

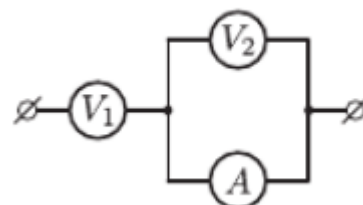
## Всероссийская олимпиада школьников по физике

## Муниципальный этап

## 9-й класс

Время выполнения – 3 астрономических часа 50 минут.

1. Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, подключена к батарейке. Вольтметры  $V_1$  и  $V_2$  показывают напряжения  $U_1 = 1$  В и  $U_2 = 0,1$  В, а амперметр показывает силу тока  $I = 1$  мА. Найдите сопротивления приборов. Вольтметры считайте одинаковыми.



## Возможное решение

Сопротивление амперметра  $R_A = \frac{U_2}{I} = 0,1$  кОм.

Обозначим через  $R_V$  сопротивления вольтметров. Через вольтметр  $V_1$  течёт ток силой  $\frac{U_1}{R_V}$ , который разветвляется на текущий через вольтметр  $V_2$  ток

силой  $\frac{U_2}{R_V}$  и ток силой  $I$ , текущий через амперметр:  $\frac{U_1}{R_V} = \frac{U_2}{R_V} + I$ .

Отсюда  $R_V = \frac{U_1 - U_2}{I} = 0,9$  кОм.

2. Внесённый с мороза в тёплую комнату кусочек льда полностью растаял через 12 минут после начала таяния. Сколько времени он нагревался от  $-3$  °С до  $-2$  °С? Удельная теплоёмкость льда  $2100$  Дж/(кг·°С), а его удельная теплота плавления  $330$  кДж/кг.

## Возможное решение

Нагрев и таяние льда происходит за счёт теплообмена с тёплым воздухом комнаты. Мощность этого теплообмена пропорциональна разности температуры льда и воздуха. Эта разность примерно одинакова при нагреве льда от  $-3$  °С до  $-2$  °С и в процессе таяния льда при  $0$  °С. Поэтому мощность теплообмена можно считать одинаковой в этих процессах. Отсюда получаем два уравнения теплового баланса.

Отсюда выражаем неизвестное время нагревания:

$$\begin{cases} cm\Delta t = N\tau_x \\ m\lambda = Nt \end{cases}$$

$$\tau_x = t \frac{c\Delta t}{\lambda} = 720 \frac{2,1 \cdot 10^3 (-2 - (-3))}{330 \cdot 10^3} \approx 4,6 \text{ с.}$$

3. В момент, когда опоздавший пассажир вышел на перрон вокзала, с ним поравнялось начало предпоследнего вагона уходящего поезда. Желая определить, на сколько времени он опоздал, пассажир измерил время  $t_1$ , за которое мимо него прошёл предпоследний вагон, и время  $t_2$ , за которое мимо него прошёл последний вагон. Оказалось, что  $t_1 = 9$  с, а  $t_2 = 8$  с. Считая, что поезд двигался равноускоренно и длина вагонов одинакова, найти, на какое время пассажир опоздал к отходу поезда.

#### Возможное решение:

Пусть  $l$  – длина вагона,  $a$  – ускорение поезда. В момент, когда пассажир вышел на перрон, перемещение поезда составило величину  $x_1 = \frac{at^2}{2}$ .

За время  $t + t_1$  поезд переместился на расстояние  $x_2 = \frac{a(t + t_1)^2}{2}$ .

Следовательно, длина предпоследнего вагона:  $l = x_2 - x_1 = \frac{a(t+t_1)^2}{2} - \frac{at^2}{2}$ .

Аналогично можно представить и длину последнего:

$$l = \frac{a(t + t_1 + t_2)^2}{2} - \frac{a(t + t_1)^2}{2}.$$

Приравняв правые части после преобразований, найдём  $t$ :

$$(t + t_1)^2 - t^2 = t_2(2t + 2t_1 + t_2) \Rightarrow t = \frac{t_2^2 + 2t_1t_2 - t_1^2}{2(t_1 - t_2)} = 63,5 \text{ с.}$$

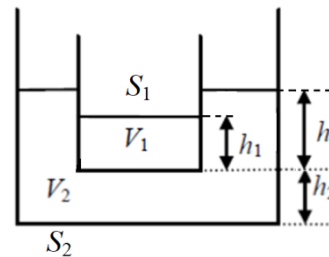
4. Во время нахождения судна в шлюзе в его трюме образовалась течь, которая была замечена, когда судно погрузилось в воду на 10 см ниже ватерлинии (линия по борту, до которой судно погружается в воду при нормальной осадке). Воду из трюма сразу стали откачивать насосами со скоростью 1000 литров в минуту. Площадь сечения судна равна  $S_1 = 500 \text{ м}^2$ , площадь шлюза –  $S_2 = 2000 \text{ м}^2$ . Сделайте пояснительный рисунок и определите:

1. Через какое время ватерлиния судна покажется из-под воды?
2. Как изменится уровень воды в шлюзе? (Шлюз можно рассматривать как закрытый бассейн.)

#### Возможное решение

Обозначим площадь сечения корабля  $S_1$ , шлюза –  $S_2$ , глубину погружения судна –  $h$ , расстояние от дна шлюза до дна судна –  $h_2$ , объём воды в трюме –  $V_1$  и высотой  $h_1$ , объём воды в шлюзе –  $V_2$ .

Условие равновесия судна  $(m_c + m_b)g = \rho g V_{\text{погр}}$ , где  $m_c$  – масса самого судна,  $m_b = \rho V_1 = \rho S_1 h_1$  – масса воды в трюме,  $V_{\text{погр}} = S_1 h$  – объём погруженной части судна,  $\rho$  – плотность воды.



После подстановки и деления на  $\rho S_1 g$  останется  $\frac{m_c}{\rho S_1} + h_1 = h$ .

Учитывая постоянство дроби  $\frac{m_c}{\rho S_1}$ , следует отметить тот факт, что от количества воды в трюме разность  $(h - h_1)$  не зависит:

$$h - h_1 = \frac{m_c}{\rho S_1} = \text{const} \quad (*).$$

1) Поэтому, когда при откачке воды ватерлиния появится (т. е.  $h$  уменьшится на  $h_0 = 10$  см – отсутствует на рисунке),  $h_1$  уменьшится на ту же величину  $h_0$ .

