гл. Термодинамика

Т. – наука о ...

„Тело" ⟹ ∀ тело физическое: воздух, вода, ртуть, ∀ газ ...

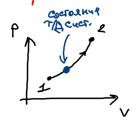
Т/Д система –

Состояние Т/Д системы зад-ся ∨ Т/Д парам-ми:

$\#\ p, V, T, \rho\ \ldots$

Изучаем Равновесную Т/Д ⟹ т.е. такие сост-я Т/Д системы Т/Д параметры Const при неизмен. внеш. усл-ях

Если происх. изм-е Сост-я Т/Д Сист. ⟹ квазистатически (или равновесно):
- воздействие оч. медленное
- система успев-т прийти в равновесие



⟹ Т/Д процесс

§ I начало Т/Д.

„Δ" ≡ порция

$$\boxed{\Delta Q = \Delta U + \Delta A}$$

– интегральн. форма

I нач. Т/Д

ΔQ – порция теплоты, подвод к телу

ΔA – совершённая телом работа

ΔU – измен-е, внутр. эн. тела

Условились: $\Delta Q > 0$, если тело получает тепло
$\Delta Q < 0$ – отдаёт тепло

$\Delta A > 0$, если тело соверш-т работу над внеш. телами
$\Delta A < 0$, если работа совершается над телом

$\Delta U = U_2 - U_1$ – измен. внутр. эн

Считают, что U явл. Функцией Состояния Вещ-ва

Диф. форма I н. Т/Д:

$$\boxed{dQ = dU + dA}$$

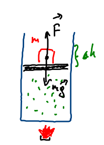
„d" – ∞-малая порция

§ Работа, соверш-я ид. газом

„Тело" = ид. газ

Пусть газ, закл в цилиндр. сосуд с невесом. поршнем, но свободно движ. вдоль стенок

На поршне тело m



$F = p \cdot S$

S – площадь сечения

в сост. равн-я: $mg = p \cdot S$

ΔV – измен-е объёма

Газ нагревается и он выталкив. поршень

⟹ при малых измен-ях Δh:

$$\Delta A = F \cdot \Delta h = p \cdot S \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V$$

расшир-е идёт при $p = const$

Работа при больших перемещ-х м. найти, разбив движ-е поршня на малые участки ($p_i = const$)

$$\Delta A = \sum_i \Delta A_i = \sum_i p_i \cdot \Delta V_i$$

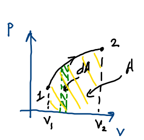
в пределе $\Delta V_i \to 0$

$$\Rightarrow \Delta A \equiv A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

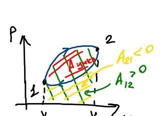
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

!

– зависит от процесса (явл. ф-ей процесса и не явл. ф-ей состояния)



Если в рез-те измен-й Сист. возвращ. в исход. сост-е
⟹ совершила круг. процесс (цикл)



работа за цикл:

$A_{цикл}$ – площадь внутри цикла

$$A_{цикл} = A_{12} - |A_{21}|$$

Теплоёмкость одноатомн. и многоатомн. газов.
(теплоём-ть газов)

$$\boxed{C = \frac{dQ}{dT}}$$

где: dQ - кол-во теплоты, подведён. к телу и увеличившее его тем-ру на dT

$C_{уд}$ „удельная"

$$C_{уд} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT}$$

где: dQ – кол-во теплоты подведён. к телу с массой m при измен-и его темп. на dT

C_μ – „молярная"

$$C_\mu = \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dQ}{dT}$$

где: dQ – кол-во тепла, подвед-е к ν-молям, чтобы увел-ть на dT

В дальнейшем: (число) $C_\mu \equiv C$

Связь: $C_{уд} = \frac{C_\mu}{\mu}$ где: μ – молярн. масса

Выдел-т:
1) Теплоём-ть при $V = const$ $(C_{\mu_V} \equiv C_V)$
2) Тепл-ть при $p = const$ $(C_{\mu_p} \equiv C_p)$

1) Тепл. при $V = const$

$$C_V \equiv \left.\frac{dQ}{dT}\right|_{V=const}, \quad \nu = 1, \quad \text{тело – ид. газ}$$

