

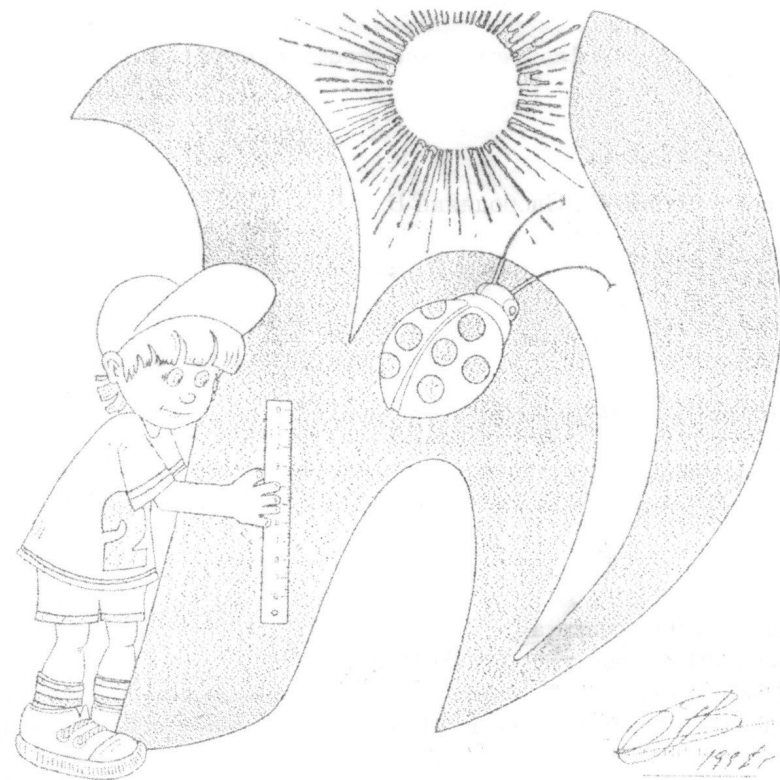
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Окружной этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Handwritten signature
1998

МФТИ, 2005/2006 уч.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)

Авторы задач

9 класс

1. Воробьёв И.
2. Слободянин В.

10 класс

1. Тарнопольский Г.
2. Шведов О.

11 класс

1. Тарнопольский Г.
2. См. 2 задачу 10 класса

Общая редакция — Дунин С., Слободянин В.

Оформление и верстка — Чудновский А., Гусихин П.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система \LaTeX 2 ϵ .
© Авторский коллектив
Подписано в печать 17 марта 2006 г. в 01:07.

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

9 класс

Задача 1. Взвешивание сверхлёгких грузов

Определить с помощью предложенного оборудования массу m кусочка фольги.

Оборудование. Банка с водой, кусок пенопласта, набор гвоздей, деревянные зубочистки, линейка с миллиметровыми делениями, остро отточенный карандаш, фольга, салфетки.

Задача 2. ВАХ ЧЯ

Определите вольтамперную характеристику (ВАХ) «чёрного ящика» (ЧЯ). Опишите методику снятия ВАХ.

Постройте график ВАХ.

Оцените погрешности.

Оборудование. ЧЯ с ограничивающим резистором с известным сопротивлением R , вольтметр, регулируемый источник тока, соединительные провода, миллиметровая бумага.

Примечание. Подключать «чёрный ящик» к источнику тока в обход ограничивающего резистора строго **запрещается!**

10 класс

Задача 1. Неполная банка (1)

Определите объём V воды в банке.

Оборудование. Герметичная банка цилиндрической формы, частично заполненная водой, кусок нити, миллиметровая бумага, ножницы, скотч, груз (гайка). Масса пустой банки $m = 23$ г, плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³.

ВНИМАНИЕ. Категорически запрещается открывать банку!

Задача 2. Мультиметр

Исследуйте зависимость напряжения U на клеммах омметра от тока I через него. Постройте её график. Мультиметр в режиме омметра можно рассматривать как совокупность батарейки и (возможно нелинейного) сопротивления (рис. 1).

Оборудование. Мультиметр в режиме омметра, батарейка с известной ЭДС \mathcal{E} и малым внутренним сопротивлением, постоянный резистор, переменный резистор.

