



СЕТЕВАЯ
ШКОЛА
НИЯУ МИФИ
www.school.mephi.ru



МИФИ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
www.school.mephi.ru

Лекция 11

Адиабата. КПД. Цикл Карно.

Нурушева Марина Борисовна
старший преподаватель кафедры физики – 023 НИЯУ МИФИ

Применение первого начала термодинамики к изопроцессам

Адиабатный процесс – процесс, при котором отсутствует теплообмен между системой и окружающей средой.

Из первого начала термодинамики

$$\Delta Q = \Delta U + A$$

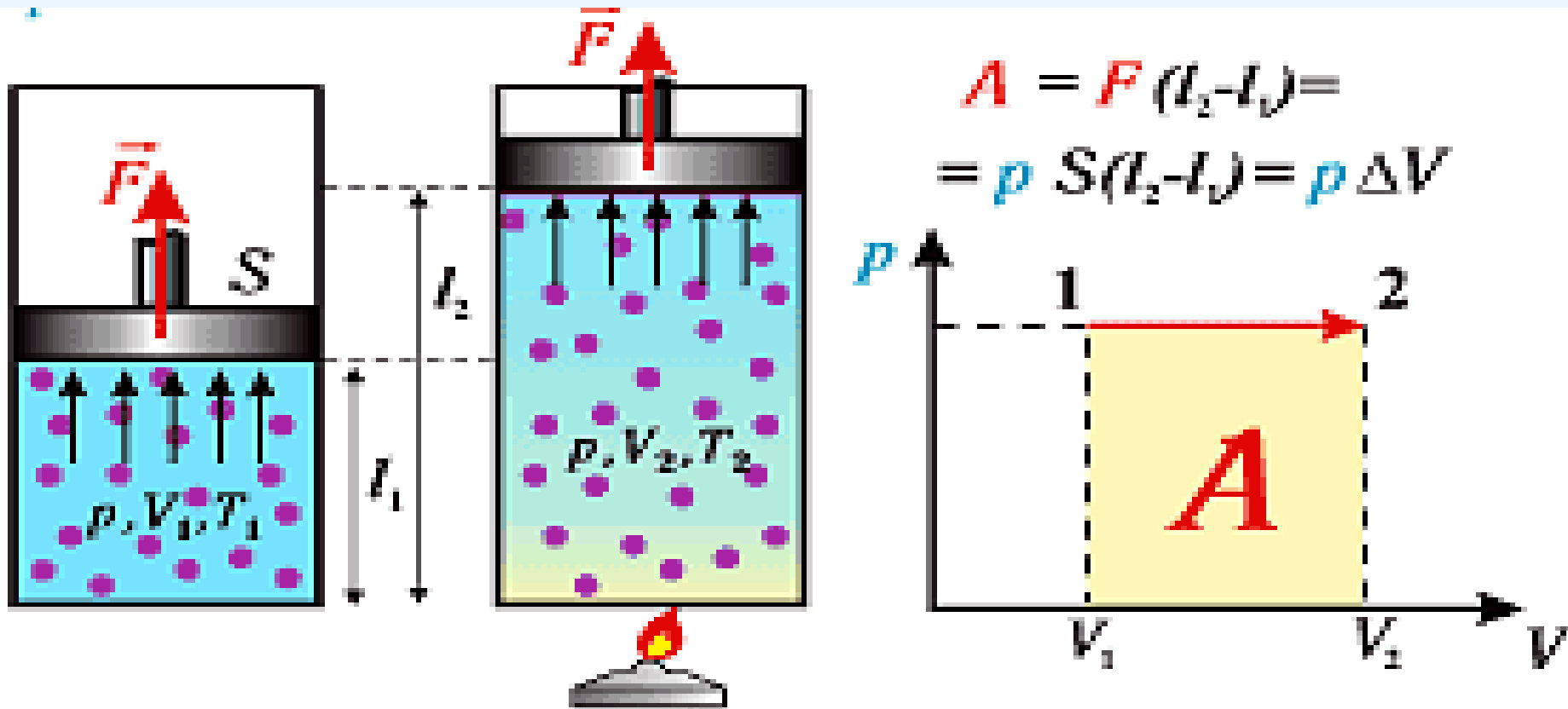
для адиабатного процесса следует, что

$$A = -\Delta U$$

Внешняя работа совершается за счет уменьшения внутренней энергии системы.

