



*Государственное бюджетное образовательное учреждение
лицей № 572 Невского района Санкт-Петербурга*

*Санкт-Петербург
Невский район*

*Основы термодинамики
решение задач*

Учитель физики Боровская Елена Михайловна



Решение задач на основы термодинамики

Домашнее задание:

Учить конспект в раб. тетради по физике;

§ 73, 74, 76, 78, 81, 82;

** № 620, 621, 643, 646, 659, 676 задачника;
подготовка к контр. раб.*



Решение задач на основы термодинамики

Задача 1.

Одноатомному газу передали количество теплоты 1,5 кДж; при этом он совершил работу в 700 Дж. На сколько изменилась температура газа, если он был взят в количестве 2-ух молей?

$$Q = 1,5 \text{ кДж} = 1500 \text{ Дж}$$

$$A' = 700 \text{ Дж}$$

$$\nu = 2 \text{ моль}$$

$$\Delta T = ?$$

$$\text{Т.к. } Q = \Delta U + A' \Rightarrow \Delta U = Q - A',$$

но для одноатомного газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{2 \cdot \Delta U}{3 \cdot \nu \cdot R} = \frac{2 \cdot (Q - A')}{3 \cdot \nu \cdot R}$$

$$\Delta T = \frac{2 \cdot (1500 \text{ Дж} - 700 \text{ Дж})}{3 \cdot 2 \text{ моль} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})} \approx 32 \text{ К}$$

Ответ: $\Delta T \approx 32 \text{ К}$



Решение задач на основы термодинамики

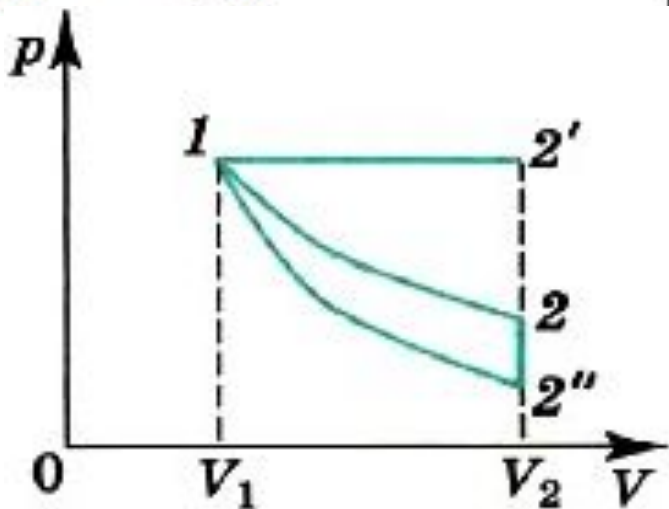
Задача 2.

Газ расширяется от объёма V_1 до объёма V_2 один раз изотермически, другой – изобарно и третий раз – адиабатно. При каком процессе газ совершает большую работу, и при каком процессе ему передаётся большее количество теплоты?

- 1) $V_1 < V_2$ при $T = Const$
- 2) $V_1 < V_2$ при $p = Const$
- 3) $V_1 < V_2$ при $Q_3 = 0$

$$A'_1 = ? \quad A'_2 = ? \quad A'_3 = ?$$

$$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$



Построим диаграммы $p(V)$
для всех 3-ёх процессов:
при $T = Const$
(изотермический процесс)

$$A'_1 = S_{\text{крив. трапеции (1-2)}}$$

при $p = Const$ (изобарный процесс)

$$A'_2 = S_{\text{прямоуг (1-2')}}$$

при $Q = 0$ (адиабатный процесс)

$$A'_3 = S_{\text{крив. трапеции (1-2'')}}$$



Решение задач на основы термодинамики

Очевидно, что $A'_2 > A'_1 > A'_3$ и $T_2 > T_1 > T_3$

1) при процессе 1-2: $T = Const \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U_1 = 0$



