

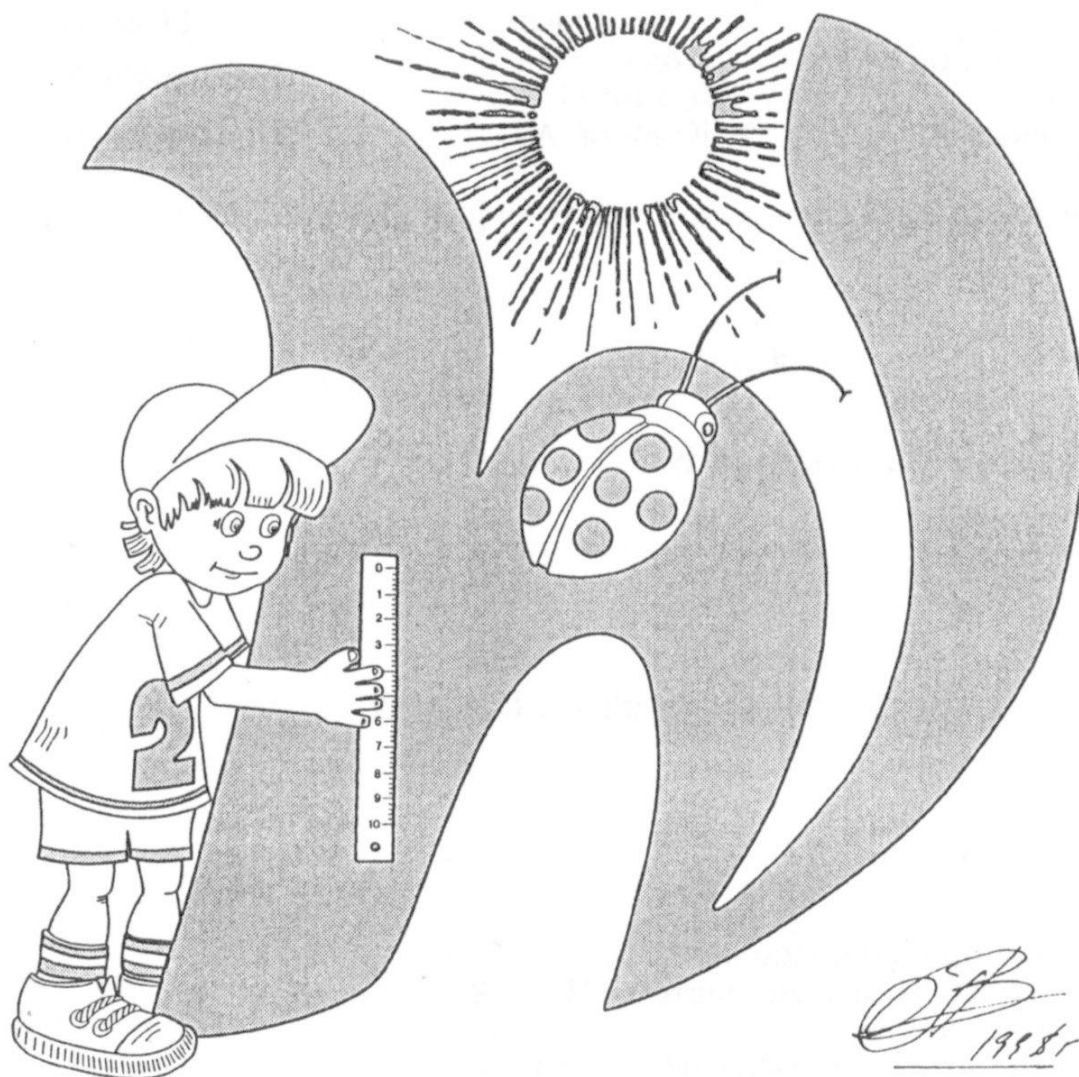
Министерство образования Российской Федерации
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XXXVI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Зональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2001/2002 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
Центрального оргкомитета Всероссийских олимпиад школьников
Министерства образования Российской Федерации
Тел.: (095) 408-80-77, 408-86-95.
E-mail: vip@pop3.mipt.ru

Авторы задач

9 класс

1. Подлесный Д.,
Дунин С.
2. Чудновский А.

10 класс

1. Подлесный Д.,
Дунин С.
2. Крюков А.

11 класс

1. Крюков А.
2. Шведов О.

Ответственный за экспериментальный тур — Дунин С.

Общая редакция — Слободянин В.

