

Всероссийская олимпиада школьников по физике

2025-2026 уч. год

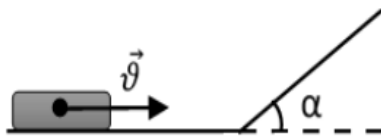
Муниципальный этап

11 класс

Время выполнения –

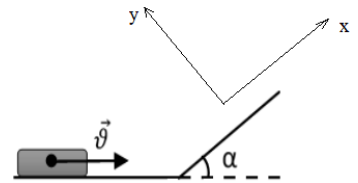
3 астрономических часа 50 минут

1. Кирпич движется по идеально ровному столу со скоростью v . Найдите максимальную высоту подъема кирпича по стационарной наклонной плоскости с углом $\alpha < \pi/2$ и коэффициентом трения μ , предполагая, что длина наклонной плоскости значительно превышает длину кирпича. Удар о наклонную плоскость считается абсолютно неупругим, при ударе импульс системы не сохраняется.



Возможное решение

Спроектируем второй закон Ньютона для кирпича в импульсной форме на выбранные оси (см. рис.), учтём, что изменение импульса обусловлено действием силы тяжести, силы трения и силы нормальной реакции опоры со стороны плоскости за время Δt :



$$ox: mv' - mv \cos \alpha = (-mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}) \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

$$oy: 0 - (-mv \sin \alpha) = (-mg \cos \alpha + N) \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

v' - скорость кирпича сразу после начала скольжения по наклонной плоскости.

Т.к. в момент изменения траектории кирпича (удара) $mg \cos \alpha$ и $mg \sin \alpha \ll N$, то после применения закона Амонтона-Кулона:

$$ox: mv' - mv \cos \alpha = -\mu N \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

$$oy: mv \sin \alpha = N \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

Объединим: $mv' - mv \cos \alpha = -\mu mv \sin \alpha$, откуда

$$v' = v(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \quad (1 \text{ балл})$$

По закону изменения механической энергии:

$$(mgh + 0) - \left(0 + \frac{mv'^2}{2}\right) = -F_{\text{тр}} s \quad (2 \text{ балла})$$

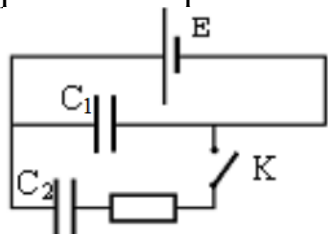
$$\text{где } F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha \text{ и } s = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (1 \text{ балл})$$

После подстановки v' находим максимальную высоту

$$h = \frac{v^2 (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)^2}{2g (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)} \quad (2 \text{ балла})$$

2. В электрической цепи, представленной на рисунке, вначале ключ К разомкнут. После того, как ключ замкнули, в цепи выделилось $Q = 10^{-5}$ Дж тепла.

Найти емкости конденсаторов, если $C_1 = 2C_2$. ЭДС источника $E = 10$ В, внутренним сопротивлением источника пренебречь.



Возможное решение

В начальный момент конденсатор ёмкостью C_1 обладает энергией $W_1 = 0,5C_1E^2$

После замыкания ключа ещё зарядится конденсатор C_2 и будет иметь заряд $q = C_2E$ (у первого ничего не изменится) и энергию $W_2 = 0,5C_2E^2$. **(2 балла)**

Работа, совершенная батареей при замыкании ключа $A = qE$. **(2 балла)**

Работа источника идёт на изменение энергии конденсаторов, включённых в цепь, а также превращается в тепло, выделяющееся на резисторах цепи: $A = \Delta W + Q$. **(2 балла)**

Подставив $A = C_2E^2$ и $\Delta W = W_{\text{конеч}} - W_{\text{нач}} = (W_1 + W_2) - W_1$, получим $Q = 0,5C_2E^2$.