$$Q_1 = A'_1, \text{ т.к. } U_1 = Const$$

2) при процессе 1-2': $p = Const$ и $\Delta V > 0 \Rightarrow \Delta T > 0$



$$\Delta U_2 > 0, \text{ т.к. } Q_2 = \Delta U_2 + A'_2$$

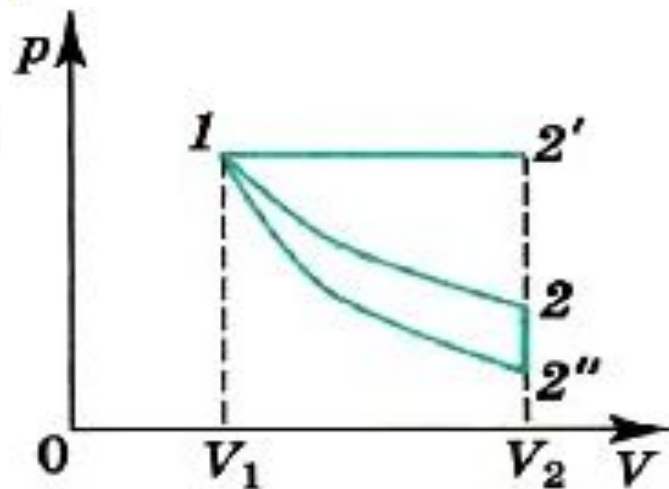
3) при процессе 1-2'': $Q_3 = 0$ и $\Delta V > 0$



$$\Delta U_3 = -A'_3 \Rightarrow \Delta U_3 < 0$$

Таким образом $Q_1 = A'_1$, а $Q_2 = \Delta U_2 + A'_2$,
очевидно, что $Q_2 > Q_1 > Q_3 = 0$

Ответ: $A'_2 > A'_1 > A'_3$ и
 $Q_2 > Q_1 > Q_3 = 0$





Решение задач на основы термодинамики

Задача 3.

Сравнить внутренние энергии аргона и гелия при одинаковой температуре, если их массы равны.

$$T_{Ar} = T_{He} = T$$
$$m_{Ar} = m_{He} = m$$
$$M_{Ar} = 0,04 \text{ кг/моль}$$
$$M_{He} = 0,004 \text{ кг/моль}$$

$$U_{Ar} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{Ar}} \cdot R \cdot T ; \quad U_{He} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{He}} \cdot R \cdot T$$

$$\Downarrow$$
$$\frac{U_{Ar}}{U_{He}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{Ar}} \cdot R \cdot T : \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{He}} \cdot R \cdot T \right)$$

$$\Downarrow$$
$$\frac{U_{Ar}}{U_{He}} = \frac{\cancel{3}}{\cancel{2}} \cdot \frac{\cancel{m}}{M_{Ar}} \cdot \cancel{R \cdot T} \cdot \frac{\cancel{2}}{\cancel{3}} \cdot \frac{M_{He}}{\cancel{m}} \cdot \frac{1}{\cancel{R \cdot T}} = \frac{M_{He}}{M_{Ar}}$$

$$\Downarrow$$
$$\frac{M_{He}}{M_{Ar}} = \frac{0,004 \text{ кг/моль}}{0,04 \text{ кг/моль}} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Ответ: $\frac{U_{Ar}}{U_{He}} = 0,1$



Решение задач на основы термодинамики

Задача 4.

Какова внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объёмом 60 м^3 при давлении в 100 кПа ?

$$V = 60 \text{ м}^3$$

$$p = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}$$

$$M_{\text{He}} = 0,004 \text{ кг/моль}$$

$$U = ?$$

$$U_{\text{He}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M_{\text{He}}} \cdot R \cdot T$$

$$\text{но } p \cdot V = \frac{m}{M_{\text{He}}} \cdot R \cdot T$$

$$U \Downarrow = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 60 \text{ м}^3 \Downarrow = 9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Ответ: $U = 9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$



Решение задач на основы термодинамики

Задача 5.

Идеальный газ в количестве 4 молей изобарно нагрели при давлении $3 \cdot p$ так, что его объём увеличился в 3 раза. Затем газ изохорно охладили, а его давление стало равным p , после чего его изобарно сжали до первоначального объёма и изохорно нагрели до начальной температуры, равной 250 К. Изобразить этот циклический процесс на диаграмме $p(V)$ и определить работу газа в этом процессе.