Оформление и верстка — Чудновский А., Ильин А.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система \LaTeX 2 ϵ .
© Авторский коллектив
Подписано в печать 11 марта 2002 г. в 21:56.

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

Условия

9 класс

Задача 1. Шарики

Определите плотность материала шариков.

Примечание. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Объем шара радиуса r определяется по формуле $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Оборудование. Пластмассовые шарики, сосуд с водой, пробирка, миллиметровая бумага, липкая лента, линейка, ножницы.

Задача 2. Черный ящик с выключателем и лампочкой

Электрический «черный ящик» имеет три вывода и содержит четыре элемента, два из которых (лампочка и одинарный ключ) выведены наружу. Расшифруйте схему «черного ящика» и определите параметры элементов схемы. Для лампочки определите сопротивление в рабочем режиме.

Примечание. Элементом схемы может быть резистор, нелинейный элемент (например: лампочка, диод; вообще: элемент с неизвестной вольтамперной характеристикой), одинарный ключ, источник постоянного напряжения.

Оборудование. Вольтметр, амперметр, провода, «черный ящик», выводы которого помечены буквами A, B, C .

10 класс

Задача 1. Проволока

Определите плотность проволоки. Ломать проволоку не разрешается.

Примечание. Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Оборудование. Кусок проволоки, миллиметровая бумага, нить, вода, сосуд.

Задача 2. Шпुлька

Определите коэффициент трения скольжения материала шпульки по дереву.

Примечание. Во время проведения работы запрещается изменять положение линейки.

Оборудование. Шпулька, нить длиной 0,5 м, деревянная линейка, закрепленная под углом в штативе, миллиметровая бумага.

11 класс

Задача 1. Коэффициент Пуассона

Измерьте коэффициент Пуассона μ для резины. Оцените его значение в предположении постоянства плотности материала и сравните с экспериментальным значением.

Примечание. Коэффициент Пуассона — это коэффициент, связывающий относительное удлинение материала с относительным изменением размеров тела в других направлениях. Например, если b — диаметр цилиндра, а a — его длина, тогда при небольшом удлинении цилиндра будет выполняться условие: $\Delta b/b = -\mu \Delta a/a$.

Оборудование. Резиновый бинт 6 см × 20 см, штатив с двумя лапками, 4 деревянных брусочка размерами 10 мм × 5 мм × 100 мм.

Задача 2. «Черная банка»

«Черный ящик» представляет собой сосуд с водой, в который опущена нить, на которой закреплены два груза на некотором расстоянии друг от друга. Найти массы грузов и их плотности. Оценить размеры грузов, расстояние между ними и уровень воды в сосуде.

Оборудование. «Черный ящик», динамометр, миллиметровая бумага.

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Шарик

Рекомендации для организаторов. Шарик должен иметь диаметр 3-7 мм и плотность немного большую плотности воды (подходят «пульки» для игрушечных пистолетов).

Нальем в пробирку небольшое количество воды, достаточное для того, чтобы она плавала вертикально. На боковую стенку пробирки наклеим липкой лентой полоску миллиметровой бумаги, по которой будем измерять глубину ее погружения в воду. Положим в плавающую пробирку n шариков. Пусть при этом глубина ее погружения изменилась на Δh . Длину окружности внешнего сечения пробирки l измерим миллиметровой бумагой. Объем дополнительно вытесненной воды $V = h * (l^2)/4$. Поскольку пробирка находится в равновесии, вес этой воды равен весу добавленных в пробирку шариков. Вес одного шарика $P = \rho_v V/n$. Выстроив m шариков вдоль линейки, измерим их общую длину L и найдем радиус одного шарика $r = L/m$. Разделив вес шарика на его объем $V = \frac{4}{3}\pi(L/m)^3$ найдем плотность материала шариков.

Задача 2. Черный ящик с выключателем и лампочкой

Рекомендации для организаторов. Лампочка должна светиться при подключении к батарее последовательно с сопротивлением. Сопротивление не должно перегреваться при прямом подключении к батарее.

1. Экспериментально устанавливаем, что при замыкании ключа лампочка загорается, следовательно схема «черного ящика» содержит контур, в котором есть ЭДС.

2. Если при замкнутом ключе зашунтировать клеммы AB или AC , то лампочка гаснет.

3. Если же зашунтировать клеммы BC , то лампочка начинает гореть при любом положении ключа.

По этим трем опытам устанавливаем положение трех элементов схемы (рис. 1).

