

В основном при формировании  
Бiol. микромолекул: Внутр. энт. зависит  
от объема:  $\Delta U = C_V(T - \frac{q \cdot V}{V^2})$

Лекция №13

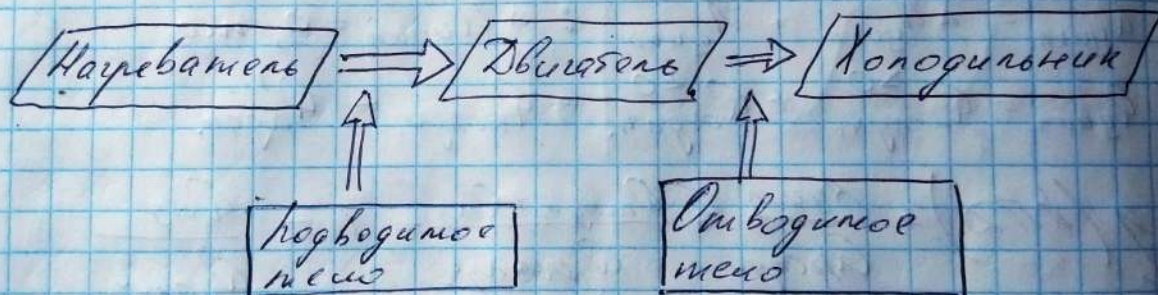
16 мая 2020

Андреев А.А.

197-245

Механические и тепловые машины. Кривошип-но-шатунный механизм для получения полезной работы за счет теплоты, выделяемой вследствие химической реакции (сгорания топлива), сдвигают поршни и другое.

Для функционирования тепловой машины необходимо: нагреватель, холодильник, рабочее тело.



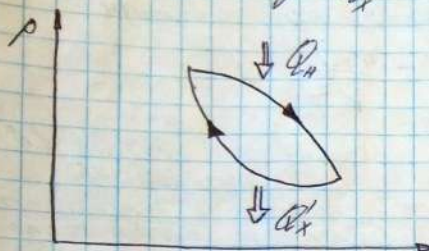
Термостат - тело, находящееся при постоянной температуре и обладающее бесконечной теплоемкостью - любое процесс получения или отдачи тепла этого не меняют температуру этого тела.

(круговой)  
Циклический процесс термодинамический

Рассмотрим циклический процесс в котором нагреватель передает рабочему телу тепло.



Рабочее тело совершает работу и отдает тепло  $Q_x$  холодильнику.



$$Q'_x = |Q_x|$$

Можно круговой процесс называть процессом.

В таком процессе тепло забирается у более холодного и передается менее холодному.

Можно по малому принципу работать тепловое устройство; В обратном направлении - холодильное устройство.

$$Q_H > 0; Q_x < 0; \Rightarrow Q'_x > 0; Q'_x = -Q_x = |Q_x|$$

$$Q_{\text{цикл}} = \Delta U_{\text{цикл}} + A_{\text{цикл}}; \Delta U_{\text{цикл}} = 0, \text{ то}$$

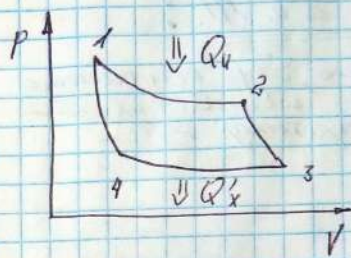
$$Q_{\text{цикл}} = Q_{\text{испуч.}} + Q_{\text{отдоч.}} = Q_{\text{испуч.}} - Q'_{\text{отдоч.}}$$

$$\eta (\text{КПД}) = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{\text{испуч.}}} = \frac{Q_{\text{испуч.}} + Q_{\text{отдоч.}}}{Q_{\text{испуч.}}} = 1 - \frac{Q_{\text{отдоч.}}}{Q_{\text{испуч.}}}$$

$$\eta < 1; \eta_{\text{КПД}} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_2}{Q'_2 - Q_2}$$

$$\eta = \frac{1}{\eta_{\text{тепловой машины}}}$$

Цикл Карно.