$$\nu = 4 \text{ моль}$$

$$1-2) p_1 = p_2 = 3 \cdot p = \text{Const}$$

$$T_2 > T_1 = 250 \text{ К}$$

$$V_2 = 3 \cdot V_1$$

$$2-3) V_2 = V_3 = \text{Const}$$

$$T_3 < T_2 ; p_3 = p$$

$$3-4) p_3 = p_4 = \text{Const}$$

$$V_4 = V_1, \text{ а } V_4 < V_3$$

$$4-1) V_4 = V_1 = \text{Const}$$

$$T_1 > T_4 \text{ и } T_1 = 250 \text{ К}$$

$$p(V) = ? \quad A' = ?$$

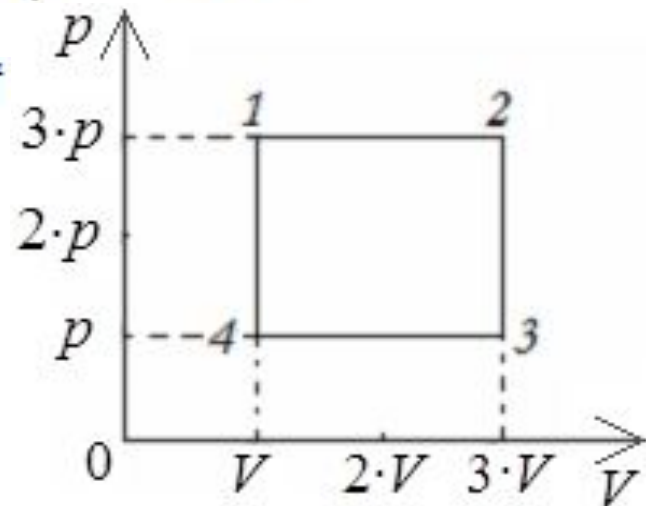
$$A' = -A = -p \cdot \Delta V$$

$$A'_{1-2} = 3 \cdot p \cdot (V_2 - V_1) = 3 \cdot p \cdot (3 \cdot V_1 - V_1) = 6 \cdot p \cdot V_1$$

$$A'_{2-3} = 0, \text{ т.к. } V_2 = V_3 = \text{Const}$$

$$A'_{3-4} = p \cdot (V_4 - V_3) = p \cdot (V_1 - 3 \cdot V_1) = -2 \cdot p \cdot V_1$$

$$A'_{4-1} = 0, \text{ т.к. } V_4 = V_1 = \text{Const}$$





Решение задач на основы термодинамики

Таким образом:

$$A' = A'_{1-2} + A'_{2-3} + A'_{3-4} + A'_{4-1} = 6 \cdot p \cdot V_1 - 2 \cdot p \cdot V_1 = 4 \cdot p \cdot V_1$$

По уравнению Менделеева-Клайперона:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \Rightarrow p_1 \cdot V_1 = \nu \cdot R \cdot T_1$$

$$\Downarrow$$
$$3 \cdot p \cdot V_1 = \nu \cdot R \cdot T_1 \Rightarrow p \cdot V_1 = \frac{\nu \cdot R \cdot T_1}{3}$$

$$\Downarrow$$
$$A' = 4 \cdot p \cdot V_1 = 4 \cdot \frac{\nu \cdot R \cdot T_1}{3}$$

$$\Downarrow$$
$$A' = 4 \cdot \frac{4 \text{ моль} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 250 \text{ К}}{3} = 11080 \text{ Дж}$$

Ответ: $A' = 11080 \text{ Дж}$



Решение задач на основы термодинамики

Задача 6.

Какую работу совершил воздух массой 200 г при изобарном нагревании на 20 К; какое количество теплоты ему сообщили при этом?

$$\begin{array}{l} m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг} \\ M = 0,029 \text{ кг/моль} \\ p = \text{Const} \\ \Delta T = 20 \text{ К} \\ \hline A' = ? \quad Q = ? \end{array}$$

$$A' = p \cdot \Delta V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$



$$A' = \frac{0,2 \text{ кг}}{0,029 \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 20 \text{ К}$$



$$A' \approx 1146 \text{ Дж}$$



По I-ому закону термодинамики:

$$\Delta U = A + Q, \text{ но } A = -A'$$



$$\Delta U = -A' + Q \Rightarrow Q = \Delta U + A'$$



Решение задач на основы термодинамики

т.к. воздух на 85% состоит из двухатомного азота, то $i = 5$

$$\Downarrow$$
$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Downarrow$$
$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{0,2 \text{ кг}}{0,029 \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 20 \text{ К} \approx 2866 \text{ Дж}$$

$$\Downarrow$$
$$Q \approx 2866 \text{ Дж} + 1146 \text{ Дж} \approx 4012 \text{ Дж}$$

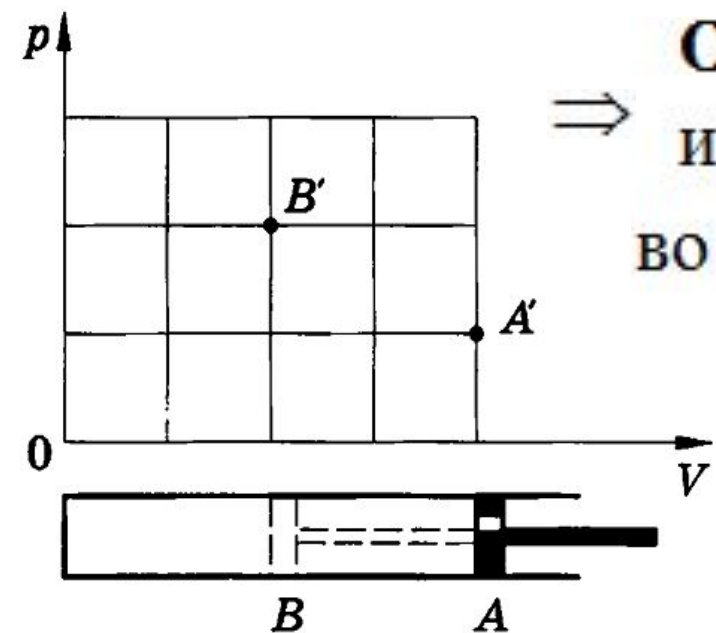
Ответ: $A' \approx 1146 \text{ Дж}$; $Q \approx 4012 \text{ Дж}$



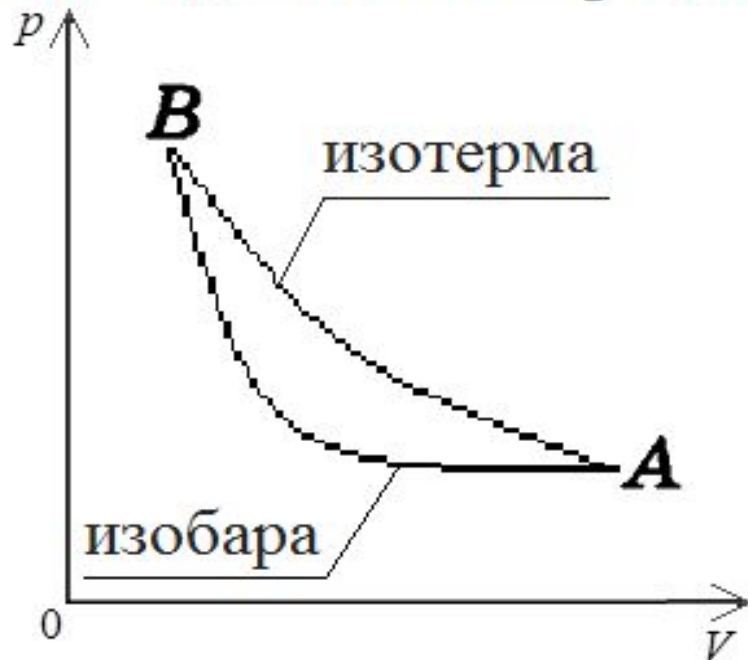
Решение задач на основы термодинамики

Задача 7.

Поршень перевели из положения А в положение В (см. рисунок) в первом случае очень медленно, а во втором – очень быстро и выждали достаточно время. Точки А' и В' в обоих случаях отражают начальное и конечное состояния газа. Объяснить происходящие процессы и отобразить их графически.



Ответ: в первом случае наблюдается изотермический процесс $T = Const$; а во втором случае – адиабатный процесс





Решение задач на основы термодинамики

Задача 8.

