

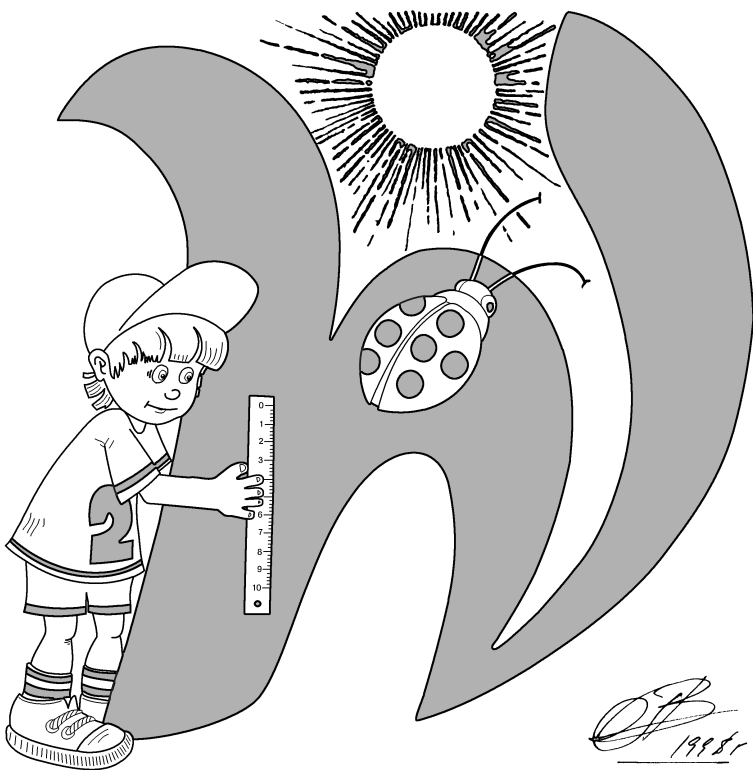
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

# 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](mailto:physolymp@gmail.com)

## Авторы задач

### 9 класс

1. Мельниковский Л.
2. Шеронов А.
3. Александров Д.
4. Бабинцев В.
5. Воронов А.

### 10 класс

1. Шеронов А.
2. Слободянин В.
3. Чивилёв В.
4. Варламов С.
5. Александров Д.

### 11 класс

1. Шеронов А.
2. Шеронов А.
3. Аполонский А.
4. Осин М.
5. Шеронов А.

Общая редакция — Кóзел С., Слободянин В.

При подготовке оригинал-макета  
использовалась издательская система  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$ .  
© 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  $\rho_{\text{л}}$ . После того, как лёд растаял, уровень воды в сосуде уменьшился на  $h$ . Найдите:

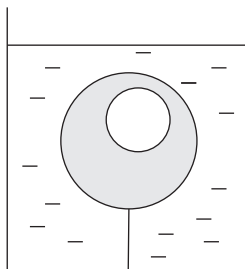


Рис. 1

- 1) объем  $V_{\text{п}}$  воздушной полости;
- 2) силу  $T$  натяжения нити в начале опыта.

*Примечание.* Плотность воды  $\rho_{\text{в}}$  и ускорение свободного падения  $g$  считайте известными.

**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  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**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  $d = 10,5 \text{ г/см}^3$ , а удельное сопротивление  $\rho = 1,49 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .



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  $a \times b \times H = 9 \text{ м} \times 3,5 \text{ м} \times 4,0 \text{ м}$  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?

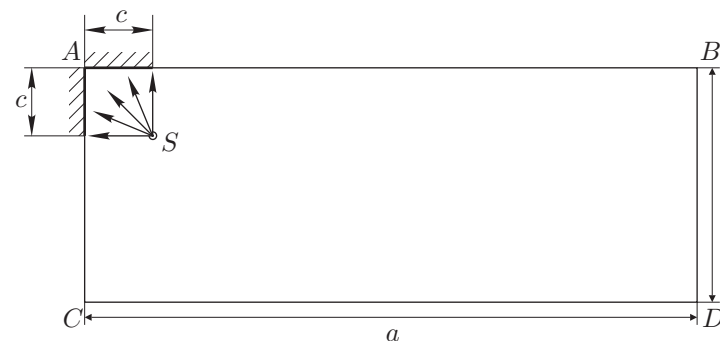


Рис. 3

## 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  $V_{\text{п}}$  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 —  $\rho_{\text{в}}$ , плотность льда —  $\rho_{\text{л}}$ , плотность алюминия —  $\rho_{\text{ш}}$ , ускорение свободного падения —  $g$ .

