

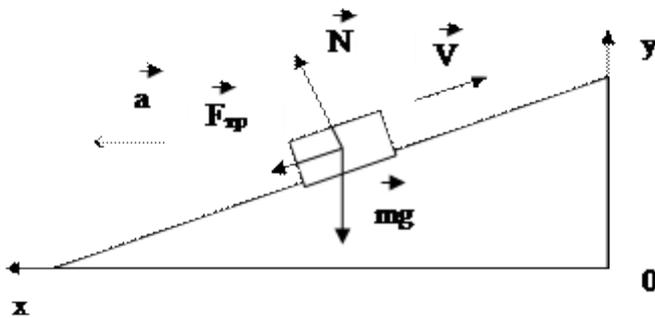
Школьный этап физической олимпиады
11 класс

1. Груз массой m лежит на клине с углом наклона α . С каким ускорением необходимо перемещать клин по горизонтальной поверхности, чтобы груз начал скользить по клину вверх? Коэффициент трения между грузом и поверхностью клина равен $0,1$.

Решение

До скольжения сила трения покоя направлена вверх вдоль наклонной плоскости и не превышает максимального значения силы трения покоя, т. е.

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N, F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha.$$



Найдем значение ускорения a_0 , при котором груз еще не скользит по клину вверх при перемещении клина с ускорением по горизонтальной поверхности, По второму закону Ньютона:

$$m\vec{a}_0 = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$$

Перейдя к проекциям на координатные оси и дописав уравнение для силы трения, получим:

$$x : ma_0 = N \sin \alpha + F_{\text{тр}} \cos \alpha$$

$$y : 0 = -mg - F_{\text{тр}} \sin \alpha + N \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Решая полученную систему уравнений, найдем a_0 :

$$N = \frac{mg + F_{\text{тр}} \sin \alpha}{\cos \alpha}; N \leq \frac{mg + \mu N \sin \alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow N \leq \frac{mg}{\cos \alpha (1 - \mu \tan \alpha)}$$

$$a_0 \leq \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$$

Скольжение начнется при $a > a_0$, т. е.

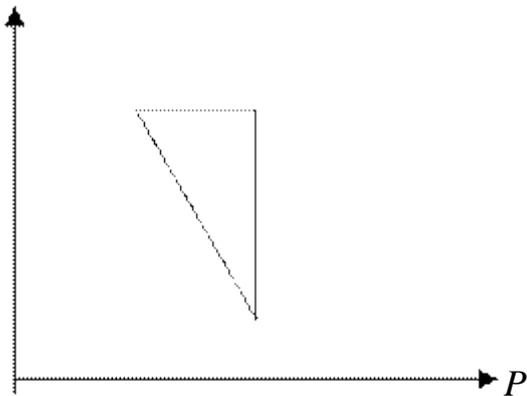
$$a > \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$$

$$a > \frac{9,8(\sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ)}{\cos 30^\circ - 0,1 \sin 30^\circ} = 7,2 \left(\frac{M}{c^2} \right)$$

При расчете получим:

Критерии оценивания (по 1 баллу).

1. Представлен чертеж с указанием сил и выбором системы отсчета.
 2. Определены условия скольжения и покоя, значение силы трения.
 3. Записан второй закон Ньютона в векторной форме.
 4. Записан второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси.
 5. Решение полученной системы уравнений и неравенств.
 6. Произведен расчет по формуле.
2. С одноатомным газом совершен цикл, изображенный на рисунке 2. Определите КПД цикла,



$$5p_0 \quad 2 \quad 3$$

$$p_0 \quad 1$$

$$0 \quad V_0 \quad 2V_0 \quad V$$

Рис. 2

Решение

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

КПД цикла определяется по формуле:

Работа, совершенная газом, численно равна площади треугольника:

$$A' = \frac{4p_0V_0}{2} = 2p_0V_0$$

Найдём, в каких процессах газ получает тепло:

$$1-2: \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_0 \cdot 2V_0}{T_1} = \frac{5p_0V_0}{T_2} \Rightarrow 5T_1 = 2T_2 \Rightarrow T_2 = 2,5T_1, \text{ т. е. } T_2 > T_1$$

Температура возрастает, следовательно, Q поглощается.

2-3: $p = \text{const}$, $V_3 > V_2 \Rightarrow T_3 > T_2 - Q$ поглощается.

3-1: $V = \text{const}$, $p_3 > p_1 \Rightarrow T_3 > T_1 - Q$ выделяется.

Таким образом, тепло полученное газом, равно: $Q = Q_{12} + Q_{23}$.

Из первого закона термодинамики

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A'_{12} \text{ и } Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23} \Rightarrow Q_1 = \Delta U_{13} + A'_{12} + A'_{23}$$

Найдем изменение внутренней энергии одноатомного газа в процессе 1 — 2

$$\text{— 3: } \Delta U_{13} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (5 p_0 2 V_0 - 2 V_0 p_0) = 12 p_0 V_0$$

т. к. по закону Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$.