Найдём время этого убывания воды в трюме (или появления ватерлинии из-под воды):  $S_1 h_0 = v \cdot t$ , где  $v = 1000$  л/мин – скорость откачивания воды. Откуда  $t = 50$  мин (5 баллов).

2) Запишем объём всей воды в шлюзе и трюме судна:

$$V = S_2 h_2 + (S_2 - S_1)h + S_1 h_1 = \text{const}.$$

Перегруппируем:  $V = S_2(h_2 + h) - S_1(h - h_1) = \text{const}$ ,

где  $S_1(h - h_1) = \text{const}$  на основании выражения (\*).

Тогда  $(h_2 + h) = \text{const}$  – уровень воды в шлюзе не изменится (и не зависит от количества воды в трюме корабля) (5 баллов).

**5.** В таблице содержатся экспериментальные данные для построения ВАХ (зависимость силы тока через элемент от напряжения на нём) двух элементов: линейного и нелинейного (данные расположены в случайном порядке).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$I, \text{A}$	0,10	0,02 5	0,10	0,15	0,30	0,35	0,20	0,25	0,32	0,47 5	0,42 5	0,57 5	0,55
$U, \text{В}$	2,0	2,0	5,5	7,0	7,0	8,0	8,6	10,0	11,0	11,0	13,0	13,0	14,5

1) Построить ВАХ элементов на одном листе миллиметровой бумаги.

2) Какие из приведённых в таблице точек относятся к линейному элементу, а какие к нелинейному?

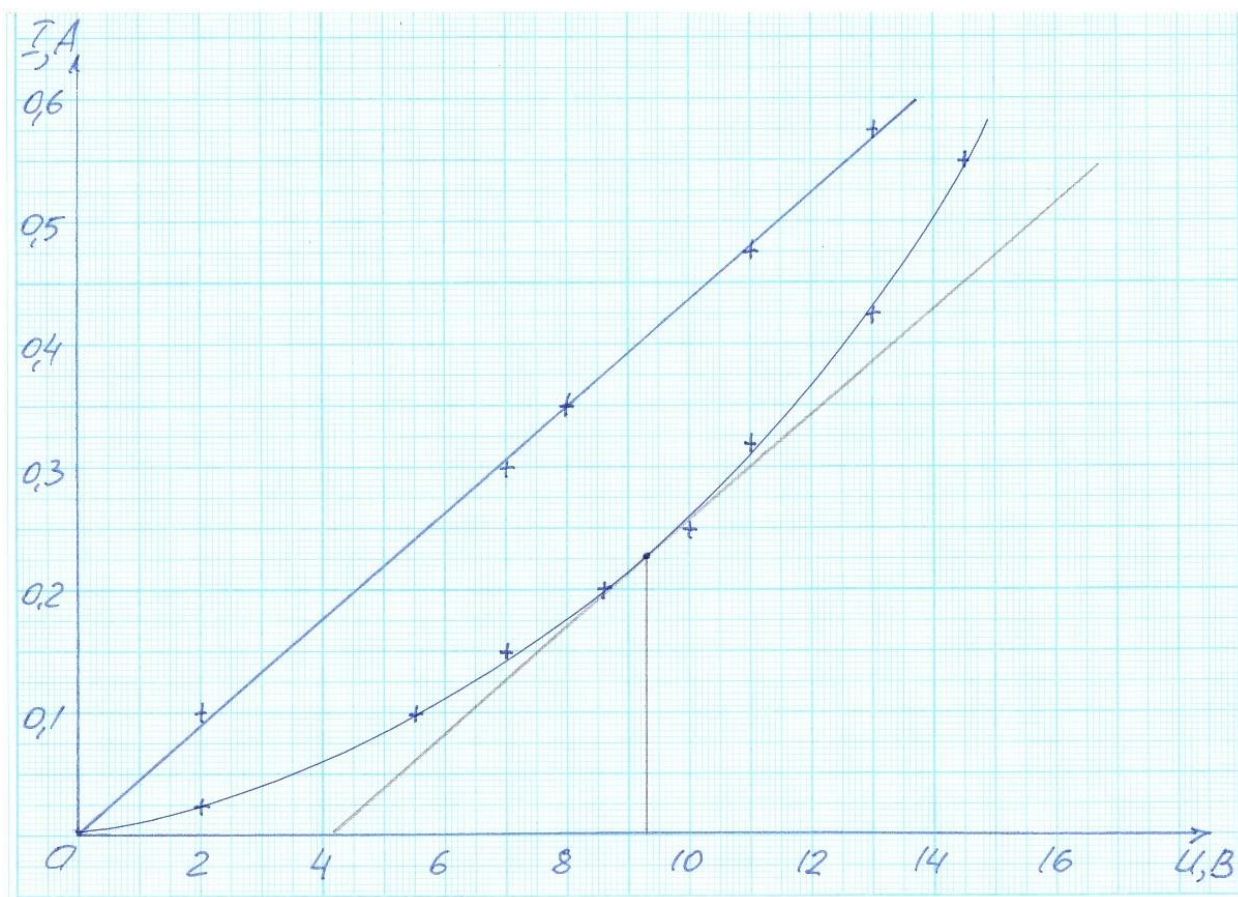
3) Определите сопротивление линейного элемента.

4) При каком напряжении сопротивление линейного и нелинейного элементов совпадают?

**Оборудование:** лист миллиметровой бумаги формата А5.

**Примечание:** решение без графической обработки данных оценивается в 0 баллов.

**Возможное решение:**



### 1) Критерии оценки графика

Перечисленные ниже критерии касаются не существа графика, а его оформления. При этом если график является неверным по существу, график не оценивается.

Баллы	Название критерия	Пояснения
0,5	Размер графика	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
0,5	Расположение и ориентация осей графика	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая
0,5	Подписывание осей графика	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости) десятичный множитель
0,5	Оцифровка осей графика	Штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные линии миллиметровой бумаги. При оцифровке штрихов следует использовать натуральные числа и числа, кратные 2, 5. Интервал между числами 2–4 см
0,5	Точки графика	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом

		погрешности измерения
0,5	Линия графика	Плавная кривая. На графиках должны быть проведены «усредняющие» линии. Вместо «усредняющих» линий не допускается проведение ломаных, последовательно соединяющих экспериментальные точки. Линейный участок графика должен строиться по линейке

2) К линейному элементу относятся точки 1, 5, 6, 10, 12 (1 балл). К нелинейному элементу относятся точки 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 13 (1 балл).

