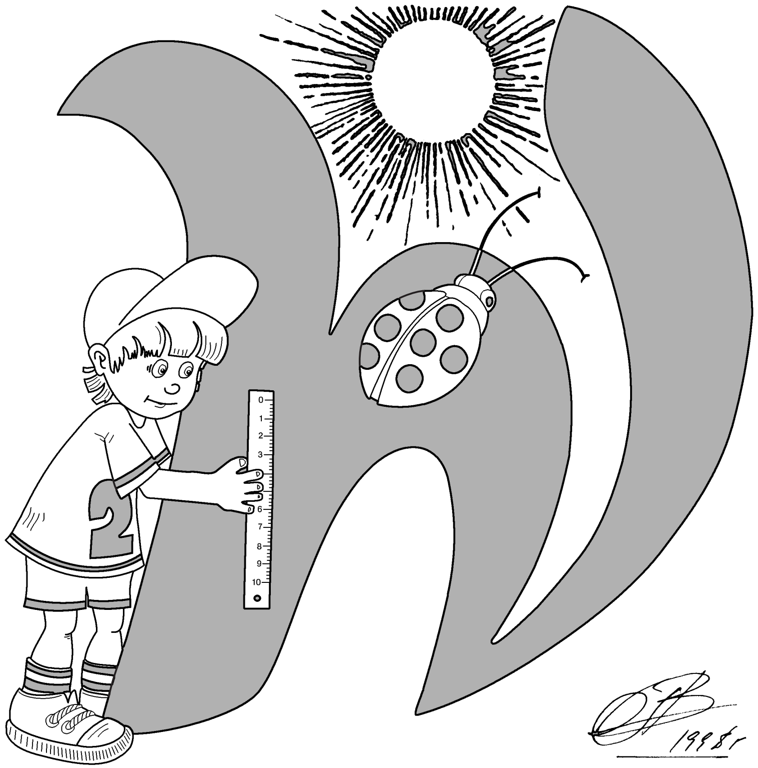
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

XLVI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Теоретический тур

Методическое пособие



МФТИ, 2011/2012 уч.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**

Авторы задач

9 класс	10 класс	11 класс
1. Мельниковский Л.	1. Шеронов А.	1. Шеронов А.
2. Шеронов А.	2. Слободянин В.	2. Шеронов А.
3. Александров Д.	3. Чивилёв В.	3. Аполонский А.
4. Бабинцев В.	4. Варламов С.	4. Осин М.
5. Воронов А.	5. Александров Д.	5. Шеронов А.

Общая редакция — Ко́зел С., Слободянин В.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\LaTeX\,2_\varepsilon$.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 10 января 2012 г. в 16:18.

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

9 класс

Задача 1. Этажи

Чебурашка и Крокодил Гена решили устроить забег по лестнице в доме Дружбы. Выяснилось, что Чебурашка успевает три раза добежать до четвертого этажа и вернуться на первый за время, пока Гена поднимается на шестнадцатый этаж.

На какой этаж успеет подняться Чебурашка, пока Гена будет бегать с первого этажа на шестой и обратно? Считайте, что Чебурашка и Гена бегают вверх-вниз с постоянными скоростями.

Задача 2. Лёд на привязи

В цилиндрическом сосуде с площадью дна S с помощью нити удерживают под водой кусок льда, внутри которого имеется воздушная полость (рис. 1). Объем льда вместе с полостью равен V, плотность льда $\rho_л$. После того, как лёд растаял, уровень воды в сосуде уменьшился на h. Найдите:

1) объем $V_п$ воздушной полости;

2) силу T натяжения нити в начале опыта.

Примечание. Плотность воды $\rho_в$ и ускорение свободного падения g считайте известными.

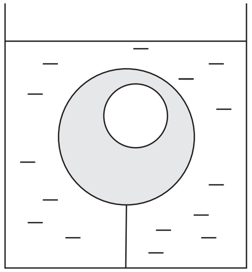


Рис. 1

Задача 3. Камень

Скорость камня v_0, брошенного под углом $\varphi = 60^\circ$ к горизонту, уменьшилась вдвое за $\Delta t = 1$ с. Найдите модуль перемещения S, которое за это время совершил камень.

Примечание. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 4. «Электрическая цепочка»

Из серебряной проволоки массой $m = 3{,}91$ г изготовили кольца разного диаметра, которые соединили в цепочку (рис. 2). Электрическое сопротивление между концами такой цепочки $R = 1{,}00 \cdot 10^{-2}$ Ом. Вычислите длину цепочки, если известно, что плотность серебра $d = 10{,}5$ г/см^3, а удельное сопротивление $\rho = 1{,}49 \cdot 10^{-6}$ Ом · см.

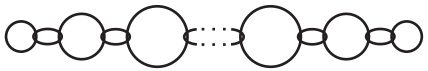


Рис. 2

Диаметр поперечного сечения проволоки много меньше диаметра самого маленького колечка. Цепочка натянута. Электрическим сопротивлением колец в месте контакта можно пренебречь.

Задача 5. Комната с зеркалами

В углу прямоугольной комнаты размерами $a \times b \times H = 9$ м $\times$ 3,5 м $\times$ 4,0 м на стенах висят два высоких зеркала от пола до потолка шириной $c = 1$ м каждое, вплотную прижатые друг к другу. На расстоянии c от зеркал находится такой яркий точечный источник, что свет от него попадает только на зеркала (рис. 3).

Существуют ли в комнате участки стен, на которые не попадает свет? Если да, то какова площадь неосвещенной части стен?

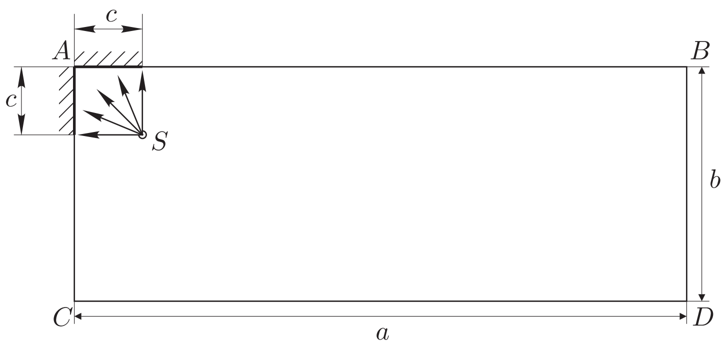


Рис. 3

10 класс

Задача 1. Льдинка с полостью

В частично заполненный водой цилиндрический сосуд, площадь дна которого равна S, положили кусок льда с воздушной полостью, в которой находился алюминиевый шарик массой, равной массе льда. При этом уровень воды поднялся на h, а полностью погружённый в воду лёд плавает, не касаясь дна и стенок сосуда.

1. Найдите объём $V_п$ воздушной полости.

2. Повысится или понизится уровень воды в сосуде после того, как весь лёд растает?

3. На сколько изменится уровень воды в сосуде после того, как лёд растает?

Плотность воды — $\rho_в$, плотность льда — $\rho_л$, плотность алюминия — $\rho_ш$, ускорение свободного падения — g.

Задача 2. Максимальная высота

Камень бросили под углом к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 25$ м/с. Через время τ он достиг максимальной высоты, удалившись по горизонтали на расстояние $L = 30$ м от места броска. Найдите время τ. Примите ускорение свободного падения равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 3. На вираже (1)

Автомобиль массой $m = 1400$ кг движется с постоянной скоростью $v = 90$ км/ч по прямолинейному горизонтальному участку дороги. При этом на колёса автомобиля передаётся от двигателя мощность $P = 25$ кВт. Затем автомобиль въезжает на криволинейный горизонтальный участок дороги с радиусом закругления $R = 350$ м и движется с прежней скоростью.

При каких значениях коэффициента трения между колёсами и дорогой возможно такое движение автомобиля на

1.) прямолинейном участке,

2.) криволинейном участке?

Все колёса считать ведущими. Колёса не проскальзывают. Принять $g = 10$ м/с^2.

Задача 4. Лампочки

Связь между напряжением U на лампе накаливания и силой тока, текущего через неё, даётся формулой: $I \sim U^{3/5}$. Две лампы с номинальными напряжениями 220 В и номинальными мощностями $P_1 = 40$ Вт и $P_2 = 100$ Вт включили последовательно в сеть 220 В. Какое напряжение падает на лампе меньшей номинальной мощности?

Задача 5. Это что за газ?

Для нагревания 100 г некоторого газа на $4°C$ в процессе с прямой пропорциональностью давления объёму требуется на 831 Дж больше, чем для такого же нагревания при постоянном объёме. Что это за газ?

11 класс

Задача 1. Пустая бутылка

Пусть стеклянная бутылка плавает в цилиндричесом сосуде с водой. Площадь дна сосуда $S = 250$ см^2. Из чайника в бутылку медленно наливают воду и, когда масса воды достигает $m = 300$ г, бутылка начинает тонуть. Оказалось, что, когда весь воздух их бутылки вышел, уровень воды в сосуде изменился на $\Delta h = 0{,}60$ см по сравнению с тем моментом, когда в бутылку начали наливать воду. Вычислите вместимость бутылки V.

Плотность воды $\rho = 1{,}0$ г/см^3.

Задача 2. Заряженный конденсатор

В электрической цепи (рис. 4) конденсатор C заряжен до напряжения $3\mathscr{E}$. Затем ключ К замыкают.

Найдите:

1) Максимальную силу тока в цепи;

2) Силу тока в цепи в момент времени, когда заряд на конденсаторе становится равным нулю;

3) Заряд на конденсаторе в момент времени, когда сила тока в цепи становится равной нулю.

Все элементы можно считать идеальными.

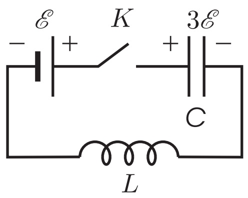


Рис. 4

Задача 3. На вираже (2)

Автомобиль с полным приводом (двигатель вращает все 4 колеса) и массой $m = 1400$ кг проходит поворот радиуса $R = 500$ м с постоянной по модулю скоростью. Максимальная мощность двигателя автомобиля не зависит от скорости и равна $P_{\max}$. Сила сопротивления воздуха $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$, где $\vec{v}$ – скорость автомобиля, $\alpha = 40$ Н·с/м. Коэффициент трения между колёсами и дорогой $\mu = 0{,}52$.