Далее разомкнем ключ и измерим вольтметром напряжение между A и B : это будет ЭДС \mathcal{E} батарейки (предполагается, что сопротивление вольтметра очень велико). Заодно определяем полярность подключения батарейки. Подключим теперь к клеммам A и B вместо вольтметра амперметр: он покажет сравнительно небольшой ток I , значит, последовательно с батарейкой включен резистор $R = \mathcal{E}/I$.

Теперь схема расшифрована полностью (рис. 2). Для определения сопротивления лампочки разомкнем ключ, подключим вольтметр к клеммам AC , а амперметр — к BC . Тогда приборы будут показывать напряжение на лампочке и ток через нее, откуда и определим ее сопротивление.

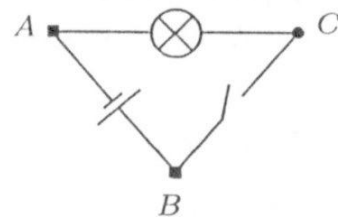


Рис. 1

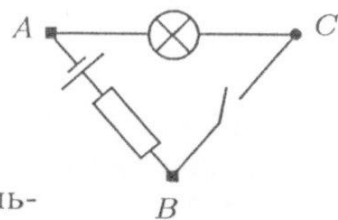


Рис. 2

10 класс

Задача 1. Проволока

Рекомендации для организаторов. Проволока из алюминиевого сплава должна иметь длину около 40-50 см и диаметр 2,5-5 мм; высоту сосуда следует взять больше, чем половина длины проволоки; количество «выданной воды» должно быть достаточным для заполнения его водой до краев (подходит, например, большая пластиковая бутылка из-под Кока-колы).

Изогнем проволоку под прямым углом приблизительно посередине и уравновесим на нитке (рис. 3). Измерим миллиметровой бумагой длину горизонтального плеча проволоки L и расстояние l от точки подвеса до «угла». Затем уравновесим проволоку, погрузив ее вертикальное плечо в сосуд с водой (рис. 4). Новое расстояние до точки подвеса обозначим через l_1 . Запишем условие равновесия проволоки в первом и втором случае:

$$(L/2 - l)P_1 = lP, \quad (L/2 - l_1)P_1 = l_1(P - F),$$

где P_1 — вес горизонтального плеча проволоки, P — вес вертикального участка, а F — выталкивающая сила, действующая на вертикальное плечо.

Разделив одно уравнение на другое и подставив значения P и F , выраженные через плотность материала проволоки и плотность воды, получим значение плотности материала проволоки:

$$\rho = \rho_v l_1 (L - 2l) / L (l_1 - l).$$

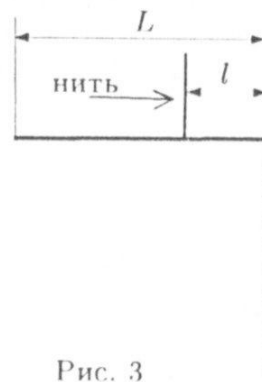


Рис. 3

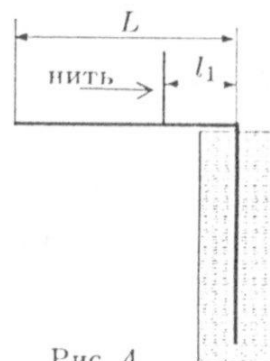


Рис. 4

Задача 2. Шпилька

Наматываем нить на шпильку и добиваемся того, чтобы шпилька висела на нити, опираясь на линейку (рис. 5). Постепенно отпускаем нить до тех пор, пока шпилька не выскользнет. Фиксируем это положение. Для этого положения напишем условия равновесия:

$$\begin{cases} T \cdot r = \mu N \cdot R, \\ T \cos(\alpha + \beta) + N \sin(\alpha) + \mu N \cos \alpha = mg, \\ T \sin(\alpha + \beta) + \mu N \sin \alpha = N \cos(\alpha), \end{cases}$$

где первое уравнение — уравнение моментов относительно центра шпильки. Решая систему уравнений, получаем:

$$\mu = \frac{\cos \alpha}{\frac{R}{r} \sin(\alpha + \beta) + \sin \alpha}.$$

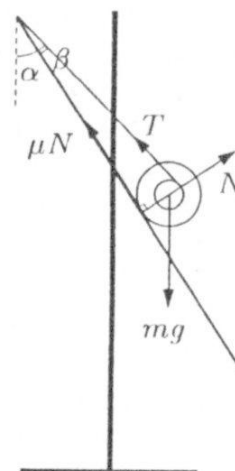


Рис. 5

11 класс

Задача 1. Коэффициент Пуассона

Шариковой ручкой рисуем на резиновом бинте прямоугольник 50 мм × 40 мм. Прямоугольник рисуем примерно в середине бинта. Зажимаем бинт с помощью брусочков лапками и слегка натягиваем. Измеряем действительные размеры нарисованного прямоугольника. Растягиваем бинт на 1-2 см и повторяем измерение.

