

## **Задания отборочного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2023-2024 гг.**

Участникам отборочного этапа Олимпиады по физике из 8-10х классов предлагался вариант, состоявший из 6 задач, участникам из 11 класса – из 7. Каждая из задач составлялась в нескольких вариациях, выбиравшаяся системой проведения Олимпиады случайным образом. При проверке проверялась корректность введенного в систему числового ответа. Часть задач предлагались к решению участникам разных классов. Ниже в обозначениях задач указывается, участникам из каких классов они предназначались.

### **Структура разбиения тем задач по вариантам для разных классов:**

8 – сила тяги, мощность;

8 – равномерное движение, работа с графиком;

8-9 – гидравлический пресс;

8-9 – плотность вещества, сила Архимеда;

8-9 – сила тяги, мощность+КПД;

9-10 – рычаги;

9-10 – равноускоренное одномерное движение в поле силы тяжести;

9-10 – электрические цепи;

10-11 – процессы в идеальном газе, уравнение Менделеева-Клапейрона, диаграммы;

10-11 – механические колебания, задача с графиком;

10 -11 – равноускоренное движение;

11 – оптимизация «накопителя» механической энергии;

11 – движение в магнитном поле;

11 – движение заряженных частиц в плоском конденсаторе.

### 9.1. Вариант 1

Василий проводит эксперимент по изучению плавления льда в соленой воде. Для этого Вася взял ледяной кубик из пресной воды объемом  $125 \text{ см}^3$  и погрузил его в воду, взятую из самого соленого моря на планете – Мертвого моря. В Мертвом море объемная доля соли в воде равна 30%. Чему оказался равен объем погруженной части кубика льда в воде из Мертвого моря? Плотность пресной воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ , плотность соли –  $2180 \text{ кг/м}^3$ . Ответ приведите в кубических сантиметрах, округлив до ближайшего целого числа. Таянием кубика пренебрегите. Объем раствора считайте равным сумме объемов компонент.

#### Решение:

На кубик льда в воде действуют сила тяжести и сила Архимеда. Поскольку кубик плавает в воде (покоится), эти силы уравниваются друг друга:

$$m_{\text{куб}}g = V_{\text{погр}}\rho_{\text{Мм}}g \Rightarrow \rho_{\text{куб}}V_{\text{куб}} = V_{\text{погр}}\rho_{\text{Мм}} \Rightarrow V_{\text{погр}} = \rho_{\text{куб}}/\rho_{\text{Мм}}V_{\text{куб}},$$

где  $\rho_{\text{Мм}}$  – плотность соленой воды из Мертвого моря. Для расчета ее плотности возьмем  $1 \text{ м}^3$  воды. Согласно условию 30 % этого объема будет составлять соль, а оставшиеся 70% - вода. Поэтому имеем:

$$\rho_{\text{Мм}} = (0.3 * 2180 + 0.7 * 1000) = 1354 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{\text{погр}} = 83 \text{ см}^3$$

**Ответ:**  $83 \text{ см}^3$

### Вариант 2

Василий проводит эксперимент по изучению плавления льда в соленой воде. Для этого Вася взял ледяной кубик из пресной воды объемом  $125 \text{ см}^3$  и погрузил его в воду, взятую из Красного моря. В Красном море объемная доля соли в воде равна 10%. Чему оказался равен объем погруженной части кубика льда в воде из Мертвого моря? Плотность пресной воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ , плотность соли –  $2180 \text{ кг/м}^3$ . Ответ приведите в кубических сантиметрах, округлив до ближайшего целого числа. Таянием кубика пренебрегите. Объем раствора считайте равным сумме объемов компонент.

**Ответ:**  $101 \text{ см}^3$

### Вариант 3

В эксперименте кубик льда объемом  $V$  опустили в стакан с пресной водой, а второй такой же кубик опустили в стакан с соленой водой. Оказалось, что объем погруженной части льда в пресной воде на 37% больше объема погруженной части в соленой воде.

