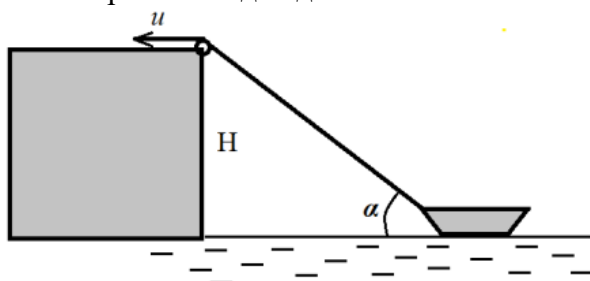


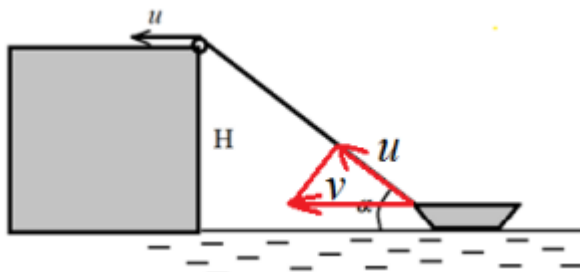
Всероссийская олимпиада школьников по физике 2025-2026 года.
Муниципальный этап. 11 класс.
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.
Поясняйте свой ответ. Желаем успехов!

Задача 1. Лодку подтягивают к высокому причалу с помощью троса. Трос вытягивают горизонтально с постоянной скоростью u . Найдите зависимость скорости лодки от угла α . Найдите зависимость ускорения лодки от угла α . Какое время затратит лодка на перемещение от угла $\alpha = 30^\circ$ до причала. Высота причала над водой H .



Решение.

Поскольку трос нерастяжимый, то возьмем проекцию скорости лодки на трос и находим $v \cos \alpha = u$, где v – скорость лодки.



Используем общее определение ускорения через производную и найдем её:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{u \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

Через определение угловой скорости найдем её:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega = \frac{v \sin \alpha}{R} = \frac{u \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha}{H}$$

Поскольку $R = H / \sin \alpha$, то окончательно имеем: $a = \frac{u^2}{H} \cdot \operatorname{tg}^3 \alpha$

Найдем время t , когда угол меняется от $\alpha = 30^\circ$ до 90° , а длина троса соответственно изменилась с $R = 2H$ до H . Т.к. трос вытягивали с постоянной скоростью u , то $\Delta R = 2H - H = H = ut$ и тогда получаем, что время $t = H/u$

№	Критерии	Баллы
1	Нахождение скорости из кинематической связи $v \cos \alpha = u$	2
2	Выражение длины троса через H : $R = H / \sin \alpha$	1
3	Найдена оставшаяся скорости, перпендикулярная тросу: $v \sin \alpha$	1
4	Нахождение ускорения:	4
5	Получено выражение для ускорения	2

6	Найдено время	1
---	---------------	---

Ответ: 6 с.

Задача 2. Посередине горизонтальной трубки, закрытой с торцов, находится поршень. Слева и справа от него при давлении p имеется водяной пар, конденсирующийся при давлении $2p$. Трубку ставят вертикально. При этом объем под поршнем уменьшается в четыре раза. Найдите вес поршня, если площадь поршня равна S . Трение пренебрежимо мало. Температура в обоих отсеках одинакова и постоянна.

Решение.

Пар под поршнем должен частично сконденсироваться. Давление пара после начала конденсации и до ее окончания равно давлению насыщенного пара $2p$. Давление над поршнем вычисляется по закону Бойля-Мариотта:

$$p_1 = p \frac{V}{V_1} = p \frac{V}{V + 3V/4} = \frac{4}{7} p$$

Из условия равновесия поршня имеем: $p_1 S + mg = 2pS$

Отсюда находим вес поршня:

$$mg = \left(2 - \frac{4}{7}\right) pS = \frac{10}{7} pS$$

№	Критерии	Баллы
1	Указано, что давление пара под поршнем равно $2p$	2
2	Найдено давление пара над поршнем	3
3	Записано условие равновесия поршня	2
4	Найден вес поршня	3

Задача 3. В цепи, изображённой на рис. 1, оба ключа разомкнуты, а конденсаторы не заряжены. Сначала замыкают ключ K_1 , а затем, когда заряд на конденсаторе ёмкостью C станет равным $2C\varepsilon/3$, замыкают ключ K_2 . Определите сопротивление резистора R и ёмкость правого конденсатора C_0 , если после замыкания ключа K_2 токи через оба конденсатора одинаковы в каждый момент времени. Ёмкость левого конденсатора C , ЭДС батареи $\mathcal{E}$ и её внутреннее сопротивление r считайте известными.

