Физика

за софтверско инжењерство

Белешке са предавања

9. јануар 2019

2018 © Јасна Црњански

ТЕРМОДИНАМИЧКИ ПРОЦЕСИ

1° АДИЈАБАТСКИ ПРОЦЕС → НЕМА РАЗМЕНЕ ТОПЛОТЕ СА ОКОЛИНОМ

$$dQ = 0$$

$$\rightarrow \left.\begin{aligned} dU &= -dA \\ dU &= m\, C_V\, dT \\ dA &= p\, dV \end{aligned}\right\} \quad m\, C_V\, dT = -p\, dV \qquad pV = mRT$$

$$\cancel{m}\, C_V\, dT = -\frac{\cancel{m} R T}{V} dV$$

$$\int \frac{dT}{T} = -\int \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

$$\ln T = -\ln (V)^{R/C_V} + const$$

$$\frac{R}{C_V} = \varkappa - 1$$

$$\rightarrow \boxed{T \cdot V^{\varkappa - 1} = const}$$

$$\rightarrow \boxed{p V^{\varkappa} = const}$$

$$\rightarrow \boxed{T p^{\frac{1-\varkappa}{\varkappa}} = const}$$

ТАКОЂЕ ВАЖИ

$$A = -m\, C_V\, dT$$

$$A = m\, C_V (T_1 - T_2) + \text{ј-на стања ид. гаса}$$

$$\Rightarrow A = \frac{C_V}{R} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$$

$$A = \frac{1}{\varkappa - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$$

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

2. ПОЛИТРОПСКИ ПРОЦЕС
(ОПШТА ПРОМЕНА СТАЊА ГАСА)

$$\longrightarrow \boxed{pV^{n} = const}$$

n – СТЕПЕН ПОЛИТРОПЕ

$$\longrightarrow \quad C = \frac{1}{n_m}\frac{dQ}{dT}$$

$$\longrightarrow \quad p^{1-n}T^{n} = const$$

$$\longrightarrow \quad TV^{n-1} = const$$

$$n = \frac{C_p - C}{C_v - C} \longrightarrow \boxed{C = C_v\frac{n-\varkappa}{n-1}}$$

$$dQ = n_m C\, dT = n_m C_v \frac{n-\varkappa}{n-1}\, dT$$

$$\boxed{Q_{12} = n_m C_v \frac{n-\varkappa}{n-1}(T_2 - T_1)}$$

из $dQ = dU + dA \longrightarrow$

$$A_{12} = Q_{12} - n_m C_v (T_2 - T_1)$$

$$A_{12} = n_m C_v \left(\frac{n-\varkappa}{n-1} - 1\right)(T_2 - T_1)$$

$$A_{12} = n_m C_v \frac{1-\varkappa}{n-1}(T_2 - T_1)$$

$$A_{12} = n_m \frac{C_p - C_v}{n-1}(T_1 - T_2)$$

$$\boxed{A_{12} = \frac{n_m R}{n-1}(T_1 - T_2)} \longleftarrow$$

ЕНТРОПИЈА $S\left[\frac{J}{K}\right]$

→ ИЗОТЕРМНА ЕКСПАНЗИЈА ИДЕАЛНОГ ГАСА
(ГАС СЕ ШИРИ БЕЗ ПРОМЕНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ЗБОГ ДОВАТОГ dQ) → $dQ = dA = p\,dV$

$$dQ = \frac{n_m R T}{V}\,dV$$

→ $\frac{dQ}{T} \sim \frac{dV}{V}$ када је $T = const$

⇒ $dQ > 0$ доводи гас у стање веће неуређености (већа запремина, већи могући број случајних положаја)

ПРОМЕНА ЕНТРОПИЈЕ

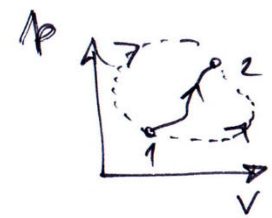
$$\boxed{dS \equiv \frac{dQ}{T}}$$

МЕРА ХАОТИЧНОСТИ СИСТЕМА
→ <u>ВЕЛИЧИНА СТАЊА</u>

ЗА МАЛО T, dQ ИЗАЗИВА ВЕЛИКУ ПРОМЕНУ ХАОТИЧНОСТИ.