I н.Т/д: $\left.\begin{array}{l} dQ = dU + dA \\ dA = p \cdot dV = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow dQ = dU \Rightarrow C_V = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU}{dT} = \left[\begin{array}{c} \text{ид. газ} \\ U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R \cdot T \\ m = \mu \end{array}\right] =$

$$= \frac{\frac{i}{2}R\,dT}{dT} = \frac{i}{2}R$$

$$\boxed{C_V = \frac{i}{2} \cdot R}\ !$$

i – число степ. свободы

2) Тепл-ть при $p = const$

I н.Т/д: $dQ = dU + dA$, $dA = p \cdot dV$

$pV = \frac{m}{\mu}RT$; $m = \mu$ $\Rightarrow$ $p \cdot V = RT$

$p = const$ $\Rightarrow$ $p \cdot dV = R \cdot dT$

$\Rightarrow dA = p \cdot dV = R \cdot dT$

$$\Rightarrow dQ = \frac{i}{2}R \cdot dT + R \cdot dT$$

$$\Rightarrow C_p \equiv \left.\frac{dQ}{dT}\right|_{p=const} = \frac{R \cdot \cancel{dT} \cdot (\frac{i}{2}+1)}{\cancel{dT}} = \frac{i}{2}R + R = C_V + R$$

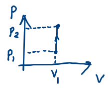
$$\boxed{C_p = C_V + R}$$ – ф. Майера !

связь молярных теплоёмк. при $p = const$ и $V = const$

§ I нач. Т/Д, Работа и Теплоёмкости при Изопроцессах.

а. График процесса
б. I н. Т/Д
в. Работа при этом проц.
г. Теплоёмк-ть

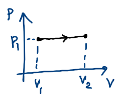
1. Изохорный ($V = const$)



$V = const \Rightarrow dA = p \cdot dV = 0 \Rightarrow dQ = dU$

$C_V = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU}{dT} = \ldots = \frac{i}{2} R$

2. Изобарный ($p = const$)

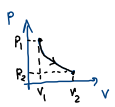


$dQ = dU + dA$

$dA = p \cdot dV \Rightarrow A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = p_1 \cdot (V_2 - V_1)$

$C_p = \frac{dQ}{dT} = C_V + R$

3. Изотермический ($T = const$)



$pV = \frac{m}{\mu} RT = const = p_1 \cdot V_1 \Rightarrow p = \frac{p_1 \cdot V_1}{V} = \frac{const}{V}$ – гипербола

$dQ = \underbrace{\cancel{dU}}_{0} + dA = dA \Rightarrow dQ = dA$

$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{p_1 \cdot V_1}{V} \cdot dV = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

$$\boxed{A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$C_T \equiv c_{\mu T} \equiv \left.\frac{dQ}{dT}\right|_{dT=0} = \frac{dQ}{0} = \begin{cases} +\infty, & dQ > 0 \\ -\infty, & dQ < 0 \end{cases}$ (подводим тепло)

4. Адиабатический
→ без обмена dQ со средой $\Rightarrow dQ = 0$
(– хорошая изоляция
– быстрота протекания)

I н. Т/Д: $dQ = dU + dA = 0 \Rightarrow \boxed{dA = -dU}$
(процесс-т за счет убыли внут. эн.)

Найдём ур. процесса
$\nu = \frac{m}{\mu} = 1$ (не повлияет на конечный вывод)

1) $pV = \frac{m}{\mu} RT$

$\Rightarrow pV = RT$

2) $dA = -dU \Rightarrow p \cdot dV = -C_V \cdot dT$ | $\cdot R$

$p \cdot V = RT \Rightarrow p \cdot dV + V \cdot dp = R \cdot dT$ | $\cdot C_V$

$\oplus \Rightarrow p \cdot R \cdot dV + p \cdot C_V \cdot dV + V \cdot C_V \cdot dp = 0$

$p \cdot dV \cdot \underbrace{(R + C_V)}_{C_p} + V \cdot C_V \cdot dp = 0$

$\Rightarrow C_p \cdot p \cdot dV + C_V \cdot V \cdot dp = 0$ | $\frac{1}{C_V \cdot V \cdot p}$

$\Rightarrow \underbrace{\frac{C_p}{C_V}}_{\gamma} \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0$

$\Rightarrow d \ln V^\gamma + d \ln p = 0$

где: $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$

$\Rightarrow d(\ln V^\gamma + \ln p) = 0$

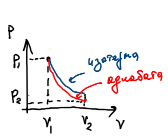
$\Rightarrow d \ln p \cdot V^\gamma = 0$

$\Rightarrow \boxed{p \cdot V^\gamma = const}$ – ур. адиабаты

где: $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ – коэф. Пуассона

Итак: $pV^\gamma = const = p_1 \cdot V_1^\gamma$

$\Rightarrow \boxed{p = \frac{const}{V^\gamma}}$ – адиабата



Работа:

$dA = -dU = -C_V \cdot dT$

$\Rightarrow A_{12} = -C_V \cdot (T_2 - T_1)$!

$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \left[p = \frac{p_1 \cdot V_1^\gamma}{V^\gamma} \right] = \ldots = \frac{p_1 \cdot V_1}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$!

$C_{ад} = \left.\frac{dQ}{dT}\right|_{dQ=0} = 0$

$$\boxed{C_{ад} = 0}$$