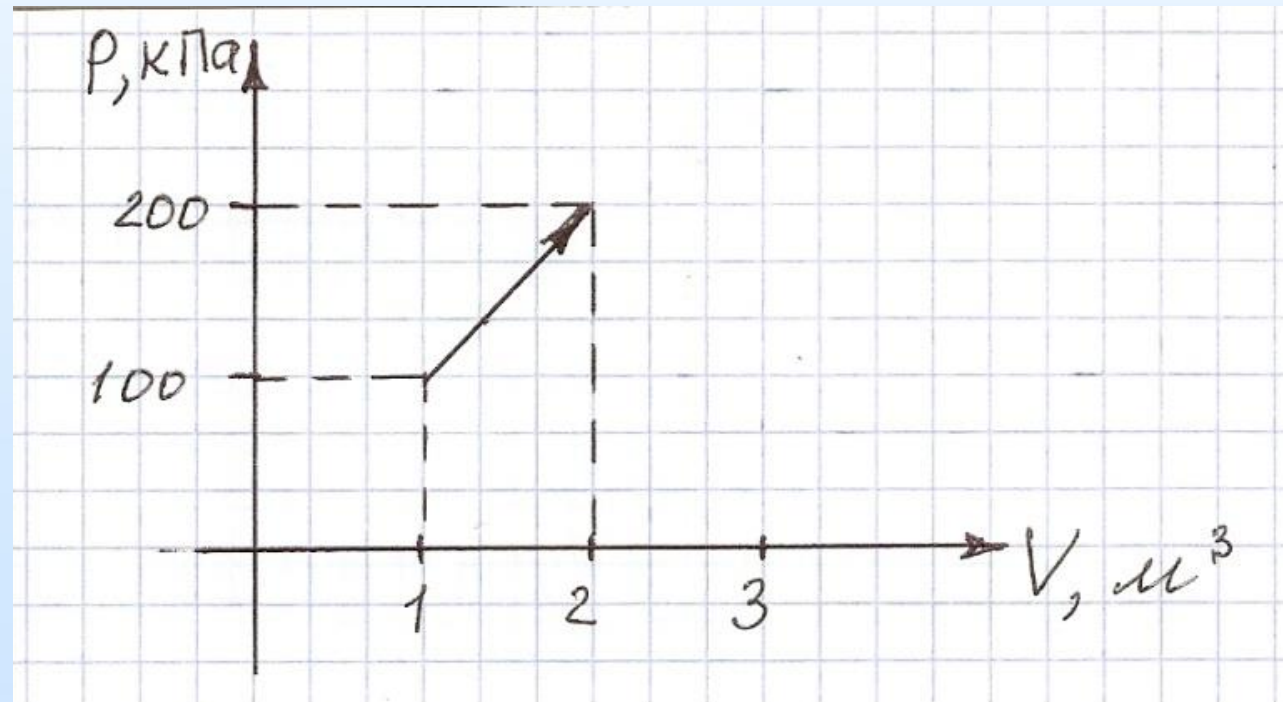
Первое начало термодинамики

закон сохранения энергии для систем, в которых существенное значение имеют тепловые процессы.



Задача 1

Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 в процессе, представленном на диаграмме $P - V$. В этом процессе газ получил теплоты...?