$T = const$ → $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} Q_{12}$ $\quad (S_0 = S(T=0))$

→ ЧАК И АКО ПРОЦЕС НИЈЕ РЕВЕРЗИБИЛАН МОГУЋЕ ЈЕ ОДРЕДИТИ ЕНТРОПИЈУ ПОСМАТРАЊЕМ СЕРИЈЕ ЕКВИВАЛЕНТНИХ РЕВЕРЗИБИЛНИХ ПРОЦЕСА



ДРУГИ ПРИНЦИП ТЕРМОДИНАМИКЕ

→ ОДРЕЂУЈЕ ПРЕФЕРИРАНИ СМЕР ОДВИЈАЊА ТЕРМОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА

ПРОЦЕСИ:

1. ПОВРАТНИ (РЕВЕРЗИБИЛНИ) → МОЖЕ САМО АКО ЈЕ СИСТЕМ У РАВНОТЕЖИ САМ СА СОБОМ И ОКОЛИНОМ.

   ↓

   РАВНОТЕЖНИ ПРОЦЕСИ

   1 $\circ\!\rightarrow\ \leftarrow\!\circ$ 2

   ↳ МАЛА ПРОМЕНА УСЛОВА МОЖЕ ВРАТИТИ СИСТЕМ У ПРЕТХОДНО СТАЊЕ

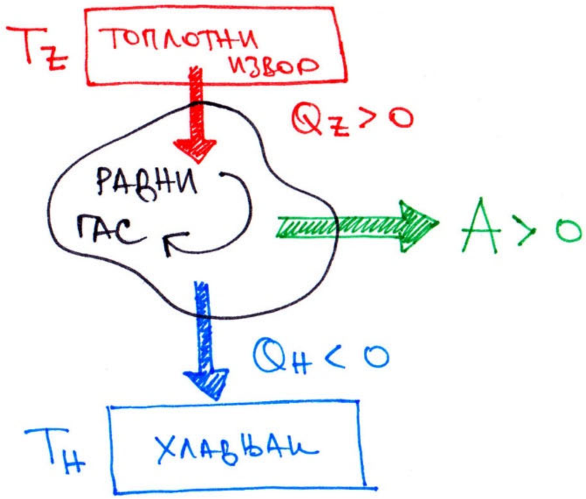
2. НЕПОВРАТНИ (ИРЕВЕРЗИБИЛНИ)

   → НЕРАВНОТЕЖНИ ПРОЦЕСИ (НЕ МОГУ ПРОМЕНИТИ СМЕР)

" ЕНТРОПИЈА ИЗОЛОВАНОГ СИСТЕМА НИКАДА НЕ ОПАДА - ОНА ИЛИ ОСТАЈЕ КОНСТАНТНА (ЗА ПОВРАТНЕ ПРОЦЕСЕ) ИЛИ СЕ ПОВЕЋАВА (ЗА НЕПОВРАТНЕ ПРОЦЕСЕ) " → ПРОЦЕСИ СЕ У ПРИРОДИ УВЕК ОДВИЈАЈУ ПРЕМА СТАЊУ ВЕЋЕГ ХАОСА!!