Определите максимальное значение $v_{\max}$ модуля скорости, с которой автомобиль может пройти поворот. Постройте график зависимости $v_{\max}$ от $P_{\max}$.

Задача 4. "Левитация"

Над поверхностью Земли находится пластина массой M. Между ней и землей движется шарик массой m. В момент любого столкновения пластины с шариком высота пластины над землей равна H, как будто пластина просто "висит"(рис. 5). Все удары абсолютно упругие.

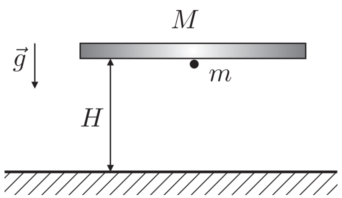


Рис. 5

Считая, что пластина всегда параллельна поверхности земли и может двигаться только вертикально, найдите кинетическую энергию K шарика у поверхности земли,

при условии $m \ll M$. (Скорость шарика при всех столкновениях с пластиной одна и та же)

Задача 5. Влажный воздух

В цилиндре под поршнем находится влажный воздух. В изотермическом процессе объем цилиндра уменьшается в $\alpha = 4$ раза, при этом давление под поршнем увеличивается в $\gamma = 3$ раза.

Какая часть первоначальной массы пара сконденсировалась? В начальном состоянии парциальное давление сухого воздуха в $\beta = 3/2$ раза больше парциального давления пара.

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Этажи

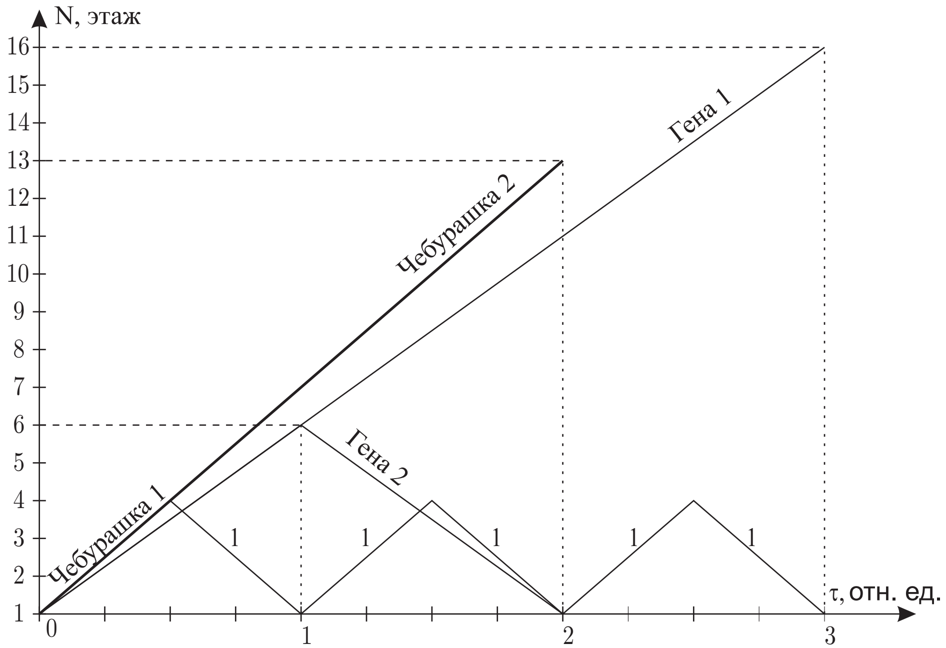


Рис. 6

Построим график зависимости прохождения этажей Геной и Чебурашкой от времени, выраженного в условных единицах (будем считать, что время, затраченное на подъем и спуск Чебурашки на четвертый этаж равно 1 ед.).

Для случая, когда Гена поднимется на 16 этаж, Чебурашка успеет 3 раза добежать до четвертого этажа и вернуться обратно. Аналогично, построим график для второго случая, когда Гена поднимается на шестой этаж и спускается обратно, а Чебурашка добегает до M-го этажа (M - номер искомого этажа), не забывая о том, что Чебурашка и Гена бегают с постоянными скоростями (рис. 6).

Получаем, что искомый этаж — 13-й.

Критерии оценивания

Описана идея постреня графика номера этажа от времени 4
Правильно построен график 4
Получен ответ 2

Задача 2. Лёд на привязи

Допустим, что объем льда без учёта полости равен $V_л$. По условию задачи

$$V = V_л + V_п.$$

Поскольку масса вещества не изменяется:

$$V_л\rho_л = V_в\rho_в.$$

После того, как весь лёд растаял, занимаемый им объем уменьшился на

$$\Delta V = V_л - V_в = V_л\left(1 - \frac{\rho_л}{\rho_в}\right),$$

где V_B – объем воды, получившейся из расплавившегося льда.

Уровень понижения воды найдем из условия:

$$Sh = \Delta V + V_п = V_л\left(1 - \frac{\rho_л}{\rho_в}\right) + V_п.$$

Выразим $V_п$ и получим:

$$V_п = Sh\left(\frac{\rho_в}{\rho_л}\right) - V\left(\frac{\rho_в - \rho_л}{\rho_л}\right).$$

Для определения натяжения нити воспользуемся вторым законом Ньютона:

$$T = F_A - \rho_л V_л g. \qquad (1)$$

По закону Архимеда $F_A = \rho_в V g$, объем льда $V_л = V - V_п$, так что, подставляя найденный ранее объём $V_п$ в формулу (1), получим:

$$T = \rho_в g S h.$$

Критерии оценивания

Верно записано условия постоянства массы 1
Найдено изменение объема льда 2
Верно записано условие понижения уровня воды 1
Получен ответ для объема полости $V_п$ 2
Верно записаны второй закон Ньютона и закон Архимеда 2
Получен ответ для силы натяжения нити T 2

Задача 3. Камень

Проекция начальной скорости на горизонтальную ось:

$$v_x = v_0 \cos 60^\circ = v_0/2.$$

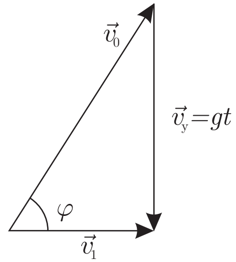


Рис. 7

Из курса геометрии известно, что катет, прилежащий к углу $\varphi = 60^\circ$, вдвое меньше гипотенузы. Отсюда мы заключаем, что через время Δt скорость камня будет направлена горизонтально (рис. 7). Проекция начальной скорости камня на вертикальную ось:

$$v_y = v_0 \sin 60^\circ = g\Delta t = 10\ \text{м/с}.$$

Воспользовавшись теоремой Пифагора, найдем:

$$v_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot g\Delta t.$$

Проекция перемещения на горизонтальную ось:

$$S_x = \frac{v_0}{2}\Delta t = \frac{g\Delta t^2}{\sqrt{3}}.$$

Проекция перемещения на вертикальную ось:

$$S_y = \frac{g\Delta t^2}{2}.$$

Модуль перемещения:

$$S = \sqrt{(S_x)^2 + (S_y)^2} = \sqrt{1/4 + 1/3} \cdot g\Delta t^2 \approx 7{,}64\ \text{м}.$$

Критерии оценивания

Указано, что скорость камня через время Δt будет горизонтальной 4
Выражена веретикальная проекция скорости v_y через $g\Delta t$ 1
Выражена начальная скорость v_0 через $g\Delta t$ 1
Найдена проекция перемещения на вертикальную ось S_y 1
Найдена проекция перемешения на горизонтальную ось S_x 1
Получен ответ для модуля перемещения S 2

Задача 4. «Электрическая цепочка»

При данных условиях место контакта можно считать точечным. Цепочку можно заменить эквивалентной схемой (рис. 8), где R_i — сопротивление половины i-го кольца.

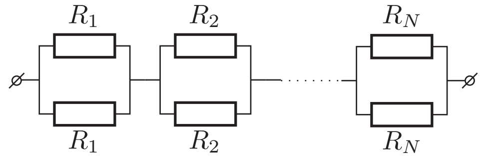


Рис. 8

Обозначим половину длины i-го кольца l_i, а полную длину пошедшей на цепочку проволоки l. Полная длина проволоки — это сумма длин всех колец:

$$l = 2\left(l_1 + l_2 + ... + l_N\right).$$

Сопротивление i-го кольца можно найти по формуле

$$r_i = \frac{R_i}{2} = \frac{\rho l_i}{2S},$$

где S — площадь поперечного сечения проволоки.

Масса цепочки $m = dSl$. Сопротивление всей цепочки:

$$R = (r_1 + r_2 + ... + r_N) = \frac{\rho}{2S}(l_1 + l_2 + ... + l_N) = \frac{\rho l}{4S}.$$

Выражая S из формулы для массы цепочки, получаем:

$$l^2 = \frac{4mR}{\rho d}.$$

Длина цепочки L складывается из диаметров колец:

$$L = \frac{2l_1}{\pi} + \frac{2l_2}{\pi} + ... + \frac{2l_N}{\pi} = \frac{l}{\pi} = \frac{2}{\pi}\sqrt{\frac{mR}{\rho d}} = 31{,}8\ \text{см}.$$

Критерии оценивания

Получена эквивалентная схема 2
Получена формула для сопротивления одного кольца 2
Получена формула для сопротивления цепочки 2
Получено выражение, связывающее массу и площадь поперечного сечения . 1
Получена формула для длины цепочки 2
Получен числовой ответ 1

Задача 5. Комната с зеркалами

Каждое из зеркал даёт по одному первичному изображению: S_1 и S_2. Эти изображения, в свою очередь, создают по одному вторичному изображению, которые совпадают. Обозначим это вторичное изображение как S_3 (рис. 9).

Источник S_1 освещает всю стену AC и часть стены CD длиной c. Источник S_2 освещает всю стену AB и часть стены BD длинной c.

