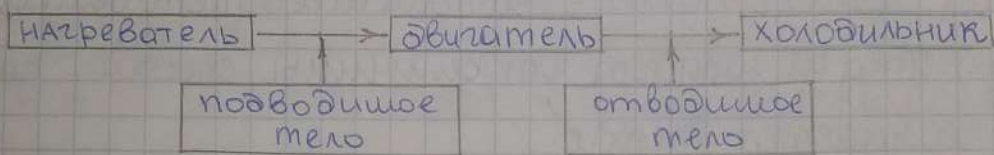


Лекция №13

Тепловые и холодные машины. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Уравнение Клаузиуса. Термодинамическая энтропия. Закон возрастания энтропии. Третье начало термодинамики.

Тепловые машины / двигатели, предназначены для получения полезной работы за счёт теплоты, выделяемой из-за химической реакции и др.



Термостат - тело, находящееся при постоянной температуре и обладающее ∞ теплоёмкостью (в процессе получения или отдачи теплоты не меняют температуру этого тела).

Циклический (круговой) термодинамический процесс.

Прямой процесс - процесс, в котором теплота забирается у более нагретого тела и после совершения работы системой над внешними телами остаток теплоты отдаётся менее нагретому телу.

Тепловые машины работают по прямому процессу. Обратный процесс, где теплота забирается у менее нагретого тела и отдаётся более нагретому - обратный процесс. По этому процессу работают холодильные машины.

Полученная теплота: $Q_n > 0$

Отданная теплота: $Q_k < 0$

Внутренняя энергия - ф-ция состояния. При круговом проц. внутр. энерг. = const, когда сист. возвращается в исходное состояние.

$$\eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{\text{полуз}}} = \frac{Q_{\text{полуз}} + Q_{\text{отд}}}{Q_{\text{полуз}}}$$

- КПД прямого цикла в циклических проц.

Замечание: Если не будет передачи теплоты холодильнику, то тело будет в тепловом равновесии

$$K_{\text{хл}} = \frac{Q_2}{A_{\text{внешн}}}$$

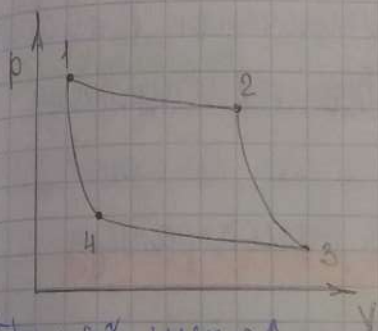
- КПД холодильной машины

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{\text{отд}}|}{Q_{\text{получ}}} < 1$$

Тепловой насос - устройство, "перекачивающее" теплоту от холодных тел к более теплым; работает по обратному темп. циклу

$$\eta_{\text{тн}} = \frac{1}{1 - \frac{|Q_{\text{отд}}|}{Q_{\text{получ}}}} = \frac{1}{\eta}$$

Цикл Карно



1-2: изотермический пр

2-3: адиабатический пр

3-4: изотермическ. пр.

4-1: адиабатический пр.

Прямой цикл ↑

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{\text{отд}}|}{Q_{\text{получ}}}$$

$$\eta = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}} = 1 - \frac{T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}}$$

Второе начало термодинамики.

Формулировка Клаузиуса 2 начала термодинамики:

Теплота самопроизвольно, без изменения в окруж. телах, не может перейти от менее нагретого тела к более нагретому

Формулировка Томпсона 2 начала термодинамики:

В природе невозможен круговой процесс, единственным результатом которого была бы механическая работа, совершаемая за счет отвода теплоты от теплового резервуара

Формулировки эквивалентны.

Замечание: нельзя создать вечный двигатель 2 рода, полностью преобразующий всю получен. энергию в работу

Теоремы Карно

1^{ая} теорема Карно:

КПД η тепловой машины, работающей по обратимому циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и устройства машины, а является функцией только температур нагревателя и холодильника.

2^{ая} теорема Карно:

КПД η тепловой машины, работающей по необратимому циклу, меньше КПД тепловой машины с обратимым циклом Карно при условии равенства температур их нагревателей и холодильников.

Термодинамическая шкала температур

Шкала не зависит от свойств рабочего тела

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Неравенство Клаузиуса

$$\frac{|Q_2|}{T_2} \geq \frac{Q_1}{T_1}$$

для обратимых процессов выполн. равенство
для необратим. процессов выполн. неравенство

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

- неравенство Клаузиуса

Неравенство Клаузиуса - суммарное кол-во приведен. теплоты в любом замкнутом цикле для \forall термодинам. системы > 0 .