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

ТОПЛОТНА МАШИНА



→ ЦИКЛИЧНИ ПРОЦЕС: $\Delta U = 0$

→ $Q - A = 0 \Rightarrow \boxed{Q = A}$

→ Q_Z, Q_H ТОПЛОТА КОЈА СЕ ДОВОДИ/ОДВОДИ РАДНОМ ТЕЛУ У ТОКУ 1 ЦИКЛУСА

⇒ ТОПЛОТА КОЈА СЕ ИСКОРИСТИ У ТОКУ 1 ЦИКЛУСА

$$Q = Q_Z + Q_H = Q_Z - |Q_H| = A$$

→ КОРИСАН РАД МОТОРА

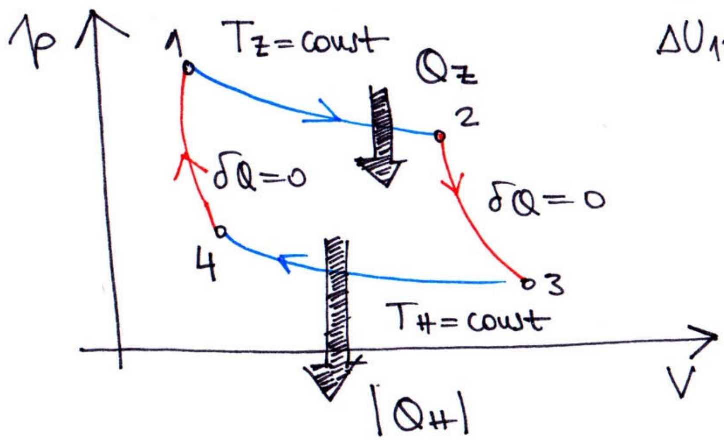
→ ТЕРМИЧКИ СТЕПЕН КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

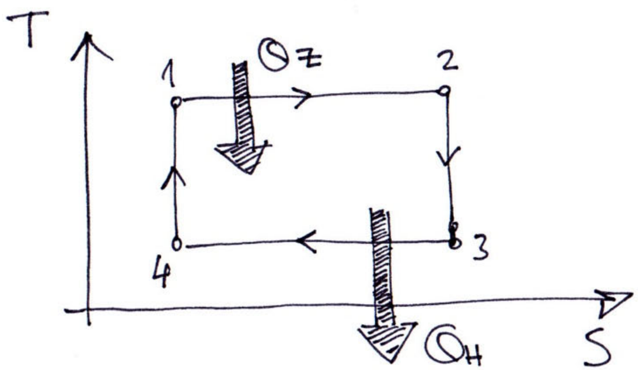
$$\eta_T = \frac{A}{Q_Z} = \frac{Q_Z - |Q_H|}{Q_Z} = 1 - \frac{|Q_H|}{Q_Z}$$

→ НИЈЕ МОГУЋЕ НАПРАВИТИ ТОПЛОТНУ МАШИНУ КОЈА БИ ИМАЛА 100% КОЕФ. КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

→ УВЕК МОРА ПОСТОЈАТИ НЕКА „ИЗГУБЉЕНА" ТОПЛОТА Q_H

Карноов циклус





$1 \to 2: \quad T = \text{const} = T_Z$

$\Delta U_{12} + A_{12} = Q_Z \;\to\; Q_Z = A_{12} = \int p\,dV = n_m R T_Z \ln \frac{V_2}{V_1}$

$Q_Z = n_m R T_Z \ln \frac{V_2}{V_1} > 0$

јер је $1 \to 2$ изотермна експанзија.

$3 \to 4: \quad T = \text{const} = T_H$

$Q_H = A_{34} = n_m R T_H \ln \frac{V_4}{V_3} < 0$

јер је $3 \to 4$ изотермска компресија.

$$\to \frac{Q_H}{Q_Z} = -\frac{T_H}{T_Z} \frac{\ln \frac{V_3}{V_4}}{\ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$2 \to 3$ и $4 \to 1$ (адијабатски процеси)

$T_Z V_2^{\varkappa-1} = T_H V_3^{\varkappa-1}; \quad T_Z V_1^{\varkappa-1} = T_H V_4^{\varkappa-1}$

$$\to \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\varkappa-1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\varkappa-1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \Rightarrow \boxed{\frac{Q_H}{Q_Z} = -\frac{T_H}{T_Z}}$$

2018 (C) Јасна Црњански

→ ТЕРМИЧКИ СТЕПЕН КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

$$\boxed{\eta_{T_C} = 1 - \frac{|Q_H|}{Q_Z} = 1 - \frac{T_H}{T_Z} = \frac{T_Z - T_H}{T_Z}}$$

II ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКЕ ОГРАНИЧАВА РАСПОЛОЖИВОСТ ЕНЕРГИЈЕ И ПУТЕВЕ КОЈИМА СЕ ОНА МОЖЕ КОНВЕРТОВАТИ (I ЗАКОН НЕГИРА МОГУЋНОСТ СТВАРАЊА ИЛИ УНИШТАВАЊА ЕНЕРГИЈЕ):

→ НЕМА ТОПЛОТНОГ МОТОРА СА ВЕЋИМ КОЕФИЦИЈЕНТОМ КОРИСНОГ ДЕЈСТВА ОД КАРНООВОГ

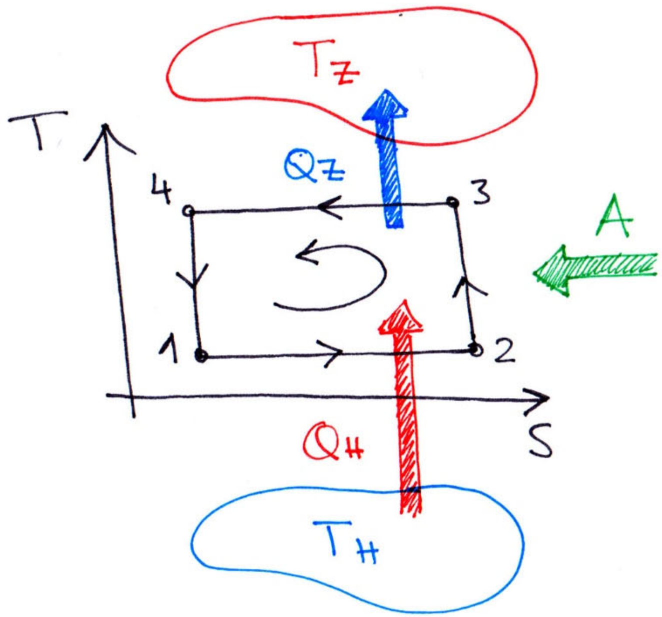
→ ТОПЛОТА НЕ МОЖЕ СПОНТАНО ПРЕЛАЗИТИ СА ХЛАДНИЈЕГ НА ТОПЛО ТЕЛО (КЛАУЗИЈУС)

→ НЕМОГУЋ ЈЕ ПЕРПЕТУМ МОБИЛЕ II ВРСТЕ (ПЛАНК)

→ ПРИРОДА ТЕЖИ КА ПРЕЛАЗУ ИЗ МАЊЕ ВЕРОВАТНОГ У ВИШЕ ВЕРОВАТНО СТАЊЕ (БОЛЦМАН)

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

КАРНООВ РАСХЛАДНИ УРЕЂАЈ И ТОПЛОТНА ПУМПА



$$\left.\begin{aligned} Q_H &> 0 \\ Q_Z &< 0 \\ A &< 0 \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} Q_Z + Q_H &= A \\ -Q_Z &= Q_H - A \\ |Q_Z| &= Q_H + |A| \end{aligned}$$

ШТА ЈЕ ОДНОС КОРИСНОГ И УЛОЖЕНОГ?

→ ЗА РАСХЛАДНИ УРЕЂАЈ

$$\boxed{\eta_H = \frac{Q_H}{|A|} = \frac{Q_H}{-Q_H + |Q_Z|}}$$

→ ЗА ТОПЛОТНУ ПУМПУ

$$\boxed{\eta_g = \frac{|Q_Z|}{|A|} = \frac{|Q_Z|}{|Q_Z| - Q_H}}$$

$$\frac{Q_H}{|Q_Z|} = \frac{T_H}{T_Z}$$

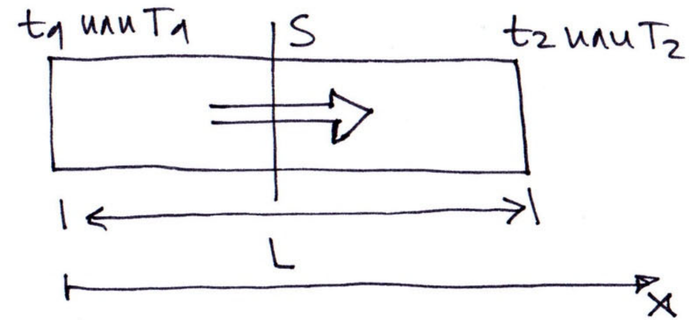
ПРЕНОС ТОПЛОТЕ

1. кондукција → провођење (унутар тела) : Фуријеов закон
2. конвекција
3. зрачење

