

Физика

за софтверско инжењерство

Белешке са предавања

26. децембар 2018

2018. © Јасна Црњанеши

ТЕМПЕРАТУРА И ТОПЛОТА

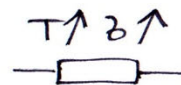
→ ТЕМПЕРАТУРА : МЕРА ЗАГРЕЈАНОСТИ ИЛИ НЕЗАГРЕЈАНОСТИ ТЕЛА МЕРЕНА ПО НЕЈАКВОЈ СКАЛИ



→ МАКРОСКОПСКИ ДЕФИНИСАНА ВЕЛИЧИНА

→ НА МИКРО НИВОУ ПОРЕЗАНА СА СРЕДЊОМ КИНЕТИЧНОМ ЕНЕРГИЈОМ МОЛЕКУЛА

→ БИЛО КОЈА МЕРЉИВА ОСОВИНА КОЈА СЕ МЕНЈА СА ЗАГРЕЈАНОШЋУ ТЕЛА



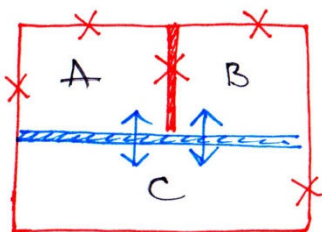
БОЈА ЗАГРЕЈАНОГ ТЕЛА, ...

ТЕРМОПАРОВИ, ...

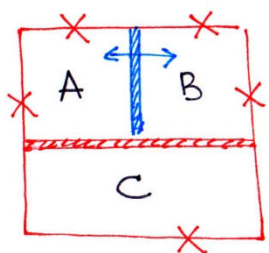
→ УРЕЂАЈ ЈЕ ТЕРМОМЕТАР !

→ ТЕРМИЧКА РАВНОТЕЈНА : ПРЕСТАЈЕ ПРОМЕНА ТЕМПЕРАТУРЕ СИСТЕМА КОЈИ СУ У КОНТАКТУ (ИМАЈУ ИСТЕ ТЕМПЕРАТУРЕ)

ПРВИ ЕКСПЕР.



ДРУГИ ЕКСП.



→ НУЛТИ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКЕ : ДВА СИСТЕМА, ОБА У ТЕРМИЧКОЈ РАВНОТЕЈНИ СА ТРЕЋИМ СИСТЕМОМ СУ У ТЕРМИЧКОЈ РАВНОТЕЈНИ ИЗМЕЂУ СЕБЕ.

□ КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ [Q]

→ ТОПЛОТА ЈЕ ЕНЕРГИЈА Ч ПРЕНОСУ
ИЗМЕЂУ ТЕЛА ИЛИ СИСТЕМА ЗА
КОЈЕ ПОСТОЈИ ТЕМПЕРАТУРСКА РАЗЛИКА.

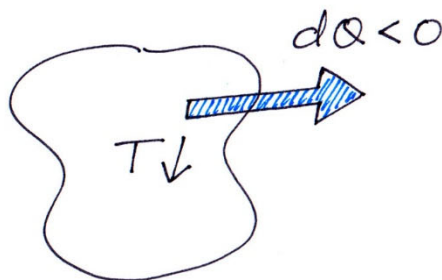
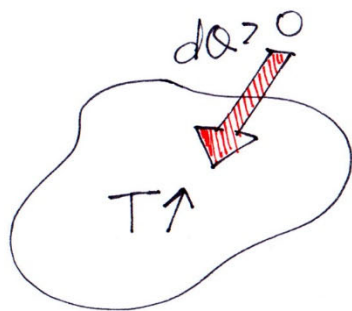
$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

ГДЕ ЈЕ $\Delta T = T_2 - T_1$

→ СПЕЦИФИЧНА
ТОПЛОТА :