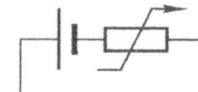


Рис. 1

Задача 1. Неполная банка (2)

Определите плотность ρ жидкости, находящейся в металлической банке.

Оборудование. Герметичная банка цилиндрической формы, частично заполненная исследуемой жидкостью, кусок нити, миллиметровая бумага, ножницы, скотч, линейка, карандаш, груз известной массы. Масса пустой банки $m = 23$ г.

ВНИМАНИЕ. Категорически запрещается открывать банку!

Задача 2. Мультиметр

Исследуйте зависимость напряжения U на клеммах омметра от тока I через него. Постройте её график. Мультиметр в режиме омметра можно рассматривать как совокупность батарейки и (возможно нелинейного) сопротивления (рис. 2).

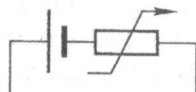


Рис. 2

Оборудование. Мультиметр в режиме омметра, батарейка с известной ЭДС \mathcal{E} и малым внутренним сопротивлением, постоянный резистор, переменный резистор.

Возможные решения

Задача 1. Взвешивание сверхлёгких грузов

Измеряем диаметр d цилиндрической части зубочистки методом рядов (положив несколько зубочисток плотно в ряд и измерив линейкой их общую ширину). На одну из зубочисток наносим карандашом через 1 мм деления.

Втыкаем в пенопласт гвоздики, пока он не погрузится в воду почти полностью. Сверху втыкаем зубочистку с делениями, чтобы пенопласт был ниже уровня воды, а зубочистка вертикально выступала из воды не меньше, чем на $3/4$ длины. При необходимости от пенопласта можно отделить небольшой кусочек. Затем на верхний конец зубочистки прикрепляем кусочек фольги (рис. 3) и находим изменение Δh глубины погружения зубочистки.

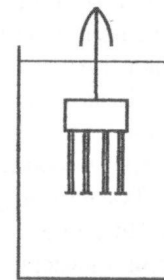


Рис. 3

Изменение объёма ΔV погруженной части:

$$\Delta V = \frac{\pi \Delta h d^2}{4},$$

откуда масса фольги

$$m = \rho \Delta V = \frac{\pi}{4} \rho \Delta h d^2,$$

где ρ — плотность воды.

Рекомендации для организаторов. Для эксперимента подходит литровая банка (или двухлитровая пластиковая бутылка с отрезанным верхом), она должна быть наполнена водой почти до краёв. Зубочистки должны быть не искривлёнными, одинакового диаметра, а их длина должна быть не меньше 6 см, количество: 5 ÷ 10 штук. Размеры пенопласта: высота 0,5 ÷ 1 см, длина и ширина 2 ÷ 4 см. Размеры фольги должны быть такими, чтобы под её весом зубочистка погружалась приблизительно на $2/3$ своей длины. Для пищевой фольги эти размеры составляют от 2 см × 2 см до 4 см × 4 см. Масса гвоздей должна позволять утопить пенопласт. Гвозди следует взять разного диаметра: крупные — для грубой настройки системы, а мелкие — для точной.

Критерии оценивания

Использование гвоздиков для подтопления пенопласта	1
Измерение диаметра зубочистки	2
Измерение Δh	2
Расчётная формула для m через d и Δh	2
Численное значение m	2
Оценка погрешностей	1

Задача 2. ВАХ ЧЯ

1. Для того чтобы снять ВАХ «чёрного ящика» соберём электрическую цепь, согласно рисунку 4.
2. Поочерёдно подключая вольтметр к клеммам (1,2) и (3,4), снимем серию значений напряжения на «чёрном ящике» и резисторе для различных значений напряжения на выходе источника постоянного тока. Результаты измерений занесём в таблицу.
3. Поскольку сопротивление резистора задано, мы можем вычислить силу тока, соответствующую различным значениям напряжения на резисторе (и «чёрном ящике»): $I = U/R$.
4. Занесём результаты вычислений в таблицу.
5. Поменяем местами выводы (1) и (2) «чёрного ящика» и вновь проведем серию измерений.
6. По полученным данным построим зависимость силы тока, протекающего через «чёрный ящик» от подаваемого на него напряжения. Примерный вид полученного графика приведён на рисунке 5.