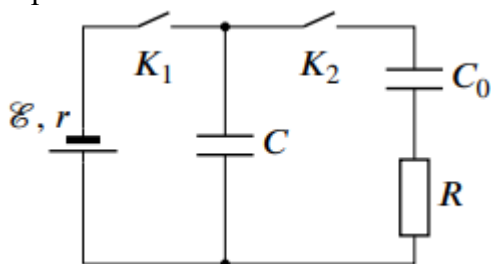


Рис.1

Решение.

Если после замыкания второго ключа токи через оба конденсатора одинаковы в каждый момент времени, то и заряды, перешедшие на конденсаторы от момента замыкания K_2 до прекращения

зарядки, тоже должны быть равны. В установившемся режиме токи в цепи не текут, следовательно, напряжения на обоих конденсаторах равны $\mathcal{E}$, а заряды, соответственно,

$$q_{\text{уст}C} = C\mathcal{E}, \quad q_{\text{уст}C_0} = C_0\mathcal{E}$$

Заряд, появившийся на левом конденсаторе с момента замыкания K_2 , составит

$$\Delta q_C = q_{\text{уст}C} - 2C\mathcal{E}/3 = C\mathcal{E}/3.$$

Поскольку он должен быть равен заряду на C_0 , то имеем: $\Delta q_C = q_{\text{уст}C_0}$

Рассмотрим момент сразу после замыкания ключа K_2 . Заряд, бывший на конденсаторах до замыкания, не успел поменяться, но при этом в цепи обоих конденсаторов появился ток I , а через батарейку, соответственно, течёт ток $2I$. Напряжение на левом конденсаторе должно быть равно напряжению на резисторе R (конденсатор C_0 пока не заряжен):

$$2\mathcal{E}/3 = IR.$$

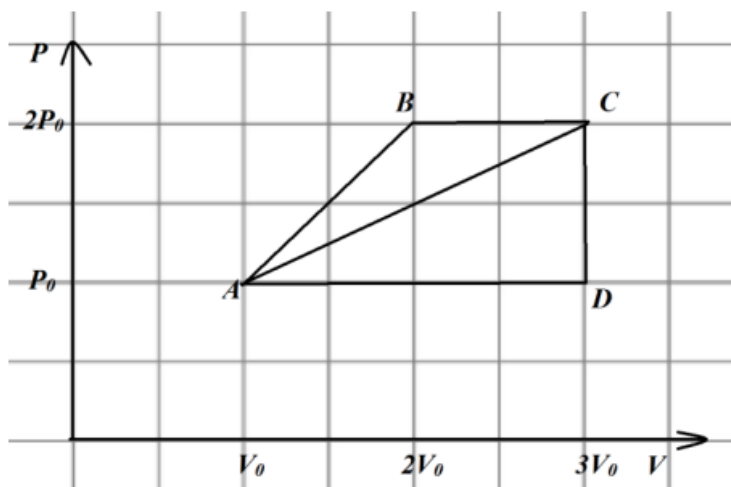
С другой стороны, имеем, что: $\mathcal{E} = 2I \cdot r + 2\mathcal{E}/3 \Rightarrow \mathcal{E}/3 = 2Ir$.

Отсюда найдём, что $R = 4r$.

№	Критерии	Баллы
1	Правильно найден заряд на конденсаторе C до замыкания K_2	0,5
2	Правильно найдены заряды, установившиеся после замыкания K_2	1
3	Что изменение зарядов на обоих конденсаторах должно быть одинаковым	2
4	Написано равенство для напряжений на одной паре параллельных ветвей в момент замыкания K_2	2
5	Написано равенство для напряжений на другой паре параллельных ветвей в момент замыкания K_2	2
6	Найдено, что $C_0 = C/3$	1
7	Найдено, что $R = 4r$	1,5

Ответ: $C_0 = C/3$, $R = 4r$.

Задача 4. Найдите КПД двух треугольных циклов ABCA, ACDA и одного четырехугольного ABCDA изображенных на pV – диаграмме. (см. рис.) В качестве рабочего тела используется гелий.



