

## **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.

### 8.1. Вариант 1

При движении на скорости 120 км/ч двигатель квадроцикла развивает силу тяги 450 Н. Рассчитайте полезную мощность двигателя при движении с такой скоростью. Ответ приведите в ваттах, округлив до ближайшего целого числа.

**Решение:**

- 1)  $N = A/t = F_{\text{тяги}} \cdot S/t$ , где  $t$  – время за которое он проходит расстояние  $S$
- 2)  $N = F_{\text{тяги}} \cdot v$  (1000м/3600с) (либо вычислять время через путь и скорость)

**Ответ:** 15 000 Вт

### Вариант 2

При движении на скорости 60 км/ч двигатель трицикла развивает силу тяги 300 Н. Рассчитайте полезную мощность двигателя при движении с такой скоростью. Ответ приведите в ваттах, округлив до ближайшего целого числа.

**Ответ:** 5000 Вт

### Вариант 3

При движении на тракторе на некоторой скорости  $v_0$  полезная мощность составляет 165 кВт. Сила тяги, действующая при этом на трактор, равняется 9.9 кН. Рассчитайте скорость трактора  $v_0$ . Ответ приведите в км/ч, округлив до ближайшего целого числа.

**Решение:**

- 1)  $N = F_{\text{тяги}} \cdot S/t$ , где  $t$  – время за которое он проходит расстояние  $S$ , то есть  $S/t = v$
- 2)  $v[\text{м/с}] = N/F_{\text{тяги}}$
- 3)  $v[\text{км/ч}] = v[\text{м/с}] \cdot 3.6$

**Ответ:** 60 км/ч

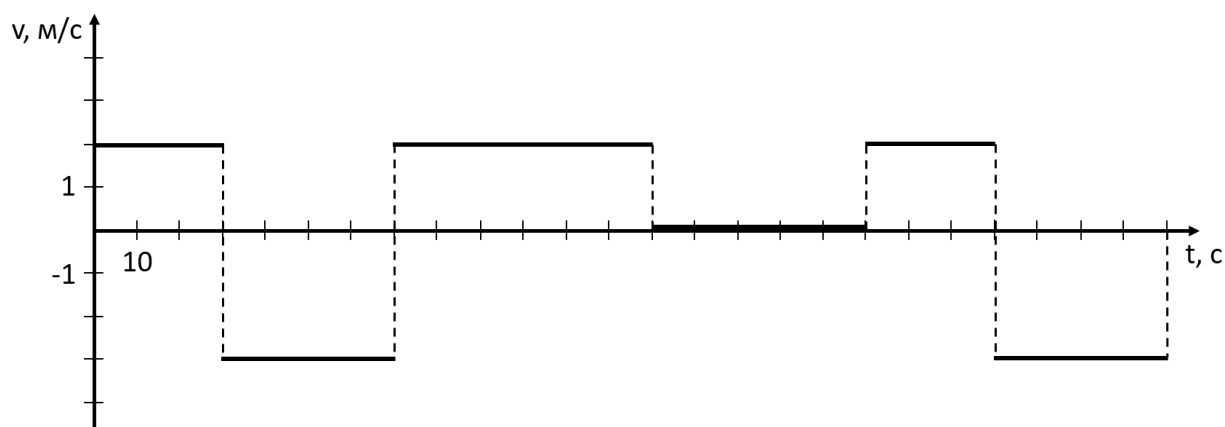
### Вариант 4

При движении карта (простейший гоночный автомобиль) по трассе на некоторой скорости  $v_0$  полезная мощность составила 8 кВт. Сила тяги, действовавшая при этом на карт, равнялась 600 Н. Рассчитайте скорость трактора  $v_0$ . Ответ приведите в км/ч, округлив до ближайшего целого числа.

**Ответ:** 48 км/ч.

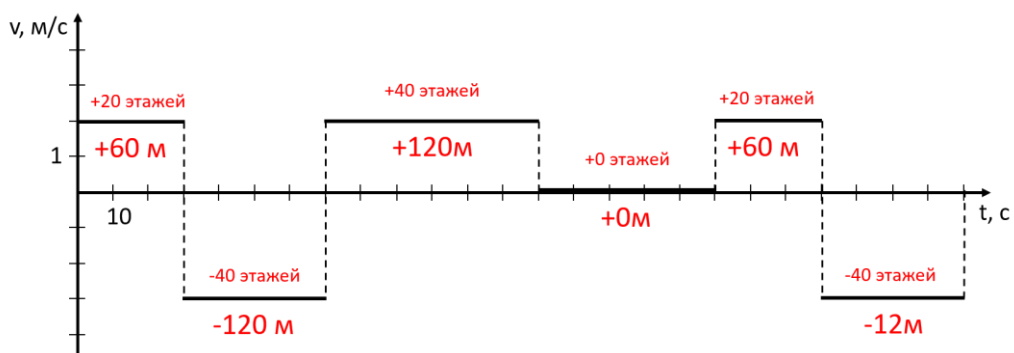
### 8.2. Вариант 1

Лифт небоскреба может перемещаться равномерно вверх со скоростью 2 м/с и вниз со скоростью 3 м/с. Для того, чтобы преодолеть один этаж лифту необходимо переместиться на 3 м. Определите по графику, на каком этаже оказался лифт в момент времени  $t_1$ , если изначально он находился на 21-м этаже. В ответе укажите число – номер этажа.