**Задача 2. Максимальная высота**

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

**Задача 3. На выраже (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<sup>2</sup>.

**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  $4^\circ\text{C}$  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 цилиндрическом сосуде с водой. Площадь дна сосуда  $S = 250 \text{ см}^2$ . Из чайника в бутылку медленно наливают воду и, когда масса воды достигает  $m = 300 \text{ г}$ , бутылка начинает тонуть. Оказалось, что, когда весь воздух из бутылки вышел, уровень воды в сосуде изменился на  $\Delta h = 0,60 \text{ см}$  по сравнению с тем моментом, когда в бутылку начали наливать воду. Вычислите вместимость бутылки  $V$ .

Плотность воды  $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$ .

**Задача 2. Заряженный конденсатор**

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

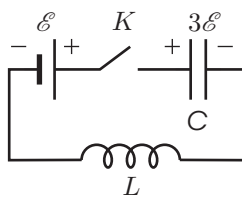


Рис. 4

Все элементы можно считать идеальными.

**Задача 3. На вираже (2)**

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

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

**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.

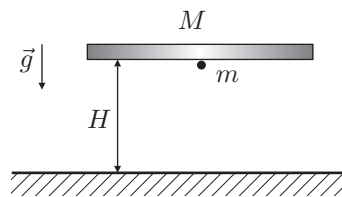


Рис. 5

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

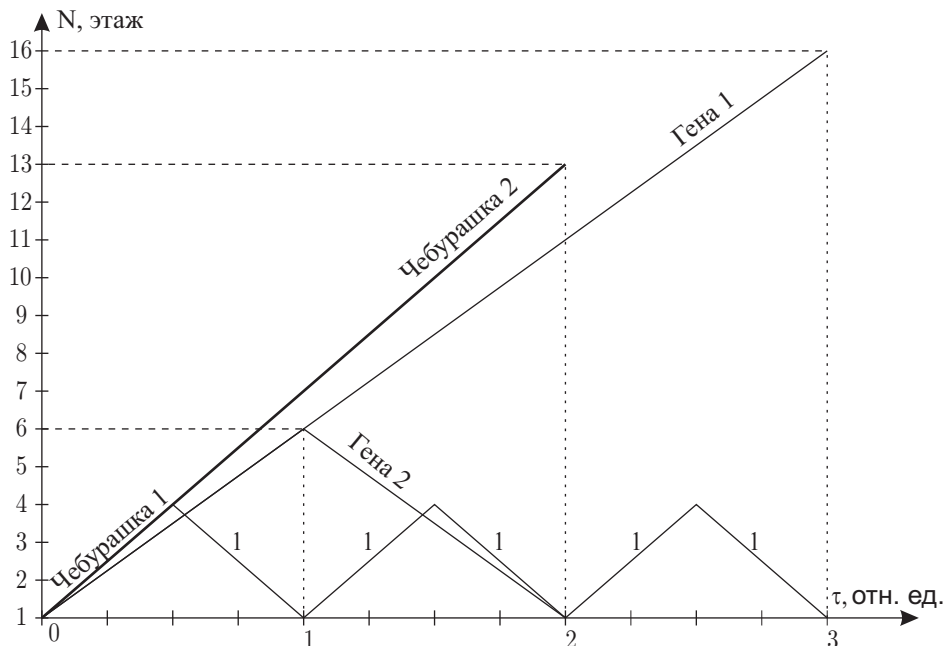


Рис. 6

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 М-го этажа (М - номер искомого этажа), не забывая о том, что Чебурашка и Гена бегают с постоянными скоростями (рис. 6).

Получаем, что искомым этаж — 13-й.