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

$$\rightarrow dT \geq 0 \Rightarrow dQ \geq 0 !!$$



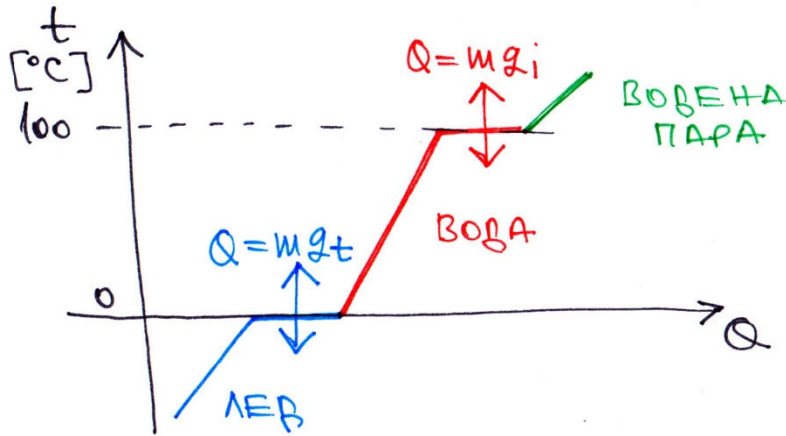
→ МОЛАРНА
СПЕЦИФИЧНА
ТОПЛОТА

$$m = \mu_m M \rightarrow \begin{matrix} \text{МОЛАРНА} \\ \text{МАСА} \\ \downarrow \\ \text{БРОЈ МОЛОВА} \end{matrix}$$

$$C = M \cdot c$$

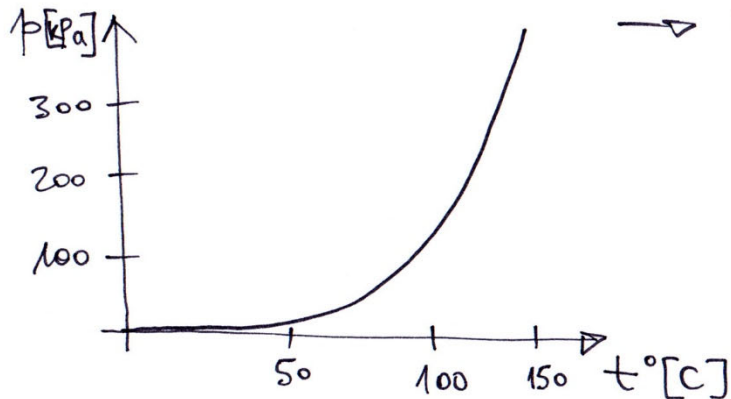
$$C = \frac{1}{\mu_m} \frac{dQ}{dT}$$

☐ ФАЗНИ ПРЕЛАЗИ



- ИСПАРАВАЊЕ / КОНДЕНЗОВАЊЕ
- ЗАМРЗАВАЊЕ / ТОПЛЕЊЕ
- СУБЛИМАЦИЈА

→ КЛУЧАЊЕ :



- ПРИТИСАК ЗАСИЋЕНЕ ПАРЕ РАСТЕ СА ТЕМПЕРАТУРОМ (ДИНАМИЧКА РАВНОТЕЖА ИЗМЕЂУ ИСПАРАВАЊА И КОНДЕНЗОВАЊА)
- ТЕЧНОСТ КЛУЧА КАДА ЊЕН ПРИТИСАК ЗАСИЋЕНЕ ПАРЕ ПОСТАНЕ ЈЕДНАК АТМОСФЕРСКОМ ПРИТИСКУ.

□ ЈЕДНАЧИНА СТАЊА ИДЕАЛНОГ ГАСА

→ ИДЕАЛАН ГАС: МОЛЕКУЛИ СУ КУГЛИЦЕ (ВЕОМА МАЛЕ)
ИЗМЕЂУ КОЈИХ НЕМА ИНТЕРАКЦИЈЕ
И КОЈЕ СЕ КРЕЋУ ВЕЛИКОМ БРЗИНОМ

→ ВЕЛИЧИНЕ СТАЊА

$$pV = n_m R T$$

→ 3. ТЕМПЕРАТУРА

↓
НА ДОВОЉНО
НИСКОМ ПРИТИСКУ
И ДОВОЉНО
НИСКОЈ Т
→ РЕАЛАН ГАС

1. ПРИТИСАК (АПСОЛУТНИ)

$$p [Pa] = \frac{F}{S} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

2. ЗАПРЕМИНА

$$V [m^3]$$

ГУСТИНА

$$\rho = \frac{m}{V} [kg/m^3]$$

→ $n_m = \frac{m}{M}$ БРОЈ МОЛОВА

$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$ УНИВЕРЗАЛНА
ГАСНА КОНСТАНТА

$$\rightarrow pV = \frac{m}{M} R T \Rightarrow p = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} \Rightarrow$$

$$p = \rho \frac{RT}{M}$$

ИДЕАЛАН ГАС

ОНАЈ ГАС ЗА
КОЈИ ЈИМА

$$pV = n_m R T$$

ДАНИ ЗА СВЕ
ПРИТИСКЕ И

НА СВАКОЈ
ТЕМПЕРАТУРИ.