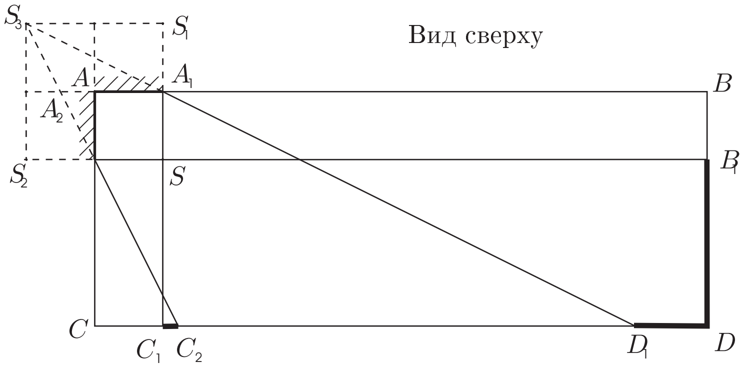


Рис. 9

Источник S_3 освещает участок C_2D_1 стены CD. Соответственно, не будут освещёнными участки C_1C_2, D_1D, и DB$_1$. Из подобия треугольников $A_1S_3A_2$ и $D_1S_3C_2$ найдем длину участка стены CD, освещённого светом от мнимого источника S_3:

$$C_2D_1 = \frac{3}{2}(c+b).$$

Таким образом, длина неосвещённого участка стен равна:

$$x = (a+b) - 2c - C_2D_1 = a - \left(\frac{b+7c}{2}\right) = 3{,}75 \text{ м}.$$

А площадь равна

$$S = Hx = 15 \text{ м}^2.$$

Критерии оценивания

Найдено первичное, изображение S_1 1
Найдено первичное, изображение S_2 1
Найдено вторичное, изображение S_3 1
Найдены участки, освещённые источником S_1 1
Найдены участки, освещённые источником S_2 1
Найдена длинна неосвещённого участка C_1C_2 2
Найдена длинна неосвещённого участка B_1D_1 2
Получен правильный ответ $S = 15$ м^2 1

10 класс

Задача 1. Льдинка с полостью

Объём, вытесняемый льдом с полостью равен

$$V = hS = V_п + V_л = V_п + \frac{m_л}{\rho_л},$$

где $V_л$ — объём льда, $m_л$ — его масса.

По закону Архимеда

$$(m_л + m_ш)g = \rho_в gV$$

или, учитывая, что $m_ш = m_л = m$,

$$2m = \rho_в hS.$$

Из этих уравнений следует

$$V_п = hS - \frac{m_л}{\rho_л} = hS - \frac{\rho_в hS/2}{\rho_л} = hS\left(1 - \frac{\rho_в}{2\rho_л}\right).$$

По закону Архимеда плавающий лёд вытесняет объём $(m_л + m_ш)/\rho_в$, а после таяния льда получившаяся вода и шарик вытесняют объём $(m_л/\rho_в + m_ш/\rho_ш)$. Так как $\rho_в < \rho_ш$ первый объём больше второго и уровень воды понизится. Разность этих объёмов равна $S\Delta h$:

$$\frac{m_ш}{\rho_в} - \frac{m_ш}{\rho_ш} = S\Delta h,$$

откуда с учётом соотношения $2m = \rho_в hS$ получаем, что уровень воды понизится на

$$\Delta h = \frac{m}{S}\left(\frac{1}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_ш}\right) = \frac{\rho_в hS/2}{S}\left(\frac{1}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_ш}\right) = \frac{h}{2}\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_ш}\right).$$

Критерии оценивания

Найден объём, вытесняемый льдом с полостью 2
Использован закон Архимеда (получено $2m = \rho_в hS$
или $(m_ш + m_в)g = \rho_в gV$) 2
С помощью предыдущих уравнений получено $V_п = hS(1 - \rho_в/(2\rho_л))$
или эквивалентное ему выражение 1
Указано, что уровень воды понизится 1
Найдена разность вытесняемых объёмов 2
Получен конечный ответ $\Delta h = h/2 \cdot (1 - \rho_в/\rho_ш)$ 2

Задача 2. Максимальная высота

Горизонтальная составляющая скорости камня

$$v_x = \sqrt{v_0^2 - (g\tau)^2}.$$

Перемещение по горизонтали $L = \tau v_x = \tau\sqrt{v_0^2 - (g\tau)^2}$.

Это уравнение можно преобразовать к биквадратному:

$$\tau^4 - \left(\frac{v_0}{g}\right)^2 \tau^2 + \left(\frac{L}{g}\right)^2 = 0,$$

корни которого: $\tau_1 = 2{,}0$ с, $\tau_2 = 1{,}5$ с.

Критерии оценивания

Получено выражение для $v_y = g\tau$ 1
Записана связь L и v_x 1
Указана связь $v_x^2 + v_y^2 = v_0^2$ 1
Выведено биквадратное уравнение 3

За каждый из корней уравнения по два балла:

$\tau_1 = 2{,}0$ с 2
$\tau_2 = 1{,}5$ с 2

Задача 3. На вираже (1)

Вся мощность двигателя идёт на преодоление сопротивления воздуха $F_\text{с}$, откуда $F_\text{с} = P/v$. Движет автомобиль действующая на колёса со стороны дороги сила трения $F_\text{тр}$. При равномерном движении $F_\text{тр} = F_\text{с}$, откуда для коэффициента трения получаем

$$\mu \geqslant \frac{F_\text{тр}}{mg} = \frac{F_\text{с}}{mg} = \frac{P}{mgv} \approx 0{,}07.$$

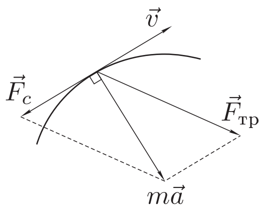


Рис. 10

Во втором случае автомобиль под действием тех же сил трения о дорогу и сопротивления воздуха (рис. 10) движется с ускорением $a = v^2/R$ (см. рис.). Из второго закона Ньютона $m\vec{a} = \vec{F}_\text{тр} + \vec{F}_\text{с}$ получаем $F_\text{тр} = \sqrt{F_\text{с}^2 + (ma)^2} = \sqrt{(P/v)^2 + (mv^2/R)^2}$ и

$$\mu \geqslant \frac{F_\text{тр}}{mg} = \frac{\sqrt{(P/v)^2 + (mv^2/R)^2}}{mg} \approx 0{,}19.$$

Критерии оценивания

Записано выражение для силы сопротивления воздуха $F_\text{с} = P/v$ 2
Записано выражение для силы трения $F_\text{тр} = F_\text{с}$ 1

Получено выражение для минимального коэффициента трения $\mu_\text{min} = P/(mgv)$ 1
Получено правильное числовое значение $\mu_\text{min} \approx 0{,}07$; $\mu > \mu_\text{min}$ 1
Записано выражение для центростремительного ускорения $a = v^2/R$ 1
Записано выражение для силы трения $F_\text{тр} = \sqrt{(ma)^2 + F_\text{с}^2}$ 2
Получено выражение для минимального коэффициента трения во втором случае $\mu_\text{min} = \sqrt{(mv^2/R)^2 + (P/v)^2}$ 1
Во втором случае получено правильное числовое значение $\mu_\text{min} \approx 0{,}19$; $\mu > \mu_\text{min}$ 1

Задача 4. Лампочки

По условию для лампы $U = kI^{5/3}$. В номинальном режиме $U_\text{н} = k(P_\text{н}/U_\text{н})^{5/3}$ откуда

$$k = \frac{U_\text{н}^{8/3}}{P_\text{н}^{5/3}}, \qquad k_1 = \frac{U_0^{8/3}}{P_1^{5/3}}, \quad k_2 = \frac{U_0^{8/3}}{P_2^{5/3}}, \qquad U_0 = 220 \text{ В}.$$

Отношение напряжений на лампах при последовательном соединении

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{k_2 I^{5/3}}{k_1 I^{5/3}} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{U_0^{8/3}/P_2^{5/3}}{U_0^{8/3}/P_1^{5/3}} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{5/3} = \left(\frac{40}{100}\right)^{5/3} = 0{,}4^{5/3} \approx 0{,}22.$$

Кроме того $U_1 + U_2 = U_0 = 220$ В. Из этих двух уравнений находим:

$$U_1 = \frac{U_0}{1 + (P_1/P_2)^{5/3}} = \frac{220}{1{,}22} \approx 181 \text{ В}.$$

Критерии оценивания

Записано выражение $U = kI^{5/3}$ или $I = k'U^{3/5}$ 1
Записан закон сохранения энергии $P = UI$ 1
Получено выражение $k = U_\text{н}^{8/3}/P_\text{н}^{5/3}$ или $k' = P_\text{н}/U_\text{н}^{8/5}$ 1
Найдено отношение напряжений $U_2/U_1 = (P_1/P_2)^{5/3}$ 3
Записан закон сложения напряжений $U_0 = U_1 + U_2$ 1
Получено выражение для падения напряжения U_1
Оно может быть записано в том числе в форме $U_1 = U_0/(1 + U_2/U_1)$ или $U_1 = U_0/(1 + (P_1/P_2)^{5/3})$ 2
Получен правильный числовой ответ $U_1 \approx 181$ В 1

Задача 5. Это что за газ?

Изменения внутренней энергии газа в двух процессах одинаковы, следовательно заданная в условии разность теплот равна работе газа в первом процессе. Эта работа равна площади под графиком процесса в координатах

PV (рис. 11), которую проще всего найти, как разность площадей двух треугольников:

$$A = \frac{1}{2}P_2V_2 - \frac{1}{2}P_1V_1 = \frac{1}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1) = \frac{1}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T.$$

Отсюда находим молярную массу газа:

$$\mu = m\frac{R\Delta T}{2A} = 100 \text{ г} \cdot \frac{8{,}31 \cdot 4}{2 \cdot 831} = 2 \text{ г}.$$

Искомый газ — водород.

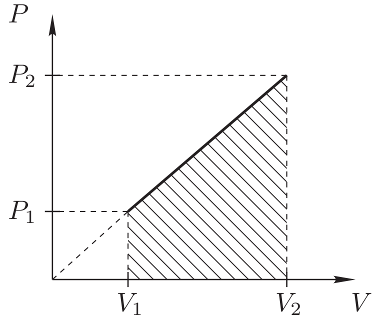


Рис. 11

Критерии оценивания

Записан первый закон термодинамики для изохорного процесса 1
Записан первый закон термодинамики для процесса
с прямой пропорциональностью давления и объёма 2
Выписана связь изменения температуры с начальными и конечными
значениями давления и объёма в процессе с $p \sim V$ 2
Разность подведённых теплот в двух процессах выражена
через изменение температуры газа 2
Определено количество газа или его молярная масса 2
Правильно указано, какой это газ 1

11 класс

Задача 1. Пустая бутылка

После того, как в бутылку налили m г воды, уровень воды в сосуде повысился на

$$\Delta h_1 = \frac{m}{\rho S}. \tag{2}$$

Когда бутылка утонула, в нее затекла вода и уровень воды понизился на

$$\Delta h_2 = \frac{V - m/\rho}{S}. \tag{3}$$

По условию, уровень воды изменился на Δh. Это может означать как то, что он повысился, так и то, что он понизился. Поэтому решений будет два.