### Критерии оценивания

Описана идея построения 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  $V_{в}$  — 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:

$$T = F_{А} - \rho_{л}V_{л}g. \tag{1}$$

По закону Архимеда  $F_{А} = \rho_{в}Vg$ , объем льда  $V_{л} = V - V_{п}$ , так что, подставляя найденный ранее объём  $V_{п}$  в формулу (1), получим:

$$T = \rho_{в}gSh.$$

### 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 Т.....	2

**Задача 3. Камень**

Проекция начальной скорости на горизонтальную ось:

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

Из курса геометрии известно, что катет, прилежащий к углу  $\varphi = 60^\circ$ , вдвое меньше гипотенузы. Отсюда мы заключаем, что через время  $\Delta t$  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 $\Delta t$ будет горизонтальной.....	4
Выражена вертикальная 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 перемещения 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.

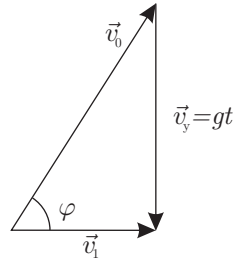


Рис. 7

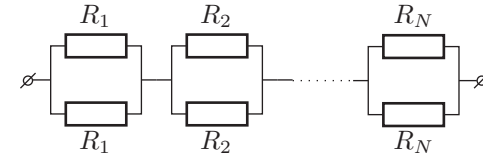


Рис. 8

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

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

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:

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

Выражая  $S$  из формулы для массы цепочки, получаем:

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

Длина цепочки  $L$  складывается из диаметров колец:

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

*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  $BD$  длиной  $c$ .

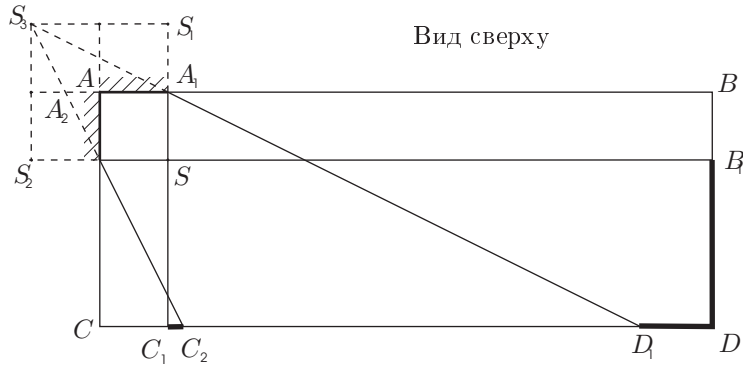


Рис. 9

Источник  $S_3$  освещает участок  $C_2D_1$  стены  $CD$ . Соответственно, не будут освещены 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  $CD$ , освещенного светом от мнимого источника  $S_3$ :

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

Таким образом, длина неосвещенного 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, освещенные источником $S_1$ .....	1
Найдены участки, освещенные источником $S_2$ .....	1
Найдена длина неосвещенного участка $C_1C_2$ .....	2
Найдена длина неосвещенного участка $B_1D_1$ .....	2
Получен правильный ответ $S = 15 \text{ м}^2$ .....	1

**10 класс**

**Задача 1. Льдинка с полостью**

Объём, вытесняемый льдом с полостью равен

$$V = hS = V_{\text{п}} + V_{\text{л}} = V_{\text{п}} + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}},$$

где  $V_{\text{л}}$  — объём льда,  $m_{\text{л}}$  — его масса.

По закону Архимеда

$$(m_{\text{л}} + m_{\text{ш}})g = \rho_{\text{в}}gV$$

или, учитывая, что  $m_{\text{ш}} = m_{\text{л}} = m$ ,

$$2m = \rho_{\text{в}}hS.$$

Из этих уравнений следует

$$V_{\text{п}} = hS - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} = hS - \frac{\rho_{\text{в}}hS/2}{\rho_{\text{л}}} = hS \left(1 - \frac{\rho_{\text{в}}}{2\rho_{\text{л}}}\right).$$

По закону Архимеда плавающий лёд вытесняет объём  $(m_{\text{л}} + m_{\text{ш}})/\rho_{\text{в}}$ , а после таяния льда получившаяся вода и шарик вытесняют объём  $(m_{\text{л}}/\rho_{\text{в}} + m_{\text{ш}}/\rho_{\text{ш}})$ . Так как  $\rho_{\text{в}} < \rho_{\text{ш}}$  первый объём больше второго и уровень воды понизится. Разность этих объёмов равна  $S\Delta h$ :

$$\frac{m_{\text{ш}}}{\rho_{\text{в}}} - \frac{m_{\text{ш}}}{\rho_{\text{ш}}} = S\Delta h,$$