→ ИЗОТЕРМНСКИ ПРОЦЕС $T = \text{const}$

→ $pV = \text{const}$ (БОЈЛ - МАРИОТОВ ЗАКОН)

→ ИЗОБАРСКИ ПРОЦЕС $p = \text{const}$

$\frac{V}{T} = \text{const}$ (ШАРЛОВ ЗАКОН)

→ ИЗОХОРСКИ ПРОЦЕС $V = \text{const}$

$\frac{p}{T} = \text{const}$ (ГЕЈ - ЛИСАКОВ ЗАКОН)

→ $p(t) = p_0(1 + \gamma t)$

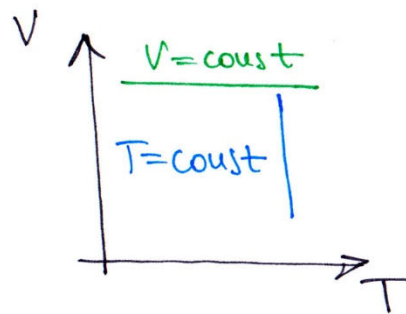
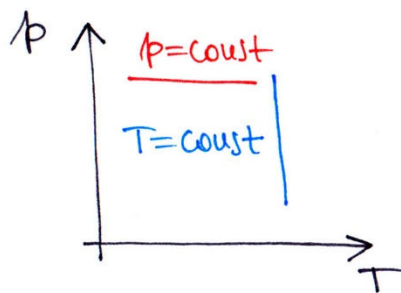
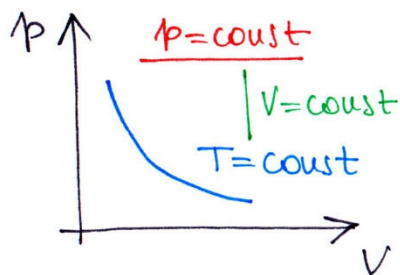
ПРОМЕНА $V(t)$

$V(t) = V_0(1 + \gamma t)$

$V_0 = V(t=0^\circ\text{C})$ ← | ↓
КОЕФИЦИЈЕНТ
ШИРЕЊА ГАСА

$\gamma = 1/273^\circ\text{C}$
ЗА СВЕ ГАСОВЕ!!

→ ГРАФИЧНО ПРЕДСТАВЛАЊЕ



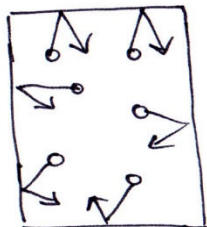
КИНЕТИЧКА ТЕОРИЈА ИДЕАЛНОГ ГАСА

→ МОЛЕКУЛАРНА ТЕОРИЈА

ПРЕТПОСТАВКЕ:

1. СУД ЗАПРЕМИНЕ V САДРЖИ ВЕЛИКИ БРОЈ N ИДЕНТИЧНИХ МОЛЕКУЛА, МАСЕ m
2. МОЛЕКУЛИ СУ МАТ. ТАЧКЕ
3. МОЛЕКУЛИ СЕ НЕПРЕСТАНО КРЕТУ И ПОВЛЕЖУ ЂУНОВИМ ЗАКОНИМА
4. СУДАРИ СУ ЕЛАСТИЧНИ
5. ЗИГОВИ СУДА СУ КРУГИ, НЕ ПОМЕРАЈУ СЕ
6. ПРАВИМ КРЕТАЊА МОЛЕКУЛА ГАСА СУ ИЗОТРОПНИ.
7. НЕМА СПОЉАШЊЕГ ПОТЕНЦИЈАЛНОГ ПОЉА
8. НЕМА ПОТЕНЦ. ЕНЕРГИЈЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ
9. КОНЦЕНТРАЦИЈА У СУДУ ЈЕ СВАКА ИСТА

