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

Санкт-Петербург

Невский район

Основы термодинамики решение задач

Учитель физики Боровская Елена Михайловна

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?

$Q = 1{,}5\ кДж = 1500\ Дж$

$A' = 700\ Дж$

$\nu = 2\ моль$

$\Delta T = ?$

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

но для одноатомного газа:

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

Ответ: $\Delta T \approx 32\ К$

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?

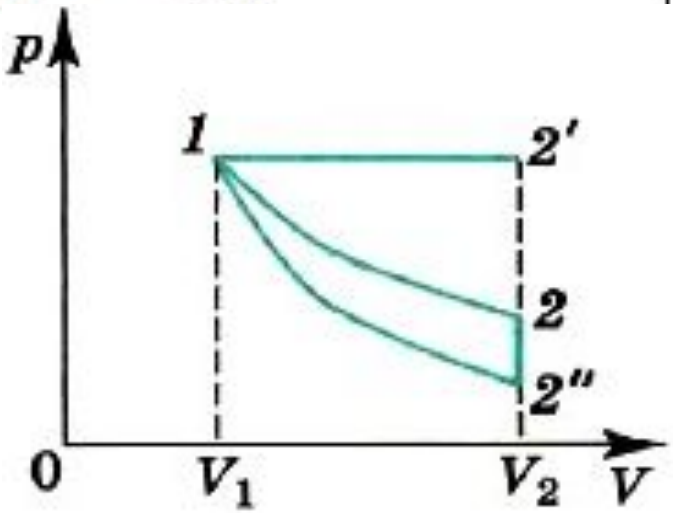
1) $V_1 < V_2$ при $T = Const$

2) $V_1 < V_2$ при $p = Const$

3) $V_1 < V_2$ при $Q_3 = 0$

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

$Q_1 = ?$ $Q_2 = ?$



Построим диаграммы $p(V)$ для всех 3-ёх процессов:

при $T = Const$ (изотермический процесс)

$\Downarrow$

$A'_1 = S_{крив.\ трапеции\ (1-2)}$

при $p = Const$ (изобарный процесс)

$\Downarrow$

$A'_2 = S_{прямоуг\ (1-2')}$

при $Q = 0$ (адиабатный процесс)

$\Downarrow$

$A'_3 = S_{крив.\ трапеции\ (1-2'')}$

Решение задач на основы термодинамики

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

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

$$\Downarrow$$

$Q_1 = A'_1$, т.к. $U_1 = Const$

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

$$\Downarrow$$

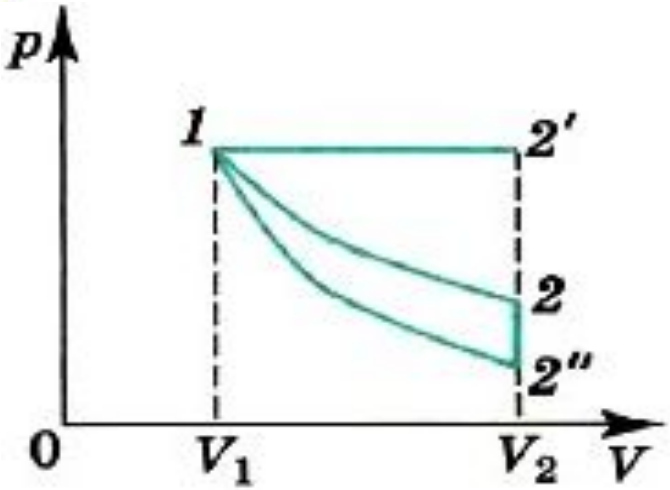
$\Delta U_2 > 0$, т.к. $Q_2 = \Delta U_2 + A'_2$

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

$$\Downarrow$$

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

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.

$$T_{Ar} = T_{He} = T$$

$$m_{Ar} = m_{He} = m$$

$$M_{Ar} = 0{,}04 \ кг/моль$$

$$M_{He} = 0{,}004 \ кг/моль$$

$$U_{Ar} = ? \quad U_{He} = ?$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

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?

$$V = 60\ м^3$$

$$p = 100\ кПа = 10^5\ Па$$

$$M_{He} = 0{,}004\ кг/моль$$

$$U = ?$$

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

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

Ответ: $U = 9 \cdot 10^6\ Дж$

Решение задач на основы термодинамики

Задача 5.

Идеальный газ в количестве 4 молей изобарно нагрели при давлении 3·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.

$\nu = 4$ *моль*

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

$T_2 > T_1 = 250\ K$

$V_2 = 3 \cdot V_1$

2-3) $V_2 = V_3 = Const$

$T_3 < T_2$; $p_3 = p$

3-4) $p_3 = p_4 = Const$

$V_4 = V_1$, а $V_4 < V_3$

4-1) $V_4 = V_1 = Const$

$T_1 > T_4$ и $T_1 = 250\ K$

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

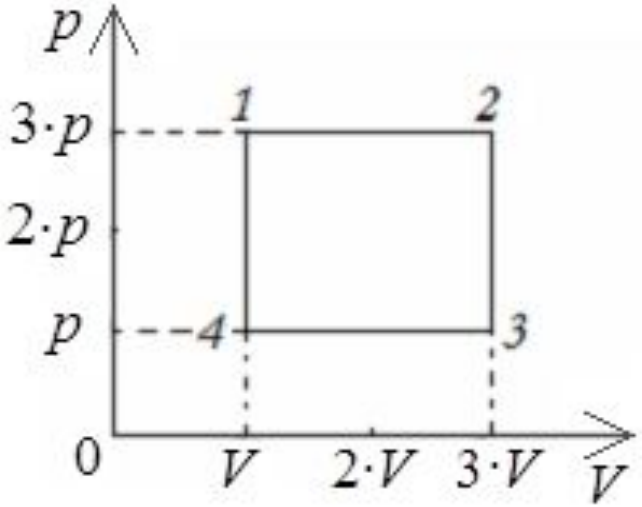
$$A' = -A = -p \cdot \Delta V$$

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

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

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

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



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:

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

Ответ: $A' = 11080\ Дж$

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?

$m = 200\ г = 0{,}2\ кг$

$M = 0{,}029\ кг/моль$

$p = Const$

$\Delta T = 20\ K$

$A' = ?\quad Q = ?$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

$$A' \approx 1146\ Дж$$

$$\Downarrow$$

По I-ому закону термодинамики:

$\Delta U = A + Q$, но $A = -A'$

$$\Downarrow$$

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

Решение задач на основы термодинамики

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

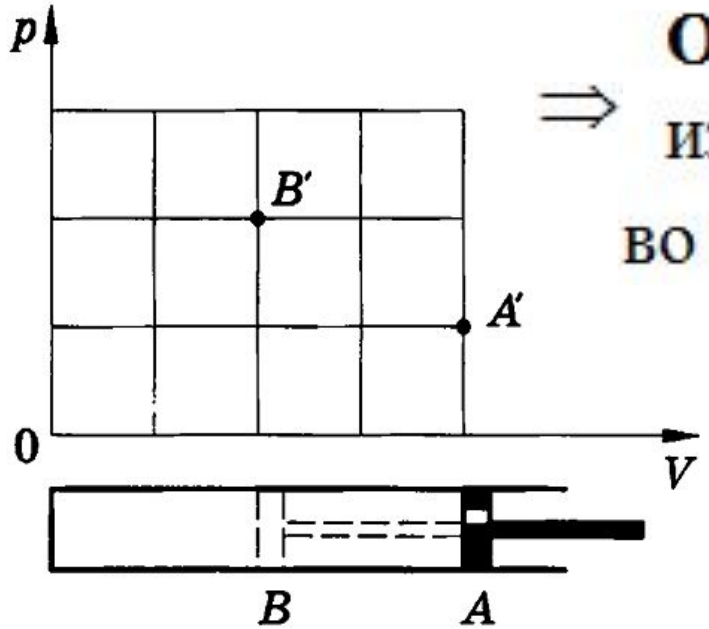
$$Q \approx 2866\ Дж + 1146\ Дж \approx 4012\ Дж$$

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

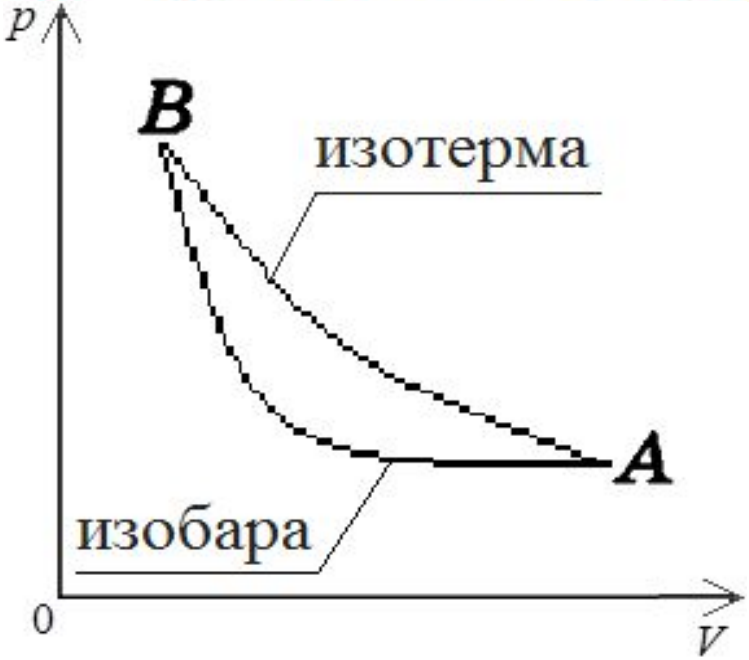
Решение задач на основы термодинамики

Задача 7.

Поршень перевели из положения А в положение В (см. рисунок) в первом случае очень медленно, а во втором – очень быстро и выждали достаточное 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 ºС погружена в калориметр с водой, температура которой 15 ºС, а масса 230 г. Окончательно в итоге установилась температура 20 ºС, теплоёмкость калориметра 42 Дж/К. Сколько свинца и алюминия содержится в смеси?

$m_{см} = 150\ г = 0{,}15\ кг$

$t_{см} = 100\,°C \Rightarrow T_{см} = 373\ K$

$t_{H_2O} = 15\,°C \Rightarrow T_{H_2O} = 288\ K$

$m_{H_2O} = 230\ г = 0{,}23\ кг$

$t_к = 20\,°C \Rightarrow T_к = 293\ K$

$C = c \cdot m = 42\ Дж/К$

$c_{Pb} = 130\ Дж/(кг \cdot К)$

$c_{Al} = 890\ Дж/(кг \cdot К)$

$c_{H_2O} = 4200\ Дж/(кг \cdot К)$

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

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

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

$$\Downarrow$$

$$\left|c_{Pb} \cdot m_{Pb} \cdot (t_к - t_{см}) + c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot (t_к - t_{см})\right| =$$

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

$$\Downarrow$$

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

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

$$\Downarrow$$

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

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

Решение задач на основы термодинамики

Т.К. $m_{Al} = m_{см} - m_{Pb}$, ТО

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

Решение задач на основы термодинамики

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

$$-\frac{890\,\frac{Дж}{кг\cdot К}\cdot 0{,}15\,кг\cdot(373\,К-293\,К)}{\left(130\,\frac{Дж}{кг\cdot К}-890\,\frac{Дж}{кг\cdot К}\right)\cdot(373\,К-293\,К)}$$

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

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

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 ºС, воду температурой 20 ºС ?

$\eta = 40\ \%$

$m_c = 200\ кг$

$t_c = -10°C \Rightarrow T_c = 263\ K$

$t_в = 20°C \Rightarrow T_в = 293\ K$

$c_c = 2100\ Дж/(кг \cdot K)$

$c_в = 4200\ Дж/(кг \cdot K)$

$q_д = 10^7\ Дж/кг$

$\lambda_c = 3{,}3 \cdot 10^5\ Дж/кг$

$t_{пл} = 0°C \Rightarrow T_{пл} = 273\ K$

$m_д = ?$

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

но $Q_{пол} = Q_c + Q_{пл} + Q_в$, а $Q_{зат} = q_д \cdot m_д$

$$\Downarrow$$

$$Q_c + Q_{пл} + Q_в = \frac{\eta \cdot q_д \cdot m_д}{100\ \%}$$

$$\Downarrow$$

$$(Q_c + Q_{пл} + Q_в) \cdot 100\ \% = \eta \cdot q_д \cdot m_д$$

$$\Downarrow$$

$$\left[c_c \cdot m_c \cdot (T_{пл} - T_c) + \lambda_c \cdot m_c + c_в \cdot m_в \cdot (T_в - T_{пл})\right] \times$$
$$\times 100\ \% = \eta \cdot q_д \cdot m_д$$

Решение задач на основы термодинамики

$$m_д = \frac{\left[c_c \cdot m_c \cdot (T_{пл} - T_c) + \lambda_c \cdot m_c + c_в \cdot m_в \cdot (T_в - T_{пл})\right] \cdot 100\ \%}{\eta \cdot q_д}$$

$$\Downarrow$$

$$m_д = \left[2100\ \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 200\ кг \cdot (273\ К - 263\ К) + 3{,}3 \cdot 10^5\ \frac{Дж}{К} \cdot 200\ кг + \right.$$

$$\left. + 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 200\ кг \cdot (293\ К - 273\ К)\right] \cdot 100\ \% : (40\ \% \cdot 10^7\ Дж/кг)$$

$$\Downarrow$$

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

Ответ: $m_д = 21{,}75\ кг$

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.

$$Q = 1\ кДж = 1000\ Дж$$
$$A = 300\ Дж$$
$$T_x = 280\ K$$

$$\eta = ? \qquad T_н = ?$$

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

$$\Downarrow$$

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

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

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

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

$$T_н = \frac{T_x}{1 - \eta} = \frac{280\ K}{1 - 0{,}3} = 400\ K$$

Ответ: $\eta = 30\ \%$; $T_н = 400\ K$

Спасибо за внимание

Новых открытий, достижений и успехов вам на уроках физики!