**Решение:**

График позволяет определить перемещение лифта с начала движения. Отрицательная скорость обозначает изменение направления движения:

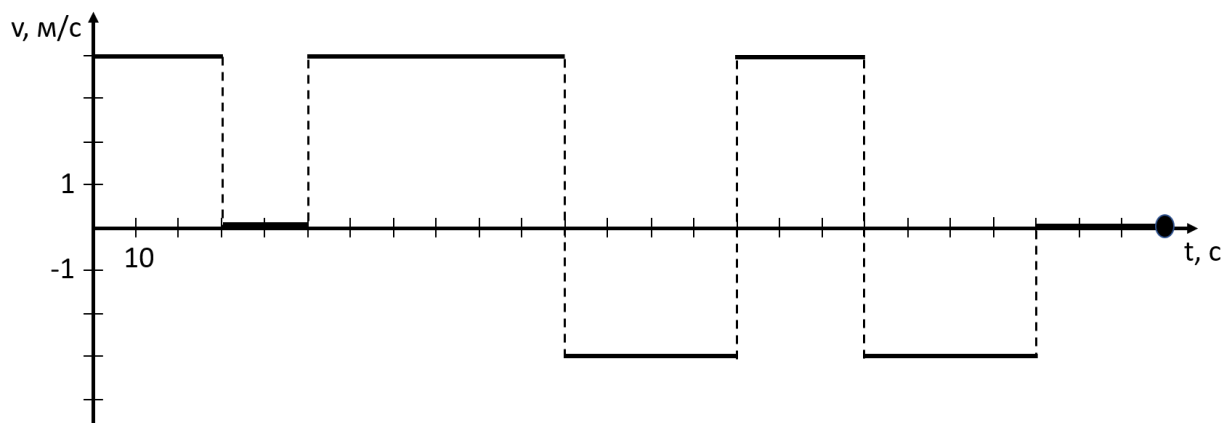


В итоге получаем, что лифт оказался на том же этаже, с которого стартовал.

**Ответ:** Лифт в итоге оказался на 21 этаже

## Вариант 2

Лифт небоскреба может перемещаться равномерно вверх со скоростью 4 м/с и вниз со скоростью 3 м/с. Для того, чтобы преодолеть один этаж лифту необходимо переместиться на 3 м. Определите по графику, на каком этаже оказался лифт, если изначально он находился на 10-м этаже. В ответе укажите число – номер этажа.



**Решение**



**Ответ:** Лифт в итоге оказался на 90 этаже

### 8-9.1. Вариант 1

Василий проводит эксперимент по изучению плавания 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 плавания 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 кг/м<sup>3</sup>, округлив до ближайшего целого числа. Плотность пресной воды 1000 кг/м<sup>3</sup>. 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 уравниваются 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:

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

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

**Ответ:** 1370 кг/м<sup>3</sup>

#### 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 кг/м<sup>3</sup>, округлив до ближайшего целого числа. Плотность пресной воды 1000 кг/м<sup>3</sup>. Таянием кубика пренебрегите. Объем раствора считайте равным сумме объемов компонент.

**Ответ:** 1126 кг/м<sup>3</sup>

#### 8-9.2. Вариант 1

Мотоциклист движется на скорости 144 км/ч. Расход бензина при этом составляет 4 л на каждые 100 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 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:

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

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 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:

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

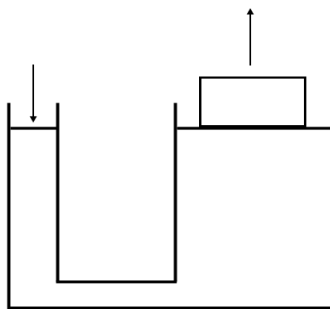
И тогда искомый КПД будет равен:

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

**Ответ:** 35%

### 8-9.3 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:**

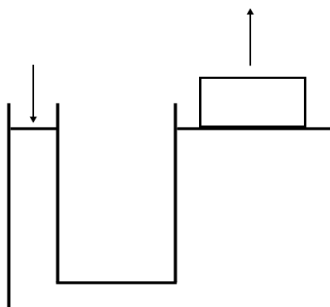
$F_1/S_1=F_2/S_2$  – формула гидравлического пресса ( $S$  площадь)  $F_1= F_2S_1/S_2$ , где  $F_2 = mg$