3)  $R = \frac{U}{I} \approx 22,9$  Ом. Ответ оценивается, если найденное сопротивление соответствует диапазону [21,7; 24,0] Ом (2 балла).

4) Необходимо провести касательную, угол наклона которой совпадает с углом наклона графика для линейного элемента.  $U = 9,3$  В. Ответ оценивается, если найденное напряжение соответствует диапазону [7,9; 10,7] В (3 балла).

### Критерии оценивания

**Критерии и методики оценивания** выполненных олимпиадных заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2024/25 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляются по критериям, предложенным центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

**Каждое задание оценивается в 10 баллов.**

**Максимальный балл – 50.**

10 баллов	Полное верное решение
7–9 баллов	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа
5–7 баллов	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5 баллов	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2 балла	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0 баллов	Решение неверное или отсутствует

**Всероссийская олимпиада школьников по физике**  
**Муниципальный этап**  
**10-й класс**

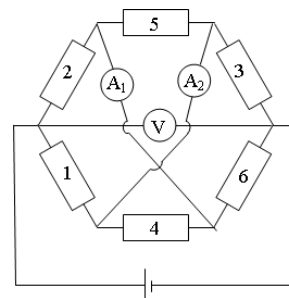
*Время выполнения – 3 астрономических часа 50 минут.*

**1.** Пассажир поезда заметил, что две встречные электрички промчались мимо него с интервалом  $t_1 = 6$  мин. С каким интервалом времени  $t_2$  проехали эти электрички мимо станции, если поезд, в котором находился пассажир, ехал со скоростью  $v_1 = 100$  км/ч, а скорость каждой из электричек  $v_2 = 60$  км/ч? Длиной электричек пренебречь.

**Возможное решение**

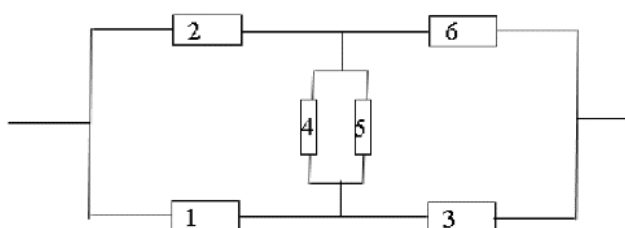
Найдём расстояние между электричками в двух системах отсчёта: в системе отсчёта «поезд», связанной с пассажиром, и в системе отсчёта, связанной со станцией. В системе отсчёта «поезд» электрички движутся со скоростью  $v_{\text{отн}} = v_1 + v_2$ . Так как они проходят мимо пассажира с интервалом времени  $t_1$ , расстояние между электричками  $s = v_{\text{отн}} t_1 = (v_1 + v_2) t_1$ . В системе же отсчёта, связанной со станцией,  $s = v_2 t_2$ . Приравнявая два выражения для  $s$ , получаем  $t_2 = (v_1 + v_2) t_1 / v_2$ . Подставляя численные данные, находим  $t_2 = 16$  мин.

**2.** Схема с идеальными амперметрами и вольтметром, который показывает 8 В, подключена к источнику постоянного напряжения. Сопротивления резисторов в омах подписаны на них. Определите показания амперметров.



**Возможное решение**

Известно, что сопротивление идеального вольтметра бесконечно велико, а идеального амперметра пренебрежимо мало. Поэтому идеальный вольтметр можно заменить на разрыв цепи, а идеальный амперметр – на проводник. Тогда, объединяя точки схемы, к которым подключены амперметры, можно перерисовать её в таком виде (см. рис). Это мост Уитстона, причём сбалансированный ( $1:2 = 3:6$ ), поэтому через перемычку ток не идёт и её можно просто убрать. В этом случае схема сводится к комбинации параллельного и последовательного соединений, и её сопротивление оказывается равным  $8/3$  Ом. Тогда полный ток, текущий через источник, равен 3 А.



Так как на сопротивление 5 (в исходной схеме) ток не идёт, то амперметр  $A_1$  показывает ток, текущий от 2 к 6, т. е. в верхней ветви схемы, аналогично амперметр  $A_2$  – ток в нижней ветви. Поскольку при параллельном соединении токи делятся обратно пропорционально сопротивлениям, то  $A_1$  показывает 1 А,  $A_2$  – 2 А.

### 3. Пар и мокрый снег

В калориметре находится мокрый снег массой  $m_c = 200$  г, содержащий 40 % воды (по массе). В калориметр впускают водяной пар массой  $m_{\text{п}} = 60$  г при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Какова будет температура  $t_k$  содержимого калориметра после того, как в нём установится тепловое равновесие? Удельная теплота парообразования воды  $L = 2,3$  МДж/кг, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 0,33$  МДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг·°C).

#### Возможное решение

Особенностью этой задачи является *неопределённость конечного состояния*. Действительно, в зависимости от числовых значений данных задачи при установлении теплового равновесия в калориметре может оказаться:

- мокрый снег с увеличенным по сравнению с начальным содержанием воды (в таком случае  $t_k = 0^\circ\text{C}$ );
- водяной пар и кипяток (в таком случае  $t_k = 100^\circ\text{C}$ );
- только вода при температуре  $0^\circ\text{C} \leq t_k \leq 100^\circ\text{C}$ ;
- в конце водяной пар и кипяток.

Количество теплоты, выделившееся при конденсации водяного пара:

$$Q_k = Lm_{\text{п}} = 138 \text{ кДж.}$$

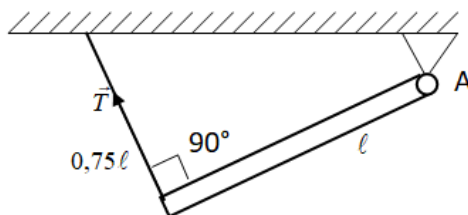
Количество теплоты, необходимое для плавления снега (в калориметре будет только вода при  $0^\circ\text{C}$ ):  $Q_c = \lambda \cdot 0,6m_c = 39,6 \text{ кДж.}$

Количество теплоты, необходимое для нагрева всей воды до  $100^\circ\text{C}$ :

$$Q_n = cm_c(t_k - t_n) = 84 \text{ кДж.}$$

Так как  $Q_c + Q_n < Q_k$ , то только часть энергии, выделившейся при конденсации водяного пара, ушла на получение стоградусной воды из мокрого снега. Поэтому весь пар не сконденсировался и реализуется случай б)  $t_k = 100^\circ\text{C}$ .

