Применение первого закона термодинамики, изопроцессы.
Теплоёмкость идеального газа.

$d'Q = dU + d'A$; $d'A = PdV$ - приращение объема.

Пусть состояние 1 характеризуется давлением P_1 и объемом V_1 и температурой T_1, а состояние 2 характеризуется P_2, V_2, T_2.

$$Q_{1\to 2} = \int_{(.)1}^{(.)2} du + \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$$\boxed{Q_{1\to 2} = (U_2 - U_1) + \int_{V_1}^{V_2} PdV}$$

Применим эту формулу к разным процессам:

1. Изохорный процесс (внутренний объем газа неизменен).

$$V_2 = V_1 \Rightarrow A = 0 \Rightarrow Q_{12} = (U_2 - U_1) = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

Полученное газом количество теплоты целиком идёт на нагрев

Теплоёмкость при этом процессе такова:

$$C_v = \frac{Q_{12}}{\Delta T} = \frac{i}{2} \nu R$$

C_v — теплоёмкость газа при изохорном процессе

2. Изотермический процесс (внутренняя энергия не меняется)

$$T_2 = T_1 \Rightarrow U_2 = U_1 \Rightarrow Q_{12} = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Всё тепло получаемое веществом идёт на работу.

Вычислим эту работу: $PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{\nu RT}{V} \Rightarrow Q_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V} dv =$

$$= \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln V \Big|_{V_1}^{V_2} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_{12} = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Понятие теплоёмкости отсутствует, так как температура не определена.

3. Изобарный процесс ($P_2 = P_1$)

$$P = const$$

$$U_2 — U_1 = \frac{i}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1) = \frac{i}{2}(\nu R (T_2 - T_1))$$

или

$$U_2 - U_1 = \frac{i}{2} PV_2 - \frac{i}{2} PV_1 = \frac{i}{2} P (V_2 - V_1)$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P\, dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P \cdot V \Big|_{V_1}^{V_2} = P (V_2 - V_1)$$

$$Q_{12}=\frac{i}{2}P\left(V_2-V_1\right)+P\left(V_2-V_1\right)$$
$$Q_{12}=\frac{i+2}{2}P\left(V_2-V_1\right)$$

$$Q_{12}=\frac{i+2}{2}\nu R\Delta T$$

Таким образом, теплоёмкость при изобарном процессе больше, чем при изохорном.

$$C_p=\frac{Q_{12}}{\Delta T}=\frac{i+2}{2}\nu R$$
$$C_p=\frac{i}{2}\nu R+\nu R \;\Rightarrow\; C_p=C_v+\nu R \quad , \quad C_p>C_v$$

4. Адиабатный процесс

Это процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.

$$Q=0 \;\Rightarrow\; d'A+dU=0 \;\Rightarrow\; \int\limits_{V_1}^{V-2} PdV+\left(U_2-U_1\right)=0$$
$$\Delta U=-\int\limits_{V_1}^{V_2} P\,dV$$
$$\Delta U=-A_{газа}$$

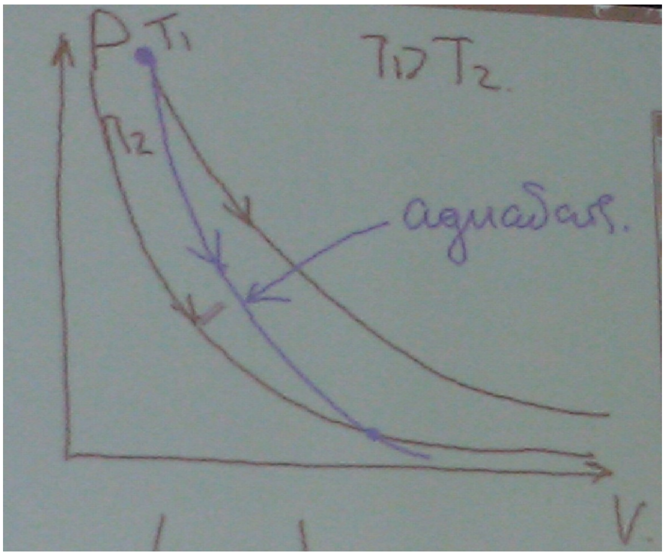
Если работа газа положительная($A_{газа}>0\left(расширение\right)$), то температура уменьшается($\Delta U<0\left(T\downarrow\right)$).

Если работа газа отрицательная($A_{газа}<0\left(сжатие\right)$), то температура увеличивается($\Delta U>0\left(T\uparrow\right)$).

Без вывода: $PV^{\frac{C_p}{C_v}}=const$, $\frac{C_p}{C_v}=\gamma=\frac{\frac{i+2}{2}\nu R}{\frac{i}{2}\nu R}=\frac{i+2}{i}$ - показатель адиабата.

$$i=3 \;\Rightarrow\; \gamma=\frac{5}{3}$$
$$i=5 \;\Rightarrow\; \gamma\frac{7}{5}=1{,}4$$

График адиабатного процесса:



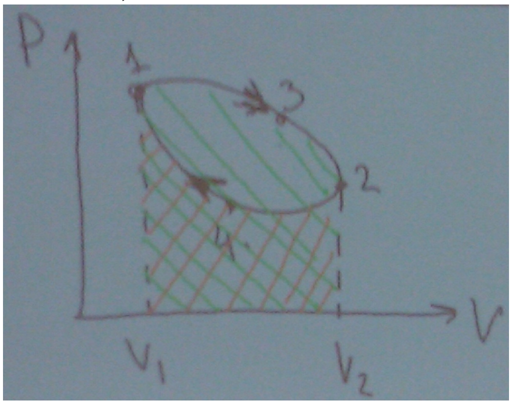
Изотерма: $P=\frac{const_1}{V}$

Адиабата: $P=\frac{const_2}{V^{\gamma}}$

Циклические процессы (круговые)
Тепловой двигатель. КПД.