При этом

$$\Delta h_1 - \Delta h_2 = \frac{2m}{\rho S} - \frac{V}{S} = \pm\Delta h. \tag{4}$$

Решением этого уравнения является

$$V = \frac{2m}{\rho} \pm S\Delta h; \tag{5}$$

$$V_1 = \frac{2m}{\rho} + S\Delta h, \quad V_1 = 750 \text{ мл};$$

$$V_2 = \frac{2m}{\rho} - S\Delta h, \quad V_2 = 450 \text{ мл}.$$

Критерии оценивания

Получено выражение для Δh_1 1
Получено выражение для Δh_2 2
Замечено, что возможно два решения 1
Получена формула (4). Отсутствие двойного знака не влияет на оценку 1
Получена формула (5). Отсутствие двойного знака не влияет на оценку 1
Найден V_1 2
Найден V_2 2

Задача 2. Заряженный конденсатор

1.) Начальный заряд на конденсаторе $q_0 = 3C\mathscr{E}$.

После замыкания ключа ток течет против ЭДС. Максимальной сила тока будет тогда, когда заряд на конденсаторе будет равен $q = C\mathscr{E}$. ЭДС совершит отрицательную работу. Запишем закон сохранения энергии:

$$(q - q_0)\mathscr{E} = \frac{q^2}{2C} - \frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI_{\max}^2}{2}, \tag{6}$$

откуда находим

$$I_{\max} = \mathscr{E}\sqrt{\frac{4C}{L}}.$$

2.) На конденсаторе заряда нет. Поэтому ЭДС совершает работу $A = -\mathscr{E}q_0$. Запишем закон сохранения энергии:

$$-\mathscr{E}q_0 = -\frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}. \tag{7}$$

Отсюда

$$I = \mathscr{E}\sqrt{\frac{3C}{L}}.$$

3.) Пусть против ЭДС протекает положительный заряд q и $I = 0$. Запишем закон сохранения энергии:

$$-\mathscr{E}q = \frac{(q_0 - q)^2}{2C} - \frac{q_0^2}{2C}. \tag{8}$$

Одно из решений $q = 0$ совпадает с начальным положением системы. Заряд на конденсаторе при этом равен $Q_1 = 3C\mathscr{E}$. Второе решение $q = 4C\mathscr{E}$ соответствует случаю, когда заряд на конденсаторе равен $Q_2 = q_0 - q = -C\mathscr{E}$. Знак заряда — противоположный начальному. То есть

$$Q_1 = 3C\mathscr{E}, \tag{9}$$

$$Q_2 = -C\mathscr{E}. \tag{10}$$

Критерии оценивания

Записан закон сохранения энергии (6) для начального момента времени и момента, когда сила тока максимальна 1
Получено выражения для $I_{\max}$ 2
Записан закон сохранения энергии (7) для начального момента времени и момента, когда заряд конденсатора нулевой 1
Получено выражение для I 2
Записан закон сохранения энергии (8) для начального момента времени и момента, когда сила тока в цепи равна нулю 1
Указано, что существует два ответа на третий пункт задачи 1
Получено выражение (9) для первого ответа на третий пункт задачи 1
Получено выражение (10) для второго ответа на третий пункт задачи 1

Задача 3. На вираже (2)

Сила трения, действующая на автомобиль на повороте, имеет две составляющие: тангенциальную $F_\tau = \alpha v$, компенсирующую сопротивление воздуха, и

нормальную $F_n = mv^2/R$, обеспечивающую центростремительное ускорение. Таким образом, сила трения, действующая на колеса, равна

$$F = \sqrt{\alpha^2 v^2 + \frac{m^2 v^4}{R^2}}. \tag{11}$$

Мгновенная мощность, развиваемая двигателем, равна

$$P = (\vec{F} \cdot \vec{v}) = F_\tau v = \alpha v^2. \tag{12}$$

Условие отсутствия проскальзывания:

$$F \leqslant \mu m g. \tag{13}$$

Используя это условие, получаем, что скорость автомобиля не может превышать значение

$$V_{\max} = \sqrt{\sqrt{\frac{1}{4}\frac{\alpha^4 R^4}{m^4} + \mu^2 R^2 g^2} - \frac{1}{2}\frac{\alpha^2 R^2}{m^2}}, \tag{14}$$

$$V_{\max} = 50 \text{ м/с}.$$

Если условие (13) выполнено, то скорость ограничивается только мощностью двигателя:

$$P \leqslant P_{\max}.$$

То есть

$$v \leqslant \sqrt{\frac{P_{\max}}{\alpha}} = v_{\max}. \tag{15}$$

График зависимости $v_{\max}(P_{\max})$ представлен на (рис. 12).

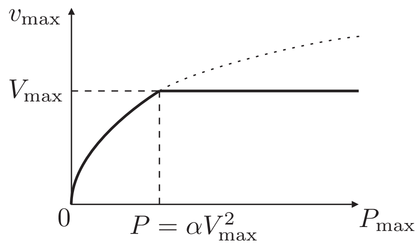


Рис. 12

Критерии оценивания

Получена формула (11) для силы трения, действующей на колёса 2
Записано выражение (12) для мощности, развиваемой двигателем 2
Записано условие отсутствия проскальзывания (13) 1

Получена формула (14) для максимальной скорости автомобиля 2
Записано условие (15) для ограничения
максимальной скорости мощностью двигателя 1
Построен график зависимости $v_{\max}(P_{\max})$ 2

Задача 4. "Левитация"

Пусть во время столкновения скорость пластины равнялась V, а скорость шарика – v. Из законов сохранения энергии и импульса следует соотношение:

$$MV = mv. \tag{16}$$

Промежуток времени между столкновениями равен промежутку времени, необходимому для того, чтобы скорость пластины поменяла знак. То есть $2V = gt$.

$$t = \frac{2V}{g}. \tag{17}$$

Это время должно быть равно времени, необходимому для того, чтобы шарик долетел до земли, отразился и вернулся обратно. То есть

$$H = v\left(\frac{t}{2}\right) + \frac{g}{2}\left(\frac{t}{2}\right)^2. \tag{18}$$

Решая систему из этих трех уравнений, получаем

$$gH = \frac{mv^2}{M}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{m}{M}\right) \simeq \frac{m}{M}v^2. \tag{19}$$

Поэтому

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{MgH}{2}. \tag{20}$$

Критерии оценивания

Получено соотношение (16) 1
Получена формула (17) для промежутка между двумя столкновениями 2
Записана формула, связывающая высоту H пластины над землёй
со временем между двумя столкновениями 2
Получена формула, эквивалентная формуле (19) 3
Определена кинетическая энергия шарика у поверхности земли 2

Задача 5. Влажный воздух

В цилиндре в начале процесса пар ненасыщенный (это следует из $\alpha > \gamma$)

Пусть p — начальное давление пара. Тогда βp — начальное давление сухого воздуха.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона для сухого воздуха:

$$\beta p\alpha V = \nu RT = p_1 V, \tag{21}$$

где $p_1 = \beta\alpha p$ — конечное давление сухого воздуха.

Из уравнения Менделеева - Клапейрона для пара

$$p\alpha V = \nu_1 RT; \quad p_2 V = \nu_2 RT. \tag{22}$$

$$k\nu_1 = \nu_1 - \nu_2, \tag{23}$$

где k — искомое отношение.

При этом, $p_1 + p_2 = \gamma(p + \beta p)$.

Решая эту систему уравнений, получаем

$$k = \frac{(\alpha - \gamma)(\beta + 1)}{\alpha}, \tag{24}$$

$$k = \frac{5}{8}.$$

Критерии оценивания

Записано уравнение Менделеева-Клапейрона для сухого воздуха 2
Записаны уравнения Менделеева-Клапейрона для пара 2
Получена формула, эквивалентная формуле (23) 1
Указана связь давлений 1
Получена формула (24) для искомого коэффициента k 3
Получен правильный числовой ответ 1

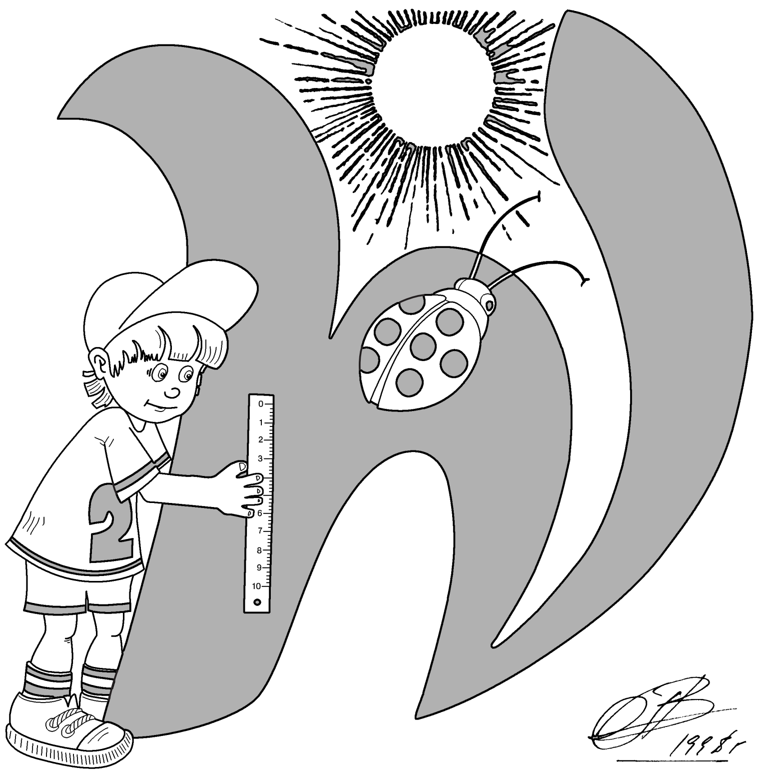
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

Олимпиада Максвелла

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2011/2012 уч.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**

Авторы задач

7 класс

1. Замятнин М.,
   Слободянин В.
2. Замятнин М.

8 класс

1. Фольклор
2. Замятнин М.

Общая редакция — Слободянин В.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\LaTeX\,2_\varepsilon$.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 22 января 2013 г. в 03:13.

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

7 класс

Задача 1. Гелевая ручка

Линию какой максимальной длины можно нарисовать с помощью гелевой ручки? Нажим на ручку при проведении линии должен быть «стандартным», как при обычном письме. Нарисуйте схему проведения эксперимента или опишите порядок ваших действий.

Примечание. После выполнения задания ручку с оставшимся гелем участник тура может забрать себе на память.

Оборудование. 2 листа чистой бумаги формата А4, две линейки с делениями длиной 30 см, гелевая ручка с новым стержнем, скотч и ножницы (по требованию).

Задача 2. Модель подвижного блока

Экспериментатор Глюк, наблюдая на стройке простые механизмы (рис. 1), решил дома смоделировать их работу...

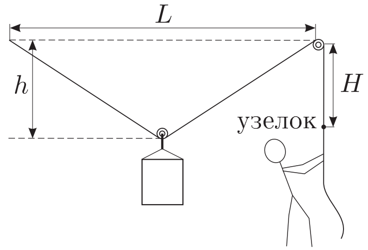


Рис. 1

Из скрепок, нити и груза (маленькая шоколадка) соберите на столе конструкцию, моделирующую работу подвижного блока (рис. 2). Исследуйте зависимость скорости v перемещения скрепки (подвижного блока) от скорости u перемещения метки У (например, узелка) на свободном конце нити.

Причечание 1: Скорости наблюдаемых материальных точек пропорциональны их перемещениям, за одинаковые интервалы времени, поэтому для сравнения скоростей v и u достаточно сравнить перемещения подвижной скрепки и узелка. Подвижная скрепка должна перемещаться вдоль пунктирной прямой. Заметим, что при постоянной скорости узелка скорость подвижной скрепки зависит от расстояния h.

Причечание 2: Слишком малые перемещения приведут к существенным относительным погрешностям, но и большие перемещения ведут к заметным ошибкам. Поэтому мы рекомендуем «пошагово» перемещать подвижную скрепку на фиксированные расстояния (1,0 – 2,0 см). Измерьте расстояние L и запишите его в отчёт.

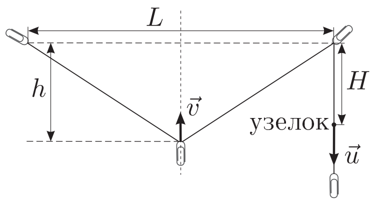


Рис. 2

Перемещайте узелок вдоль всей «высоты» листа бумаги. Результаты занесите в таблицу № 1.

№	H, см	h, см		
1				
...	...	...	...	...
10				

Постройте график зависимости (v/u) от h. В свободные столбцы справа вы можете заносить соответствующие скорости, точнее, пропорциональные им величины.

Найдите, при каком значении h скорости v и u одинаковы.

После проведения эксперимента вы можете съесть шоколадку или забрать её в качестве сувенира.

Оборудование. Три скрепки, груз (шоколадка «Алёнка» массой 15 г.), линейка длиной 30 см, нить длиной 1,5 – 2,0 м, лист бумаги формата А3, скотч и ножницы *(по требованию)*, миллиметровая бумага для построения графика.

8 класс

Задача 1. Центральный удар

Если с покоящейся монетой (мишенью) столкнется другая монета (ядро), то обе пройдут некоторое расстояние (рис. 3). Нас будет интересовать только такой удар, при котором обе монеты после столкновения движутся вдоль прямой по которой перемещалась налетающая монета. Обозначим путь, пройденный после столкновения монетой-ядром, символом L_1, а путь монеты-мишени – L_2. Предложите способ, в результате которого монете-ядру каждый раз сообщается примерно одинаковая кинетическая энергия. Опишите его. В последующем этим способом запускайте монету-ядро. Найдите отношение длин, которые проскользят монеты по горизонтальной поверхности бумаги после лобового (**центрального**) столкновения в случае, когда на покоящуюся легкую монету налетает более тяжелая. Выполните не менее 10 измерений. Результаты занесите в таблицу.

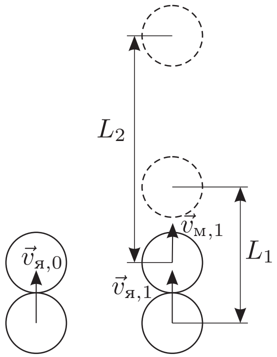


Рис. 3

№	L_1, см	L_2, см	L_2/L_1
1			
2			
...	...	...	...
10			

Усредните отношение L_2/L_1 и запишите в отчёт полученные значения.

Оборудование. Две монеты достоинством 10 коп и 50 коп, деревянная линейка 30 – 40 см, лист бумаги А3, кусок ткани (*используется как ловушка для монет*), скотч и ножницы (*выдаются по требованию*).

Задача 2. Модель подвижного блока

Экспериментатор Глюк, наблюдая на стройке простые механизмы (рис. 4), решил дома смоделировать их работу...

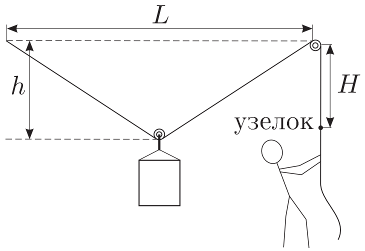


Рис. 4

Из скрепок, нити и груза (маленькая шоколадка) соберите на столе конструкцию, моделирующую работу подвижного блока (рис. 5). Исследуйте зависимость скорости v перемещения скрепки (подвижного блока) от скорости u перемещения метки У (например, узелка) на свободном конце нити.

Причечание 1: Скорости наблюдаемых материальных точек пропорциональны их перемещениям, за одинаковые интервалы времени, поэтому для сравнения скоростей v и u достаточно сравнить перемещения подвижной скрепки и узелка. Подвижная скрепка должна перемещаться вдоль пунктирной прямой. Заметим, что при постоянной скорости узелка скорость подвижной скрепки зависит от расстояния h.

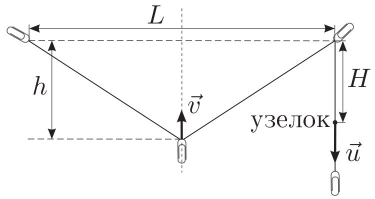


Рис. 5

Причечание 2: Слишком малые перемещения приведут к существенным относительным погрешностям, но и большие перемещения ведут к заметным ошибкам. Поэтому мы рекомендуем «пошагово» перемещать подвижную скрепку на фиксированные расстояния (1,0 – 2,0 см). Измерьте расстояние L и запишите его в отчёт.

Перемещайте узелок вдоль всей «высоты» листа бумаги. Результаты занесите в таблицу № 1.

№	H, см	h, см		
1				
...	...	...	...	...
10				

Постройте график зависимости (v/u) от h. В свободные столбцы справа вы можете заносить соответствующие скорости, точнее, пропорциональные им величины.

Найдите, при каком значении h скорости v и u одинаковы.

После проведения эксперимента вы можете съесть шоколадку или забрать её в качестве сувенира.

Оборудование. Три скрепки, груз (шоколадка «Алёнка» массой 15 г.), линейка длиной 30 см, нить длиной 1,5 – 2,0 м, лист бумаги формата А3, скотч и ножницы *(по требованию)*, миллиметровая бумага для построения графика.

Возможные решения
7 класс

Задача 1. Гелевая ручка

Измеряем уровень x чернил в ручке. Приклеиваем скотчем лист к столу и две линейки так, чтобы линейки располагались параллельно, а расстояние между ними было, например, $h = 20$ см (рис. 6). Проводим гелевой ручкой линию от одной линейки до другой и обратно. Повторяем эут операцию n раз (примерно 300–400). Снова измеряем уровень чернил в ручке — он изменился на у. Значит, ручкой можно провести линию длиной $L = 2(x/y)nh$.

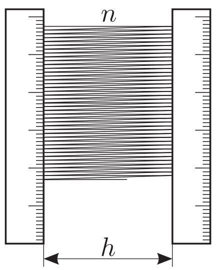


Рис. 6

Критерии оценивания

Описание метода 6

Точность полученного результата:

ошибка $\pm 30\%$ 4

ошибка -50% $+100\%$ 2

получен результат в интервале [100 м; 10 м] 1

Задача 2. Модель подвижного блока

Соберем установку, изображенную на втором рисунке (см. условие). Скрепки прикрепим к столу скотчем, чтобы обеспечить их неподвижность. Измеряем L. Прикрепим груз к одной из скрепок. На листе А3 начертим шкалу для измерения перемещений груза и блока-скрепки и подложим его под установку на стол и закрепим его скотчем. Начнем тянуть блок-скрепку вдоль линии, показанной на рисунке, перемещая груз. С шагом 1–2 см измеряем H и h и заносим их в таблицу №1. Проводим измерения h в интервале от 0 до $L/2$. Так как для малых перемещений v/u примерно равно $\Delta h/\Delta H$, строим таблицу №2 зависимости $\Delta h/\Delta H$ (т.е. v/u) от h. По ней строим график, из графика находим такое h, что $v/u = 1$ при этом h. Теоретически $h = \sqrt{3}L/2$.

Критерии оценивания

Измерение L 1

Способ измерение (описание или рисунок) h и H 1

В работе отмеченно, что узлы (неподвижные скрепки) и шкала измерений h и H (линейки или лист А3) жёстко закреплены, например, скотчем 1

Измерения проведенны с шагом 1–2 см 1

Количество измерений, занесённых в таблицу:

больше 10 2

больше 5, но не больше 10 1

График 2

Примечание: за предыдущий пункт ставиться только один балл, если оси на графике не подписаны или их нет, либо построен не тот график, что просили в условии.