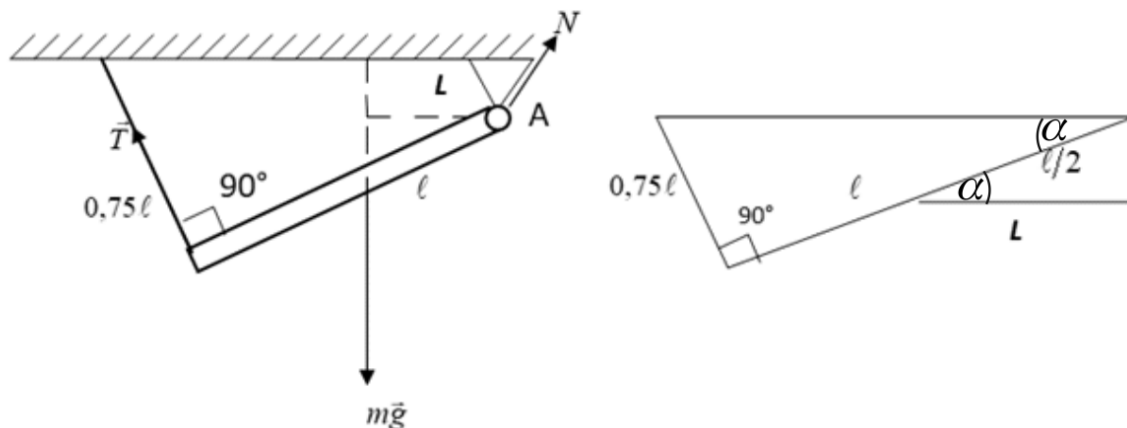
4. Стержень длины  $l$  и массой  $m$  закреплён на одном конце на оси вращения в точке A, а на другом подвешен на нити длины  $0,75l$ , образующей прямой угол со стержнем. Найдите натяжение нити и силу, действующую на стержень в точке A. Размером шарнира пренебречь.





### Возможное решение

На стержень действует сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила натяжения нити  $\vec{T}$  и сила реакции оси вращения стержня  $\vec{N}$ . При равновесии стержня суммы сил и моментов сил, действующих на стержень должны быть равны нулю.

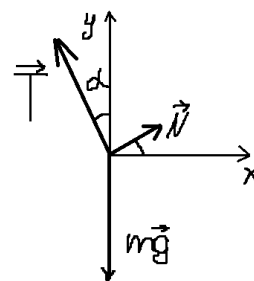


Замечая, что относительно оси вращения подвеса стержня момент силы реакции равен нулю, и приравнявая величины моментов сил тяжести и натяжения нити относительно этой оси, запишем  $Tl = mgL$ , где

$L = \frac{l^2}{2\sqrt{l^2 + (0,75l)^2}} = \frac{2}{5}l$  — плечо силы тяжести (находим из выражений косинуса угла от горизонталей:  $\cos\alpha = \frac{L}{l/2}$  и  $\cos\alpha = \frac{l}{\sqrt{(0,75l)^2 + l^2}}$ ). Из равенства величин моментов находим  $T = \frac{2}{5}mg$ .

Силу, действующую на стержень со стороны оси вращения, найдём из условия равновесия  $m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0$ , из которого следует  $\vec{N} = -(m\vec{g} + \vec{T})$ .

Выбрав систему координат так, как показано на рисунке



(где  $\cos\alpha = \frac{L}{l/2} = \frac{2/5 l}{l/2} = \frac{4}{5}$ , тогда  $\sin\alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} = \frac{3}{5}$ ), запишем:

$$N_x = T\sin\alpha = \frac{2}{5}mg \cdot \frac{3}{5} = \frac{6}{25}mg; \quad N_y = mg - \frac{4}{5}T = \frac{17}{25}mg; \quad N = \frac{\sqrt{13}}{5}mg.$$

$$N \approx 0,72mg.$$

5. Дана таблица зависимости проекции ускорения тела, движущегося вдоль оси ОХ, от времени. Погрешность измерения ускорения составляет  $0,4 \text{ м/с}^2$ , а времени —  $0,2 \text{ с}$ . Проекция начальной скорости тела равна  $2 \text{ м/с}$ .

$a_x, \text{ м/с}^2$	4,5	2,5	2,0	- 1,0	- 3,0	- 6,0
$t, \text{ с}$	0,50	2,25	3,75	4,50	6,50	8,75

Считать, что на всех временных промежутках, рассматриваемых в задаче, закон изменения ускорения одинаков.