□ ПРИТИСАК ГАСА НА ЗИДОВЕ СУДА



$$pV = \frac{2}{3} N \overline{E_{kin}}$$

→ СРЕДЊА КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА
ТРАНСЛАТОРНОГ КРЕТАЊА ЈЕДНОГ
МОЛЕКУЛА

$$\overline{E_{kin}} = \frac{1}{2} m_m \overline{v^2}$$

□ КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА

⇒ $N \overline{E_{kin}}$ УКУПНА ТРАНСЛАТОРНА
ЕНЕРГИЈА ГАСА

$$pV = \frac{2}{3} N \overline{E_{kin}}$$

$$pV = m_m R T$$

$$\rightarrow N \overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} m_m R T$$

$$\overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} \frac{m_m}{N} R T \Rightarrow$$

$$N = m_m \cdot N_A$$

$$\overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} \left[\frac{R}{N_A} \right] T$$

$$k_B = \frac{R}{N_A}$$

БОЛЦМАНОВА
КОНСТАНТА
 $= 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

$$\rightarrow \overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} k_B T$$

СРЕДЊА КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА
ТРАНСЛАЦИЈЕ ЗАВИСИ САМО ОД
ТЕМПЕРАТУРЕ.

□ ДАЛТОНОВ ЗАКОН

$$pV = n_m RT = \frac{N}{N_A} RT = N k_B T$$

$$n_c = \frac{N}{V} \text{ КОНЦЕНТРАЦИЈА ГАСА}$$



$$p = n_c k_B T$$

j-НА СТАЊА ИДЕАЛНОГ ГАСА ИЗРАЖЕНА ПРЕКО КОНЦЕНТРАЦИЈЕ

→ АКО ИМАМО СМЕШУ РАЗЛИЧИТИХ ГАСОВА

$$p_s = \frac{2}{3} n_{c,s} \cdot \overline{E_{kin}} = \frac{2}{3} (\sum n_{c,ij}) \overline{E_{kin}} = \sum_i \frac{2}{3} n_{c,i} \overline{E_{kin}}$$

↓
ПРИТИСАК
СМЕШЕ

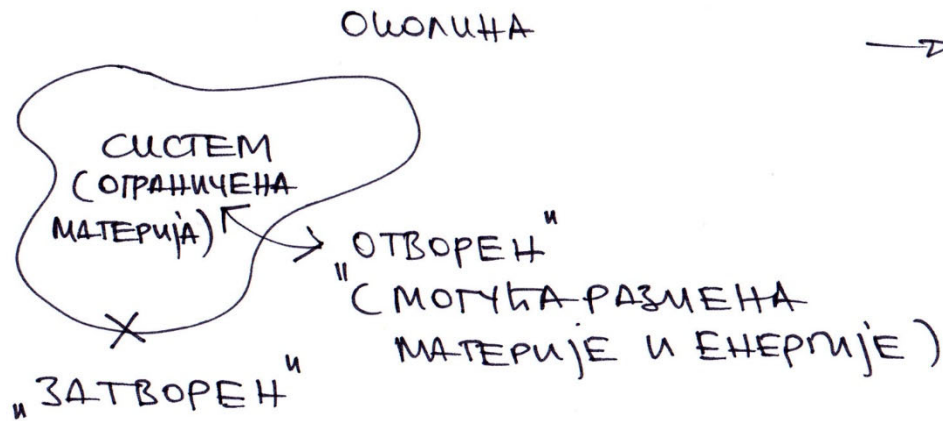
↳ КОНЦЕНТРАЦИЈА
СМЕШЕ :