Ответ отличается от значения $\sqrt{3}L/2$ не более, чем на 20% 2

Ответ отличается от значения $\sqrt{3}L/2$ больше, чем на 20%, но не более, чем на 30% 1

8 класс

Задача 1. Центральный удар

Необходимо сообщать монете-ядру одинаковую кинетическую энергию — приклеиваем скотчем линейку с одной стороны к краю стола. Между другой стороной линейки и столом вставляем ручку. Монета-ядро кладётся так, чтобы немного выступать за край стола, при резком вытаскивании ручки линейка стукает по столу и по выступающей монете, сообщая каждый раз одну и ту же скорость. Приклеиваем к столу лист бумаги, рисуем на нём положение монеты-мишени. После удара измеряем расстояния, пройдённые первой и второй монетой после столкновения. (Монеты не должны вылетать за край листа бумаги! У стола другой коэффицент трения.) Результаты 10 измерений заносим в таблицу, находим среднее отношение $L1/L2$.

Критерии оценивания

Описание способа сообщать монете одну и ту же энергию (скорость) 3
Описание способа измерения $L1$ и $L2$ 2
Таблица:
в таблице $\geqslant 10$ измерений 2
в таблице $\geqslant 5$ измерений 1
Среднее отклонение измерений от $L1/L2$ не более чем в два раза 1
Конечный ответ $7 \leqslant L1/L1 \leqslant 13$ 2

Задача 2. Модель подвижного блока

Соберем установку, изображенную на втором рисунке (см. условие). Скрепки прикрепим к столу скотчем, чтобы обеспечить их неподвижность. Измеряем L. Прикрепим груз к одной из скрепок. На листе А3 начертим шкалу для измерения перемещений груза и блока-скрепки и подложим его под установку на стол и закрепим его скотчем. Начнем тянуть блок-скрепку вдоль линии, показанной на рисунке, перемещая груз. С шагом 1–2 см измеряем H и h и заносим их в таблицу №1. Проводим измерения h в интервале от 0 до $L/2$. Так как для малых перемещений v/u примерно равно $\Delta h/\Delta H$, строим таблицу №2 зависимости $\Delta h/\Delta H$ (т.е. v/u) от h. По ней строим график, из графика находим такое h, что $v/u = 1$ при этом h. Теоретически $h = \sqrt{3}L/2$.

Критерии оценивания

Измерение L 1
Способ измерение (описание или рисунок) h и H 1
В работе отмеченно, что узлы (неподвижные скрепки) и шкала измерений h и H (линейки или лист А3) жёстко закреплены, например, скотчем 1
Измерения проведенны с шагом 1–2 см 1
Количество измерений, занесённых в таблицу:
больше 10 2
больше 5, но не больше 10 1

График 2
Примечание: за предыдущий пункт ставиться только один балл, если оси на графике не подписаны или их нет, либо построен не тот график, что просили в условии.
Ответ отличается от значения $\sqrt{3}L/2$ не более, чем на 20% 2
Ответ отличается от значения $\sqrt{3}L/2$ больше, чем на 20%, но не более, чем на 30% 1

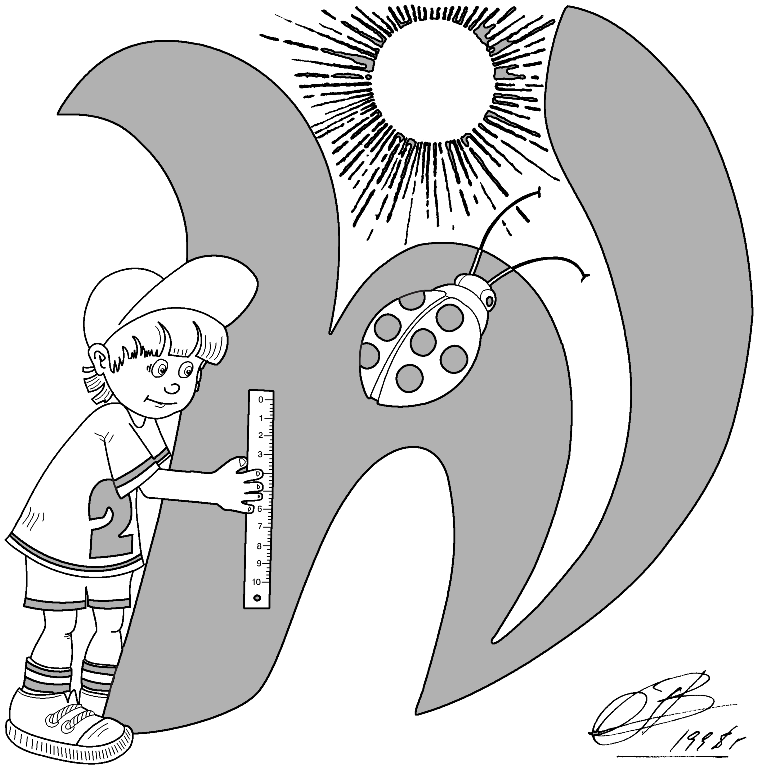
**Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников**

XLVI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2011/2012 уч.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**

Авторы задач

9 класс	10 класс	11 класс
1. Замятнин М.	1. Замятнин М.	1. Воробьёв И.
2. Фольклор	2. Меняйлов М., Слободсков И.	2. Фольклор

Общая редакция — Слободянин В.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\LaTeX\,2_\varepsilon$.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 22 января 2013 г. в 03:18.

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

9 класс

Задача 1. Звезда в сером ящике

Определите значения сопротивлений каждого из резисторов, находящихся в «сером» ящике. Поясните ход ваших измерений, приведите электрические схемы этих измерений и расчетные формулы. Результаты измерений занесите в таблицу.

Внимание! Вскрывать серые ящики запрещается.

Оборудование. Мультиметр, «серый» ящик с электрической цепью из резисторов, соединённых звездой с шестью лучами (рис. 1). От каждого из резисторов наружу из ящика сделан вывод тонким проводом (выводы пронумерованы).

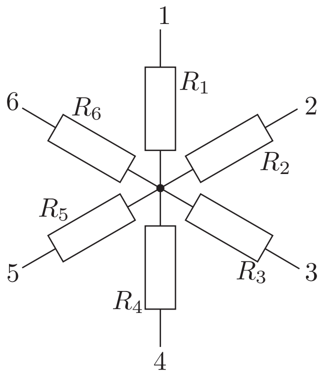


Рис. 1

Задача 2. Муаровы полосы

Лист бумаги с нанесённой на нём периодической структурой с периодом d_1 (чёрные полосы) аккуратно за уголки прикрепите скотчем к столешнице. На него наложите другой такой же лист, который находится в файле/мультифоре, так, чтобы чёрные полосы на обоих листах были параллельными. Период d_1 (ширина черной полосы + ширина белой полосы) одного рисунка несколько отличается от периода d_2 второго рисунка. Рассмотрите внимательно листы, сложенные вплотную. На них вы увидите муаровы полосы с периодом λ. Малый сдвиг верхнего листа по отношению к нижнему приводит к большому перемещению муаровых полос.

а) Определите отношение λ/d_1.

б) Определите отношение d_2/d_1.

в) Получите теоретическую формулу для разности периодов d_2 и d_1, выразив её через λ и d_1, и определите её значение в единицах d_1.

г) Если сложенные вплотную листы с периодической структурой повернуть один относительно другого на некоторый малый угол α, то муаровы полосы повернутся на значительно больший угол φ. Для 8–10 значений угла α определите угол φ. Результаты занесите в таблицу. Постройте график зависимости $\operatorname{tg}\varphi$ от α. Определите угловой коэффициент C этого графика.

д) Получите теоретическую формулу, связывающую углы α и φ.

Оборудование. Булавка, два листа формата А4 с нанесенной на них периодической структурой. Один из этих листов находится в файле/мультифоре. На обратных сторонах этого листа изображен транспортир.

Рекомендации организаторам.

Желательно один лист с периодической структурой напечатать на тонкой бумаге (плотность меньше, чем 80 г на квадратный метр) или на кальке или на прозрачной бумаге. В этом случае не требуется дополнительный источник света т.к. будет достаточно естественного освещения аудитории.

10 класс

Задача 1. Шестиугольник в сером ящике

Определите значения сопротивлений каждого из резисторов, содержащихся в «сером» ящике. Поясните ход ваших измерений, приведите электрические схемы этих измерений и расчетные формулы. Результаты измерений занесите в таблицу.

Внимание! Вскрывать серые ящики запрещается.

Оборудование. Мультиметр, «серый» ящик с электрической цепью из резисторов, соединённых в многоугольник с шестью углами (рис. 2). От каждого из углов наружу из ящика сделан вывод тонким проводом (выводы пронумерованы).

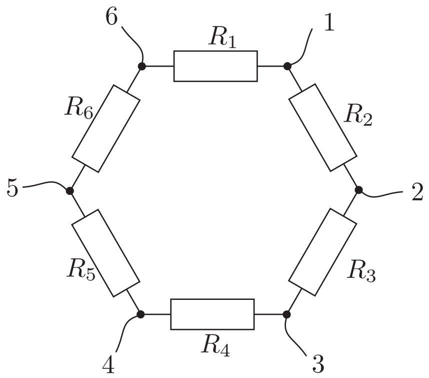


Рис. 2

Задача 2. Воздухоплавание

Надуйте воздушный шарик так, чтобы его «периметр» P стал примерно равен указанному организаторами. Отпустите шарик без начальной скорости с высоты $H \approx 2$ м (H – расстояние от зажима шарика до пола). Измерьте время падения и «периметр» P шарика. «Периметр» P шарика измеряйте лентой вдоль границ максимального сечения, перпендикулярного направлению движения шарика при его падении. Повторите опыт не менее трёх раз. Результаты усредните и занесите в таблицу 1. Проделайте аналогичные опыты для разных P (не менее 10 значений). Время падения шарика зависит от «периметра»: $t \sim P^{\alpha}$, где α может принимать одно из двух значений: 1; 2.

Найдите α. Для этого постройте 2 графика зависимости времени падения t шарика от его «периметра» P: $t \sim P$, $t \sim P^2$. Выбор α делайте анализируя графики.

Таблица 1

№	P, см	P^2, см^2	t, с
1			
2			
...	...	...	...
10			

Оборудование. Резиновый воздушный шарик, три канцелярские скрепки, измерительная лента длиной 1 м, нить длиной 2,5 м, секундомер, миллиметровая бумага для посторения графиков.