Работа, совершенная газом на участке 1 — 2, численно равна площади трапеции

$$A'_{12} = \frac{p_0 + 5p_0}{2} (-V_0) = -3p_0 V_0$$

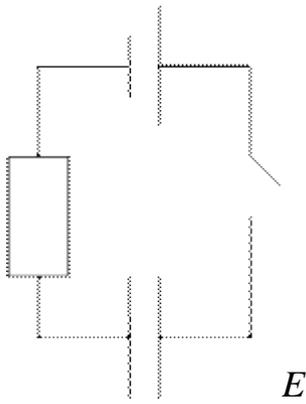
а на участке 2-3 равна площади прямоугольника $A'_{23} = 5p_0 V_0 = 5p_0 V_0$,

Тогда $Q_1 = 12p_0 V_0 - 3p_0 V_0 + 5p_0 V_0 = 14p_0 V_0$ и

$$\eta = \frac{2p_0 V_0}{14p_0 V_0} = \frac{1}{7} \approx 15\%$$

Критерии оценивания (по 1 баллу).

1. Анализ процессов с указанием направления теплопередачи.
 2. Применение 1-го закона термодинамики для нахождения Q_{12} и Q_{23} .
 3. Нахождение изменения внутренней энергии в этих процессах.
 4. Нахождение работы газа A'_{12} , A'_{23} .
 5. Определение работы, совершённой газом в циклическом процессе.
 6. Нахождения количества теплоты, полученной газом и расчёт КПД цикла.
- 3.** Для зарядки конденсатора собрали электрическую цепь по следующей схеме (рис.3) и замкнули ключ. После зарядки энергия, запасенная конденсатором, оказалась равной 5 Дж. Сколько энергии выделилось в виде тепла в цепи?



R K

C

Рис. 3

Решение

После зарядки напряжение на конденсаторе равно $U=E$, а заряд $q=cU=cE$. Тогда энергия, запасенная конденсатором, будет равной .

Источник тока совершил работу по перемещению заряда $A = qE = cE^2$.

С другой стороны, по закону сохранения энергии $A = Q + W_c \Rightarrow Q = A - W_c$ — энергии, выделившаяся в виде тепла в цепи. Подставляя

$$Q = cE^2 - \frac{cE^2}{2} = \frac{cE^2}{2} = W_c$$

соответствующие значения в формулу, получим

Таким образом $Q = 5 \text{ Дж}$.

Критерии оценивания (по 1 баллу).

1. Формула энергии конденсатора.
2. Определение соотношения между напряжением на конденсаторе после окончания зарядки и E источника тока.
3. Применение закона сохранения энергии в виде $A=Q+W_c$.
4. Определение полной работы источника тока при зарядке.
5. Определение заряда конденсатора.
6. Определение количества теплоты, выделенной в цепи.

4. Моток проволоки имеет сопротивление 1000 Ом. Максимальный ток, который выдерживает данная проволока, равен 1А. Какой максимальной тепловой мощности нагреватель можно изготовить из данной проволоки, если он будет включаться в розетку с напряжением 220В.

Решение

Максимальная тепловая мощность нагревателя определяется по формуле:

$$P_{\text{max}} = \frac{U^2}{R_{\text{min}}}$$

, Минимальное сопротивление нагреватель будет иметь, если

$$R_{\text{мин}} = \frac{R_1}{n}$$

проводники, из которых он состоит соединить параллельно, т. е.
 , где R_1 – сопротивление каждого из n кусков проволоки, которые соединены
 параллельно. Если моток разрезали на n частей, то сопротивление одной

проволоки равно $R_1 = \frac{R}{n}$. Тогда $P_{\text{max}} = \frac{U^2 n^2}{R}$. Т. к. известен максимальный
 ток, который выдерживает данная проволока, то сила тока в нагревателе

будет равна $I = I_{\text{max}} n$, и $P_{\text{max}} = I_{\text{max}} n U$, тогда $\frac{U^2 n^2}{R} = I_{\text{max}} n U \Rightarrow n = \frac{I_{\text{max}} R}{U}$.

$n = \frac{1000}{220} = 4 \frac{6}{11} \approx 4,5$ т. е моток проволоки нужно разрезать на $n_1 = 4$
 части.

Тогда $P_{\text{max}} = 14 \cdot 4 \cdot 220 \text{ В} = 880 \text{ Вт}$.

Критерии оценивания (по 1 баллу).

1. Записана формула площади с анализом тах значения.
2. Выяснение условий минимальности R . (2 балла).
3. Учёт тах значения тока в проволоке.
4. Определения числа кусков, соединённых параллельно.
5. Расчёт тах мощности.