Рассчитайте плотность соленой воды. Ответ представьте в  $\text{кг}/\text{м}^3$ , округлив до ближайшего целого числа. Плотность пресной воды  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Таянием кубика пренебрегите. Объем раствора считайте равным сумме объемов компонент.

**Решение:**

На кубики льда в воде действуют сила тяжести и сила Архимеда. Поскольку кубики плавают в воде (покоятся), эти силы уравнивают друг друга. Для кубика в пресной воде можно записать:

$$m_{\text{куб}}g = V_{\text{погр},1}\rho_1g \Rightarrow \rho_{\text{куб}}V_{\text{куб}} = V_{\text{погр},1}\rho_1 \Rightarrow V_{\text{погр},1} = \rho_{\text{куб}}V_{\text{куб}}/\rho_1,$$

где  $\rho_1$  – плотность пресной воды. Для кубика в соленой воде аналогично:

$$m_{\text{куб}}g = V_{\text{погр},2}\rho_2g \Rightarrow \rho_{\text{куб}}V_{\text{куб}} = V_{\text{погр},2}\rho_2 \Rightarrow V_{\text{погр},2} = \rho_{\text{куб}}V_{\text{куб}}/\rho_2,$$

где  $\rho_2$  – плотность соленой воды. Тогда отношение погруженных частей будет:

$$\frac{V_{\text{погр},1}}{V_{\text{погр},2}} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.37$$

$$\Rightarrow \rho_2 = 1.37 * \rho_1 = 1370 \text{ кг}/\text{м}^3$$

**Ответ:**  $1370 \text{ кг}/\text{м}^3$

**Вариант 4**

В эксперименте кубик льда объемом  $V$  опустили в стакан с пресной водой, а второй такой же кубик опустили в стакан с соленой водой. Оказалось, что объем погруженной части льда в пресной воде на 12.6% больше объема погруженной части в соленой воде.

Рассчитайте плотность соленой воды. Ответ представьте в  $\text{кг}/\text{м}^3$ , округлив до ближайшего целого числа. Плотность пресной воды  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Таянием кубика пренебрегите. Объем раствора считайте равным сумме объемов компонент.

**Ответ:**  $1126 \text{ кг}/\text{м}^3$

**9.2. Вариант 1**

Мотоциклист движется на скорости  $144 \text{ км}/\text{ч}$ . Расход бензина при этом составляет  $4 \text{ л}$  на каждые  $100 \text{ км}$ , КПД двигателя равен  $25\%$ . Рассчитайте силу тяги, действующую на мотоцикл при таком движении. Ответ приведите в Ньютонах, округлив до ближайшего целого числа. Плотность бензина  $800 \text{ кг}/\text{м}^3$ , удельная теплота сгорания бензина  $46.0 \text{ МДж}/\text{кг}$ .

**Решение:**

КПД двигателя по определению равен отношению полезной работы к затраченной энергии:

$$\text{КПД} = \frac{F_{\text{тяги}}S}{qm_{\text{топлива}}} \Rightarrow F_{\text{тяги}} = \text{КПД} * \frac{qm_{\text{топлива}}}{S},$$

где  $q$  – удельная теплота сгорания топлива,  $S$  – пройденное расстояние. Массу топлива и пройденное расстояние берем из данного по условию задачи расхода топлива. Масса топлива (затрачиваемая на  $100 \text{ км}$ ) при этом будет:

$$m_{\text{топлива}} = V * \rho_{\text{топлива}}$$

И тогда искомая сила тяги будет равна:

$$F_{\text{тяги}} = \text{КПД} * \frac{qV\rho_{\text{топлива}}}{S} = 0.25 * 46 * 10^6 \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] * 0.004 [\text{м}^3] * \frac{800 \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]}{10^5 [\text{м}]} = 368 [\text{Н}]$$

**Ответ:** 368 Н

### Вариант 2

Легковой автомобиль движется на скорости 144 км/ч. Расход бензина при этом составляет 10 л на каждые 100 км, КПД двигателя равен 33%. Рассчитайте силу тяги, действующую на мотоцикл при таком движении. Ответ приведите в Ньютонах, округлив до ближайшего целого числа. Плотность бензина 800 кг/м<sup>3</sup>, удельная теплота сгорания бензина 46.0 МДж/кг.