Задача 1

Решение:

Из графика видно, что процесс не является изопроцессом. По первому закону термодинамики

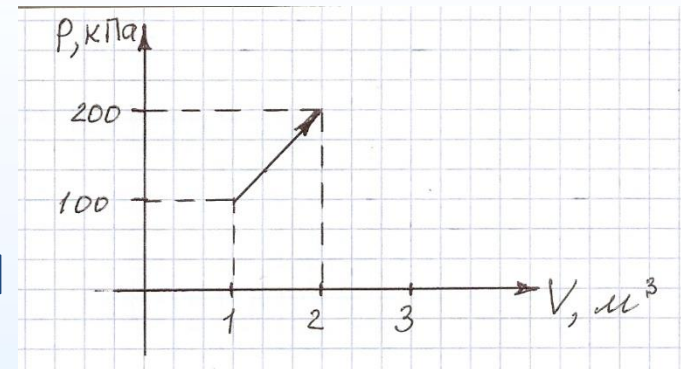
$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней энергии $\Delta U = U_2 - U_1$

В задаче не указано сколько атомов в молекулах газа, поэтому при необходимости нужно проводить расчеты для различных условий.

Начинаем расчеты для одноатомного газа

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$



Задача 1

По уравнению состояния
идеального газа

$$PV = \nu RT$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) =$$

Тогда

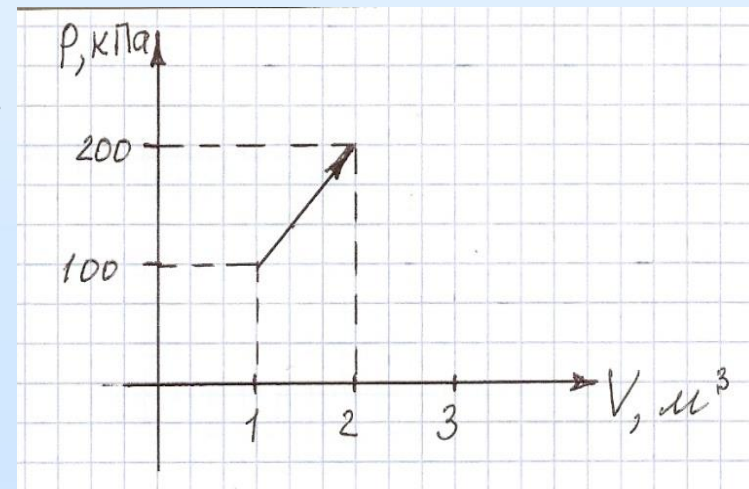
$$= \frac{3}{2}(200 \cdot 2 - 100 \cdot 1) \text{кПа} \cdot \text{м}^3 = 450 \text{кДж}$$

Работа равна площади фигуры под графиком
(фигура под графиком - трапеция)

$$A = \frac{200 + 100}{2} \cdot (2 - 1) \text{кПа} \cdot \text{м}^3 = 150 \text{кДж}$$

Значит,

$$Q = 450 + 150 = 600 \text{кДж}$$



Тепловые двигатели



Тепловой двигатель – устройство, преобразующее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Необходимое условие для циклического получения механической работы в тепловом двигателе – наличие нагревателя и холодильника.

Для непрерывного совершения механической работы термодинамический цикл должен быть замкнутым.

Коэффициент полезного действия любого двигателя (КПД) – отношение полезной работы, совершаемой двигателем, к затраченной работе

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}}$$

КПД теплового двигателя

$$\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

Задача 2

Количество теплоты, полученное от нагревателя, если совершенная двигателем работа 730 Дж, а КПД равен 0,73, составляет...?

Решение:

Для теплового двигателя

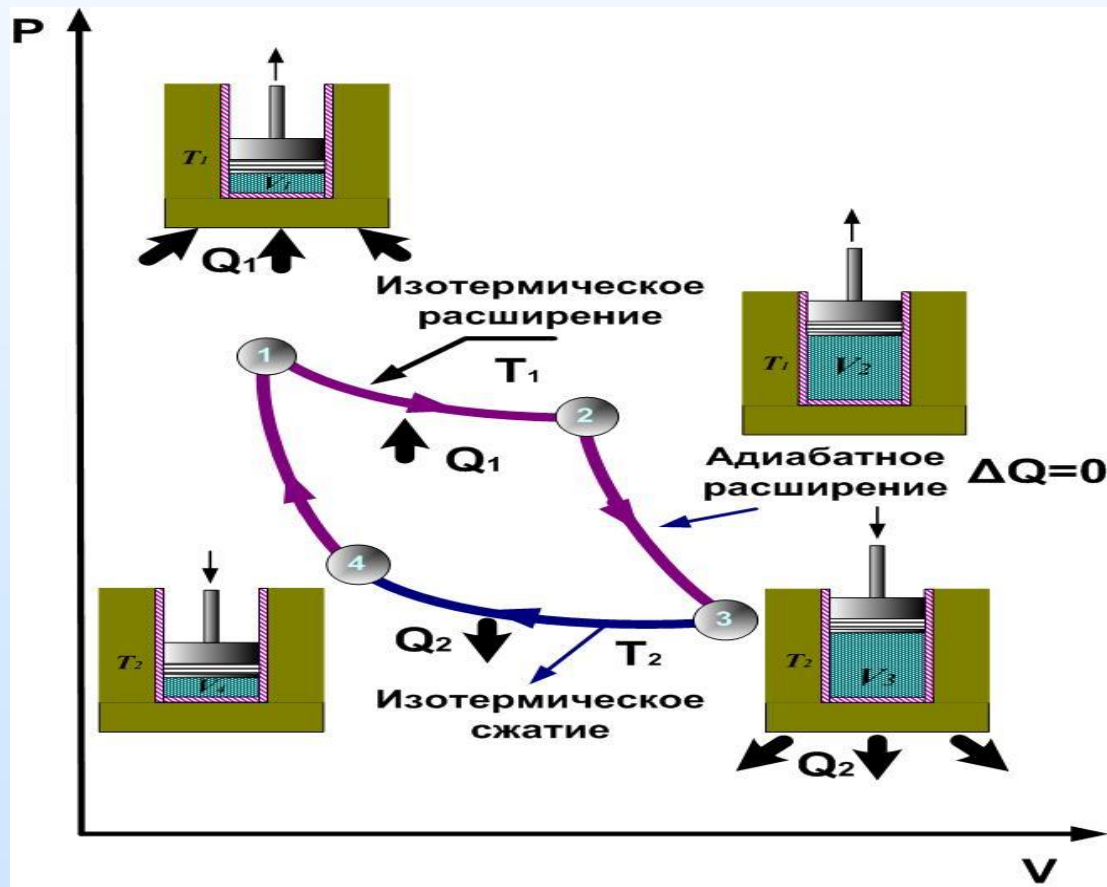
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$$

Значит,

$$Q_1 = \frac{A}{\eta} = \frac{730 \text{ Дж}}{0,73} = 1000 \text{ Дж} = 1 \text{ кДж}$$

Тепловые двигатели

Цикл Карно. Имеет максимальный КПД, т.е. самый эффективный из всех тепловых двигателей. Состоит из 2 изотерм и 2 адиабат.



КПД цикла Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Задача 3

В идеальной тепловой машине температура нагревателя 150°C , а холодильника 20°C . Если рабочее тело получит от нагревателя 10^5 кДж теплоты, то совершенная работа равна...?

Решение:

Так как машина идеальная, то КПД может быть определен и через количество теплоты и через температуры

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{A}{Q_1}$$

Задача 3

Значит $A = \eta \cdot Q_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1$

Не забываем перевести температуру в абсолютные значения

$$T_1 = 150 + 273 = 423\text{K} ; \quad T_2 = 20 + 273 = 293\text{K};$$

$$A = \frac{(423 - 293)\text{K}}{423\text{K}} \cdot 10^5 \text{кДж} \approx 30 \cdot 10^3 \text{кДж} = 30\text{МДж}$$

Задача 4

В идеальной тепловой машине абсолютная температура нагревателя вдвое больше абсолютной температуры холодильника. Если температуру холодильника уменьшить вдвое, не меняя температуры нагревателя, то КПД машины изменится....?

По условию задачи

$$T_1 = 2T_{2,0} \quad \text{и} \quad T_{2,1} = \frac{1}{2}T_{2,0}$$

Для идеальной тепловой машины

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

найдем КПД в обоих случаях

$$\eta_1 = \frac{2T_{2,0} - T_{2,0}}{2T_{2,0}} = \frac{1}{2} = 0,5 \quad (50\%)$$

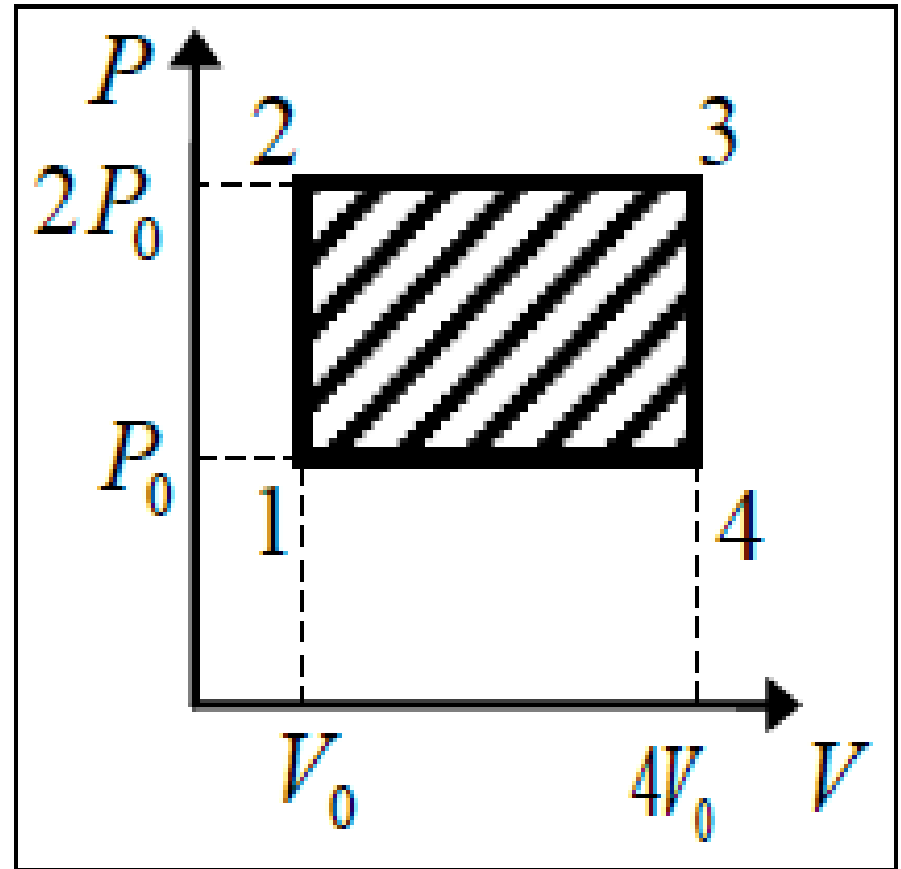
$$\eta_2 = \frac{2T_{2,0} - \frac{1}{2}T_{2,0}}{2T_{2,0}} = \frac{3}{4} = 0,75 \quad (75\%)$$

КПД изменился на $(75-50)\% = 25\%$

КПД тепловых двигателей в процентах

Двигатель	КПД, %
Паровая машина	1
Паровоз	8
Карбюраторный двигатель	20-30
Газовая турбина	36
Паровая турбина	35-46
Ракетный двигатель на жидком топливе	47

Рассчитать КПД тепловой машины, работающей по замкнутому циклу, показанному на графике. Рабочее тело - азот.