Смесь из свинцовых и алюминиевых опилок общей массой в 150 г и при температуре 100 °С погружена в калориметр с водой, температура которой 15 °С, а масса 230 г. Окончательно в итоге установилась температура 20 °С, теплоёмкость калориметра 42 Дж/К. Сколько свинца и алюминия содержится в смеси?

$$m_{см} = 150 \text{ г} = 0,15 \text{ кг}$$

$$t_{см} = 100^\circ\text{C} \Rightarrow T_{см} = 373 \text{ K}$$

$$t_{H_2O} = 15^\circ\text{C} \Rightarrow T_{H_2O} = 288 \text{ K}$$

$$m_{H_2O} = 230 \text{ г} = 0,23 \text{ кг}$$

$$t_{\kappa} = 20^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\kappa} = 293 \text{ K}$$

$$C = c \cdot m = 42 \text{ Дж/К}$$

$$c_{Pb} = 130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$c_{Al} = 890 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$c_{H_2O} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$m_{Pb} = ? \quad m_{Al} = ?$$

$$\text{Т.к. } m_{см} = m_{Pb} + m_{Al}, \text{ то } |Q_{отд}| = |Q_{пол}|,$$

$$Q_{отд} = Q_{см} = Q_{Pb} + Q_{Al}; \quad Q_{пол} = Q_{H_2O} + Q$$

$$\downarrow$$
$$|c_{Pb} \cdot m_{Pb} \cdot (t_{\kappa} - t_{см}) + c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot (t_{\kappa} - t_{см})| =$$

$$= |c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (t_{\kappa} - t_{H_2O}) + C \cdot (t_{\kappa} - t_{H_2O})|$$

$$\downarrow$$
$$c_{Pb} \cdot m_{Pb} \cdot (t_{см} - t_{\kappa}) + c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot (t_{см} - t_{\kappa}) =$$

$$= c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (t_{\kappa} - t_{H_2O}) + C \cdot (t_{\kappa} - t_{H_2O})$$

$$\downarrow$$
$$(c_{Pb} \cdot m_{Pb} + c_{Al} \cdot m_{Al}) \cdot (t_{см} - t_{\kappa}) =$$

$$= (c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{\kappa} - t_{H_2O})$$



Решение задач на основы термодинамики

$$\text{Т.К. } m_{Al} = m_{см} - m_{Pb}, \text{ ТО}$$

$$[c_{Pb} \cdot m_{Pb} + c_{Al} \cdot (m_{см} - m_{Pb})] \cdot (t_{см} - t_{к}) = (c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{к} - t_{H_2O})$$

⇓

$$(c_{Pb} \cdot m_{Pb} + c_{Al} \cdot m_{см} - c_{Al} \cdot m_{Pb}) \cdot (t_{см} - t_{к}) = (c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{к} - t_{H_2O})$$

⇓

$$m_{Pb} \cdot (c_{Pb} - c_{Al}) \cdot (t_{см} - t_{к}) + c_{Al} \cdot m_{см} \cdot (t_{см} - t_{к}) = (c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{к} - t_{H_2O})$$

⇓

$$m_{Pb} \cdot (c_{Pb} - c_{Al}) \cdot (t_{см} - t_{к}) = (c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{к} - t_{H_2O}) - c_{Al} \cdot m_{см} \cdot (t_{см} - t_{к})$$

⇓

$$m_{Pb} = \frac{(c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + C) \cdot (t_{к} - t_{H_2O}) - c_{Al} \cdot m_{см} \cdot (t_{см} - t_{к})}{(c_{Pb} - c_{Al}) \cdot (t_{см} - t_{к})}$$



Решение задач на основы термодинамики

$$m_{Pb} = \frac{\left(4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,23 \text{ кг} + 42 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right) \cdot (293 \text{ К} - 288 \text{ К})}{\left(130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - 890 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \cdot (373 \text{ К} - 293 \text{ К}) - 890 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,15 \text{ кг} \cdot (373 \text{ К} - 293 \text{ К})}$$

$$\left(130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - 890 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \cdot (373 \text{ К} - 293 \text{ К})$$

⇓

$$m_{Pb} = \frac{5040 \text{ Дж} - 10680 \text{ Дж}}{-60800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 0,093 \text{ кг}$$

⇓

$$m_{Al} = m_{см} - m_{Pb} \approx 0,15 \text{ кг} - 0,093 \text{ кг} \approx 0,057 \text{ кг}$$

Ответ: $m_{Pb} \approx 0,093 \text{ кг}$; $m_{Al} \approx 0,057 \text{ кг}$



Решение задач на основы термодинамики

Задача 9.