**Ответ:** 1214 Н

### Вариант 3

Легковой автомобиль движется на скорости 144 км/ч. Расход бензина при этом составляет 10 л на каждые 100 км. Сила тяги, действующая на автомобиль, равна 1.3 кН. Рассчитайте КПД двигателя автомобиля при таком движении. Ответ приведите в процентах, округлив до ближайшего целого числа. Плотность бензина 800 кг/м<sup>3</sup>, удельная теплота сгорания бензина 46.0 МДж/кг.

**Решение:**

КПД двигателя по определению равен отношению полезной работы к затраченной энергии:

$$\text{КПД} = \frac{F_{\text{тяги}}S}{qm_{\text{топлива}}},$$

где  $q$  – удельная теплота сгорания топлива,  $S$  – пройденное расстояние. Массу топлива и пройденное расстояние берем из данного по условию задачи расхода топлива. Масса топлива (затрачиваемая на 100 км) при этом будет:

$$m_{\text{топлива}} = V * \rho_{\text{топлива}}$$

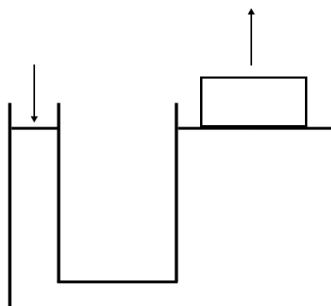
И тогда искомый КПД будет равен:

$$\text{КПД} = \frac{F_{\text{тяги}}S}{qm_{\text{топлива}}} = 1300 [\text{Н}] * \frac{10^5 [\text{м}]}{46 * 10^6 \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] * 0.01 [\text{м}^3] * 800 \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]} = 0.3533$$

**Ответ:** 35%

### 9.3 Вариант 1

Для поднятия автомобиля автомеханики используют гидравлический подъёмник, работающий по принципу гидравлического пресса (см. рисунок). Площадь малого поршня в 10 раз меньше площади большого поршня. Какую работу нужно совершить над малым поршнем, чтобы поднять автомобиль массой 2 тонны с помощью этого подъёмника, опустив при этом малый поршень на 1 м. Ускорение свободного падения примите равным 10 м/с<sup>2</sup>, массой поршней и трением в системе пренебрегите. Ответ приведите в кДж, округлив до ближайшего целого числа.



**Решение:**

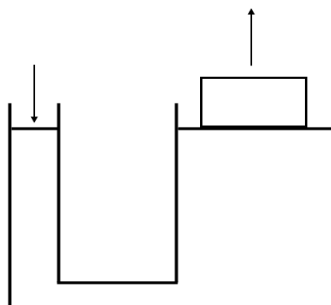
$F_1/S_1=F_2/S_2$  – формула гидравлического пресса ( $S$  площадь)  $F_1= F_2S_1/S_2$ , где  $F_2 = mg$

$A_1=F_1h_1$  – работа которую мы совершаем над малым поршнем

$$A_1= mg(S_1/S_2)h_1 = 2000*10*0,1*1 = 2000\text{Дж} = \underline{2}\text{кДж}$$