Пусть в результате первого измерения высота и ширина прямоугольника были a_0 и b_0 , а после растяжения стали a_1 и b_1 соответственно. Тогда коэффициент Пуассона равен:

$$\mu = -\frac{\Delta b/b_0}{\Delta a/a_0},$$

где $\Delta b = b_1 - b_0$, а $\Delta a = a_1 - a_0$.

Если бы в процессе деформации не происходило изменение плотности материала (как в жидкости), то не изменялся бы и объем тела:

$$\Delta V = \Delta x \cdot yz + \Delta y \cdot xz + \Delta z \cdot xy = 0,$$

где x, y, z — первоначальные размеры тела (параллелепипеда). Сократив это равенство на $V = xyz$, получим:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta z}{z}.$$

Предположим, что материал изотропный, то есть его свойства одинаковы во всех направлениях, тогда при растяжении вдоль z будет $\Delta x/x = \Delta y/y = -\mu \Delta z/z$. Подставим это в предыдущее уравнение и получим:

$$\frac{\Delta z}{z} \cdot (1 - 2\mu) = 0,$$

откуда коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$.

Задача 2. «Черная банка»

Рекомендации для организаторов. «Черный ящик» представляет собой непрозрачный сосуд с водой, в который опущена нить с закрепленными на ней двумя грузами, находящимися на определенном расстоянии. Желательно, чтобы масса каждого из грузов была около 100 г, а их плотность — примерно вдвое больше плотности воды. Следует изготовить два варианта «черного ящика» (каждый вариант — приблизительно для половины участников).

В первом случае уровень воды таков, что покрывает (с запасом) оба груза, лежащие на дне, а длина нити, соединяющей грузы, больше (с запасом) высоты уровня воды. Если потянуть за конец нити, то в этом случае сначала верхний груз будет подниматься в воде, затем верхний груз — в воздухе (нижний при этом лежит на дне и на нить не действует), затем — верхний груз в воздухе и нижний — в воде, затем — оба груза в воздухе. Необходимо, чтобы на всех этапах можно было провести измерение силы динамометром.

Во втором случае нить, соединяющая грузы, короткая, а высота уровня

воды достаточно большая, превышающая сумму длины нити и размеров грузов. Если потянуть за конец нити, то сначала верхний груз будет подниматься в воде, затем оба груза будут подниматься в воде, затем — первый в воздухе и второй — в воде, затем — оба груза в воздухе. Необходимо, чтобы на всех этапах можно было бы провести измерение силы динамометром.

Грузы можно изготовить следующим образом: взять рыболовные грузы (от 42 г до 70 г) и «облепить» их пластилином (около 40 г).

Прикрепив верхний конец нити к динамометру, будем медленно вытягивать систему грузов из воды. Снимем зависимость приложенной силы от высоты верхнего конца нити. Получившийся при этом график будет содержать 4 горизонтальных участка (рис. 6). При этом переходы между горизонтальными участками не всегда будут строго вертикальными.

Для определения параметров системы исследуем возможные случаи. Обозначим через h высоту уровня жидкости в сосуде, l — расстояние между грузами, m_1 и ρ_1 — масса и плотность ближайшего к динамометру груза, m_2 и ρ_2 — масса и плотность второго груза, ρ — плотность воды.

Анализируя внутреннее устройство черного ящика, пренебрежем сначала размерами грузов.

Заметим, что силы, действующие на систему, могут меняться только в случаях, когда груз:

- отрывается от дна;
- отрывается от поверхности воды;
- поднимается на поверхность воды.