$$\frac{dQ}{d\tau} = +\lambda S \frac{t_1 - t_2}{L} = +\lambda S \frac{T_1 - T_2}{L}$$

λ → коефицијент провођења $\left[\frac{W}{m\cdot K}\right]$ или $\left[\frac{W}{m\,^{\circ}C}\right]$

S → површина кроз коју долази до преноса топлоте



$$\frac{dQ}{d\tau} = -\lambda S \frac{T_2 - T_1}{L} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

$$\boxed{\text{Специфични топлотни проток} \quad q_x = \frac{dQ_x}{d\tau \cdot S}}$$

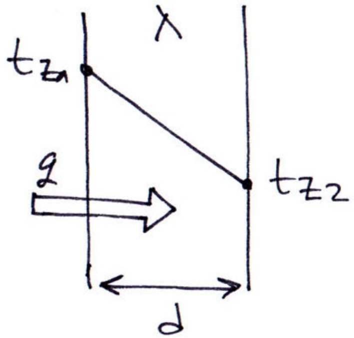
→ $\boxed{\text{Фуријеов закон} \quad q_x = -\lambda \frac{dT}{dx}}$ → Лапласова ј-на → $\boxed{\frac{\partial^2 t(x)}{\partial x^2} = 0}$

(нема унутрашњих извора топлоте и стање је стационарно)

→ СТАЦИОНАРНО ПРОВОЂЕЊЕ ТОПЛОТЕ
КРОЗ РАВАН ЗИД

$$\boxed{\frac{d^2t(x)}{dx^2} = 0} \rightarrow \frac{dt(x)}{dx} = C_1 \rightarrow \boxed{t(x) = C_1 x + C_2}$$

$$t(x=0) = t_{z1}$$
$$t(x=d) = t_{z2}$$
$$\downarrow$$
$$0 = C_1 t_{z1} + C_2$$
$$d = C_1 t_{z2} + C_2$$
$$\rightarrow C_1 = \frac{t_{z2} - t_{z1}}{d} \qquad C_2 = t_{z1}$$



$$\rightarrow \boxed{t(x) = t_{z1} - \frac{t_{z1} - t_{z2}}{d} x}$$

СПЕЦИФИЧНИ ТОПЛОТНИ ПРОТОК: $q = -\lambda \frac{dt}{dx} = \boxed{\frac{\lambda}{d}(t_{z1} - t_{z2}) = q}$

→ ВИШЕСЛОЈАН ЗИД

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= \frac{\lambda_1}{d_1}(t_{z1} - t_{z2}) \\ q_2 &= \frac{\lambda_2}{d_2}(t_{z2} - t_{z3}) \\ &\vdots \\ q_n &= \frac{\lambda_n}{d_n}(t_{zn} - t_{z,n+1}) \end{aligned}\right\}$$

НЕМА ТОПЛОТНИХ ИЗВОРА / ПОНОРА

$\downarrow$

$$q_1 = q_2 = \dots = q_n$$

$$\rightarrow \boxed{q = \frac{t_{z1} - t_{z,n+1}}{\sum\limits_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i}}}$$

ТОПЛОТНА „ОТПОРНОСТ" ПРИ ПРОВОЂЕЊУ

$$\boxed{R_T = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad \left[\frac{m^2K}{W}\right]$$