$$n_{c,s} = \sum_i n_{c,ij}$$

↓

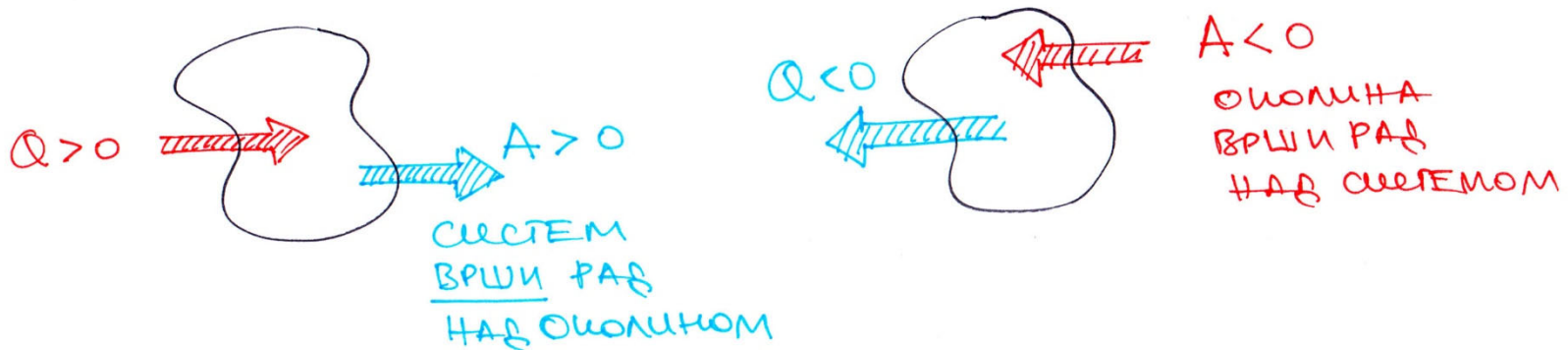
$$p_s = \sum p_i$$

ПРВИ ПРИНЦИП ТЕРМОДИНАМИКЕ



→ ТЕРМОДИНАМИЧКИ СИСТЕМ
РАЗМЕНУЈЕ ЕНЕРГИЈУ СА
ОКОЛИНОМ КРОЗ

- 1° КОЛИЧИНУ ТОПЛОТЕ
2. РАД



→ СТАЊЕ СИСТЕМА ЈЕ ОДРЕЂЕНО ВЕЛИЧИНАМА СТАЊА
(P, V, T, U, I, S)

→ ЈЕДНАЧИНА СТАЊА ЈЕ БЕЗА ИЗМЕЂУ ВЕЛИЧИНА СТАЊА

→ ПРОЦЕС : ПРОМЕНА СТАЊА СИСТЕМА (P, V, T) КРОЗ
РАЗМЕНУ РАДА И ТОПЛОТЕ

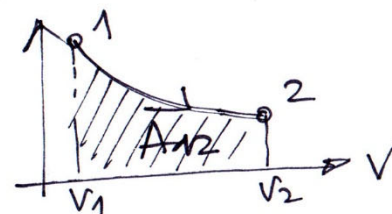
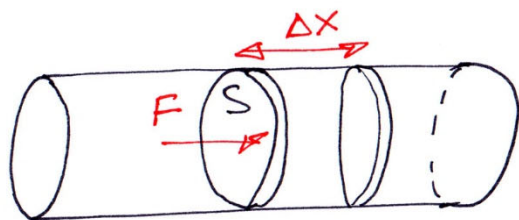
↳ ВЕЛИЧИНЕ ПРОЦЕСА $\delta A, \delta Q$

ПОВРАТНИ

АКО СЕ СМЕР ТОЊА
ТОПЛОТЕ МОЊЕ ОДРЕЧУТИ

→ СПОРЕ ПРОМЕНЕ, АКО ЈЕ СИСТЕМ
У СТАЊУ БИЛО У ТРП ОН ЈЕ
ТОЊОМ ЧИТАВОГ ПРОЦЕСА У ТРП.

□ РАД ГАСА ПРИ ПРОМЕНИ ЗАПРЕМИНЕ P



РАД ГАСА:

$$F = Sp$$

$$\delta A = F \cdot dx = p \underbrace{S dx}_{dV} \Rightarrow$$

$$\delta A = p dV$$

⇒

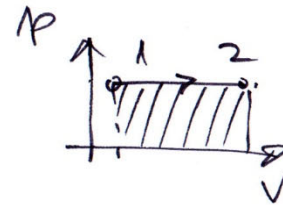
$$A_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dV$$

$A > 0$ АКО $\Delta V > 0$ (ШИРИ СЕ СИСТЕМ)