Поэтому число ступенек будет зависеть от параметров системы следующим образом:

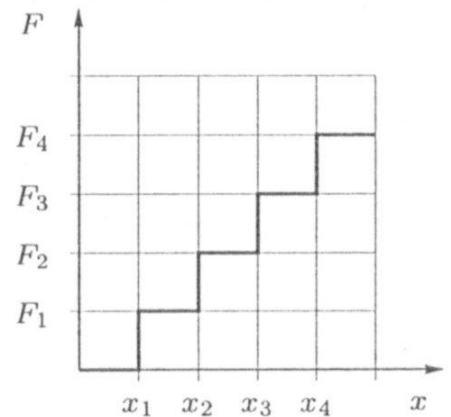


Рис. 6

№	Ограничения на плотности грузов	Длина нити и высота уровня жидкости в сосуде	Ограничения на массы грузов	Число ступенек на графике
1	$\rho_1 < \rho, \rho_2 < \rho$			2
2	$\rho_1 < \rho, \rho_2 > \rho$	$h > l$	$m_1(1 - \frac{\rho}{\rho_1}) + m_2(1 - \frac{\rho}{\rho_2}) < 0$	2
3	$\rho_1 < \rho, \rho_2 > \rho$	$h > l$	$m_1(1 - \frac{\rho}{\rho_1}) + m_2(1 - \frac{\rho}{\rho_2}) > 0$	3
4	$\rho_1 < \rho, \rho_2 > \rho$	$h < l$		3
5	$\rho_1 > \rho, \rho_2 > \rho$	$h > l$		4
6	$\rho_1 > \rho, \rho_2 > \rho$	$h < l$		4
7	$\rho_1 > \rho, \rho_2 < \rho$	$h > l$	$m_1(1 - \frac{\rho}{\rho_1}) + m_2(1 - \frac{\rho}{\rho_2}) > 0$	4
8	$\rho_1 > \rho, \rho_2 < \rho$	$h > l$	$m_1(1 - \frac{\rho}{\rho_1}) + m_2(1 - \frac{\rho}{\rho_2}) < 0$	3
9	$\rho_1 > \rho, \rho_2 < \rho$	$h < l$		3

Результатам эксперимента могут отвечать случаи 5, 6, 7 (см. таблицу). Учтем теперь конечность размеров грузов.

В случае 5 переходы вблизи точек x_3 и x_4 являются «размытыми», вблизи точек x_1 и x_2 — вертикальными.

В случае 6 переходы вблизи точек x_2 и x_4 являются «размытыми», вблизи точек x_1 и x_3 — вертикальными.

В случае 7 переходы вблизи точек x_2 , x_3 и x_4 являются «размытыми», вблизи точки x_1 — вертикальным.

Исследовав, какие участки вертикальны, какие — размыты, можно определить, какой из случаев — 5, 6 или 7 — имеет место.

Поскольку в варианте 7 «черные ящики» не изготавливались, опустим анализ этого случая.

Массы и плотности грузов однозначно определяются силами F_1 , F_2 , F_3 и F_4 . Расстояния между грузами и уровень воды в сосуде оцениваются из значений x_1 , x_2 , x_3 и x_4 . В случае 5

$$F_1 = m_1 g (1 - \rho / \rho_1), \quad F_2 = m_1 g (1 - \rho / \rho_1) + m_2 g (1 - \rho / \rho_2),$$

$$F_3 = m_1 g + m_2 g (1 - \rho / \rho_2), \quad F_4 = (m_1 + m_2) g,$$

причем $x_2 - x_1 = l$, $x_3 - x_2 = h - l$, $x_4 - x_3 = l$. Следовательно,

$$l = x_2 - x_1 = x_4 - x_3, \quad h = x_3 - x_1 = x_4 - x_2,$$

$$m_1 g = F_1 + F_3 - F_2, \quad m_2 g = F_2 - F_1 + F_4 - F_3,$$

$$\rho_1 = \rho (F_1 + F_3 - F_2) / (F_3 - F_2), \quad \rho_2 = \rho (F_2 - F_1 + F_4 - F_3) / (F_4 - F_3).$$

В случае 6

$$F_1 = m_1 g (1 - \rho / \rho_1), \quad F_2 = m_1 g,$$

$$F_3 = m_1 g + m_2 g (1 - \rho / \rho_2), \quad F_4 = (m_1 + m_2) g,$$

причем $x_2 - x_1 = h$, $x_3 - x_2 = l - h$, $x_4 - x_3 = h$. Следовательно,

$$h = x_2 - x_1 = x_4 - x_3, \quad l = x_3 - x_1 = x_4 - x_2,$$

$$m_1 g = F_2, \quad m_2 g = F_4 - F_2,$$

$$\rho_1 = \rho F_2 / (F_2 - F_1), \quad \rho_2 = \rho (F_4 - F_2) / (F_4 - F_3).$$

Размеры грузов можно оценить из размытости участков вблизи x_2 , x_3 , x_4 , а также из найденного объема грузов.