→ ТОПЛОТНА ОТПОРНОСТ ПО ЈЕДИНИЦИ ПОВРШИНЕ

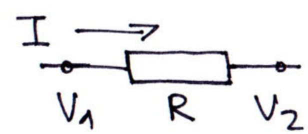
$$\theta = \frac{R_T}{S}$$

$$P = \frac{t_1 - t_2}{\theta}$$

$\uparrow$

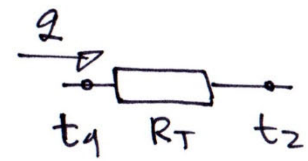
СНАГА

$$q = \frac{dQ}{S\,d\tau} = \frac{P}{S}$$



$$I = \frac{V_1 - V_2}{R}$$

$\updownarrow$



$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_T}$$

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

2. КОНВЕКЦИЈА (ПРЕНОШЕЊЕ)

→ КРЕТАЊЕ МАСЕ ФЛУИДА ИЗ ЈЕДНЕ ОБЛАСТИ У ДРУГУ. (РАЗЛИЧИТИХ ТЕМПЕРАТУРА)

→ ТРАНСПОРТ ТОПЛОТЕ ЈЕ ДИРЕКТНО ПОВЕЗАН СА ТРАНСПОРТОМ САМОГ МАТЕРИЈАЛА

→ КОНВЕКЦИЈА МОГУЋА У ФЛУИДИМА:

1) ПРЕНОС УНУТАР ФЛУИДА

2) ПРЕЛАЗ ИЗМЕЂУ ФЛУИДА И ПОВРШИНЕ ЧВРСТОГ ТЕЛА (У ОБА СМЕРА)

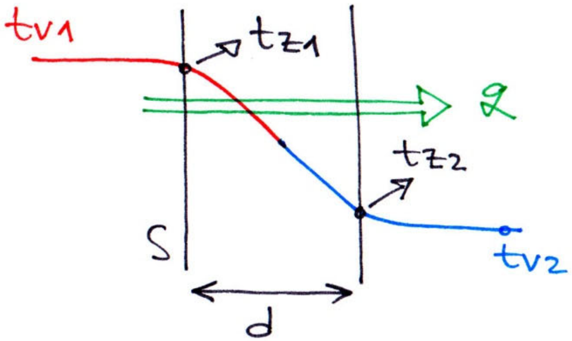
→ ЊУТНОВ ЗАКОН КОНВЕКЦИЈЕ:

$$Q = \alpha S (t_z - t_f) \quad , \quad t_f < t_z$$

↳ КОЕФИЦИЈЕНТ ПРЕЛАСКА ТОПЛОТЕ

1. ПРИРОДНА (СЛОБОДНА) КОНВЕКЦИЈА
2. ПРИНУДНА КОНВЕКЦИЈА

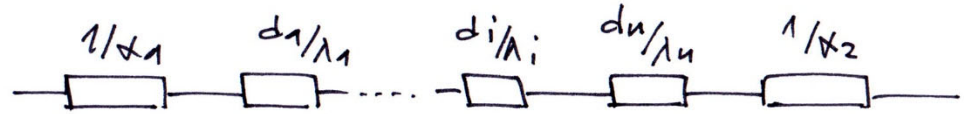
2018 (C) ЈАСНА КРЊАНСКИ



$$
\left.
\begin{aligned}
q &= \alpha_1 (t_{v1} - t_{z1}) \\
q &= \frac{t_{z1} - t_{z2}}{d/\lambda} \\
q &= \alpha_2 (t_{z2} - t_{v2})
\end{aligned}
\right\} \quad q = \frac{t_{v1} - t_{v2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}
$$

$$
\downarrow
$$

$$
\boxed{R_T = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \rightarrow
$$



$$
\theta = \frac{R_T}{S} = \frac{1}{S}\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}\right)
$$

ПРЕНОС МОЖЕ ДА ИДЕ И ПАРАЛЕЛНО !!