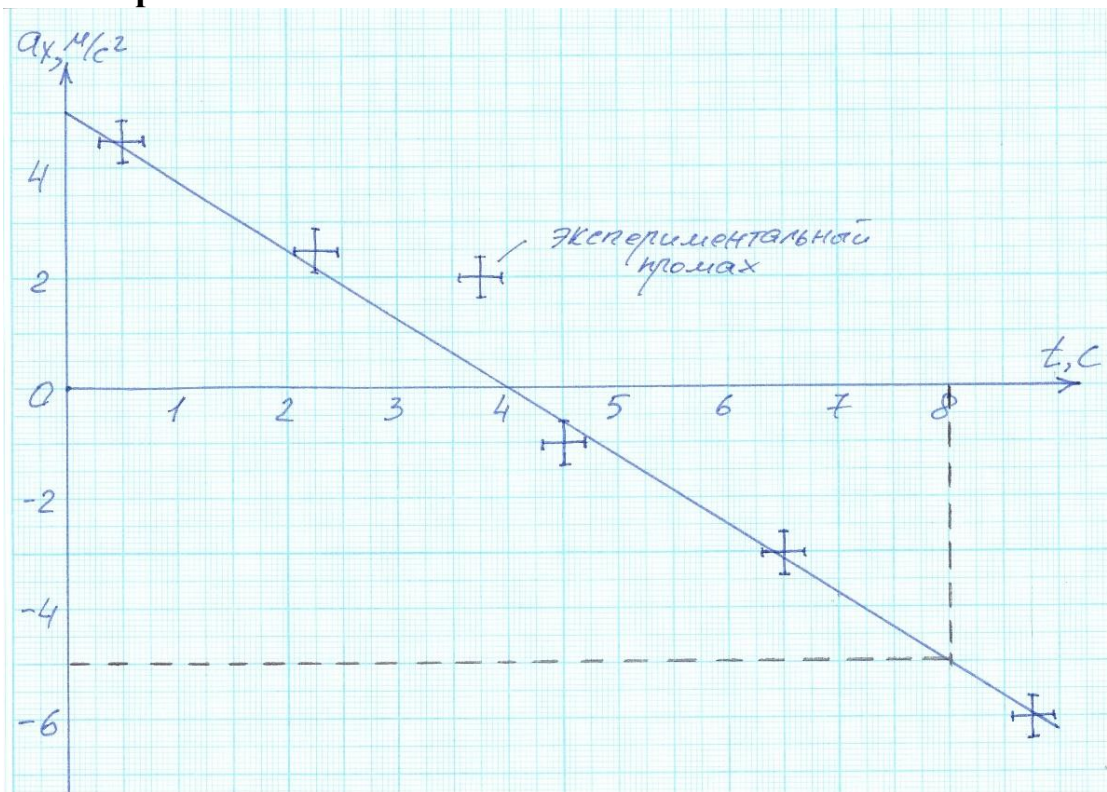


- 1) Построить график зависимости  $a_x(t)$  с учётом погрешности измерений.
- 2) Чему равна проекция ускорения тела в момент времени 8 с?
- 3) Определите максимальную скорость движения на промежутке времени от 0 до 12 с.

**Оборудование:** лист миллиметровой бумаги формата А5.

**Примечание:** решение без графика  $a_x(t)$  оценивается в 0 баллов.

**Возможное решение:**



2)  $a_x = -5 \text{ м/с}^2$ . Ответ оценивается полным баллом, если найденная проекция ускорения соответствует диапазону  $[-5,5; -4,5] \text{ м/с}^2$  (2 балла).

3) Изменение скорости за определённый промежуток времени находим как площадь фигуры под графиком  $a_x(t)$  с учётом знака (2 балла).

Максимальная скорость в момент времени 12 с равна 28 м/с. Ответ оценивается полным баллом, если найденная скорость соответствует диапазону  $[25; 31] \text{ м/с}$ . (3 балла)

## Критерии оценки

### Критерии оценки графика

Перечисленные ниже критерии касаются не существа графика, а его оформления. При этом если график является неверным по существу, график не оценивается.

Баллы	Название критерия	Пояснения
0,5	Размер графика	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
0,5	Расположение и ориентация осей	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая

	графика	
0,5	Подписывание осей графика	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости) десятичный множитель
0,5	Оцифровка осей графика	Штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные линии миллиметровой бумаги. При оцифровке штрихов следует использовать натуральные числа и числа, кратные 2, 5. Интервал между числами 2–4 см
0,5	Точки графика	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом погрешности измерения
0,5	Линия графика	Плавная кривая. На графиках должны быть проведены «усредняющие» линии. Вместо «усредняющих» линий не допускается проведение ломаных, последовательно соединяющих экспериментальные точки. Линейный участок графика должен строиться по линейке

**Критерии и методики оценивания выполненных олимпиадных заданий** муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2024/25 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляются по критериям, предложенным центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

**Каждое задание оценивается в 10 баллов. Максимальный балл – 50.**

#### **Критерии оценивания**

10 баллов	Полное верное решение
7–9 баллов	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа
5–7 баллов	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5 баллов	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2 балла	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0 баллов	Решение неверное или отсутствует

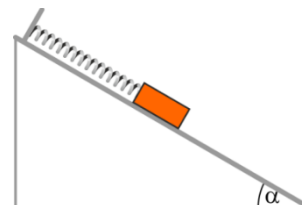
## Всероссийская олимпиада школьников по физике

## Муниципальный этап

## 11-й класс

Время выполнения – 3 астрономических часа 50 минут.

1. К одному концу лёгкой пружины прикреплен брусок, лежащий на наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$ . Другой конец пружины закреплён неподвижно (см. рисунок).

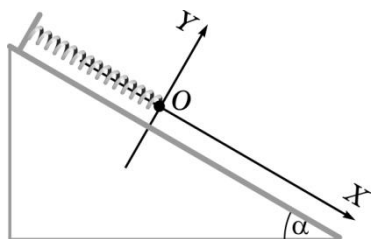


В начальный момент брусок удерживают в положении, при котором пружина не деформирована. Когда брусок отпускают без начальной скорости, он движется в одном направлении и останавливается. При каком минимальном значении коэффициента трения  $\mu_{\min}$  между грузом и плоскостью такое движение бруска возможно?

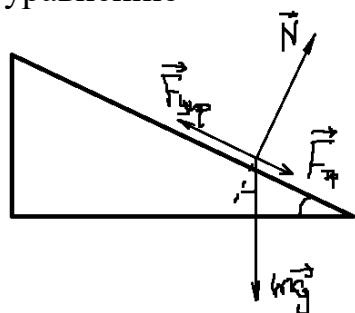
## Возможное решение

Запишем условие, при выполнении которого брусок после мгновенной остановки не начнёт двигаться обратно (вверх по наклонной плоскости). В это условие войдёт коэффициент трения.

Заменим брусок материальной точкой и направим ось  $Ox$  вниз вдоль наклонной плоскости. Начало координат совпадает с положением бруска, когда пружина не деформирована (см. рисунок).



Тогда согласно теореме об изменении кинетической энергии координата  $x$  бруска в момент, когда его скорость станет равной нулю, удовлетворяет уравнению



$$mgx \sin \alpha - \frac{kx^2}{2} - \mu mgx \cos \alpha = 0. \quad (\text{Из } \Delta E_k = A_{mg} + A_{F_{\text{упр}}} + A_{F_{\text{тр}}}) \quad (1).$$

Из уравнения (1) получаем:

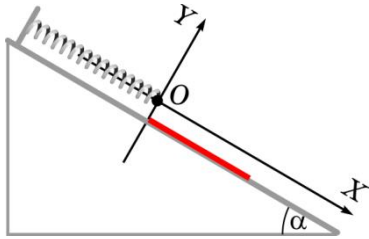
$$x = \frac{2mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} \quad (2).$$

Чтобы после мгновенной остановки брусок не начал двигаться обратно, *вверх* по наклонной плоскости, должно выполняться условие

$$x \leq \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{k}. \quad (\text{Из } F_{\text{упр}} = F_{\text{тр}} + mgsin\alpha) \quad (3).$$

Это означает, что координата  $x$  бруска не должна быть слишком большой (пружина не должна быть растянутой слишком сильно).