1-2 - изотермич. процесс

2-3 - адиабатич. процесс

3-4 - при отдаче тепла холодильник, если процесс при  $T_x = \text{const}$

4-1 - адиабат. - эту считаем без подвода тепла.

3-4 - прямой цикл

$$Q_{\text{исп.}} = Q_H = A_{12} > 0, \text{ то процесс}$$

$$Q_{\text{отд.}} = Q_x = A_{34} < 0, \text{ считаем}$$

$$A_{12} = \int_1^2 p dV = \int_1^2 \frac{RT_H}{V} dV = RT_H \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right); A_{34} = \int_3^4 p dV = \int_3^4 \frac{RT_x}{V} dV = RT_x \ln \left( \frac{V_4}{V_3} \right) \left[ \text{для изотермич. процессов} \right]$$

$$\left. \begin{aligned} T_H V_1^{\gamma-1} &= T_H V_2^{\gamma-1} \\ T_H V_1^{\gamma-1} &= T_x V_4^{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \text{ для адиабатич. процессов}$$

$$\frac{T_H V_2^{\gamma-1}}{T_H V_1^{\gamma-1}} = \frac{T_x V_4^{\gamma-1}}{T_H V_3^{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_4}{V_3} > 1.$$

$$\text{КПД цикла Карно: } \eta = 1 - \frac{|Q_{\text{отд.}}|}{Q_{\text{исп.}}} = 1 - \frac{T_x}{T_H} \Rightarrow \left. \begin{aligned} Q_{\text{отд.}} &= \int_3^4 p dV = \int_3^4 \frac{RT_x}{V} dV \\ Q_{\text{исп.}} &= \int_1^2 p dV = \int_1^2 \frac{RT_H}{V} dV \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_x}{T_H}$$



Второе начало термодинамики.  
Формулировка Клаузиуса II ч. III:

Менее естественно, но, учитывая в скрупулезности, не менее точно почти от него изредка к более.

Ф-ла Томпсона II ч. III:

В природе невозможен круговой процесс единственной задачей которого было бы механическая работа соверш. за счет одного источника от теплов. резервуара.

II ч. III. Запрещается создание вечного двигателя II рода, который прев-т в работу всю энергию получ. из В. работы всю энергию получ. из В.

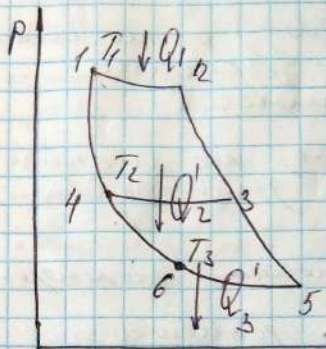
1-е н. Карно: КПД любой маш. зависит от природы рабочего тела и разности температур нагре-т. и холо-д.

машин, ред-ей по принципу Карно, не зависит от природы рабочего тела и разности температур нагре-т. и холо-д.

2-е н. Карно: КПД любой маш. зависит от природы рабочего тела и разности температур нагре-т. и холо-д.

рабочего тела по неубывающему закону, т.е. КПД макс. при макс. разности температур.  $\eta_{\text{карн.}} \leq \eta_{\text{карн.}}$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \phi(T_1, T_2) = \frac{T_1}{T_2}$$



$$\frac{Q_2'}{Q_1'} = \phi(T_2, T_1), \frac{Q_3'}{Q_2'} = \phi(T_3, T_2)$$

$$\frac{Q_3'}{Q_1} = \frac{Q_3' Q_2'}{Q_2 Q_1} \Rightarrow$$

$$\phi(T_3, T_1) = \phi(T_2, T_1) \phi(T_3, T_2)$$

$$\phi(T_3, T_1) = \frac{\Theta(T_3)}{\Theta(T_1)}, \phi(T_3, T_2) = \frac{\Theta(T_3)}{\Theta(T_2)} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \Theta(T)$  универсальная температура.