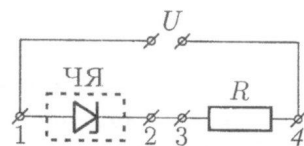


Рис. 4

Устройство, заключённое в «чёрном ящике», называется «стабилитрон». При протекании тока в прямом направлении (по стрелке), ВАХ стабилитрона подобна ВАХ диода: ток начинает протекать через него при напряжении около 0,5 В. Однако, в таком режиме стабилитрон не используют. Как правило, его подключают в обратной полярности. В этом случае стабилитрон «открывается» при напряжении стабилизации равном нескольким вольтам (в нашем случае это приблизительно 6 В). Сила тока в рабочем режиме может изменяться в широком диапазоне, в то время как напряжение остается практически неизменным.

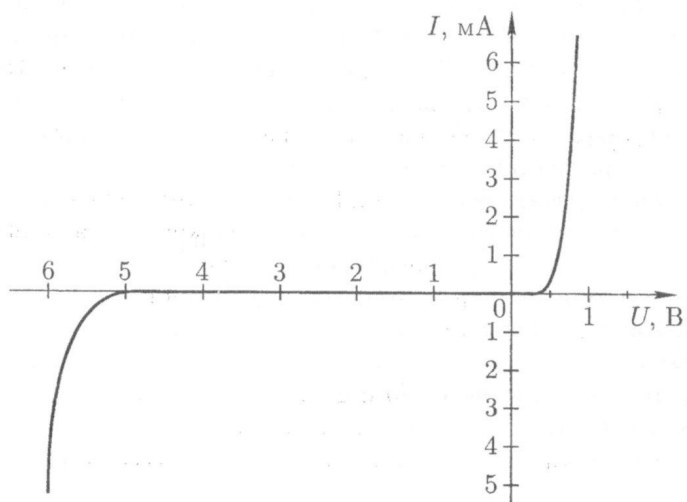


Рис. 5

Рекомендации для организаторов. Сопротивление ограничивающий резистора ~ 2 кОм. Стабилитрон желательно подбирать таким, чтобы обратное напряжение было не менее 5 В. Источник тока должен обеспечивать напряжение достаточное для открытия стабилитрона. При отсутствии регулируемого источника можно использовать две последовательно соединённых батареи по 4,5 В и переменный резистор.

Критерии оценивания

Схема электрической цепи для снятия ВАХ	2
Методика снятия ВАХ	1
Таблица с серией значений напряжений на «чёрном ящике» и резисторе....	1
Вычисление соответствующих сил тока в цепи.....	1
Серия значений напряжений при обратном включении «чёрного ящика» ...	1
Вычисление соответствующих сил тока при обратном включении	1
График ВАХ	2
Оценка погрешностей	1

10 класс

Задача 1. Неполная банка (1)

С помощью скотча наклеиваем на банку полоску миллиметровой бумаги. Найдём объём жидкости в банке. Для этого с помощью миллиметровой бумаги находим периметр L банки и вычисляем площадь S её поперечного сечения (толщиной стенок банки можно пренебречь):

$$S = \frac{L^2}{4\pi}$$

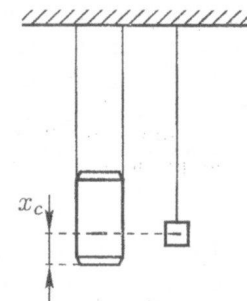


Рис. 6

Объём жидкости в банке: $V = Sh$, где h — высота жидкости в банке. Для определения этой высоты с помощью скотча подвешиваем банку на двух нитях к краю стола. Дно банки должно быть параллельно полу. Можно считать, что получается математический маятник длиной, равной расстоянию от точки подвеса до центра масс системы банка-жидкость. Рядом с местом крепления банки (на краю стола) закрепляем нить, соединённую с гайкой (рис. 6). Нить следует фиксировать скотчем. Высоту подвеса гайки можно регулировать, подтягивая нить рукой. Добиваемся того, чтобы периоды колебания гайки и банки совпадали. Делаем метку на миллиметровой бумаге, наклеенной на банке, на том же уровне что и центр гайки. Так мы находим высоту x_c центра масс банки с жидкостью относительно её дна. Высота x_c связана с высотой h верхнего уровня жидкости в банке соотношением:

$$x_c = \frac{(Mh/2) + (mH/2)}{M + m}$$

где $M = \rho Sh$ — масса воды в банке, H — высота банки. Выразив h , находим искомый объём жидкости

$$V = \frac{L^2 x_c}{2\pi} - \frac{m}{\rho} \left(\frac{H}{2x_c} - 1 \right).$$

Второе слагаемое является малой поправкой, связанной с массой банки.