11 класс

Задача 1. Формула Эйлера

Используя предложенное оборудование, определите для разных углов φ отношение натяжения нити T справа от скрепки к натяжению T_0 слева от неё (рис. 3). Обозначьте это отношение символом y ($y = T/T_0$). Проведите серию измерений и постройте график зависимости $y(\varphi)$, выразив φ в радианах. Подумайте, в каких координатах график будет наиболее удобен для определения коэффициент трения μ между нитью и скрепкой. Найдите μ. Оцените погрешность измерения.

Теоретическая подсказка: при «охвате» скрепки (круглой проволоки) нитью на угол φ силы натяжения нити по разные стороны скрепки отличаются в $e^{\mu\varphi}$ раз (формула Эйлера), где μ – коэффициент трения.

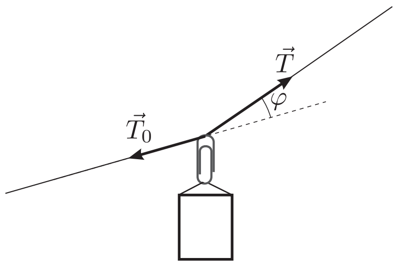


Рис. 3

Экспериментальная подсказка: К краю стола прикрепите лист формата А3 так, чтобы он принял вертикальное положение. Груз можно привязать к скрепке с помощью другой нити. На краю стола вблизи углов листа прикрепите скотчем выступающие за край стола большие скрепки (или толстые куски проволоки или трубки, например, для коктейлей). На них крепится нить такой длины, чтобы скрепка, висящая на ней, оставалась «в пределах листа». Нить впоследствии можно укорачивать, наматывая ее на скрепки (трубочки/проволочки). Для данной длины нити существует два устойчивых положения подвижной скрепки (слева и справа). Измерения для этих положений можно усреднить. Возможны и другие способы проведения эксперимента. Например, можно прикрепить нить к одной скрепке, а положение другого конца нити регулировать рукой.

Оборудование. Нить длиной 1,5 – 2 м, одна маленькая скрепка, две большие скрепки или толстые куски проволоки или трубки, например, для коктейлей, шоколадка «Алёнка» массой 15 г (грузик), скотч и ножницы (*по требованию*), транспортир с делениями в 1°, лист А3, миллиметровая бумага для построения графиков.

Задача 2. Частично упругий удар

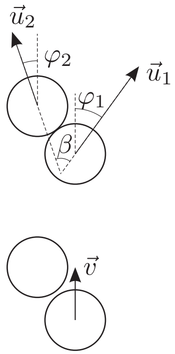


Рис. 4

Изучите столкновение монет, одна из которых до удара покоилась (мишень). Предложите способ, в результате которого монете-ядру каждый раз сообщается примерно одинаковая кинетическая энергия. Опишите его. В последующем, этим способом запускайте монету-ядро.

1. Найдите долю энергии, которая теряется при центральном ударе (удар частично упругий). Для этого выведите теоретическую формулу для $\Delta E/E_0$, где E_0 – энергия налетающей монеты, ΔE – потеря энергии при ударе.

Примечание: Удар монет называется центральным, если после него монеты движутся вдоль прямой, по которой двигалась монета-ядро.

Занесите ваши экспериментальные данные в таблицу 1 (должно быть исследовано не менее 10 столкновений).

2. Найдите отношение кинетических энергий монет после нецентрального удара. Заполните таблицу 2.

Таблица 2

№	φ_1	φ_2	E_1	E_2	F
1					
2					
...	...	...	...	...	...

Здесь E_1 и E_2 — кинетические энергии монеты-ядра и монеты-мишени в относительных еденицах, $F = \dfrac{E_1 \sin^2 \varphi_1}{E_2 \sin^2 \varphi_2}$.

3. Найдите угол β «разлета» монет при условии, что после удара им достаются примерно одинаковые доли первоначальной кинетической энергии (рис. 4). Проведите не менее 10 измерений. Запишите полученные значения углов β. Результат усредните.

Оборудование. Две одинаковые монеты (желательно большого диаметра, например, 50 копеек), лист бумаги А3, скотч и ножницы (*по требованию*), деревянная линейка 30 - 40 см, транспортир, кусок ткани (ловушка для монет).

Линейка выполняет две функции: она используется для «щелчков» по монете, лежащей на краю стола и немного выступающей за край стола, и для измерений расстояний.

Возможные решения
9 класс

Задача 1. Звезда в сером ящике

Решение 1.

В данной задаче достаточно просто перебрать все попарно возможные выходы омметром или, по крайней мере, шесть различных комбинаций. Так как количество независимых уравнений равно или больше количества неизвестных, и система уравнений линейна, то она разрешима. При таком варианте решения, результаты прямых измерений должны выглядеть примерно так

Сопротивление между выводами i и j	1	2	3	4	5	6
1	—	500	500	1000	1500	1000
2		—	1000	1500	2000	1500
3			—	1500	2000	1500
4				—	2500	2000
5					—	2500
6						—

Здесь на пересечение, например, 3 строки и 4 столбца записано сопротивление между выводами 3 и 4, измеренное омметром, выраженное в оммах.

Можно также заметить, что система из шести уравнений разбивается на две независимые подсистемы по три уравнения — сопротивления между выводами: 1) 1 и 2, 2 и 3, 1 и 3; 2) 4 и 5, 5 и 6, 6 и 4.

Таким образом, достаточно было провести измерения, соответствующие таблице

Сопротивление между выводами i и j	1	2	3	4	5	6
1	—	500	500			
2		—	1000			
3			—	1500	2000	1500
4				—	2500	2000
5					—	2500
6						—

Решив первую, получим

$$R_1 = 0 \text{ Ом}, \qquad R_2 = R_3 = 500 \text{ Ом}.$$

Аналогично решив вторую, получим

$$R_4 = R_6 = 1000 \text{ Ом}, \qquad R_5 = 1500 \text{ Ом}.$$

Решение 2. Второе решение состоит в том, что по комбинации выводов 1–2 и 2–3 можно сделать вывод, что $R_2 = R_3$. А из комбинации 2–3 и того факта, что $R_{12}+R_{13} = R_{23}$ следует, что $R_1 = 0$. Далее, померив все остальные выводы в комбинации с выводом один, получаем все значения сопротивлений.

Рекомендации организаторам

Для того, чтобы второе решение можно было легко увидеть, сопротивления K2 и K3 действительно должны быт При оценке работ следует исходить из тех установок, которые собраны у вас — имеет смысл составить таблицу с номером установки и значением всех сопротивлений.

Критерии оценивания

Каждое прямое измерение пары выводов (не более 5 баллов) 0,5

Решение в виде линейной системы уравнений, или же измерение всех остальных через вывод номер 1 (решения 1 и 2 сответственно) 4

Каждое полученное сопротивление, с погрешностью не более 5% (всего 6 баллов) 1

Каждое полученное сопротивление, с погрешностью большей, чем 5%, но не более 10% 0,5

Примечание. Школьник может замкнуть некоторые провода при измерении, но это не принесет особой пользы. Тем не менее, при оценке стоит исходить из тех же соображений — за каждое независимое измерение — 1 балл, за систему *независимых* уравнений (какие бы они ни были) — 3 балла, и те же баллы за численные результаты.

Задача 2. Муаровы полосы

Периоды решеток должны быть 1,94 мм и 2,04 мм соответственно, а разница 0,1 мм.

1. Для определения λ/d_1 достаточно просто посчитать количество маленьких белых полос (или черных) от одного минимума яркости до другого. Если посчитать это число для трех-четырех больших максимумов, то можно получить довольно точное значение $\lambda/d_1 \approx 20{,}5$.

2. Период интенсивности сетки Муара, вычисляется по формуле

$$\lambda = d_1 \frac{d_2}{\Delta d},$$

которая может быть получена из того соображения, что каждый раз толстая полоса наслаивается на Δd на следующую маленькую полосу. Таким образом, минимум яркости будет тогда, когда большая полоса закроет маленькую точно также, то есть через $d_1/\Delta d$ толстых полос. Ширина толстой полосы, в свою очередь, d_2, откуда и получаем формулу для периода. Считая $\Delta d = d_2 - d_1$, получим

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{1 - \dfrac{d_1}{\lambda}} \approx \left(1 + \frac{d_1}{\lambda}\right).$$

Отношение это, однако, может быть получено путем простого совмещения тонких и толстых полос, и подсчетом их количества на одну и ту же единицу длины. Реальное значение $\approx 1{,}05$.

3. Чтобы найти Δd, можно воспользоваться формулами

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \frac{d_2}{d_1} - 1$$

и

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\lambda}{\lambda - d_1},$$

откуда

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \frac{\lambda}{\lambda - d_1} - 1.$$

Численное значение $\approx 0{,}05$.

4. Выстроим листы ровно, так, чтобы сетка Муара была перпендикулярна длинам листов. Сдвинем их вдоль так, чтобы край полосы (или центр) приходился на нашу точку, которую мы проткнем булавкой. Таким образом, при повороте, сдвигая 0 транспортира ЗА приклееный лист, с одной стороны, можно померить малый угол α по границе листа, а с другой - большой угол φ, по границе(или центру) выбранной полосы. Отметим, что на самом деле, так как лист с мультифорой двигался — а значит, двигался и транспортир, то угол, который мы получаем при прямых измерениях — $\varphi - \alpha$. Снимаем данные и строим график, значение углового коэффициента которого $C = 14$ рад$^{-1}$.

Отметим, что из теории

$$\operatorname{tg}\varphi = (\lambda\, a)/d. \tag{1}$$

Примечание. Значения d_1, d_2, получаемые экспериментально, могут быть объективно меньше заявленных, так как при печати большинство принтеров оставляют поля, сжимая при этом изображение.

Критерии оценивания

Метод определения λ/d_1	1
Численное значение λ/d_1	1
Метод определения d_2/d_1 (любой из предложенных)	1
Численное значение d_2/d_1	1
Формула для пункта в)	1
Численный результат в пункте в)	1
Описан метод измерения углов φ и α	1
Учтён сдвиг $\varphi - \alpha$	1
Прямые измерения в количестве от 8 до 10	2
Прямые измерения в количестве от 5 до 8	1
График $\operatorname{tg}\varphi(\alpha)$	2
Числовое значение коэффициента наклона	1
Теоретическая формула (1)	2

10 класс

Задача 1. Шестиугольник в сером ящике

Измерив омметром сопротивления между соседними выходами (R_{12} между выводами 1–2, …, R_{61} между выводами 6–1), можно заметить, что сопротивление $R_{12} \ll R_{23},\ldots,R_{61}$, значит, можно пренебречь влиянием остальной схемы и считтть, что $R_{12} = R_2 = 0$ (с точностью в несколько Ом).