для обратимых процес

элементарное кол-во

теплоты приведен = полный дифференциал

$$ds = \frac{\delta Q}{T}$$

В адиабатич. изолир. сист. энтропия не убывает

Энтропия мера необратимости процесса $\left[\frac{dW}{T} \right]$ термодинамической энтропия

показывает направление протекания необратим. процесса
закон возрастания энтропии: в замкнутой системе энтропия не уменьшается без внешнего воздействия

Третье начало термодинамики. Теорема Нернста.

Теорема Нернста (только для равновесных систем):

При стремлении температуры любой равновесной системы к абсолютному 0 её энтропия стремится к постоян. величине; $(=0)$
Теплоёмкости так же $\rightarrow 0$.

Следствие 1:

невозможно достичь состояния с абсолютным нулём температуры 0 К.

Следствие 2:

уравнение Менделеева-Клапейрона неприменимо для описания идеального газа при $T \rightarrow 0$ К.

Ответы на контрольные вопросы:

① Термодинамическая энтропия - мера необратимости процесса. Приращение энтропии является полным дифференциалом. В обратимых процессах энтропия - ф-я состояния. В обратимом процессе энтропия не изменяется.

② 2 начало термодинамики: теплота самопроизвольно, без изменений в окруж. телах, не может перейти от менее нагретого тела к более нагретому.

Изменение энтропии при изотермическом сжатии идеального газа: $\Delta S \ln \frac{p_1}{p_2}$

Вечный двигатель 2 рода - машина, которая уменьшает энергию теплового резервуара и полностью превращает её в работу без изменений в окружающей среде.

Вечный двигатель 1 рода - машина, способная бесконечно совершать работу без затрат топлива и др. ресурсов.

③ Принцип работы тепловой машины: от нагревателя отнимается кол-во теплоты и передается холодильнику.
 Принцип работы холодильной машины: обратный принцип работы, чем у тепловой машины.

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{нагр}}} = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} - \text{КПД теплового двигателя}$$

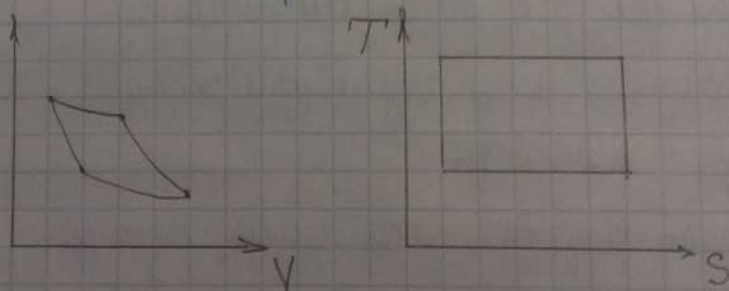
2 начало термодинамики по формулировке Клаузиуса:
 теплота самопроизвольно, без изменений в окружающей среде, не может перейти от менее нагретого тела к более нагретому

④ 1^{ая} теорема Карно: КПД любой тепловой машины, работающей по обратимому циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и устройства машины, а является ф-ей только температур нагревателя и холодильника

2^{ая} теорема Карно: КПД любой тепловой машины, работающей по обратимому циклу, меньше КПД тепловой машины с обратимым циклом Карно при условии равенства температур их нагревателей и холодильников.

Цикл Карно является обратимым

Цикл Карно: p



$$\oint_{\text{цикл}} \frac{\delta Q}{T} \leq 0 - \text{неравенство Клаузиуса для тепловых машин}$$

⑤ 3^{ье} начало термодинамики: при стремлении температуры любой равновесной системы к абсолютному 0 её энтропия стремится к постоян. величине ($= 0$)

Классические термодинамические системы не могут достигать отрицательных температур: добавление тепла повышает их энтропию. Системы, ограниченные количеством энергии, запрещены в классической механике.

Лекция №14

Основное неравенство и основное уравнение термодинамики. Теория о термодинамических потенциалах. Формула Клаузиуса-Клапейрона. Принцип Ле-Шателье-Брауна. Введение в термодинамику необратимых процессов.

Основное неравенство и основное уравнение термодинамики

$TdS \geq dU + pdV$ - основное нер. термодинамики

$TdS = dU + pdV$ - основное ур-е равновесных процессов (обратимых)

Метод термодинамических потенциалов

Описание свойств макросистем

метод циклов

- анализ обратимых циклов

метод термодинамических функций (потенциалов)

- применение термодинамических функций

потенциалы (р-из) - определение функций