$A_1=F_1h_1$  – 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**

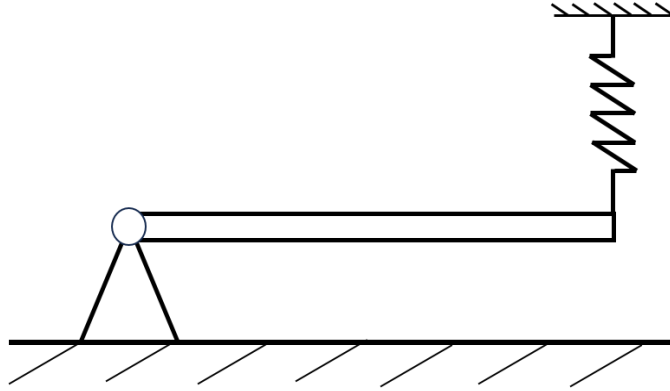
Для того чтобы поднять автомобиль, автомеханики используют гидравлический подъёмник, работающий по принципу гидравлического пресса (см. рисунок). Площадь малого поршня в 10 раз меньше площади большого поршня. Какую работу нужно совершить над малым поршнем, чтобы поднять автомобиль массой 2 тонны на 10 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.



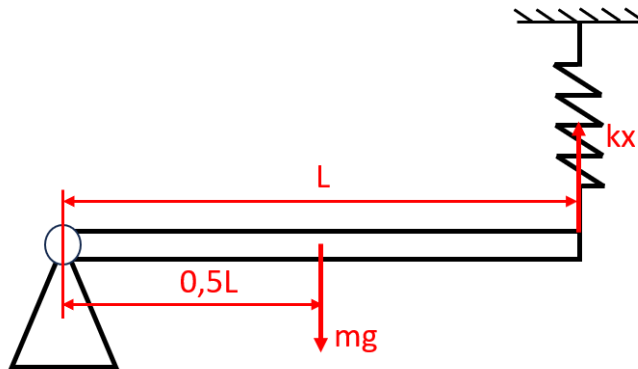
**Ответ:** 2 кДж

### 9-10.1. Вариант 1

Однородный массивный стержень закреплён с одного конца на шарнире, вокруг которого он может свободно вращаться. С другого конца стержень прикреплен к потолку пружины 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:

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

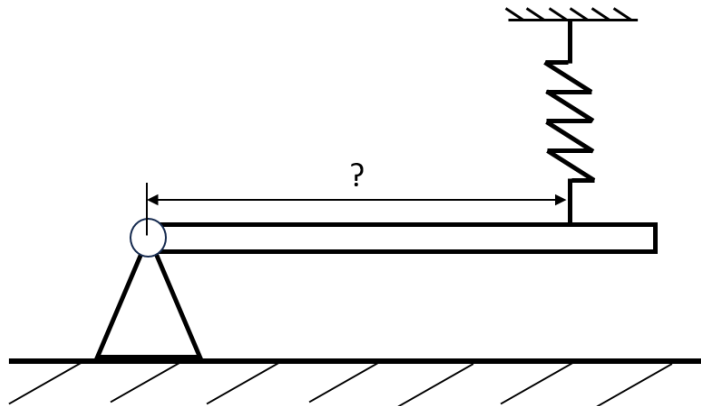
**Ответ:** 2 кг

### 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 пружины 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

### 9.10.2 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 преодолеет тоже расстояние, распространяясь со дна шахты.

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

$$S = V_0 t_1 + \frac{gt_1^2}{2}. \quad (2)$$

Получим  $t_1 = 5 \text{ с}$ .

Далее найдем время  $t_2$ .

$$t_2 = \frac{S}{V_{\text{зв}}}, \quad (3)$$

Получим  $t_2 = 2.65 \text{ с}$ .

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

**Ответ:**  $t_0 = 8 \text{ с}$ .

### 9-10.2 Вариант 2.

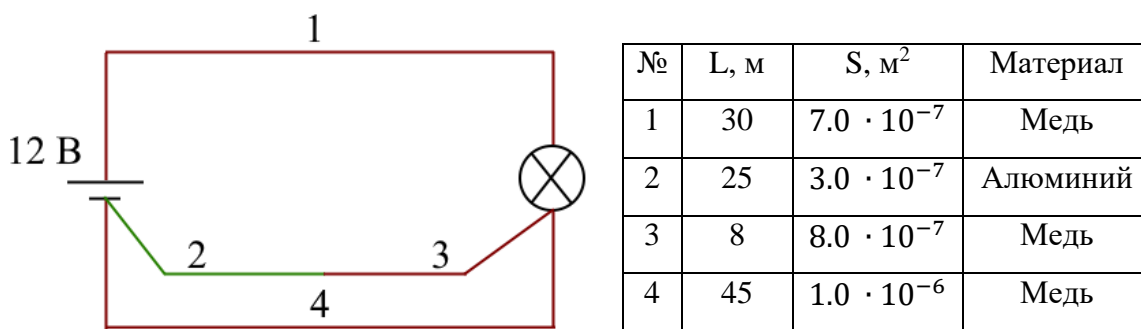
Мальчик стреляет камнем из рогатки в шахту. Начальная скорость камня равна  $35 \text{ м/с}$  и направлена вертикально вниз. Найдите глубину шахты, если известно, что звук удара камня

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:**  $S = 990 \text{ м}$ .