**Вариант 2**

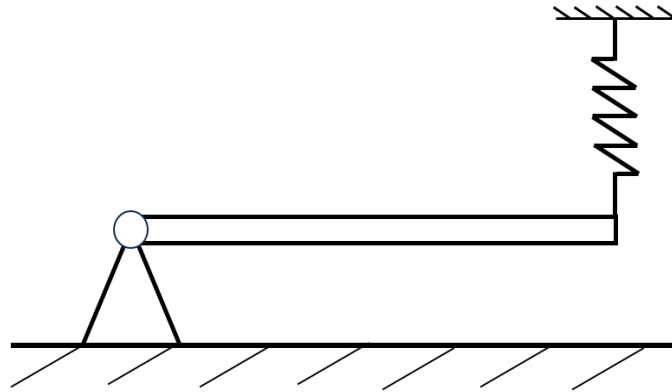
Для того чтобы поднять автомобиль, автомеханики используют гидравлический подъёмник, работающий по принципу гидравлического пресса (см. рисунок). Площадь малого поршня в 10 раз меньше площади большого поршня. Какую работу нужно совершить над малым поршнем, чтобы поднять автомобиль массой 2 тонны на 10 см. Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , массой поршней и трением в системе пренебрегите. Ответ приведите в кДж, округлив до ближайшего целого числа.



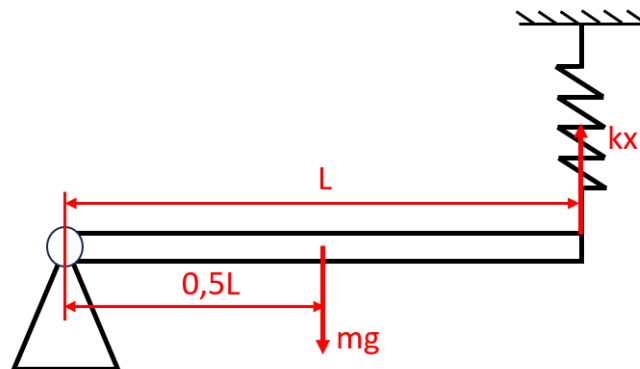
**Ответ:** 2 кДж

### 9.1. Вариант 1

Однородный массивный стержень закреплён с одного конца на шарнире, вокруг которого он может свободно вращаться. С другого конца стержень прикреплен к потолку пружинной жесткостью 200 Н/м. Определите массу стержня, если система находится в равновесии, стержень ориентирован горизонтально, пружина вертикальная, а ее растяжение составляет 5 см? Размерами шарнира и массой пружины пренебрегите, ускорение свободного падения примите равным 10 м/с<sup>2</sup>. Ответ приведите в килограммах, округлив до ближайшего целого.



**Решение:**



Примем за  $L$  длину всего стержня. На стержень действует сила  $mg$  приложенная к центру масс, то есть к центру стержня. Плечи сил будем откладывать относительно шарнира. Плечо силы тяжести относительно шарнира  $0,5L$ . Помимо силы тяжести на стержень действует сила упругости пружинки  $k\Delta x$ , плечо этой силы равно  $L$ . Запишем правило моментов:

$$M_1 = M_2 \Rightarrow 0,5mgL = k\Delta xL \Rightarrow mg = 2k\Delta x$$

Выразим массу и подставим значения:

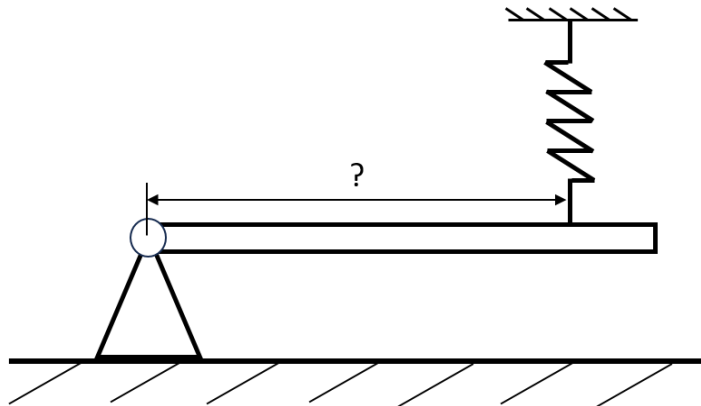
$$m = \frac{2k\Delta x}{g} = \frac{2 * 200 * 0,05}{10} = 2 \text{ кг}$$

**Ответ:** 2 кг

### Вариант 2

Однородный стержень массой 2 кг и длиной 1 м закреплён с одного конца на шарнире, вокруг которого он может свободно вращаться. На некотором расстоянии от шарнира стержень прикреплен к потолку пружинной жесткостью 200 Н/м. Определите, на каком расстоянии от шарнира расположена точка крепления пружины, если система находится в

равновесии, стержень ориентирован горизонтально, пружина вертикальна, а ее растяжение составляет 5 см? Размерами шарнира и массой пружины пренебрегите, ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ . Ответ приведите в метрах, округлив до ближайшего целого.