Решение.

1) Посчитаем КПД первого цикла ABCA: тепло подводится на участках АВ и ВС, используем первое начало термодинамики $\Delta Q = \Delta A + \Delta U$, работу считаем, как площадь внутри цикла на pV -диаграмме.

$$Q_1 = Q_{AB} + Q_{BC} = p_0 V_0 \left(\left(1 \cdot \frac{1+2}{2} \right) + \frac{3}{2} (4 - 1) \right) + p_0 V_0 \left((2 \cdot 1) + \frac{3}{2} (6 - 4) \right) = p_0 V_0 (6 + 5) = 11 p_0 V_0.$$

Тогда работа и КПД в первом случае будет равна:

$$A_1 = \frac{1}{2} p_0 V_0; \eta = \frac{A}{Q_n}, \eta = \frac{A}{Q_n} = \frac{\frac{1}{2} p_0 V_0}{11 p_0 V_0} = \frac{1}{22} \approx 0,045 = 4,5\%$$

2) Посчитаем КПД второго цикла ACDA: тепло подводится на участке AC

$$Q_2 = Q_{AC} = p_0 V_0 \left(\left(2 \cdot \frac{1+2}{2} \right) + \frac{3}{2} (6 - 1) \right) = p_0 V_0 \left(3 + \frac{15}{2} \right) = 10,5 p_0 V_0.$$

Найдем работу и КПД во втором случае:

$$A_2 = p_0 V_0; \eta = \frac{A}{Q_n}, \eta = \frac{A}{Q_n} = \frac{p_0 V_0}{10,5 p_0 V_0} = \frac{2}{21} \approx 0,095 = 9,5\%$$

3) Посчитаем КПД большого цикла ABCDA: тепло подводится на участках АВ и ВС, как в первом цикле $Q_3 = Q_1 = 11 p_0 V_0$.

$$A = A_1 + A_2 = \frac{3}{2} p_0 V_0. \eta = \frac{A}{Q_n}, \eta = \frac{A}{Q_n} = \frac{\frac{3}{2} p_0 V_0}{11 p_0 V_0} = \frac{3}{22} \approx 0,136 = 13,6\%$$

№	Критерии	Баллы
1	Выписано 1 начало термодинамики	0,5
2	Есть определение КПД цикла	0,5
3	Найдено Q_n в первом цикле	1
4	Найдена работа в первом цикле	1
5	Найдено КПД первого цикла	1
6	Найдено Q_n во втором цикле	1
7	Найдена работа во втором цикле	1
8	Найдено КПД второго цикла	1
9	Найдено Q_n в третьем цикле	1
10	Найдена работа в большом цикле	1
11	Найдено КПД большого цикла	1

Ответ: 4,5%, 9,5%, 13,6%.

Задача 5. Псевдоэксперимент

Экспериментатор Глюк проверял новый электронагреватель, который обеспечивает постоянную скорость нагрева образца $\Delta T / \Delta t = 1 \text{ } ^\circ\text{C/s}$. Исследовалось нагревание образца массой $m = 10 \text{ г}$. В эксперименте он измерял мощность P , потребляемую нагревателем, как функцию температуры T . В течение эксперимента образец расплавился. Результаты измерений Глюк записал в таблицу:

$T, ^\circ\text{C}$	230	231	232	233	234	235	236
$P, \text{Вт}$	111	123	130	737	155	159	171

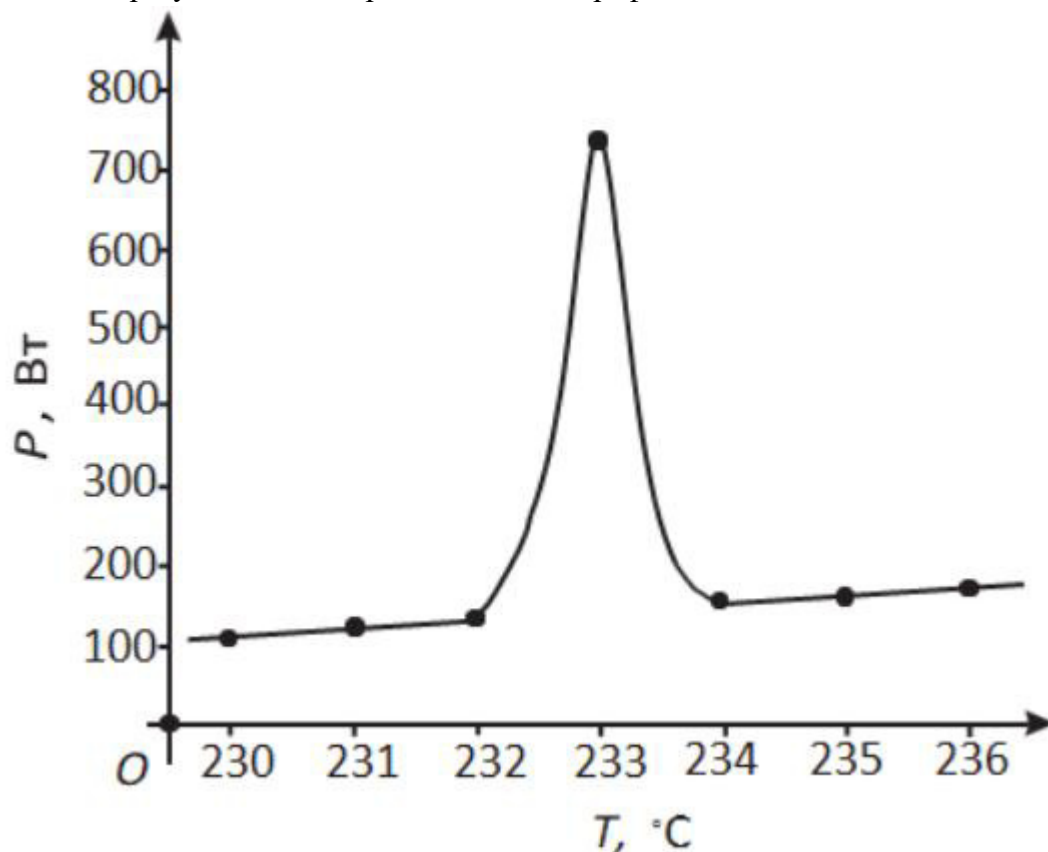
Найдите для образца удельную теплоту плавления и температуру плавления.

Оборудование: лист миллиметровой бумаги формата А5.

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

Решение.

Представим результаты эксперимента в виде графика.



Из рисунка видно, что мощность нагревателя резко увеличивается вблизи точки $T = T_1 = 233 ^\circ\text{C}$. Это можно объяснить тем, что в интервале температур от 232°C до 234°C происходит плавление образца. Таким образом, температура плавления приблизительно равна $T_1 = 233^\circ\text{C}$.

Для вычисления удельной теплоты плавления применим закон изменения энергии за единичный промежуток времени вблизи температуры T вдали от T_1 :

$P = Q_1 + k(T - T_0)$, где Q_1 – количество теплоты, которая в единицу времени идёт на нагревание установки с образцом, второе слагаемое – количество теплоты, отдаваемое в окружающую среду, температура которой T_0 , а k – некоторая постоянная.

Мощность нагревателя при плавлении, как следует из эксперимента, дополнительно возрастает на величину $\Delta P = 596 \text{ Вт}$. Это происходит в течение времени Δt нагревания от 232°C до 233°C . За это время избыточное количество теплоты, отдаваемое нагревателем, расходуется на плавление образца, то есть: $\Delta P \Delta t = \lambda m$.

Тогда имеем

$$\lambda = \frac{\Delta P \Delta T}{\frac{\Delta T}{\Delta t} m}$$

и полагая $\Delta T = 1 ^\circ\text{C}$, находим, что:

$\lambda = 60 \text{ кДж/кг}$.

№	Критерии	Баллы
1	Построен график и подписаны оси	3
2	Найдено, в каком интервале температур происходит плавление	2
3	Записан закон изменения энергии за единичный промежуток времени	2
4	Записан закон для плавления образца и численно найдена удельная теплота плавления	3

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

№	Критерии	Баллы	Пояснения
1	Размер графика	0,5	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
2	Расположение и ориентация осей графика	0,5	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая
3	Подписывание осей графика	0,5	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости) десятичный множитель
4	Оцифровка осей графика	0,5	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
5	Точки графика	0,5	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом погрешности измерения
6	Линия графика	0,5	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

Ответ: 60 кДж/кг.