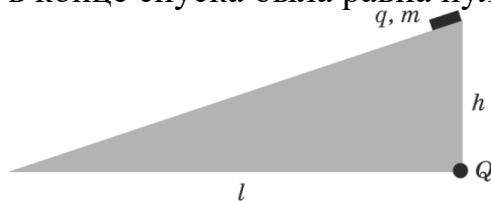
На рисунке красной линией условно изображена область, в которой должен оказаться брусок в момент остановки, чтобы он в этом положении *остановился*. При *минимально возможном* коэффициенте трения брусок остановится в *нижней точке* этой области.



Из соотношений (2) и (3) следует:  $\mu \geq \frac{\tan \alpha}{3}$ .

Следовательно,  $\mu_{\text{мин}} = \frac{\tan \alpha}{3} \approx 0,19$ .

2. Маленькая шайба массой  $m = 30$  г, имеющая заряд  $q = 2$  мкКл, соскальзывает без трения с наклонной плоскости высотой  $h = 50$  см. Длина основания наклонной плоскости  $l = 1,5$  м. Начальная скорость шайбы равна нулю. Каков знак заряда  $Q$ , который надо закрепить на вершине прямого угла, образованного высотой наклонной плоскости и её основанием, чтобы скорость шайбы в конце спуска была равна нулю? Чему равен модуль этого заряда?



### Возможное решение

1. **Каков знак заряда  $Q$ ?** Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим, как изменилась механическая энергия шайбы. Её кинетическая энергия осталась равной нулю (по условию скорость шайбы в начале и в конце спуска равна нулю), а потенциальная энергия в поле тяжести *уменьшилась* на  $mgh$ . Следовательно, механическая энергия шайбы *уменьшилась*. Поэтому согласно закону сохранения энергии при этом должна *увеличиться* потенциальная энергия  $E_e$  шайбы в электрическом поле, создаваемом зарядом  $Q$ .

Рассмотрим, как изменилась эта потенциальная энергия в результате спуска шайбы. Напомним, что потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов  $q$  и  $Q$ , находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, выражается формулой  $E_e = k \frac{qQ}{r}$  (1).

В начальном состоянии  $E_{\kappa} = k \frac{qQ}{h}$  (2),

а в конечном  $E_{\kappa} = k \frac{qQ}{l}$  (3).

Следовательно, изменение потенциальной энергии

$$\Delta E_{\kappa} = E_{\kappa} - E_{\kappa} = k \frac{qQ}{l} - k \frac{qQ}{h} = kqQ \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{h} \right) \quad (4).$$

Мы уже знаем, что потенциальная энергия взаимодействия зарядов *увеличилась*, следовательно  $\Delta E_{\kappa} > 0$ . Заметим теперь, что заключённое в скобки выражение в формуле (4) *отрицательно*, поскольку согласно условию  $l > h$ . Следовательно, произведение  $qQ$  должно быть *отрицательным*. А поскольку  $q > 0$ , заключаем, что  $Q < 0$ .

**2. Чему равен заряд  $Q$ ?** Для нахождения значения заряда  $Q$  воспользуемся законом сохранения энергии.

В начальном состоянии полная энергия шайбы  $E_1 = mgh + k \frac{qQ}{h}$  (5),

а в конечном состоянии  $E_2 = k \frac{qQ}{l}$  (6).

Напомним, что скорость шайбы в начале и конце спуска по условию равна нулю. Согласно закону сохранения энергии  $E_2 = E_1$ , поэтому

$$mgh + k \frac{qQ}{h} = k \frac{qQ}{l} \quad (7).$$

$$\text{Отсюда получаем: } Q = \frac{mgh^2 l}{kq(h-l)} \quad (7).$$

Заметим, что, как мы и ожидали,  $Q < 0$ , поскольку  $h < l$ .

После проверки наименования величины подставим числовые значения и получим:

$$Q = \frac{mgh^2 l}{kq(h-l)} = -6,25 \cdot 10^{-6} \text{ (Кл)}.$$

Ответ:  $Q = -6,25 \text{ мкКл}$ .

**3. Теплоизолированный сосуд объёмом  $V = 2 \text{ м}^3$  разделён пористой перегородкой на две равные части (см. рис). В начальный момент в левой части сосуда находится  $\nu_{\text{г}} = 2$  моля гелия, а в правой находится  $\nu_{\text{а}} = 1$  моль аргона. Температура гелия  $T_{\text{г}} = 300 \text{ К}$ , а температура аргона  $T_{\text{а}} = 600 \text{ К}$ . Атомы гелия свободно проходят сквозь перегородку, а атомы аргона не проходят. Чему будет равно давление  $p_{\text{п}}$  газа в правой части сосуда после установления теплового равновесия?**

**Возможное решение:**

**1. Какова будет конечная температура газов?** Конечную температуру  $T$  газов можно найти, воспользовавшись законом сохранения энергии. Согласно этому закону суммарная внутренняя энергия газов остаётся неизменной, потому что сосуд теплоизолирован и работы газы не совершают.

Оба газа являются одноатомными. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа  $U = \frac{3}{2} \nu RT$  (1).

В начальном состоянии  $U_n = \frac{3}{2} \nu_r RT_r + \frac{3}{2} \nu_a RT_a$  (2).

В конечном состоянии, когда наступит тепловое равновесие, оба газа будут иметь одинаковую температуру, поэтому для суммарной энергии в конечном состоянии можем записать  $U_k = \frac{3}{2} \nu_r RT + \frac{3}{2} \nu_a RT = \frac{3}{2} RT(\nu_r + \nu_a)$  (3).