**Ответ:** 1 м

### 9.2 Вариант 1.

Мальчик стреляет из ружья в шахту, глубина которой составляет 875 метров. Начальная скорость пули равна  $150 \text{ м/с}$  и направлена вертикально вниз. Найдите, через какое время после выстрела мальчик услышит, что пуля достигла дна. Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , скорость звука  $330 \text{ м/с}$ , сопротивлением воздуха пренебрегите. Ответ приведите в секундах, округлив до ближайшего целого.

**Решение:**

Время, через которое мальчик услышит звук определяется по формуле:

$$t_0 = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где  $t_1$  – время, за которое пуля достигнет дна,  $t_2$  – время, за которое звук преодолет тоже расстояние, распространяясь со дна шахты.

Для того, чтобы найти  $t_1$ , используем формулу равноускоренного движения в поле тяжести:

$$S = V_0 t_1 + \frac{g t_1^2}{2}. \quad (2)$$

Получим  $t_1 = 5 \text{ с}$ .

Далее найдем время  $t_2$ .

$$t_2 = \frac{S}{V_{зв}}, \quad (3)$$

Получим  $t_2 = 2.65 \text{ с}$ .

Тогда  $t_0 = t_1 + t_2 = 7.65 \text{ с}$ .

**Ответ:**  $t_0 = 8 \text{ с}$ .

### 9.2 Вариант 2.

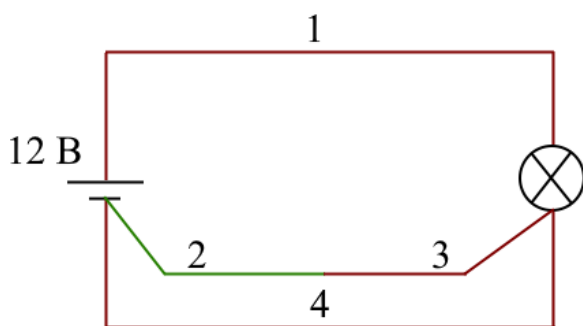
Мальчик стреляет камнем из рогатки в шахту. Начальная скорость камня равна  $35 \text{ м/с}$  и направлена вертикально вниз. Найдите глубину шахты, если известно, что звук удара камня

о ее дно мальчик услышал через 14 секунд после того, как выстрелил из рогатки. Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , скорость звука  $330 \text{ м/с}$ , сопротивлением воздуха пренебрегите. Ответ приведите в метрах, округлив до ближайшего целого.

**Ответ:**  $S = 990 \text{ м}$ .

### 9.3 Вариант 1.

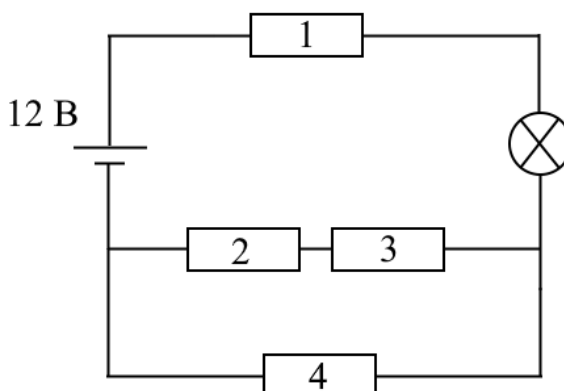
Лампа накаливания сопротивлением  $5 \text{ Ом}$  подключена к источнику питания медными и алюминиевыми проводами, как показано на рисунке. В таблице представлены параметры каждого провода: номер, длина  $L$ , площадь поперечного сечения  $S$  и материал. На источнике выставлено напряжение  $12 \text{ В}$ . Найдите силу тока, проходящего через лампу. Ответ приведите в амперах, округлив до целого. Удельное сопротивление меди  $1.72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , алюминия –  $2.70 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , внутренним сопротивлением источника пренебрегите, сопротивление лампы считайте постоянным.



№	$L, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Материал
1	30	$7.0 \cdot 10^{-7}$	Медь
2	25	$3.0 \cdot 10^{-7}$	Алюминий
3	8	$8.0 \cdot 10^{-7}$	Медь
4	45	$1.0 \cdot 10^{-6}$	Медь

**Решение:**

Построим эквивалентную схему:



Найдем общее сопротивление цепи:

$$R_0 = R_1 + \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} + r, \quad (1)$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – сопротивление каждого из проводов:



$$R_1 = \frac{\rho_{\text{медь}} \cdot l_1}{s_1} = \frac{1.72 \cdot 10^{-8} \cdot 30}{7 \cdot 10^{-7}} = 0.7371 \text{ Ом}, \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{\rho_{\text{алюм}} \cdot l_2}{s_2} = \frac{2.7 \cdot 10^{-8} \cdot 25}{3 \cdot 10^{-7}} = 2.25 \text{ Ом}, \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{\rho_{\text{медь}} \cdot l_3}{s_3} = \frac{1.72 \cdot 10^{-8} \cdot 8}{8 \cdot 10^{-7}} = 0.172 \text{ Ом}, \quad (4)$$

$$R_4 = \frac{\rho_{\text{медь}} \cdot l_4}{s_4} = \frac{1.72 \cdot 10^{-8} \cdot 45}{1 \cdot 10^{-6}} = 0.774 \text{ Ом}, \quad (5)$$

где  $l_n$  и  $s_n$  – длина и площадь поперечного сечения каждого провода.

Подставив значения из условия задачи, получим общее сопротивление цепи:  $R_0 = 6.32 \text{ Ом}$ .

Тогда ток, проходящий через лампу, будет определяться выражением:

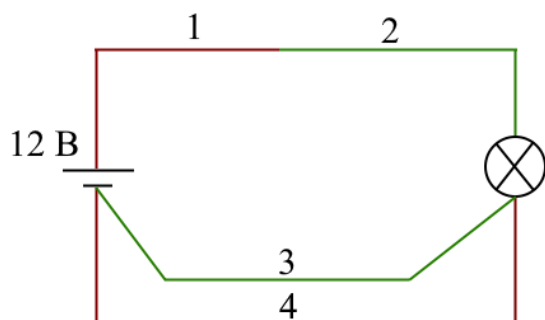
$$I_0 = \frac{U}{R_0}, \quad (6)$$

Подставив значения напряжения на источнике и общее сопротивление цепи, получим:  $I_0 = 1.898 \text{ А}$ .

**Ответ:**  $I_0 = 2 \text{ А}$ .

### Вариант 2.

Лампа накаливания сопротивлением 4 Ом подключена к источнику питания медными и алюминиевыми проводами, как показано на рисунке. В таблице представлены параметры каждого провода: номер, длина  $L$ , площадь поперечного сечения  $S$  и материал. На источнике выставлено напряжение 12 В. Найдите силу тока, проходящего через лампу. Ответ приведите в амперах, округлив до целого. Удельное сопротивление меди  $1.72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , алюминия –  $2.70 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , Внутренним сопротивлением источника пренебрегите, сопротивление лампы считайте постоянным.



№	L, м	S, м <sup>2</sup>	Материал
1	21	$2.1 \cdot 10^{-6}$	Медь
2	5	$2.6 \cdot 10^{-6}$	Алюминий
3	18	$2.9 \cdot 10^{-6}$	Алюминий
4	17	$2.7 \cdot 10^{-6}$	Медь

**Ответ:**  $I_0 = 3 \text{ А}$ .