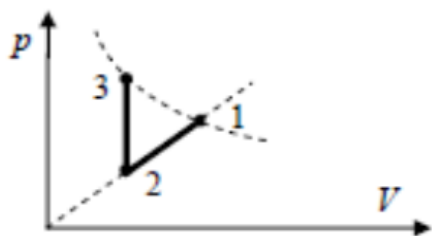
Отсюда $C_2 = 2Q/E^2$. **(2 балла)**

Подставив данные задачи, получим $C_2 = 2 \cdot 10^{-7}$ Ф и $C_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ Ф. **(2 балла)**

3. Некоторое количество азота охлаждают так, что его давление меняется пропорционально его объёму. Затем его нагревают при постоянном объёме до начальной температуры. Найдите отношение количества теплоты, отданного газом, к количеству теплоты, полученному им. Постройте график зависимости давления от объёма. Азот при рассматриваемых температурах можно считать идеальным газом. При решении учтите, что азот двухатомный газ.

Возможное решение

График зависимости давления от объёма показан на рисунке **(2 балла)**



Ответом на вопрос является отношение $\frac{Q_{\text{отд}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{|Q_{12}|}{Q_{23}}$ **(1 балл)**

Первый закон термодинамики (1-2): $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$

Для линейной зависимости работа газа (через площадь):

$$A_{12} = \frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) \quad \textbf{(2 балла)}$$

Изменение внутренней энергии двухатомного газа:

$$\Delta U_{12} = \frac{5}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad (1 \text{ балл})$$

Тогда $Q_{12} = \frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{5}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = 3(p_2 V_2 - p_1 V_1)$ (1 балл)

Первый закон термодинамики (2-3): $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \Delta U_{23}$

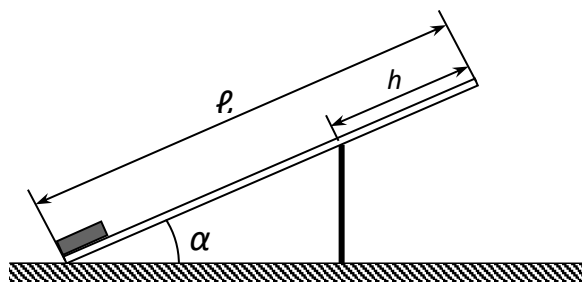
где $\Delta U_{23} = -\Delta U_{12}$ т.к. состояния 1 и 3 принадлежат одной изотерме (1 балл)

Тогда $Q_{23} = \frac{5}{2}(p_1 V_1 - p_2 V_2)$ (1 балл)

После подстановки Q_{12} и Q_{23} получим, что $\frac{Q_{\text{отд}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{|-3|}{5/2} = 1,2$ (1 балл)

Примечание: если участник олимпиады представляет полностью правильное решение, но для одноатомного газа, то максимальный балл за задание – 8 баллов

4. Плоскую шайбу массой $m = 2\text{ кг}$ толкнули по однородной доске длиной $\ell = 3\text{ м}$, опирающейся на уступ на расстоянии $h = 1\text{ м}$ от конца. Масса доски $M = 6\text{ кг}$, доска составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, трение между доской и шайбой отсутствует, скорость шайбы на верхнем конце доски принять нулю. Какую скорость следует сообщить шайбе, чтобы нижний конец доски оторвался от пола?



Возможное решение

Чтобы нижний конец доски оторвался от пола необходимо, чтобы момент силы тяжести шайбы относительно оси, проходящей через точку О, превышал момент силы тяжести доски. $mg l_2 \geq Mgl_1$ (1) (3 балла)

$l_1 = \left(\frac{l}{2} - h\right) \cos \alpha$, $l_2 = (x - (l - h)) \cos \alpha$, (2 балла), где x – путь, который шайба

прошла по доске до остановки. По закону сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgx \sin \alpha \quad (2). \quad (3 \text{ балла})$$

Решая совместно (1) и (2) получаем $v_0 = \sqrt{2g \left(l - h + \frac{m}{M} \left(\frac{l}{2} - h \right) \right) \sin \alpha} = 4,7 \text{ м/с.}$

(2 балла.)

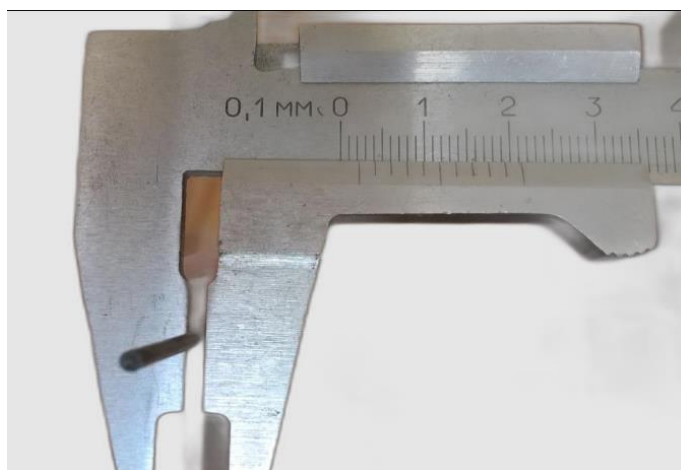
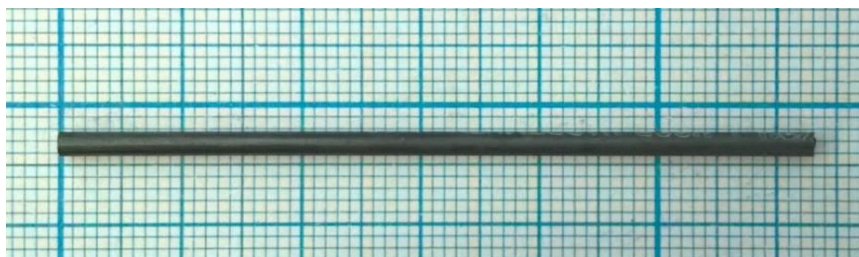
5. Учащийся решил измерить удельное электрическое сопротивление графита. Для этого он использовал графитовый стержень, источник постоянного напряжения, соединительные провода, кювету, воду, миллиметровую бумагу, термометр, секундомер и штангенциркуль (см. рис.). Сначала учащийся определил геометрические размеры графитового стержня:

его длину и диаметр. Затем провел эксперимент по измерению изменения температуры воды в кювете во времени при прохождении электрического тока через графитовый стержень. Напряжение источника питания оставалось постоянным в течение всего опыта и составляло 10,8 В.

Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·°C), масса воды в кювете 40 г.

Таблица 1

t, °C	τ, мин	t, °C	τ, мин	t, °C	τ, мин	t, °C	τ, мин
20	0	24	1,46	28	3,57	32	6,07
21	0,22	25	2,07	29	4,25	33	6,80
22	0,50	26	2,58	30	4,88	34	7,57
23	0,95	27	3,05	31	5,42	35	8,25



- 1) Опишите метод определения удельного сопротивления графитового стержня.
- 2) Определите по приведенным экспериментальным данным удельное сопротивление графита.

Возможное решение

Измерим длину стержня $L = 12,6$ см и диаметр $d = 2,2$ мм. **(1 балл)**

Запишем уравнение теплового баланса без учёта тепловых потерь в окружающую среду $\frac{U^2 \tau}{R} = cm \Delta t$, $\Delta t = \frac{U^2 \tau}{Rcm}$. **(1 балл)**