Циклическим называется процесс, графиком которого является замкнутая линия.
Рассмотрим крайний левый и правый части(1 и 2 соответственно).

$$\Delta U_{1\to3\to2}=\frac{i}{2}\nu RT_2-\frac{i}{2}\nu RT_1$$



$$\Delta U_{2\to4\to1}=\frac{i}{2}\nu RT_1-\frac{i}{2}\nu RT_2$$

$$\Delta U_{1\to3\to2\to4\to1}=\Delta U_{1\to3\to2}+\Delta U_{2\to4\to1}=0$$

$A_{1\to3\to2\to4\to1}=A_{1\to3\to2}+A_{2\to4\to1}=$ зелёная $-$ коричневая $=$ площадь внутри цикла
Работа за цикл равна площади внутри графика цикла.

Тепловой двигатель — устройство, в котором механическая работа совершается за счет переданного количества теплоты.

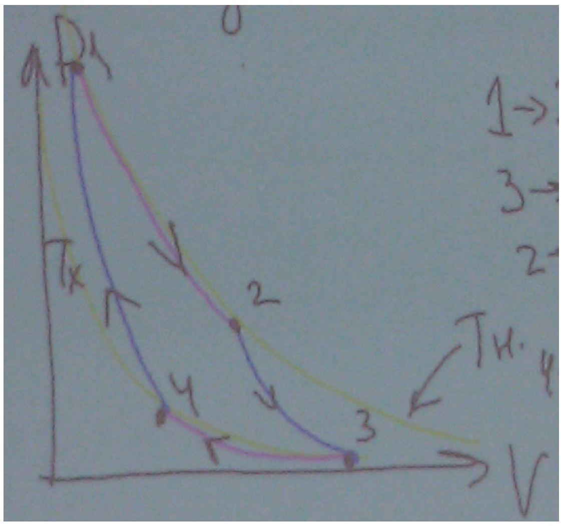
Нагреватель

Рабочее тело
(газ или пар) $\Rightarrow A-работа$

$\Rightarrow Q_x$

Холодильник (окр. среда)

$Q_н$ — поглощенное количество теплоты от нагревателя
Q_x — количество теплоты отданное холодильнику



За цикл: $A=Q_н-Q_x$
(так как за цикл $\Delta U=0$)
КПД: $\eta=\frac{A}{Q_н}=\frac{Q_н-Q_x}{Q_н}$
КПД двигателя зависит от вида цикла.
$\eta=max$ Для нагревателя и холодильника получается если цикл состоит из двух изотерм и двух адиабат(цикл Карно).

$1\to2$ - изотермическое расширение
$3\to4$ - изотермическое сжатие
$2\to3$ - адиабатное расширение($T\downarrow$)
$4\to1$ - адиабатное сжатие($T\uparrow$)

$$\eta_{карно}=\frac{T_н-T_x}{T_н}$$

Энтропия. Свойства энтропии.
Изменение энтропии для идеального газа.

Энтропия — это физическая величина, имеющая фундаментальное значение. Была введена при изучении термодинамики Клаузиусом.

T ; $d'Q$ — б/м количество теплоты

$\boxed{dS=\frac{d'Q}{T}}$ - приращение энтропии системы

$$\Rightarrow \; S_2 - S_1=\int_{(.)1}^{(.)2}\frac{d'Q}{T}$$

Энтропия, также как внутренняя энергия, является также функцией состояния.

Q — не функция состояния
S — функция состояния

Изменение энтропии идеального газа.

$$d'Q=\frac{i}{2}\nu R\,dT+P\,dV$$

$$S_2-S_1=\int\frac{1}{T}\left(\frac{i}{2}\nu R\,dT+P\,dV\right)=\frac{i}{2}\nu R\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T}+\int_{V_1}^{V_2}\frac{P}{T}dV \;=\; \frac{i}{2}\nu R\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T}+\nu R\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}=$$

$$=\frac{i}{2}\nu R\ln\frac{T_2}{T_1}+\nu R\ln\frac{V_2}{V_1}$$

Свойства энтропии

1. Функция состояния
2. $S\rightarrow 0$ при $T\rightarrow 0$, теорема Нернста
3. При адиабатическом процессе энтропия не меняется.
4. Энтропия величина аддитивная. Энтропия суммы равна сумме энтропии системы.
5. Энтропия теплоизолированной системы не уменьшается, она может либо возрастать, либо оставаться в системе.
   Если процесс обратим, то $\Delta S_{12}=0$ ($S=const$)
   Если процесс необратим, то $S_{12}>0$
   Максимального значение энтропия достигает положения равновесия.
   Энтропия характеризует хаотичность элементов из которых состоит система. При переходе к равновесию хаотичность растёт, то и энтропия растёт.

График энтропии для цикла Карно: