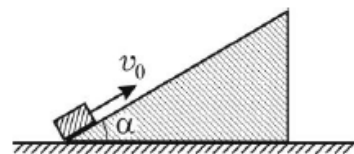


Задания, решения и критерии оценки для заключительного этапа

Акмуллинской олимпиады по физике

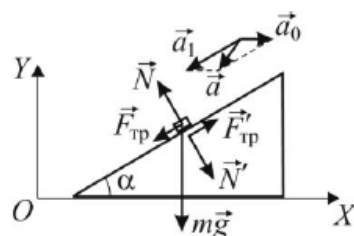
10-11 класс и СПО

Задача 1. Наклонный клин массой $M = 1$ кг с углом $\alpha = 30^\circ$ при основании покоится на гладкой горизонтальной поверхности. Вверх по клину начинает двигаться с некоторой начальной скоростью брусок массой $m = 0,1$ кг. Поднявшись на высоту $h = 20$ см от своего начального положения, брусок останавливается. Найдите, какое количество теплоты выделилось в результате трения, если коэффициент трения бруска о наклонную поверхность клина $\mu = 0,6$. Модуль ускорения свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².



Решение и критерии оценки.

Брусок и клин движутся под действием сил, изображённых на рисунке. В частности, к бруску приложены: сила тяжести mg , нормальная составляющая силы реакции клина N и сила трения $F_{\text{тр}}$. В свою очередь, брусок действует на клин с силами N' и $F_{\text{тр}}'$, причём, по третьему закону Ньютона, $N' = N$, $F_{\text{тр}}' = F_{\text{тр}}$. Обозначим через a ускорение бруска в неподвижной системе отсчёта. В соответствии с законом сложения ускорений, $a = a_0 + a_1$, где a_0 – ускорение клина, a_1 – ускорение бруска относительно клина. Применяя к бруску второй закон Ньютона, имеем: $m(a_0 + a_1) = mg + N + F_{\text{тр}}$, или, в проекциях на оси координатной системы, изображённой на рисунке, $m(a_0 - a_1 \cos \alpha) = -N \sin \alpha - F_{\text{тр}} \cos \alpha$, $-ma_1 \sin \alpha = -mg + N \cos \alpha - F_{\text{тр}} \sin \alpha$. Уравнение движения клина в соответствии со вторым законом Ньютона имеет вид $Ma_0 = N \sin \alpha + F_{\text{тр}} \cos \alpha$.



Учитывая, что, по закону сухого трения, модуль силы трения скольжения $F_{\text{тр}} = \mu N$, получаем следующую систему уравнений:

$$ma_1 \cos \alpha - ma_0 = N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha,$$

$$ma_1 \sin \alpha = mg - N \cos \alpha + \mu N \sin \alpha,$$

$$Ma_0 = N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha.$$

Решая эту систему, находим модуль силы нормального давления бруска на поверхность клина:

$$N = \frac{mg \cos \alpha}{1 + m(\sin^2 \alpha + \mu \sin \alpha \cos \alpha)/M}$$

Модуль суммарной работы сил $F_{\text{тр}}$ и $F_{\text{тр}}'$ равен произведению модуля силы трения скольжения на модуль перемещения бруска относительно клина: $|A_{\text{тр}}| = \mu N h / \sin \alpha$. Учитывая, что по закону

сохранения энергии количество теплоты, выделившееся при скольжении бруска по клину, $Q = |A_{\text{тр}}|$,

получаем: $Q = \frac{\mu m g h \cos \alpha}{1 + m(\sin^2 \alpha + \mu \sin \alpha \cos \alpha)/M}$

Ответ: $Q = \frac{\mu m g h \cos \alpha}{1 + m(\sin^2 \alpha + \mu \sin \alpha \cos \alpha)/M} \approx 0,2 \text{ Дж}$

Правильно изображены и описаны все силы, действующие на систему: 2 балла

Записаны уравнения динамики: 3 балла

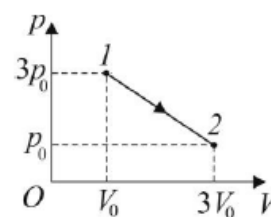
Найден модуль силы нормального давления: 2 балла

Установлена связь между работой силы трения и теплотой: 2 балла

Получен верный численный ответ: 1 балл

Максимум за задачу: 10 баллов

Задача 2. Показанная на рисунке p - V -диаграмма соответствует расширению некоторого количества аргона. Определите максимальное значение U_{max} внутренней энергии газа в процессе 1-2. Известно, что начальные значения объема и давления газа равны $V_0 = 0,1 \text{ м}^3$ и $p_0 = 5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ соответственно.



Решение и критерии оценки.

Зависимость давления от объема в процессе 1–2 описывается линейной функцией вида $p(V) = b - kV$. По условию $p(V_0) = 3p_0$, $p(3V_0) = p_0$, или $3p_0 = b - kV_0$, $p_0 = b - 3kV_0$.

Из этой системы находим, что $b = 4V_0$, $k = \frac{p_0}{V_0}$. Следовательно, $p = 4p_0 - \frac{p_0}{V_0}V$. Для аргона, который можно считать одноатомным идеальным газом, $U = \frac{3}{2}pV$ и зависимость внутренней энергии от объема имеет вид $U = \frac{3}{2}(4p_0V - \frac{p_0}{V_0}V^2)$

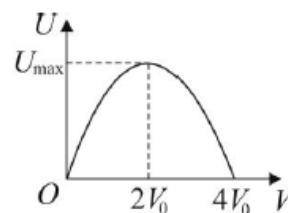


График зависимости $U(V)$ изображен на рисунке, причем он пересекает ось абсцисс в точках $V = 0$ и $V = 4V_0$. Поэтому максимум внутренней энергии достигается при объеме аргона $V = 2V_0$.

Максимальное значение U равно $U_{\text{max}} = \frac{3}{2} \cdot 4p_0V_0$

Ответ: $U_{\text{max}} = 6p_0V_0 = 30 \text{ кДж}$.

Записано уравнение прямой: 2 балла

Найдены коэффициенты в уравнении: 2 балла

Записана формула для внутренней энергии: 2 балла

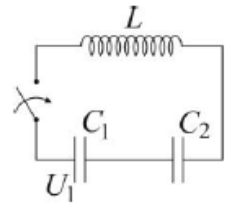
Максимум энергии найден аналитически или графически: 3 балла

Получен верный численный ответ: 1 балл

Максимум за задачу: 10 баллов

Задача 3. В электрической цепи, изображенной схематически на рисунке, конденсатор емкостью $C_1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$ изначально был заряжен до некоторого напряжения U_1 , а конденсатор

емкостью $C_2 = 10^{-6}$ Ф был полностью разряжен. После замыкания ключа в контуре начались колебания. Известно, что в процессе колебаний амплитуда напряжения на конденсаторе C_2 оказалась равной $U_{2\max} = 380$ В. До какого напряжения U_1 был заряжен конденсатор C_1 первоначально? Потерями в соединительных проводах и в катушке индуктивности можно пренебречь. Ответ округлить до целых.



Решение и критерии оценки.

После замыкания ключа в цепи возникают гармонические колебания, в процессе которых происходит периодическая перезарядка конденсаторов. В каждый момент времени суммарное напряжение на конденсаторах равно напряжению на катушке, которое, в свою очередь, опережает по фазе ток в цепи на $\frac{\pi}{2}$. В момент достижения максимального напряжения на конденсаторах ток в цепи обратится в нуль, следовательно, вся энергия будет сосредоточена в конденсаторах. При этом на конденсатор C_2 перетечет из конденсатора C_1 некоторый заряд q , а на конденсаторе C_1 останется заряд $C_1 U_1 - q$. Величину заряда q на конденсаторе C_2 можно найти из закона сохранения энергии в контуре. Поскольку в рассматриваемый момент времени магнитная энергия обращается в нуль, справедливо равенство: $\frac{1}{2} C_1 U_1^2 = \frac{(C_1 U_1 - q)^2}{2 C_1} + \frac{q^2}{2 C_2}$. Отсюда $q = 2 U_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Учитывая, что $U_2 = \frac{q}{C_2}$, получаем, что $U_{2\max} = \frac{2 U_1 C_1}{C_1 + C_2}$. Отсюда $U_1 = \frac{(C_1 + C_2) U_{2\max}}{2 C_1}$.

Ответ: $U_1 = \frac{(C_1 + C_2) U_{2\max}}{2 C_1} \approx 200$ В.

Верно описан процесс колебаний: 1 балл

Сделаны верные выводы о разности фаз между током и напряжением: 1 балл

Сформулирован закон сохранения энергии: 3 балла

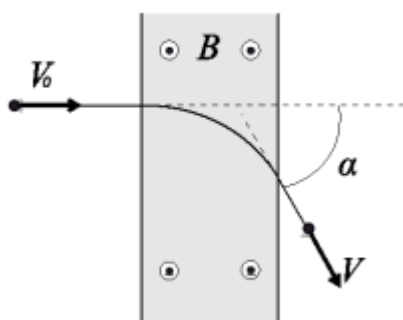
Получена формула для заряда на втором конденсаторе: 2 балла

Записана формула для напряжения: 2 балла

Получен верный численный ответ: 1 балл

Максимум за задачу: 10 баллов

Задача 4. Частица, имеющая массу $m = 6,6 \times 10^{-27}$ кг и заряд $q = 3,2 \times 10^{-19}$ Кл, пролетает область однородного магнитного поля за время, равное $t = 0,1$ мкс. При этом она изменяет направление своего движения на угол $\alpha = 0,32$ рад (см. рис.). Начальная скорость частицы перпендикулярна



границе поля и силовым линиям поля.

- 1) Указать с обоснованием, каким будет отношение скорости V при вылете из поля к скорости V_0 при влёте в поле
- 2) Вычислить индукцию магнитного поля.

Решение и критерии оценки.

1. $V/V_0 = 1$, так как сила Лоренца перпендикулярна скорости и ее работа равна нулю.

2. В поле частица движется с постоянной скоростью по дуге окружности радиусом R . При этом, дуге соответствует центральный угол, равный α . Имеем: $\frac{mV^2}{R} = qVB$, $t = \frac{R\alpha}{V}$. Таким образом, индукция $B = \frac{m\alpha}{qt} = 0,066 \text{ Тл} = 66 \text{ мТл}$.

Найдено отношение скоростей с правильным обоснованием: 2 балла

Верно указана форма траектории частицы: 1 балл

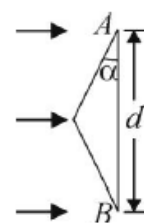
Записано уравнение движения: 4 балла

Получена формула для индукции: 2 балла

Получен верный численный ответ: 1 балл

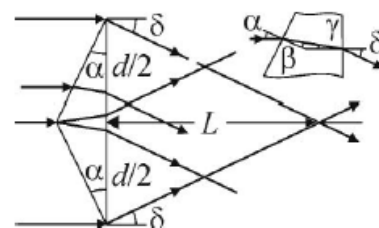
Максимум за задачу: 10 баллов

Задача 5. Грань АВ равнобедренной стеклянной призмы (см. рис.) имеет ширину $d = 5 \text{ см}$. На призму перпендикулярно падает широкий параллельный пучок света. На каком расстоянии L от грани АВ преломленный призмой свет разделится на два не перекрывающихся пучка? Показатель преломления стекла $n=1,5$, угол при основании призмы $\alpha=0,1 \text{ рад}$. При расчетах можно учесть, что для малых углов, заданных в радианах, $\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$.



Решение и критерии оценки.

Каждый из лучей света, падающих на призму, преломляется дважды: на передней и задней ее гранях (см. рисунок). Закон преломления на этих гранях, записанный с учетом малости углов падения и преломления, дает следующие соотношения: $\beta = \frac{\alpha}{n}$, $\delta = n\gamma$.



Поскольку $\gamma = \alpha - \beta$ получаем для угла преломления δ значение $\delta = \alpha(n - 1)$.

Из рисунка видно, что пучки света, преломленные призмой, перестанут перекрываться на расстоянии L , удовлетворяющем условию: $L = \frac{d}{2 \text{tg } \delta} \approx \frac{d}{2\delta}$.

Объединяя записанные выражения, находим, что $L = \frac{d}{2\alpha(n-1)}$.

Ответ: $L = \frac{d}{2\alpha(n-1)} \approx 50 \text{ см}$.

Изображен ход лучей в призме: 4 балла

Найдена формула для искомого расстояния: 5 баллов

Получен верный численный ответ: 1 балл

Максимум за задачу: 10 баллов