Согласно закону сохранения энергии  $U_k = U_n$ . Приравнявая правые части выражений (2, 3), находим выражение для конечной температуры:

$$T = \frac{\nu_r T_r + \nu_a T_a}{\nu_r + \nu_a} \quad (4).$$

## 2. Чему будет равно давление каждого из газов в конечном состоянии?

По условию атомы гелия «не замечают» пористой перегородки, свободно проходя сквозь неё, поэтому в конечном состоянии гелий равномерно заполнит обе части сосуда, то есть будет занимать объем  $V$ . Атомы же аргона остаются только в правой части сосуда, потому что для них перегородка непроницаема. Следовательно, аргон как занимал, так и занимает объём  $V/2$ . Давление  $p_l$  газа в левой части сосуда равно давлению гелия  $p_r$ , а давление  $p_n$  газа в правой части сосуда – сумме (парциальных) давлений гелия и аргона:  $p_n = p_r + p_a$ . (5)

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона для каждого из газов в конечном состоянии:  $p_r V = \nu_r RT$  (6),

$$p_a \frac{V}{2} = \nu_a RT \quad (7).$$

Из формулы (6) находим давление гелия в конечном состоянии

$$p_r = \frac{\nu_r RT}{V} \quad (8),$$

а из формулы (7) давление аргона в конечном состоянии

$$p_a = \frac{2\nu_a RT}{V} \quad (9).$$

## 3. Чему будет равно давление газа в правой части сосуда в конечном состоянии?

Используя формулы (5, 8, 9), получаем:

$$p_n = \frac{\nu_r RT}{V} + \frac{2\nu_a RT}{V} = \frac{RT}{V} (\nu_r + 2\nu_a) \quad (10).$$

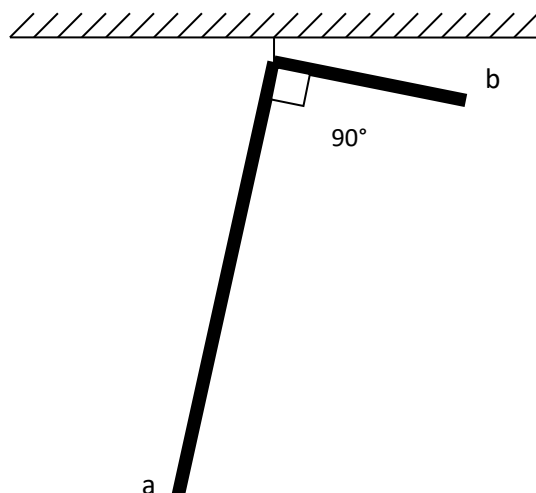
Подставим в эту формулу выражение (4) для конечной температуры  $T$  и получим:  $p_n = \frac{R(\nu_r T_r + \nu_a T_a)}{V} \frac{\nu_r + 2\nu_a}{\nu_r + \nu_a}$ .

Подставим числовые значения и получим:

$$p_n = \frac{R(\nu_r T_r + \nu_a T_a)}{V} \cdot \frac{\nu_r + 2\nu_a}{\nu_r + \nu_a} = \frac{8,31 \cdot (2 \cdot 300 + 1 \cdot 600)}{2} \cdot \frac{2+2}{2+1} = 6\,650 \text{ (Па)}.$$

Ответ:  $p_n = 6,65 \text{ кПа}$ .

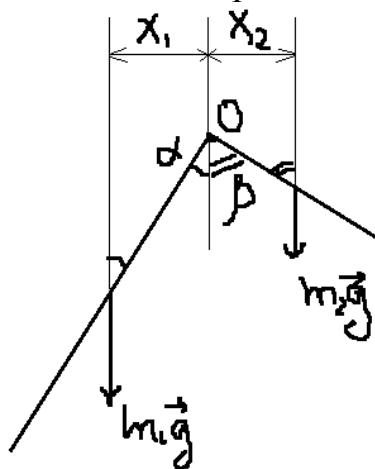
4. Изготовленный из однородной проволоки прямой угол подвешен за свою вершину и может свободно поворачиваться вокруг неё. Какие углы будут образовывать его стороны с вертикалью в положении равновесия, если длины его сторон равны  $a$  и  $b$ ?



### Возможное решение

Чтобы проволочный треугольник находился в равновесии, его центр масс (центр тяжести) должен находиться с точкой его подвеса на одной вертикали.

Центры масс сторон проволочного прямого угла будут расположены на их серединах, а сами массы сторон будут прямо пропорциональны их длинам. Поэтому центр масс проволочного прямого угла будет лежать на отрезке, соединяющем середины сторон угла.



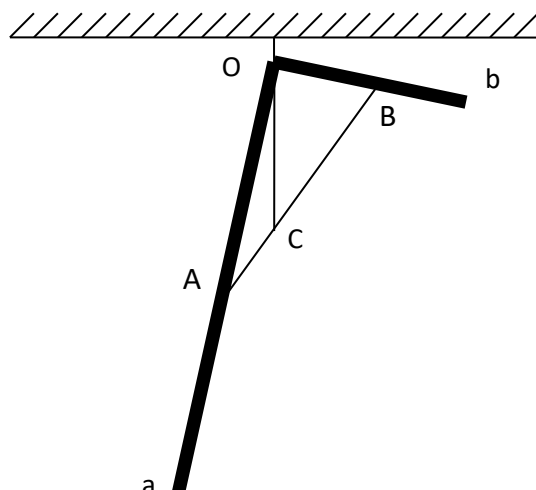
Правило моментов относительно точки подвеса  $m_1 g x_1 = m_2 g x_2$ , где:

- 1)  $m_1 = \tau \cdot a$  и  $m_2 = \tau \cdot b$  ( $\tau$  – линейная плотность проволоки),
- 2)  $\sin \alpha = \frac{x_1}{a/2}$  и  $\sin \beta = \frac{x_2}{b/2}$ .

Подставляя массы и плечи ( $x_1$  и  $x_2$ ), получим  $a^2 \sin \alpha = b^2 \sin \beta$ , а т. к.  $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$ , то  $\sin \alpha = \cos \beta$ , тогда  $\alpha = \arctg \frac{b^2}{a^2}$  и  $\beta = \arctg \frac{a^2}{b^2}$ .

### Второй вариант решения





Обозначим середину стороны  $a$  буквой  $A$ , центр масс отметим буквой  $C$ . Рассмотрим треугольник  $OAC$  и найдём длины его сторон:

$$OA = \frac{a}{2}; \quad AC = \frac{1}{2} \frac{b}{a+b} \sqrt{a^2 + b^2}; \quad OC = \frac{\sqrt{a^4 + b^4}}{2(a+b)}.$$

Для определения  $\angle OAC$  можно воспользоваться, например, теоремой синусов, согласно которой  $AC \sin \angle OAC = OC \sin \angle AOC$ .

Принимая во внимание, что  $\sin \angle OAC = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$ ,  
находим  $\sin \angle AOC = \frac{AC}{OC} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{b^2}{\sqrt{a^4 + b^4}}$ .