Сколько дров надо сжечь в печи с КПД 40% , чтобы получить из снега массой 200 кг, взятого при температуре -10°C , воду температурой 20°C ?

$$\eta = 40 \%$$

$$m_c = 200 \text{ кг}$$

$$t_c = -10^{\circ}\text{C} \Rightarrow T_c = 263 \text{ K}$$

$$t_s = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow T_s = 293 \text{ K}$$

$$c_c = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$c_s = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$q_{\delta} = 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$$\lambda_c = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$$t_{\text{нл}} = 0^{\circ}\text{C} \Rightarrow T_{\text{нл}} = 273 \text{ K}$$

$$m_{\delta} = ?$$

$$\text{Т.к. } \eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{зат}}} \cdot 100 \% \Rightarrow Q_{\text{пол}} = \frac{\eta \cdot Q_{\text{зат}}}{100 \%},$$

$$\text{но } Q_{\text{пол}} = Q_c + Q_{\text{нл}} + Q_s, \text{ а } Q_{\text{зат}} = q_{\delta} \cdot m_{\delta}$$

$$\Downarrow$$

$$Q_c + Q_{\text{нл}} + Q_s = \frac{\eta \cdot q_{\delta} \cdot m_{\delta}}{100 \%}$$

$$\Downarrow$$

$$(Q_c + Q_{\text{нл}} + Q_s) \cdot 100 \% = \eta \cdot q_{\delta} \cdot m_{\delta}$$

$$\Downarrow$$

$$\left[c_c \cdot m_c \cdot (T_{\text{нл}} - T_c) + \lambda_c \cdot m_c + c_s \cdot m_s \cdot (T_s - T_{\text{нл}}) \right] \times \\ \times 100 \% = \eta \cdot q_{\delta} \cdot m_{\delta}$$



Решение задач на основы термодинамики

$$m_{\partial} = \frac{[c_c \cdot m_c \cdot (T_{пл} - T_c) + \lambda_c \cdot m_c + c_s \cdot m_s \cdot (T_s - T_{пл})] \cdot 100 \%}{\eta \cdot q_{\partial}}$$



$$m_{\partial} = \left[2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ кг} \cdot (273 \text{ К} - 263 \text{ К}) + 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 200 \text{ кг} + \right. \\ \left. + 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ кг} \cdot (293 \text{ К} - 273 \text{ К}) \right] \cdot 100 \% : (40 \% \cdot 10^7 \text{ Дж/кг})$$



$$m_{\partial} = \frac{8,7 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot 100 \%}{40 \% \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}} = 21,75 \text{ кг}$$

Ответ: $m_{\partial} = 21,75 \text{ кг}$



Решение задач на основы термодинамики

Задача 10.

В идеальной тепловой машине за счёт каждого килоджоуля энергии, полученной от нагревателя, совершается работа в 300 Дж. Определить КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника равна 280 К.

$$\begin{array}{l} Q = 1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} \\ A = 300 \text{ Дж} \\ T_x = 280 \text{ К} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \eta = ? \\ T_H = ? \end{array} \right.$$

$$\text{Т.к. } \eta = \frac{A}{Q} \cdot 100 \% = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} \cdot 100 \%$$

$$\eta = \frac{300 \text{ Дж}}{1000 \text{ Дж}} \cdot 100 \% = 30 \%$$

$$\text{или } \eta = \frac{300 \text{ Дж}}{1000 \text{ Дж}} = 0,3$$

$$\eta = \frac{T_H - T_x}{T_H} \cdot 100 \% \quad \text{или} \quad \eta = \frac{T_H - T_x}{T_H}$$

$$\eta \cdot T_H = T_H - T_x \Rightarrow T_x = T_H - \eta \cdot T_H = T_H \cdot (1 - \eta)$$

$$T_H = \frac{T_x}{1 - \eta} = \frac{280 \text{ К}}{1 - 0,3} = 400 \text{ К}$$

Ответ: $\eta = 30 \%$; $T_H = 400 \text{ К}$



Решение задач на основы термодинамики

**Спасибо за внимание
Новых открытий, достижений и успехов
вам на уроках физики!**