откуда с учётом соотношения  $2m = \rho_{\text{в}}hS$  получаем, что уровень воды понизится на

$$\Delta h = \frac{m}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}} - \frac{1}{\rho_{\text{ш}}}\right) = \frac{\rho_{\text{в}}hS/2}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}} - \frac{1}{\rho_{\text{ш}}}\right) = \frac{h}{2} \left(1 - \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{ш}}}\right).$$

*Критерии оценивания*

Найден объём, вытесняемый льдом с полостью .....	2
Использован закон Архимеда (получено $2m = \rho_{\text{в}}hS$ или $(m_{\text{ш}} + m_{\text{л}})g = \rho_{\text{в}}gV$ ) .....	2
С помощью предыдущих уравнений получено $V_{\text{п}} = hS(1 - \rho_{\text{в}}/(2\rho_{\text{л}}))$ или эквивалентное ему выражение .....	1
Указано, что уровень воды понизится .....	1
Найдена разность вытесняемых объёмов .....	2
Получен конечный ответ $\Delta h = h/2 \cdot (1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{ш}})$ .....	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 выраже (1)**

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

$$\mu \geq \frac{F_{тр}}{mg} = \frac{F_c}{mg} = \frac{P}{mgv} \approx 0,07.$$

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  $m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + \vec{F}_c$  получаем  $F_{тр} = \sqrt{F_c^2 + (ma)^2} = \sqrt{(P/v)^2 + (mv^2/R)^2}$  и

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

*Критерии оценивания*

Записано выражение для силы сопротивления воздуха $F_c = P/v$ .....	2
Записано выражение для силы трения $F_{тр} = F_c$ .....	1

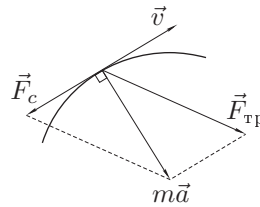


Рис. 10

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

**Задача 4. Лампочки**

По условию для лампы  $U = kI^{5/3}$ . В номинальном режиме  $U_n = k(P_n/U_n)^{5/3}$  откуда

$$k = \frac{U_n^{8/3}}{P_n^{5/3}}, \quad k_1 = \frac{U_0^{8/3}}{P_1^{5/3}}, \quad k_2 = \frac{U_0^{8/3}}{P_2^{5/3}}, \quad U_0 = 220 \text{ В.}$$

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 $k = U_n^{8/3}/P_n^{5/3}$ или $k' = P_n/U_n^{8/5}$ .....	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.

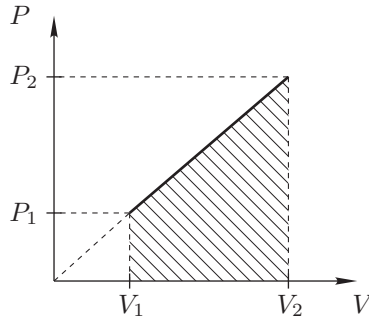


Рис. 11

*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  $\Delta h$ . 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 $\Delta h_1$ .....	1
Получено выражение для $\Delta h_2$ .....	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  $q_0 = 3C\mathcal{E}$ .

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

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

откуда находим

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

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

$$-\mathcal{E}q_0 = -\frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}. \quad (7)$$

Отсюда

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

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

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

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

$$Q_1 = 3C\mathcal{E}, \quad (9)$$

$$Q_2 = -C\mathcal{E}. \quad (10)$$

*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

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

Мгновенная мощность, развиваемая двигателем, равна

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

Условие отсутствия проскальзывания:

$$F \leq \mu mg. \quad (13)$$

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

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

$$V_{\max} = 50 \text{ м/с}.$$

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

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

То есть

$$v \leq \sqrt{\frac{P_{\max}}{\alpha}} = v_{\max}. \quad (15)$$

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

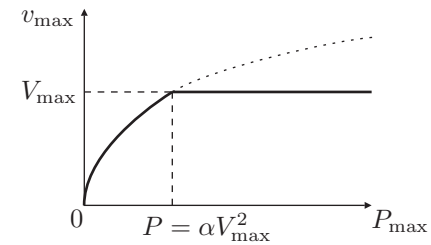


Рис. 12

*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  $\beta p$  — начальное давление сухого воздуха.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона для сухого воздуха:

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

где  $p_1 = \beta p$  — 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