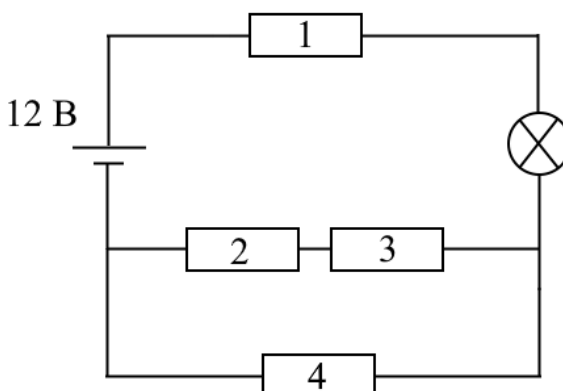
### 9-10.3 Вариант 1.

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.



**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:

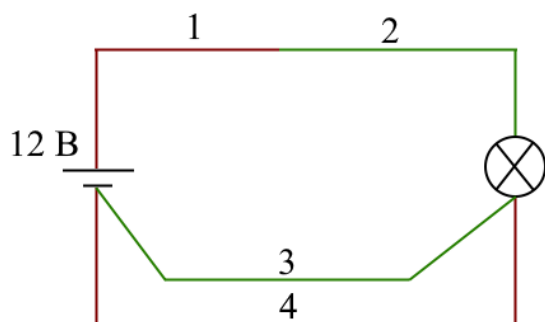
$$I_0 = \frac{U}{R_0}, \quad (6)$$

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.

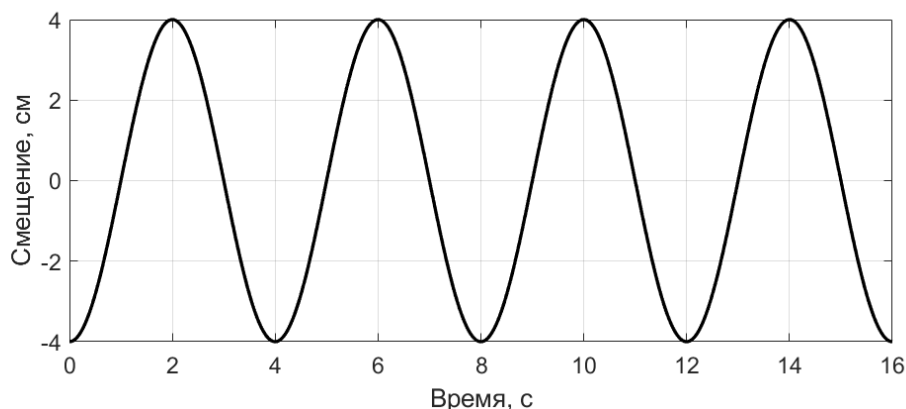


№	L, м	S, м <sup>2</sup>	Материал
1	21	$2.1 \cdot 10^{-6}$	Медь
2	5	$2.6 \cdot 10^{-6}$	Алюминий
3	18	$2.9 \cdot 10^{-6}$	Алюминий
4	17	$2.7 \cdot 10^{-6}$	Медь

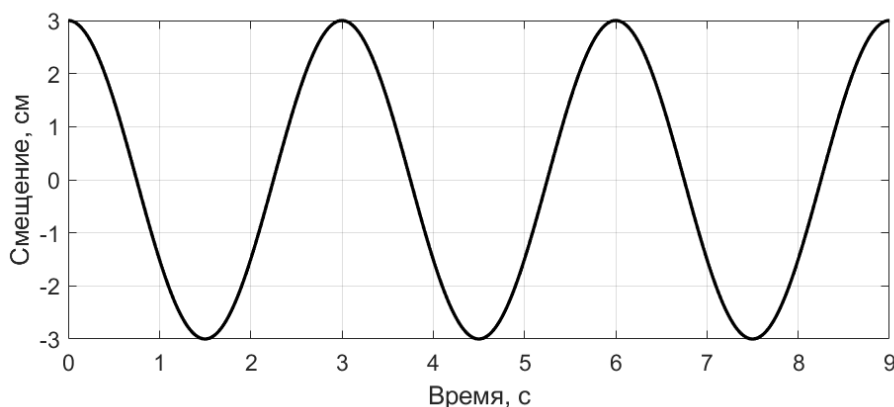
**Ответ:**  $I_0 = 3 \text{ А}$ .

**10-11.1** На невесомом эластичном жгуте подвешен грузик некоторой массы. Грузик смещают из положения равновесия и отпускают, в результате чего он начинает совершать вертикальные колебания. Зависимость смещения грузика от времени представлена на графике. Определите растяжение жгута в состоянии покоя. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до ближайшего целого значения. Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , массой жгута пренебрегите.