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

3. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ ЗРАЧЕЊЕМ

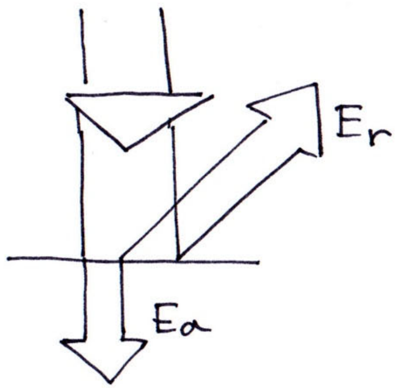
→ ШТЕФАН-БОЛЦМАНОВ ЗАКОН ЗА УСАМЉЕНО ТЕЛО ПОВРШИНЕ S и ТЕМП. T

ЕНЕРГИЈА У ЈЕД. ВРЕМЕНА (СНАГА) → $E_S = e\sigma_C \cdot S T^4$

→ $\sigma_C = 5{,}67\cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2K^4}$

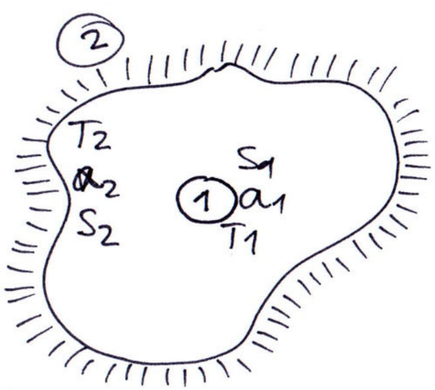
→ ЕМИСИВНОСТ e (КИРХОФОВ ЗАКОН $e=a$)
(ИЗМЕЂУ 0 и 1) → $e=1$ АПСОЛУТНО ЦРНО ТЕЛО

$e=0$ АПСОЛУТНО БЕЛО ТЕЛО.



$$E = E_a + E_r$$

$$a \hat{=} \frac{E_a}{E} \qquad r \hat{=} \frac{E_r}{E} \quad \rightarrow \quad a + r = 1$$



ЕФЕКТИВНИ ПРЕНОС СНАГЕ

$$E_{1,eff} = \underbrace{E_1}_{\text{СНАГА КОЈУ ИЗРАЧИ ①}} + \underbrace{(1-a_1)\gamma \cdot E_{2,eff}}_{\text{СНАГА КОЈА ПОТИЧЕ ОД ② А РЕФЛЕКТУЈЕ СЕ ОД ①}}$$

γ → ДЕО СНАГЕ који од ② стиже до ①

$$E_{2,eff} = E_2 + \underbrace{(1-a_2)}_{\text{РЕФЛЕКТ ОД ②}} E_{1,eff} + \underbrace{(1-a_2)(1-\gamma)}_{\text{ПОТИЧЕ ОД ② ПРОМАШИЛО ①}} E_{2,eff}$$

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ

НЕТО РАЗМЕНА СНАГЕ ИЗМЕЂУ ТЕЛА ① и ② $\longrightarrow$ $\Phi = E_{1,eff} - E_{2,eff}$

$$\Phi = \frac{a_2 E_1 - a_1 \gamma E_2}{a_2 + a_1 \gamma - a_1 a_2 \gamma}$$

$$E_1 = e_1 \sigma_c S_1 T_1^4$$

$$E_2 = e_2 \sigma_c S_2 T_2^4$$

γ из услова $\Phi = 0$ кад $T_1 = T_2$!

$$\longrightarrow \boxed{\Phi = \sigma_{12} S_1 (T_1^4 - T_2^4)}$$

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_c}{\frac{1}{e_1} + \left(\frac{1}{e_2} - 1\right)\frac{S_1}{S_2}}$$

$$S_1 << S_2 \longrightarrow \sigma_{12} = e_1 \sigma_c$$

$$\Longrightarrow \boxed{\Phi \cong e_1 \sigma_c S_1 (T_1^4 - T_2^4)}$$

Ако је $T_1 >> T_2$

$$\boxed{\Phi \approx e_1 \sigma_c S_1 T_1^4}$$

ШТЕФАН БОЛЦМАНОВ ЗАКОН ЗА УСАМЉЕНО ТЕЛО!

2018 (C) ЈАСНА ЦРЊАНСКИ