, прошедший через отверстие и отразившийся от фольги в точке  $B$ , образует видимое пятнышко на полупрозрачном скотче (точка  $B$  на рис. 6). Если исходно соориентировать указку, чтобы луч  $AO$  шёл по линии миллиметровки, то измерение синуса угла падения  $\alpha$  не составляет проблемы. Измеряем угольником длину отрезка  $OC$ , а на перпендикулярной  $AO$  линии миллиметровке  $OD$  находим проекцию точки  $C$  точку  $C'$ . Длина отрезка  $CC'$   $h = L \sin \alpha$ , где  $L$  длина  $OC$ . Для изменения  $\alpha$  поворачиваем брусок, оставляя на месте миллиметровку и указку.

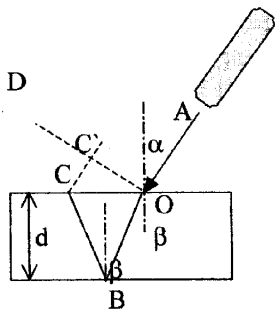


Рис. 6

**Заключительный этап. Экспериментальный тур**

Для нахождения толщины стекла  $d$  по измеряемым значениям  $h$  и  $L$  воспользуемся законами преломления и отражения. Если показатель преломления стекла равен  $n$ , то  $n \sin \beta = \sin \alpha$ , а  $L = 2d \tan \beta$ , где  $\beta$  угол преломления. Отсюда  $L^2 = 4d^2 \sin^2 \alpha / (n^2 - \sin^2 \alpha)$  и  $n^2 - \sin^2 \alpha = 4d^2 \sin^2 \alpha / L^2$ . В непосредственно же измеряемых величинах  $n^2 - h^2/L^2 = 4d^2 n^2/L^4$ . Этого достаточно, чтобы по двум измерениям найти  $n$  и  $d$ . Но есть смысл провести большее число измерений, чтобы уменьшить влияние случайной ошибки. Пусть  $y = h^2/L^2$ , а  $x = 4h^2/L^4$ , тогда  $y = n^2 - d^2 x$ . По экспериментальным точкам построим график  $y$  от  $x$ , а по его наклону найдём искомое  $d$ . Значение же  $n^2$  отвечает точке  $y_0$  при  $x = 0$  на этом графике. Такая обработка позволит равноправно учесть разные измерения, а по отклонению точек от прямой оценить возможные отклонения.

Погрешности велики при малом  $\alpha$  (измерение малых расстояний по миллиметровой сетке), при  $\alpha$  же близком к  $90^\circ$  почти не видно пятнышко отражённого света. Поэтому разумно ограничиться диапазоном углов примерно от  $30$  до  $60^\circ$ .

*Примерная разбаловка из 15 баллов*

1. Метод измерения, обеспечивающего хорошую точность, – 2 балла.
2. Измерения, минимально необходимые, – 2 балла.
3. Наличие дополнительных измерений – 1 балла.
4. Расчётные формулы (способ) для нахождения  $d$  и  $n$  (2 + 2) – 4 балла.
5. Указание и оценка основных погрешностей и суммарной погрешности – 2 балла.
6. Результат для  $d$  при  $\leq 10\%$  отклонении от «точного» – 1 балл,  $\leq 5\%$  – 2 балла.
7. Результат для  $n$  при  $\leq 10\%$  отклонении от «точного» – 1 балл,  $\leq 5\%$  – 2 балла.