Таким образом, угол, образованный стороной  $a$  с вертикалью

$$\angle AOC = \arcsin \frac{b^2}{\sqrt{a^4 + b^4}}; \quad 0 < \angle AOC < \pi/2.$$

Угол между стороной  $b$  и вертикалью, очевидно,  $\angle BOC = \frac{\pi}{2} - \angle AOC$ .

5. Дана таблица зависимости напряжения от силы тока для одного и того же источника. Погрешность измерения напряжения составляет 0,1 В, а силы тока – 0,04 А.

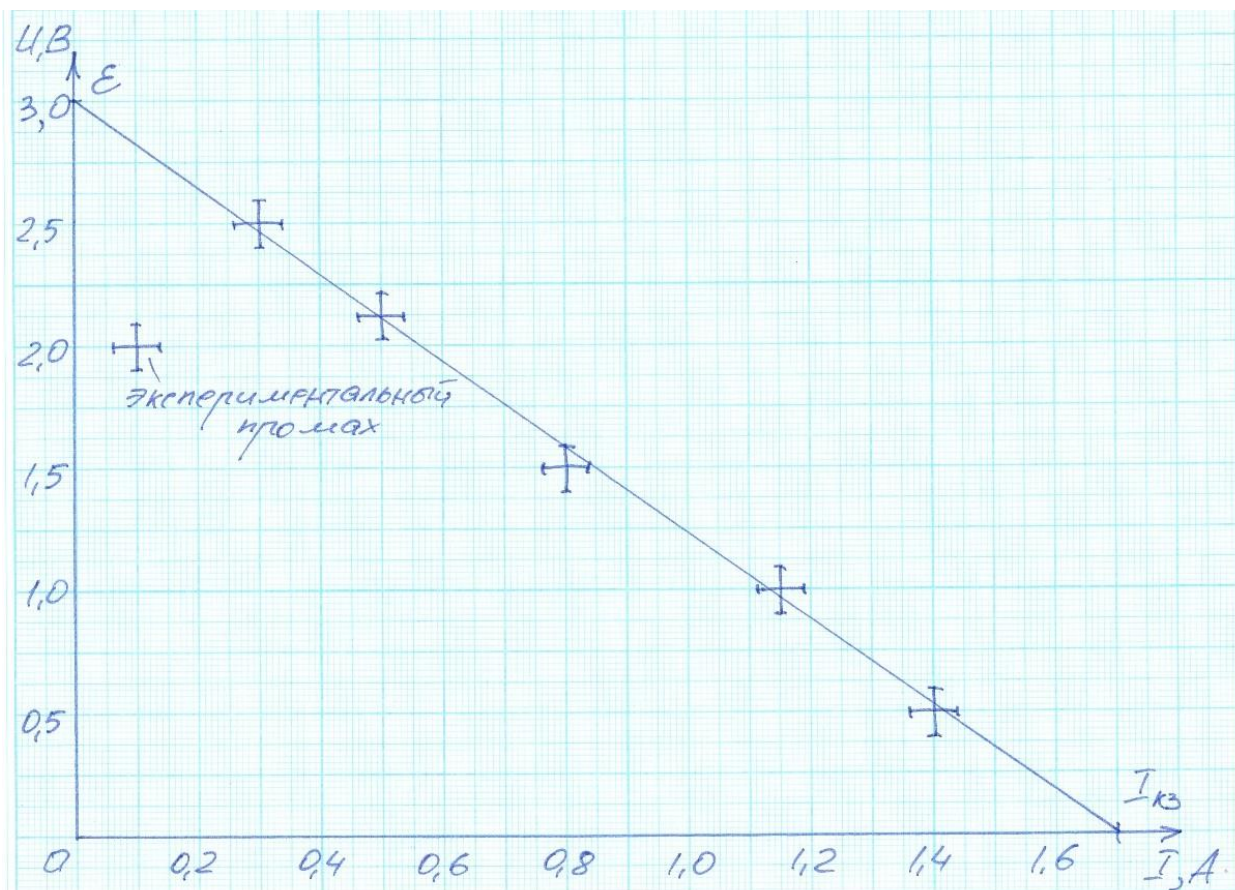
$U$ , В	2,00	2,50	2,13	1,50	1,00	0,50
$I$ , А	0,10	0,30	0,50	0,80	1,15	1,40

- 1) Построить нагрузочную кривую (график зависимости  $U(I)$  с учётом погрешности измерений).
- 2) Определите ток короткого замыкания.
- 3) Найдите внутреннее сопротивление.
- 4) Чему равно КПД источника тока при напряжении 1,75 В?

**Оборудование:** лист миллиметровой бумаги формата А5.

**Примечание:** решение без графика  $U(I)$  оценивается в 0 баллов.

**Возможное решение**



2)  $I_{кз}$  соответствует диапазону [1,6; 1,8] А (2 балла).

3)  $r = \frac{\epsilon}{I_{кз}}$  равно [1,6; 2,0] Ом (2 балла).

4)  $\eta = \frac{U}{\epsilon}$  принимает значения [53; 63] % (3 балла).

## Критерии оценки

### Критерии оценки графика

Перечисленные ниже критерии касаются не существа графика, а его оформления. При этом если график является неверным по существу, график не оценивается.

Баллы	Название критерия	Пояснения
0,5	Размер графика	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
0,5	Расположение и ориентация осей графика	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая
0,5	Подписывание осей графика	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости) десятичный множитель
0,5	Оцифровка осей графика	Штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные

		линии миллиметровой бумаги. При оцифровке штрихов следует использовать натуральные числа и числа, кратные 2, 5. Интервал между числами 2–4 см
0,5	Точки графика	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом погрешности измерения
0,5	Линия графика	Плавная кривая. На графиках должны быть проведены «усредняющие» линии. Вместо «усредняющих» линий не допускается проведение ломаных, последовательно соединяющих экспериментальные точки. Линейный участок графика должен строиться по линейке

**Критерии и методики оценивания выполненных олимпиадных заданий** муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2024/25 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляется по критериям, предложенным центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

**Каждое задание оценивается в 10 баллов.**

**Максимальный балл – 50.**

**Критерии оценивания**

10 баллов	Полное верное решение
7–9 баллов	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа
5–7 баллов	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5 баллов	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2 балла	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0 баллов	Решение неверное или отсутствует