$A < 0$ АКО СЕ СИСТЕМ КОМПРИМУЈЕ

1. ИЗОБАРНИ ПРОЦЕС ($p = \text{const}$)

$$A_{12} = p \int_{V_1}^{V_2} dV = p \Delta V = p(V_2 - V_1)$$



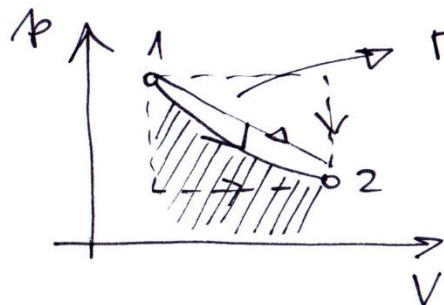
2. ИЗОТЕРМНИ ПРОЦЕС ($T = \text{const}$)

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \mu m R T \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \boxed{\mu m R T \ln \frac{V_2}{V_1} = A_{12}}$$

$$\rightarrow pV = \mu m R T$$

ВАЖНИ $p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow \boxed{A_{12} = \mu m R T \ln \frac{p_1}{p_2}}$

□ ПУТ



ПУТ: НИЗ МЕЂУСТАЊА КРОЗ КОЈА ПРОИДЖИ СИСТЕМ

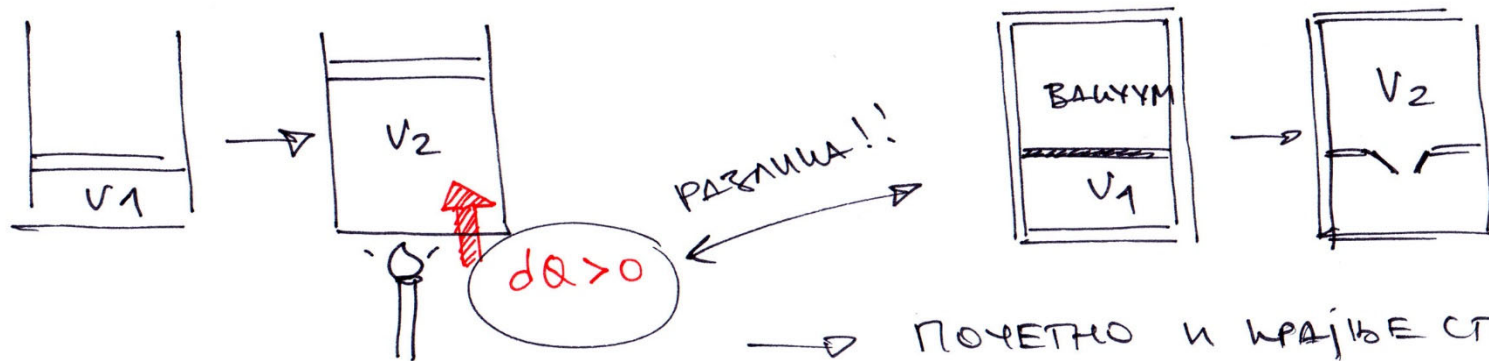
АКО СУ РАВНОТЕЖНА \rightarrow

МОГУЋЕ ЈЕ ПРЕДСТАВИТИ ИХ

У pV ВЕЖАГРАМУ.

\rightarrow РАД ЈЕ ВЕЛИЧИНА ПРОЦЕСА $\Rightarrow \delta A$

→ КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ ЈЕ ТАКОЈЕ ВЕЛИЧИНА ПРОЦЕСА dQ
 ИЗОТЕРМНА ЕКСПАНДИЈА V_s . СЛОБОДНО ШИРЕЊЕ



→ ПОЧЕТНО И КРАЈЊЕ СТАЊЕ
 ЈЕ ИСТО ЗА ОВА ПРОЦЕСА
 → МЕЂУ СТАЊА СЕ РАЗЛИКУЈУТ

□ УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА U → СУМА E_k И E_p
 ЧЕСТИЦА КОЈЕ
 ЧИНЕ СИСТЕМ.
 $\Delta U = U_2 - U_1$

→ $\Delta U = Q - A$ → 1° АКО ЈЕ $A = 0$ → $\Delta U = Q$
 2° АКО ЈЕ $Q = 0$ → $\Delta U = -A$
 СИСТЕМ ВРШИ РАД НАД
 ОКОЛИНОМ