Задача 5

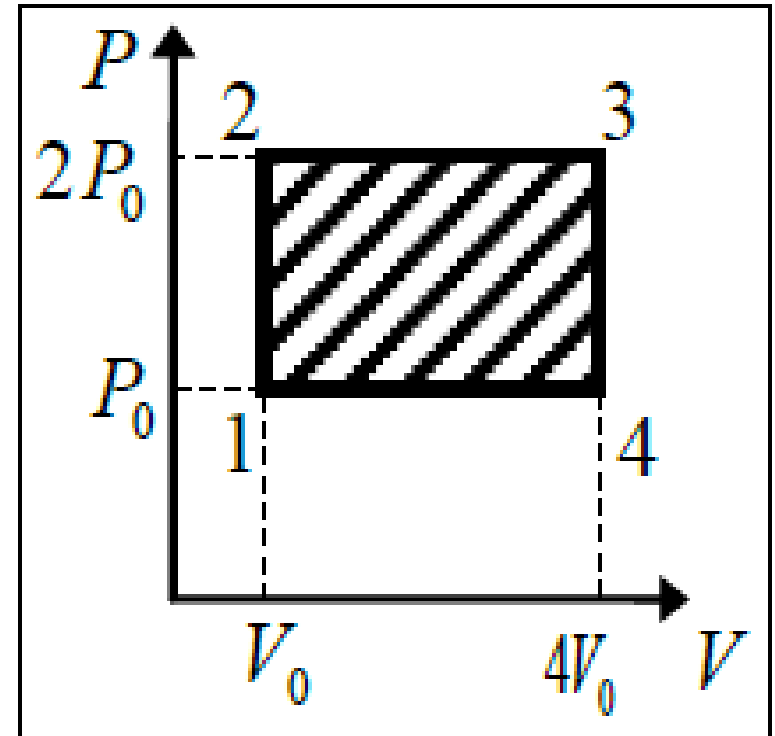
Чтобы найти тепло Q_n , полученное от нагревателя, определить знак тепла на каждом участке по 1-ому 3-му термодинамики:

12: $A = 0$ ($\Delta V = 0$), $\Delta U > 0$ ($\Delta T > 0$)
 $\Rightarrow Q > 0$.

23: $A > 0$ ($\Delta V > 0$), $\Delta U > 0$ ($\Delta T > 0$)
 $\Rightarrow Q > 0$.

34: $A = 0$ ($\Delta V = 0$), $\Delta U < 0$ ($\Delta T < 0$)
 $\Rightarrow Q < 0$.

41: $A < 0$ ($\Delta V < 0$), $\Delta U < 0$ ($\Delta T < 0$)
 $\Rightarrow Q < 0$.



КПД тепловой машины: $\eta = A/Q_H$. Работа газа за цикл равна площади заштрихованного прямоугольника: $A = 3P_0V_0$.

Знак положителен на участках 12 и 23, \Rightarrow

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23}.$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 0 + (5/2)\nu R(T_2 - T_1) = (5/2)(2P_0V_0 - P_0V_0) = 5P_0V_0/2;$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = 6P_0V_0 + (5/2)(8P_0V_0 - 2P_0V_0) = 21P_0V_0.$$

$$\eta = 3P_0V_0/23.5P_0V_0 = 6/47.$$

Холодильник работающий по циклу Карно, поддерживает в камере температуру $T_k = 260 \text{ К}$, отводя из нее за цикл работы энергию $Q_k = 400 \text{ Дж}$. Температура радиатора холодильника равна $T_p = 300 \text{ К}$. Какую среднюю мощность потребляет холодильник, если длительность его цикла равна $\tau = 1,5 \text{ с}$?

Решение:

Если работу, совершенную тепловой машиной за один цикл, обозначить A , Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, и Q_2 – переданное машиной холодильнику так же за цикл, то на основании закона сохранения энергии можно утверждать, что $A = Q_1 - Q_2$, а КПД машины можно определить из соотношения: $\eta = A / (A + Q_2)$.

Задача 6

С другой стороны, согласно второму закону термодинамики (в формулировке Карно) КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, определяется только абсолютными температурами нагревателя T_1 и холодильника T_2 и равно $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$.

Задача 6

Поскольку цикл Карно является обратимым, то те же соотношения должны быть справедливы и для холодильника, работающего по указанному циклу. Обозначив искомую мощность N и учитывая, что

$A = N\tau$, $T_1 = T_p$, $T_2 = T_k$ и $Q_2 = Q_k$,
после алгебраических преобразований получим:

$$N = (T_p/T_k - 1)Q_k/\tau \approx 41 \text{ Вт.}$$

Ответ: $N \approx 41 \text{ Вт.}$

Спасибо за внимание!