Зная сопротивления $R_{12},\ldots,R_{61}$ можно рассчитать все искомые сопротивления $R_1,\ldots,R_6$, однако, для этого придётся численно решать систему из шести уравнений. Рациональнее упростить схему, соединив некоторые выводы между собой. Например, можно действовать таким образом:

1. Соединим выводы 1 и 4 и будем исследовать треугольник из резисторов R_1, R_5, R_6.
2. Соединим выводы 1 и 6 (рис. 5), и измерим сопротивление между выводами 5 и 6 $r_a = \left(R_6^{-1} + R_5^{-1}\right)^{-1}$.
3. Аналогично измерим сопротивление $r_b = \left(R_5^{-1} + R_1^{-1}\right)^{-1}$ (рис. 6) и сопротивление $r_c = \left(R_1^{-1} + R_6^{-1}\right)^{-1}$ (рис. 7).

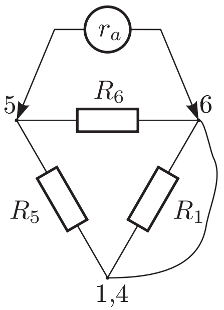


Рис. 5

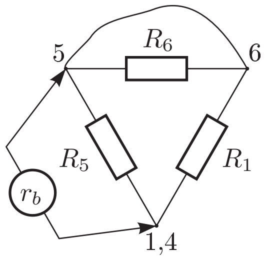


Рис. 6

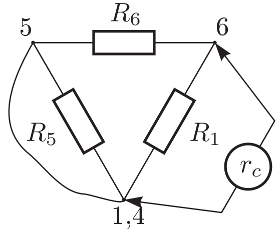


Рис. 7

4. Выразим неизвестные значения R_1, R_5 и R_6 через известные r_a, r_b и r_c:

$$\begin{cases} R_6^{-1} + R_5^{-1} = r_a^{-1} = a, \\ R_5^{-1} + R_1^{-1} = r_b^{-1} = b, \\ R_1^{-1} + R_6^{-1} = r_c^{-1} = c; \end{cases} \qquad \text{откуда,} \qquad \begin{cases} R_1 = \dfrac{2}{b+c-a}, \\ R_5 = \dfrac{2}{a+b-c}, \\ R_6 = \dfrac{2}{c+a-b}. \end{cases}$$

Осталось найти сопротивления R_3 и R_4, что можно легко сделать, соединив каждое из них параллельно с резистором известного ненулевого сопротивления. Полученные значения сопротивлений находятся в следующем отношении:

$$R_1 : R_2 : R_3 : R_4 : R_5 : R_6 = 1 : 0 : 1 : 2 : 1 : 2.$$

Примечание. Приведённое решение является лишь одним из многих возможных.

Критерии оценивания

Показано, что $R_2 = 0$ (с точностью в несколько Ом) 2,5

Предложен метод, принципиально позволяющий определить искомые величины (даже если метод предполагает решение системы из 6 уравнений и сама система не решена, но записана, метод всё же оценивается) 4

Приведены результаты измерений, требующихся для выбранного метода (измерений не меньше, чем искомых величин) 6

Найдены значения сопротивлений R_1, $R_3,\ldots,R_6$ (по 1,5 баллу за каждое верное значение) 7,5

Задача 2. Воздухоплавание

Привязываем к одному концу нити скрепку и от неё отмеряем вдоль нити 2 м. К другому концу нити привязываем скрепку. Мы получили эталон длины. Надуваем шарик до $P_{\max}$. Проводим точное измерение периметра. Проводим три броска, измеряя соответствующее время падения. Бросаем без начальной скорости. Результаты усредняем и заносим в таблицу.

Немного сдуваем шарик и повторяем эксперимент три раза. Вновь усредняем полученные значения и заносим их в таблицу. Проводим ещё восемь серий измерений при разных значениях P.

Строим два графика: $t(P)$ и $t(P^2)$.

Результаты наших измерений:

Таблица 2

№	P, см	P^2, см^2	t, с
1	97,5	9506	2,06
2	86	7396	1,82
3	75	5625	1,52
4	71	5054	1,39
5	52	2704	1,26
6	45	2025	1,03
7	30	900	0,92
8	24	576	0,72

Критерии оценивания

Заполнена таблица 2 (не менее 8 измерений) 5

от 6 до 7 измерений 3

меньше 6 измерений 1

Построен график $t(P)$ 2

Построен график $t(P^2)$ 2

Вывод 1

Примечание 1. При построении графика в логарифмическом масштабе $\alpha = 1{,}3$, то есть ближе к 1 чем к 2, но результат может зависеть от формы шарика. Мы рекомендуем провести самостоятельные измерения.

Примечание 2. Спрямлённые графики должны пересекать ось времени в окрестности точки $t_0 = \sqrt{2H/g} \approx 0{,}6$ с. При отклонении от этой точки больше, чем на 30%, оценка уменьшается вдвое.

11 класс

Задача 1. Формула Эйлера

Из условия равновесия (равенства проекций сил на горизонтальную ось x) получим:

$$T_1 \cos\alpha_1 = T_2 \cos\alpha_2.$$

И используя формулу Эйлера $T_1 = T_2 e^{\mu\theta}$. Объединив эти формулы, получим связь коэффициента трения и углов:

$$\mu = \ln \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2} \cdot \theta^{-1}.$$

Экспериментальные данные:

Таблица №1				
№	θ	α_1	α_2	μ
1	89	53	37	0,18
2	88	52	36	0,18
3	83	50	33	0,18
4	83	53	30	0,25
5	76	48	28	0,21
6	77	50	27	0,24
7	68	44	24	0,2
8	69	46	23	0,23
9	61	43	18	0,25
10	62	43	19	0,24
11	49	36	13	0,22
12	50	38	12	0,25
13	34	29	5	0,22
14	39	35	4	0,29
среднее				0,22

Получившееся значение $\mu = 0{,}22 \pm 0{,}01$.

Выполним контрольный эксперимент: натянем нить так, что она под весом скрепки с грузом практически не будет провисать. Тогда $\mu \approx \tan\alpha$.

Критерии оценивания

Указано, что $y = \cos\alpha / \cos\beta$ 1

Выражен коэффициент трения μ через коэффициент углового наклона графика $\ln(y)$ от θ 1

Описание метода измерений 1

Проведено $14 \div 20$ измерениями 4

Проведено $10 \div 14$ *измерениями — 3 балла*

Построен график 1

Выбраны оси $\ln(y)$ и φ 2

Получено верное значение коэффициента трения μ 2
Оценены погрешности 2
Предложен альтернативный метод для нахождения коэффициента трения для проверки значения μ (нить сильно натянута, при этом $\mu = \operatorname{tg}\alpha$) 1

Задача 2. Частично упругий удар

1. Закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + \Delta E, \tag{2}$$

где v_0 — скорость налетающей монеты, v_1 — её скорость после столкновения, v_2 — скорость монеты-мишени.

Закон сохранения импульса: $mv_0 = mv_1 + mv_2$.

Их совместное решение даёт:

$$\Delta E = mv_1v_2. \tag{3}$$

Введём обозначение:

$$k = v_1/v_2 = \sqrt{E_1/E_2}. \tag{4}$$

Из (2), (3) и (4) находим:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{2k}{1 + 2k + k^2}. \tag{5}$$

После соударения монет их кинетические энергии будут уменьшаться за счёт сил трения. В результате: $E_1 = \mu mgL_1$, где μ — коэффициент трения, L_1 — длина тормозного пути первой монеты. Аналогичное выражение справедливо и для второй монеты. Отсюда $k = \sqrt{L_1/L_2}$.

Таблица №1

№	L_1, мм	L_2, см	L_1/L_2, 10^{-3}
1	2,75	12,1	22,7
2	4,75	19,3	24,6
3	3,75	13,0	28,8
4	8,75	32,5	26,9
5	6,00	24,0	25,0
6	3,75	11,2	33,5
7	9,00	20,5	43,9
8	8,50	21,0	40,5
9	17,0	32,5	52,3
10	4,00	18,0	22,2
Среднее			32,0

Получим значение $L_1/L_2 = (32{,}0 \pm 3{,}0) \cdot 10^{-3}$.

Окончательно: $\dfrac{\Delta E}{E_0} = 0{,}26 \pm 0{,}03$.

2. Если записать закон сохранения импульса (при столкновении) и воспользоваться теоремой синусов, то получится:

$$F = \frac{E_1 \sin^2\varphi_1}{E_2 \sin^2\varphi_2} = 1.$$

Таблица №2

№ п.п.	φ_1	φ_2	E_1 (относит. единицы)	E_2 (относит. единицы)	E_1/E_2	F
1	20	65	1,8	17,7	0,102	1,4
2	23	57	1,7	8,8	0,193	1,12
3	25	56	4	15,2	0,263	0,99
4	30	49	4,1	12,1	0,339	1,29
5	35	40	14,8	8	0,822	0,97
6	35	41	19,7	25	0,788	0,97
7	38	9	32,5	2,7	12,04	1,29
8	39	32	22,2	19,7	1,127	1,25
9	40	35	4	5,5	0,727	1,73

(Отличие экспериментальных результатов от 1, на наш взгляд, объясняется вращением монет после столкновения.)

Критерии оценивания

Первая часть

Приведены описания экпериментальной установки и метода запуска монет . 2
Запись закона сохранения энергии 1
Запись закона сохранения импульса 1
Получение выражение для $\Delta E/E_0$ 2
Проведено 10 и более измерений 2

Проведено $7 \div 9$ измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов

Вторая часть

Проведено 10 и более измерений 2

Проведено $7 \div 9$ измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов

Приведены выражения для E_1 и E_2 в относительных единицах (по 1 баллу) . 2
Вычислены значения F и занесены в таблицу (учитываются только значения F в интервале $(0{,}8 < F < 2)$) 2

Третья часть

Найдено среднее значение угла β 1