Вариант 1:



Вариант 2:



**Решение:**

Из графика можем определить период колебаний грузика, который связан с массой грузика и жесткостью жгута по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{m}{k} = \frac{T^2}{4\pi^2}$$

2 закон Ньютона для растяжения жгута в состоянии покоя:

$$mg = k\Delta x$$

Откуда:

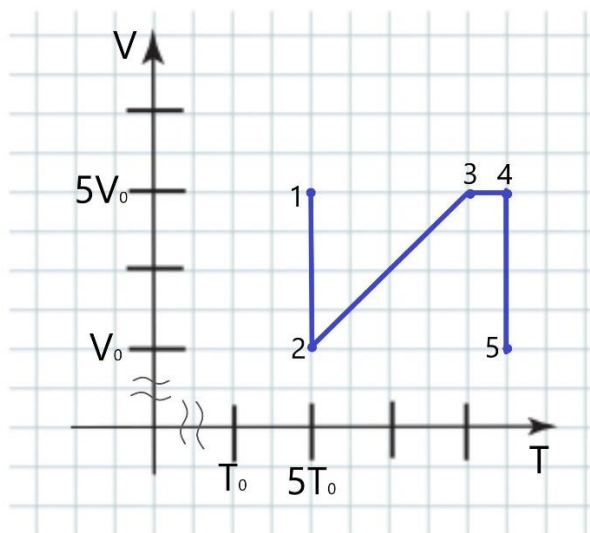
$$\Delta x = \frac{m}{k}g = \frac{T^2}{4\pi^2}g$$

Вариант 1:  $T=4 \text{ с}$ ,  $\Delta x = \frac{m}{k}g = \frac{T^2}{4\pi^2}g = \frac{16[\text{с}^2]}{4\pi^2} * 10 [\frac{\text{м}}{\text{с}^2}] = 405 \text{ см}$ .

Вариант 2:  $T=3$  с,  $\Delta x = \frac{m}{k} g = \frac{T^2}{4\pi^2} g = \frac{16[c^2]}{4\pi^2} * 10 [\frac{M}{c^2}] = 228$  см.

### 10-11. 2 Вариант 1.

Изменение состояния некоторого постоянного количества идеального газа представлено на диаграмме.



Выберите верные утверждения:

- А) процесс 1-2 – Изотермическое сжатие? (верно)
- б) 2-3 – изохорный процесс? (неверно)
- в) давление идеального газа в точке 5 в три раза меньше, чем в точке 1? (неверно)
- г) давление идеального газа в точке 5 в три раза больше, чем в точке 2? (верно)

**Решение:**

- а) Да. На диаграмме между точками 1 и 2 изображен процесс изотермического сжатия.
- б) Нет. Процесс 2-3 не является изохорным, так как давление на этом участке диаграммы меняется.
- в) Нет.

Рассмотрим соотношение идеального газа для точек один и пять.

$$\begin{aligned}(P_1 V_1) / T_1 &= (P_5 V_5) / T_5 \\ (P_1 5V_0) / 5V_0 &= (P_5 V_0) / 15T_0 \\ P_1 &= P_5 / 15\end{aligned}$$

Таким образом, давление идеального газа в точке 5 в 15 раз больше, чем в точке 1.

- г) Да.

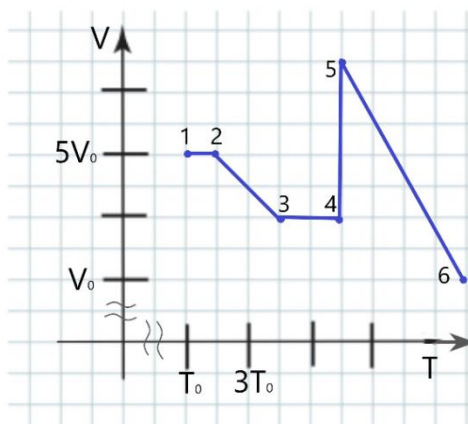
Рассмотрим соотношение идеального газа для точек один и пять.

$$\begin{aligned}(P_5 V_0) / 15T_0 &= (P_2 V_0) / 5T_0 \\ P_5 &= 3P_2\end{aligned}$$

Таким образом, давление идеального газа в точке 5 в 3 раза больше, чем в точке 2.

## Вариант 2.

Изменение состояния некоторого постоянного количества идеального газа представлено на диаграмме.

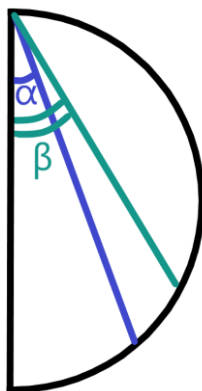


Выберите верные утверждения:

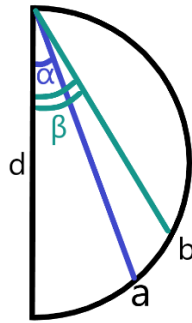
- А) 3-4 и 2-3 – изохорные процессы? (неверно)
- б) 4-5 – изотермическое сжатие? (неверно)
- в) давление идеального газа в точке 1 в пятьдесят раз меньше, чем в точке 6? (верно)
- г) давление идеального газа в точке 4 в полтора раза больше, чем в точке 3? (верно)

### Задача 10-11.3.

Из верхней точки полушария (см. рисунок) проделали насквозь две гладкие прорези под углами к вертикали  $30^\circ$  и  $45^\circ$ . В начало каждой из прорезей разместили по небольшой шайбе и отпустили. Пусть  $t_1$  – время движения шайбы в прорези, образующей угол  $30^\circ$  с вертикалью;  $t_2$  – время движения другой шайбы. Найдите отношение  $t_1/t_2$ . Трение отсутствует.