Рекомендации для организаторов. В качестве банки можно использовать жестяную банку от пива ёмкостью 0,5 л. Её масса ≈ 23 г (необходимо взвесить и сообщить участникам её точное значение для выданных банок). Банку не надо открывать стандартным способом! Около верха банки её нужно сделать шилом отверстие и вылить содержимое. Затем с помощью маленькой воронки (шприца) влить в банку воду. Вода должна заполнять примерно 2/3 объёма банки. Далее пробитую дырку следует залепить пластилином и всё это плотно обмотать скотчем. Нить должна быть достаточно прочной. Её длина ≈ 4 м.

Критерии оценивания

Определение площади поперечного сечения банки.....	2
Использование банки на нитях как маятника.....	2
Идея сравнение периодов колебаний банки и гайки.....	1
Определение x_c	2
Проведение повторных измерений.....	1
Связь между h и x_c	1
Расчётная формула для V	1
Численное значение V	4
Оценка погрешностей.....	1

Задача 2. Мультиметр

Используя имеющиеся резисторы, сопротивления которых можно измерить омметром, соберем цепь, схема которой изображена на рисунке 7. Напряжение на омметре и ток через него определяются из соотношений

$$\mathcal{E}_1 + I_1 R_1 = I_2 R_2 = U, \quad I = I_1 + I_2, \quad U = IR.$$

Здесь R — величина сопротивления, показываемая омметром. Из этих уравнений находим:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 / R_1}{\frac{R_0}{R_2} + \frac{R_0}{R_1} - 1}, \quad U = IR.$$

Следовательно, рассматриваемая электрическая цепь позволяет получить точку на графике вольтамперной характеристики омметра. Меняя сопротивление резистора R_2 и полярность батарейки, получаем различные точки на графике.

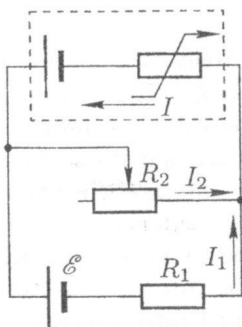


Рис. 7

Примечание. При $I < 0$ омметр ничего не показывает. При $I > 0$, но $U < 0$ омметр показывает отрицательное значение сопротивления.

Рекомендации для организаторов. В качестве омметра можно взять цифровой мультиметр на пределе $R_0 = 20$ кОм (или на другом пределе). Сопротивление постоянного резистора R_1 должно быть порядка верхнего предела омметра R_0 . Чтобы подобрать потенциометр, рекомендуется сначала измерить эффективную ЭДС батарейки омметра \mathcal{E}_x и его эффективное сопротивление R_x : это можно сделать, подсоединив к омметру сначала вольтметр (определяется \mathcal{E}_x), а затем — параллельно вольтметр и резистор (определяется R_x). Потенциометр подбирается таким образом, чтобы его сопротивление можно было менять по крайней мере в пределах от $0,1R_{2\max}$ до $R_{2\max}$, где

$$R_{2\max} = \frac{R_1}{\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_x} (1 + R_x / R_0) + (R_1 / R_0 - 1)},$$

а \mathcal{E}_1 — сопротивление батарейки, входящей в комплект оборудования.