Неравенство Клаузиуса

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \Rightarrow \frac{Q_1}{T_1} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} \leq 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad \left[ \frac{Q_i}{T_i} \right] - \text{показатель}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

А если только обратимый процесс:  $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$



## Теорема Нернста

$$S_2 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_1 \left[ \begin{array}{l} \text{Энтропия с помощью} \\ \text{до предельного} \\ \text{состояния.} \end{array} \right]$$

Если при  $T \rightarrow 0$   $S$  определено по монотонно убывающей абсолютной энтропии.

Самая теорема: При стремлении температуры к нулю. Теплоемкость определяется только к нулю:

$$\lim_{T \rightarrow 0} C_V = 0 \quad \text{и} \quad \lim_{T \rightarrow 0} C_P = 0$$

Следствие: невозможно достичь состояния

с абсолютной нулевой температурой  $0\text{K}$ . Действительно при  $T \rightarrow 0$  теплоемкость стремится к нулю, что делает процесс отвода тепла невозможным. Можно лишь асимптотически приближаться к  $0\text{K}$ .

Следствие: Упр-е Менделеева - Клапейрона не применимо для веществ изоморфно жидк при  $T \rightarrow 0\text{K}$ .

$$\delta Q = dU + p dV = C_V dT + \frac{p}{T} dV$$

$$S_2 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_1 = \int_1^2 \left( C_V dT + \frac{p}{T} dV \right) + S_1 = C_V \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) + S_1 \rightarrow T \rightarrow 0, S_2 \rightarrow \infty$$

## Контрольные вопросы к п. 13.

1. • Термодинамич. определение энтропии, термодинамич. эквивалент - фаз. величина, все в др. сич-х термодин. системы.

• Эти величины являются ~~полностью~~ дифференциальной функцией  $S$ .

• Др. энтропия является функцией, описывающей термодин. систему.

• Энтропия при изохорическом процессе увеличивается по формуле  $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$

2. • Формулировка Кэррауса. Тепло самопроизвольно без вмешательства в экв. среде может перейти от менее горячего тела к более холодному.

• Уменьшение энтропии при изохор. сжатии:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} < 0$$

• Действительный двигатель первого рода - неогр. дает действующее устройство, способное совершить работу без затрат энергии.

• Действительный двигатель второго рода - неогр. дает действующий механизм, который превращает в работу тепло, увлекаемое из окружающей среды.

3. • Принцип работы теплового двигателя: превращение тепла в работу.



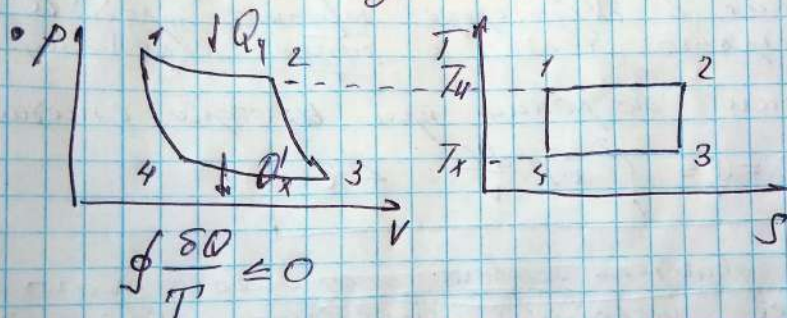
более теплого и передается более холодному.

- Холодильник — обратный цикл — тепло от менее нагретому и более.

- $\eta_{\text{Тепл. насоса}} = 1 - \frac{|Q_{\text{отд}}|}{Q_{\text{подр.}}} < 1.$

- Тепло самопроизвольно не передается от менее нагретому к более, без участия окружающей среды.

#### 4. • Поведение обозначено



5. • III начало термодинамики — физ. принцип, определяющий поведение системы при приближении к 0 К в адiab. пути.

- Нет, т.к. невозможно приблизиться к абсолютному нулю.