→ ПРВИ ПРИНЦИП
ТЕРМОДИНАМИКЕ

$$Q = \Delta U + A$$

→ КОЛИЧИНА
ТОПЛОТЕ КОЈА
СЕ ДОВЕЂЕ СИСТЕМУ

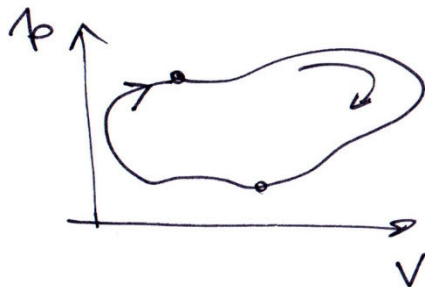
РАСПЛОЂЕЊЕ СЕ НА
ПОВЕЋАЊЕ U
ВРШЕЊЕ РАДА A
НАД ОКОЛИНОМ

$$dU = \delta Q - \delta A$$

→ ЗА ИДЕАЛАН ГАС: УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА ЈЕ
КОЛИЧИНСТВО Ф-ЈА ТЕМПЕРАТУРЕ.

$$U = U(T)$$

→ ИРЧНИИ ПРОЦЕС



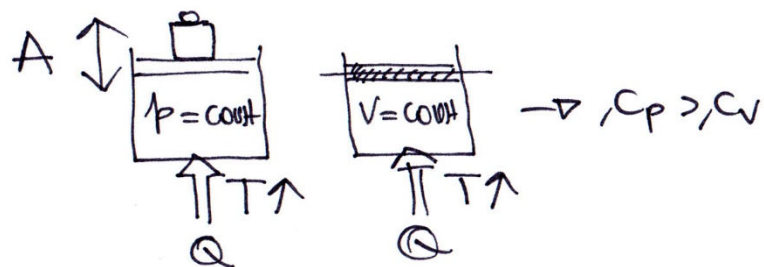
$$U_1 = U_2 \rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$$

ПЕРПЕТУМ МОБИЛЕ ПРВЕ
ВРСТЕ НИЈЕ МОГУЋ.

(МОТОР КОЈИ ВРШИ РАД БЕЗ
ДОВОЂЕЊА ТОПЛОТЕ)

□ СПЕЦИФИЧНА ТОПЛОТА ИДЕАЛНОГ ГАСА

$$\begin{aligned} \rightarrow V = \text{const} &\Rightarrow c_v \Rightarrow C_v \\ \rightarrow p = \text{const} &\Rightarrow c_p \Rightarrow C_p \end{aligned}$$



$V = \text{const} :$

$$dQ|_{V = \text{const}} = m_m C_v dT \Rightarrow p \text{ РАСТЕ, АЛИ } dA = p dV = 0$$

$$\rightarrow dQ|_{V = \text{const}} = dU$$

$$\rightarrow \boxed{dU = m_m C_v dT}$$

ИЗРАЗ ВАЖИ ЗА ИДЕАЛНИ
ГАС БЕЗ ОБЗИРА НА ТО
КОЈИ ПРОЦЕС ВОЗОЉИ ВО
ПРОМЕНЕ СТАЊА

(ЧАК И АКО ЗАПРЕМИНА
НИЈЕ КОНСТАНТНА)

\rightarrow ЗАТО ШТО КОЈ ИДЕАЛНОГ
ГАСА УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА
ЗАВИСИ САМО ОД ТЕМПЕРАТУРЕ.

$p = \text{const} :$

1° $dQ|_{p=\text{const}} = M_m C_p dT$

$dA = p dV$

$\Rightarrow dA = M_m R dT$

из 1° и 2° I ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ: $dQ = dU + dA$

~~$M_m C_p dT = M_m C_v dT + M_m R dT$~~

$C_p = C_v + R$

МАЈЕРОВА
РЕЛАЦИЈА

из кинетичке теорије гасова се добија $C_v = \frac{3}{2} R$ за монокатонички гас, $C_v = \frac{5}{2} R$ за бивокатонички $\Rightarrow \nabla$

$C_v = \frac{j}{2} R$

$\rightarrow C_p = \frac{j+2}{2} R$

$\rightarrow \gamma = \frac{j+2}{j}$

j број степени слободне кретања молекула гаса.