**Решение:**



Ускорение, с которым шайба будет скатываться по гладкой прорези, будет равно проекции ускорения свободного падения на ось, направленную вдоль прорези, то есть

$$a = g_a = g \cos \alpha$$

$$a = g_b = g \cos \beta$$

Найдем длины прорезей, по которым скатываются шайбы:

$$l_a = d \cos \alpha$$

$$l_b = d \cos \beta$$

$$d \cos \alpha = g \cos \alpha t_1^2 / 2$$

$$d \cos \beta = g \cos \beta t_2^2 / 2$$

Отсюда

$$t_1 = t_2 = \sqrt{2d/g}.$$

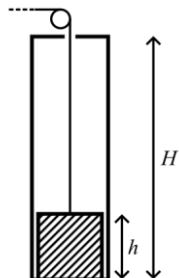
Время не зависит от угла скатывания, поэтому  $t_1/t_2 = 1$ .

**Ответ:** 1



### 11.1 Вариант 1.

Накопитель механической энергии поднимает груз по шахте. Глубина шахты  $H$ . Груз представляет собой твердое тело высотой  $h$  и занимает часть шахты (см. рисунок). Какую высоту должен иметь груз, чтобы при его полном подъёме запасалось максимальное количество механической энергии? Ответ приведите в метрах, округлив до целого числа.



Решение:

Груз можно поднять на высоту  $H - h$  над основанием шахты. Тогда запасённая механическая энергия будет равна

$$E = Mg(H - h)$$

При этом масса груза зависит от его высоты

$$M = \rho Sh$$

Тогда

$$E = \rho g Sh(H - h)$$

Условие максимума энергии как функции  $h$ :

$$\frac{dE}{dh} = 0$$

$$\frac{dE}{dh} = \rho g S(H - 2h) = 0$$

Откуда

$$h = \frac{1}{2}H$$

Входные данные и ответы:

$$H = 100 \text{ м} \Rightarrow h = 50 \text{ м}$$

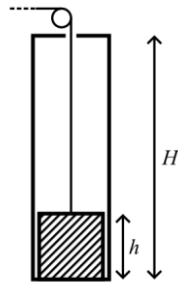
$$H = 150 \text{ м} \Rightarrow h = 75 \text{ м}$$

$$H = 200 \text{ м} \Rightarrow h = 100 \text{ м}$$

### Вариант 2.

Накопитель механической энергии поднимает груз по шахте. Глубина шахты  $H$ . Груз представляет собой твердое тело высотой  $h$  и занимает часть шахты. На сколько метров нужно нарастить высоту груза, чтобы при полном его подъёме было накоплено

максимально возможное для этой системы количество механической энергии? Ответ приведите в метрах, округлив до целого числа.



Решение:

Груз можно поднять на высоту  $H - h$  над основанием шахты. Тогда запасённая механическая энергия будет равна

$$E = Mg(H - h)$$

При этом масса груза зависит от его высоты

$$M = \rho Sh$$

Тогда

$$E = \rho g Sh(H - h)$$

Определим высоту груза  $h_0$ , при которой накапливается максимальное количество энергии.

Условие максимума энергии как функции  $h$ :

$$\frac{dE}{dh} = 0$$

$$\frac{dE}{dh} = \rho g S(H - 2h) = 0$$

Откуда

$$h_0 = \frac{1}{2} H$$

Тогда груз надо нарастить на

$$\delta h = h_0 - h = \frac{1}{2} H - h$$

Входные данные и ответы:

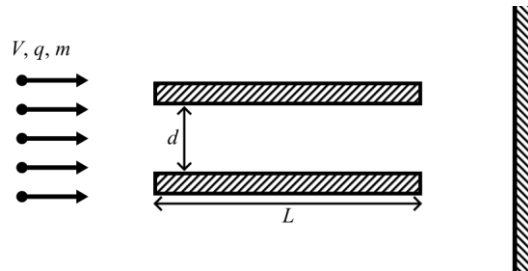
$$H = 100 \text{ м}, h = 10 \text{ м} \Rightarrow \delta h = 40 \text{ м}$$

$$H = 120 \text{ м}, h = 5 \text{ м} \Rightarrow \delta h = 55 \text{ м}$$

$$H = 250 \text{ м}, h = 50 \Rightarrow \delta h = 75 \text{ м}$$

## 11.2 Вариант 1

Широкий пучок заряженных частиц, имеющих заряд  $q$  и массу  $m$ , изначально движущихся горизонтально со скоростью  $V$ , проходит между горизонтальными обкладками плоского конденсатора (его длина  $L$ , расстояние между электродами  $d$ , напряжение между обкладками  $U$ ) и попадает на вертикальный экран за ним, как показано на рисунке. Пролетев сквозь конденсатор, в полосу какой высоты попадут заряженные частицы на экране? Ответ приведите в миллиметрах, округляя до целого числа. Краевыми эффектами на границах конденсатора и влиянием силы тяжести пренебрегите; отражение частиц от твёрдых поверхностей и их взаимодействие друг с другом не учитывайте.



### Решение

До входа в конденсатор частицы движутся горизонтально, внутри конденсатора они начинают двигаться по параболе, так как на них действует кулоновская сила, а после конденсатора они двигаются прямолинейно.

Если сила со стороны электрического поля, действующая на частицу, направлена вниз, то верхняя граница полосы на экране определяется частицей, которая влетела в конденсатор у самой верхней обкладки. Нижняя граница полосы будет определяться частицей, которая вылетала из конденсатора у самой нижней обкладки. Между этими двумя частицами расстояние по вертикали всегда одинаково, поэтому, чтобы найти ширину полосы на экране, достаточно определить высоту первой частицы над нижней обкладкой во время её вылета из конденсатора.

Кулоновская сила равна

$$F = qE = q \frac{U}{d}$$

Ускорение частиц, направленное вниз, равно

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q}{m} \frac{U}{d}$$

Направим ось  $Oy$  вертикально вниз. Внутри конденсатора можно записать закон движения частицы

$$y(t) = y_0 - \frac{at^2}{2}$$

Частица пролетает сквозь конденсатор за время

$$T = \frac{L}{V}$$

Тогда за время пролёта сквозь конденсатор частица опуститься на

$$\delta y = \frac{aT^2}{2} = \frac{q}{m} \frac{U}{d} \frac{L^2}{2V^2}$$

Высота полосы тогда составит

$$H = d - \delta y = d - \frac{q}{m} \frac{U}{d} \frac{L^2}{2V^2}$$

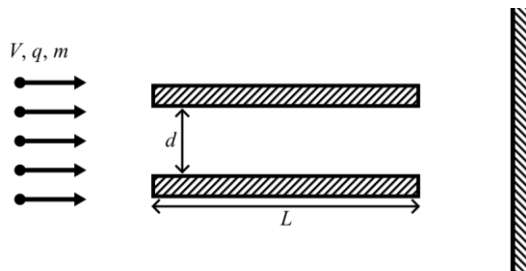
Входные данные и ответы:

$V = 1 \text{ км/с}$ ,  $q = 1.6\text{e-}19 \text{ Кл}$ ,  $m = 1.7\text{e-}27 \text{ кг}$ ,  $d = 10 \text{ см}$ ,  $L = 100 \text{ см}$ ,  $U = 800 \text{ В} \Rightarrow \text{Ответ: } H = 71 \text{ мм}$

$V = 100 \text{ м/с}$ ,  $q = 1.6\text{e-}19 \text{ Кл}$ ,  $m = 3.3\text{e-}25 \text{ кг}$ ,  $d = 10 \text{ см}$ ,  $L = 100 \text{ см}$ ,  $U = 800 \text{ В} \Rightarrow \text{Ответ: } H = 85 \text{ мм}$

## Вариант 2

Широкий пучок заряженных частиц, имеющих заряд  $q$  и массу  $m$ , изначально движущихся горизонтально со скоростью  $V$ , проходит между горизонтальными обкладками плоского конденсатора (его длина  $L$ , расстояние между электродами  $d$ ) и попадает на вертикальный экран за ним, как показано на рисунке. Какое напряжение надо приложить к обкладкам конденсатора, чтобы ширина полосы на экране от пролетевших сквозь конденсатор частиц была в  $k$  раз меньше, чем расстояние между обкладками? Ответ приведите в вольтах, округлив до целого числа. Краевыми эффектами на границах конденсатора и влиянием силы тяжести пренебрегите; отражение частиц от твёрдых поверхностей и их взаимодействие друг с другом не учитывайте.



## Решение

До входа в конденсатор частицы движутся горизонтально, внутри конденсатора они начинают двигаться по параболе, так как на них действует кулоновская сила, а после конденсатора они двигаются прямолинейно.

Если сила со стороны электрического поля, действующая на частицу, направлена вниз, то верхняя граница полосы на экране определяется частицей, которая влетела в конденсатор у самой верхней обкладки. Нижняя граница полосы будет определяться частицей, которая вылетала из конденсатора у самой нижней обкладки. Между этими двумя частицами расстояние по вертикали всегда одинаково, поэтому, ширина полосы на экране равна высоте первой частицы над нижней обкладкой во время её вылета из конденсатора.