Критерии оценивания

Схема электрической цепи для снятия искомой зависимости.....	3
Расчётная формула для силы тока через омметр.....	2
Расчётная формула для напряжения на клеммах омметра.....	1
Таблица с измеренными значениями R и рассчитанными U и I :	
в прямом режиме.....	2
в обратном режиме.....	3
График зависимости $U(I)$	3
Оценка погрешностей.....	1

11 класс

Задача 1. Неполая банка (2)

С помощью скотча прикрепляем к верхнему краю банки два куска нити длиной 60 – 70 см. Взвешиваем банку с помощью неравноплечных весов, сделанных с помощью линейки, поставленной на круглый карандаш, прикрепленный к столу скотчем. На один край линейки подвешиваем груз, на другой — банку. Условие равновесия банки и груза:

$$(M + \mu)L = m \cdot l,$$

где M — масса жидкости, m — груза, L и l — плечи весов, соответствующие банке и грузу. Отсюда находим массу жидкости:

$$M = m \frac{l}{L} - \mu.$$

С помощью скотча наклеиваем на банку и на груз по полоске миллиметровой бумаги. Измеряем высоту груза и в середине боковой грани на наклеенной

полоске бумаги делаем метку. Поскольку груз цилиндрический, то это будет уровень центра масс.

Найдём объём жидкости в банке. Для этого с помощью миллиметровой бумаги находим периметр P банки и вычисляем площадь её нормального сечения (толщиной стенок банки можно пренебречь):

$$S = \frac{P^2}{4\pi}.$$

Объём жидкости в банке: $V = S \cdot x$, где x — высота слоя жидкости.

Теперь найдём эту высоту. С помощью скотча подвешиваем банку на двух нитях к краю стола. Дно банки должна быть параллельно полу. Можно считать, что получается математический маятник длиной, равной расстоянию от точки подвеса до центра масс системы банка-жидкость. Рядом с местом крепления банки (на краю стола) закрепляем нити, соединённые с грузом (рис. 8). Нить следует фиксировать скотчем в нескольких местах так, чтобы она под действием веса груза не выскальзывала. Высоту подвеса груза можно регулировать, подтягивая нить рукой. Добиваемся того чтобы периоды колебания груза и банки совпадали. Делаем метку на миллиметровой бумаге, наклеенной на банке, на том же уровне, что и метка на грузе. Так мы находим высоту x_c центра масс банки с жидкостью относительно её дна. Этот уровень соответствует нижнему краю цилиндрической части банки. Высота x_c связана с высотой x верхнего уровня жидкости в банке соотношением:

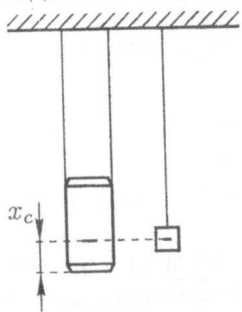


Рис. 8

$$x_c = \frac{M \cdot \frac{x}{2} + \mu \cdot H}{M + m},$$

где H — высота центра масс банки относительно её дна. Находим плотность жидкости:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{2\pi M}{P^2 \left(x_c - \frac{\mu}{M}(H - x_c)\right)}.$$

Без учета массы банки плотность жидкости

$$\rho = \frac{M}{V} \approx \frac{2\pi ml}{L^2 x_c L}. \quad (1)$$

Анализ двух последних формул показывает, что «точную» формулу для ρ следует применять только при малом количестве жидкости в банке. В нашем случае формула (1) даёт хорошую точность ($\delta \approx 5\%$).

Рекомендации для организаторов. Выбор и подготовка банки проводится аналогично задаче 10-1. Жидкость, вливаемая в банку, — раствор сахара в

воде: на 190 мл воды 200 г сахара, после растворения сахара плотность жидкости примерно $1,2 \text{ г/см}^3$. В качестве груза известной массы рекомендуется использовать груз из школьного набора (масса груза должна быть соизмерима с массой банки с жидкостью). Линейка деревянная, длиной 20 — 30 см (она достаточно прочная для использования в качестве рычажных весов). Карандаш — круглый.

Критерии оценивания

Использование неравноплечных весов для определения массы жидкости ...	2
Расчётная формула для массы жидкости	1
Определение площади поперечного сечения банки	2
Использование банки на нитях как маятника	2
Идея сравнения периодов колебаний банки и груза	1
Расчётная формула для высоты слоя жидкости в банке	1
Расчётная формула для ρ	1
Численное значение ρ	4
Оценка погрешностей	1

Задача 2. Мультиметр

См. 2 задачу 10 класса