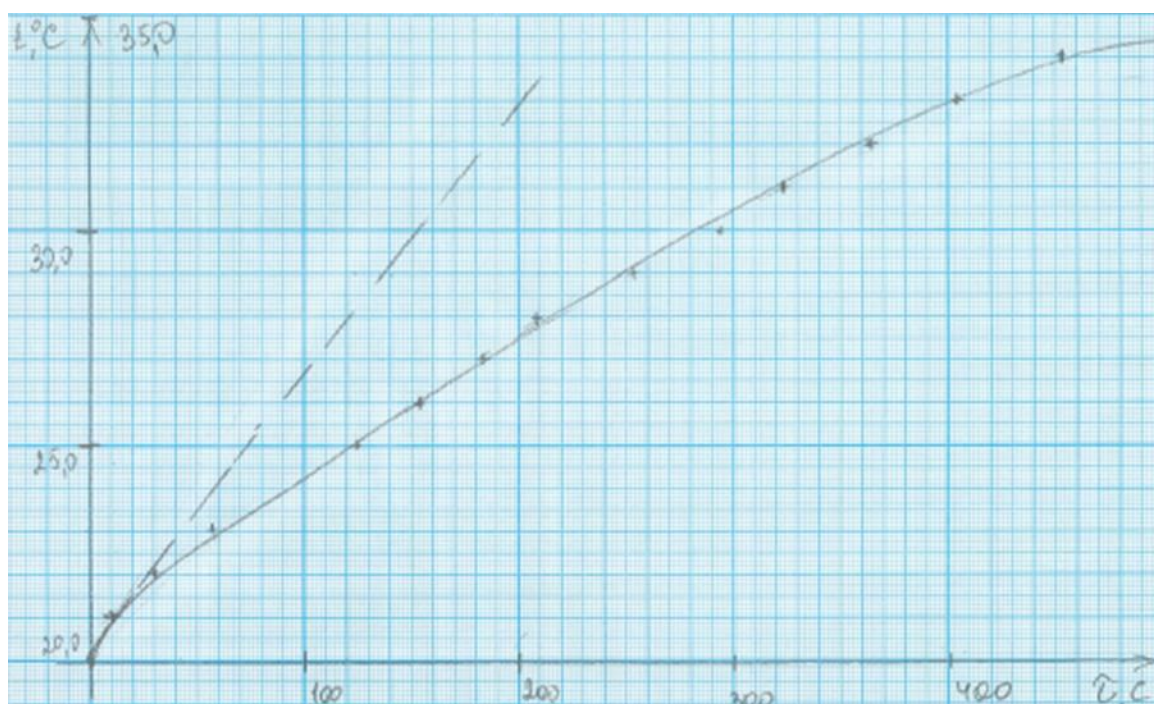
В зависимости $\Delta t(^{\circ}\text{C})$ от τ выражение $U^2 \tau / (Rcm)$ – константа и может быть найдена по графику зависимости $t(^{\circ}\text{C})$ от τ .

Так как $R = \rho L/s$, то $\rho = \frac{U^2 s \tau}{L_{cm} \Delta t} = \frac{U^2 s}{L_{cm}} \times \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{U^2 \pi d^2}{4 L_{cm}} \times \frac{\tau}{\Delta t}$. (1) (2 балла)

Для нахождения $\tau/\Delta t(^{\circ}\text{C})$ построим по данным таблицы график зависимости $t(^{\circ}\text{C})$ от τ (3 балла). Для этого переведём время в секунды. (1 балл)

Таблица 2.

t, °C	τ, мин	τ, с	t, °C	τ, мин	τ, с	t, °C	τ, мин	τ, с	t, °C	τ, мин	τ, с
20	0	0	24	1,46	87	28	3,57	214	32	6,07	364
21	0,22	13	25	2,07	124	29	4,25	255	33	6,80	408
22	0,50	30	26	2,58	155	30	4,88	293	34	7,57	454
23	0,95	57	27	3,05	183	31	5,42	325	35	8,25	495



Тепловые потери в окружающую среду прямо пропорциональные разности температур среды и температуры воды в кювете. Поэтому уравнение теплового баланса без учёта тепловых потерь справедливо в области температуры 20°C . Для нахождения $\tau/\Delta t(^{\circ}\text{C})$ нужно провести касательную к графику и найти отношение: $\frac{\tau}{\Delta t} = 13,3 \frac{\text{с}}{^{\circ}\text{C}}$.

Подставив числовые значения в формулу (1), получим $\rho \approx 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (2 балла)

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