Кулоновская сила равна

$$F = qE = q \frac{U}{d}$$

Ускорение частиц, направленное вниз, равно

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q U}{m d}$$

Направим ось  $Oy$  вертикально вниз. Внутри конденсатора можно записать закон движения частицы

$$y(t) = y_0 - \frac{at^2}{2}$$

Частица пролетает сквозь конденсатор за время

$$T = \frac{L}{V}$$

Тогда за время пролёта сквозь конденсатор частица опуститься на

$$\delta y = \frac{aT^2}{2} = \frac{q U}{m d} \frac{L^2}{2V^2}$$

Высота полосы составит

$$H = d - \delta y = d - \frac{q U}{m d} \frac{L^2}{2V^2}$$

Учитывая

$$H = \frac{d}{k}$$

Выразим напряжение

$$U = \frac{2mV^2d^2}{qL^2} \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

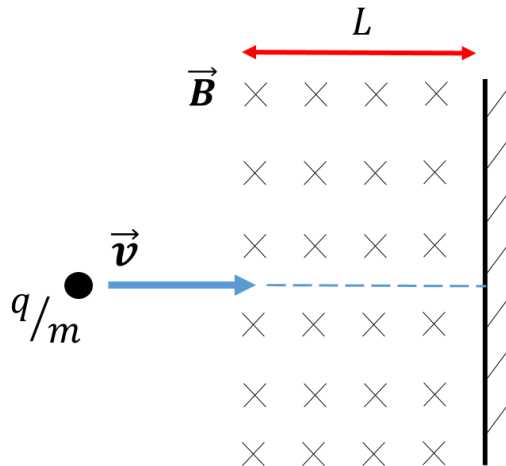
Входные данные и ответы:

$V = 150$  м/с,  $q = 1.6e-19$  Кл,  $m = 1.7e-27$  кг,  $d = 10$  см,  $L = 100$  см,  $k = 2 \Rightarrow$  Ответ:  $U = 31$  В

$V = 100$  м/с,  $q = 1.6e-19$  Кл,  $m = 1.7e-27$  кг,  $d = 10$  см,  $L = 100$  см,  $k = 5 \Rightarrow$  Ответ:  $U = 22$  В

### 11.3 Вариант 1

В области перед плоским экраном создано однородное магнитное поле с индукцией 1 мТл. Положительно заряженная частица влетает в это магнитное поле со скоростью 1200 м/с, направленной к центру экрана и перпендикулярно его поверхности (см. рисунок). После прохождения слоя магнитного поля частица попадает на экран на некотором расстоянии от его центра. Определите это расстояние, если известно, что отношение заряда к массе частицы равно  $2 \cdot 10^7$  Кл/кг, а толщина области магнитного поля равна 5.2 см. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до ближайшего целого числа.

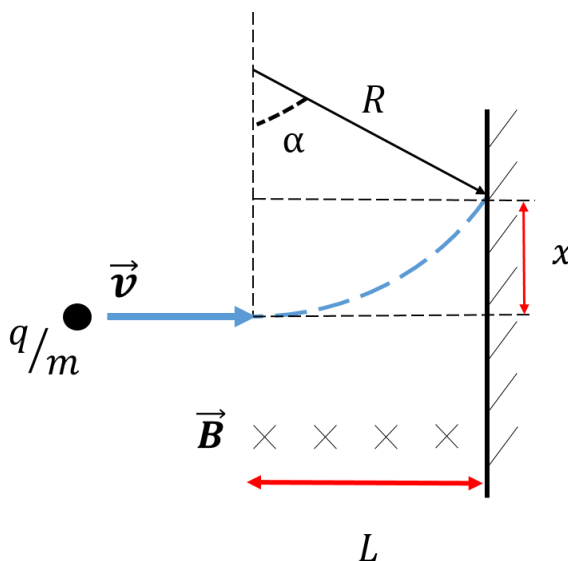


**Решение:**

На частицу, движущуюся в магнитном поле, будет действовать сила Лоренца, направленная перпендикулярно направлению скорости. В результате частица будет двигаться по окружности, радиус которой  $R$  определим из второго закона Ньютона:

$$ma_{\text{ц}} = qv_0B \Rightarrow \frac{mv_0^2}{R} = qv_0B \Rightarrow R = \frac{v_0}{(q/m)B} > L$$

Траектория движения частицы – окружность. Выполним геометрические построения:



Из построения видно, что

$$\begin{cases} R \sin \alpha = L \\ x = R - R \cos \alpha \end{cases}$$

Выражая синус угла из первого уравнения, используем основное тригонометрическое тождество, подставляем ранее полученный радиус окружности и получаем ответ:

$$\begin{aligned} \sin \alpha = \frac{L}{R} \Rightarrow \cos \alpha &= \sqrt{1 - \frac{L^2}{R^2}} \Rightarrow x = R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{L^2}{R^2}} \right) \\ &= \frac{v_0}{\left( \frac{q}{m} \right) B} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{L^2}{\left( \frac{v_0}{\left( \frac{q}{m} \right) B} \right)^2}} \right) \end{aligned}$$

**Ответ:** 3 см