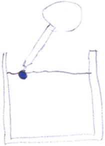
Jafngengni (reversibility)

Samkvæmt safneðlisfræði

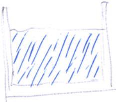
Tengist að eins fjölda smásæja ástanda í stórsæju ástandi

t.d.



dropi af lit út í vatn

upphafs ástand



loka ástand

↑ miklu fleiri smásæ ástönd en

loka ástandið er stórsæja ástandið með flest smásæju ástöndin

smásæju ástöndin eru öll jafn líkleg

undir liggjandi smásæ ferli eru jafngeng

sígild varmafræði grípur til óreiðunnar (sjá um síðar)

en safneðlisfræðin tengir hana beint við fjölda ástanda

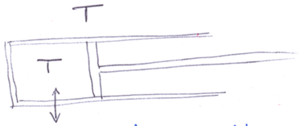
$$S = k_B \ln \Omega$$

Hugsum okkur hæg viðnámslaus ferli í mjög smáum skrefum milli tveggja jafnvægis ástanda (um jafnvægisástand)

quasistatic

Jafnhitaþensla kjörgass (isothermal)

$\rightarrow \Delta T = 0$



varmi getur flott um strokk veggina

fyrir kjörgas gilti

$$dU = C_v dT$$

$$\rightarrow \Delta U = 0$$

fyrir jafnhitaferli

$$\rightarrow dU = đQ + đW = 0$$

Þá $\quad đW = -đQ$

→ vinna gasins á umhverfið er jöfn varmanum sem það tekur upp

③

Notum fyrir jafngengt ferli

$pV = n_m RT$

$$đW = -p\,dV$$

það er varminn sem kerfið tekur við vegna rúmmálsbreytingar

$$\Delta Q = \int đQ = -\int đW$$

$$= \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n_m RT}{V}\,dV = n_m RT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

útþensla $V_2 > V_1 \rightarrow \Delta Q > 0$

U er óbreytt, en V eykst $\rightarrow$ u lækkar

$p = \frac{2}{3}u$ $\rightarrow$ p lækkar

Án varmaflutnings- jafngengt - óvermið

$$đQ = 0$$

$$dU = đQ + đW \rightarrow dU = đW$$

Kjörgas

$$dU = C_v dT \,, \quad \text{notum} \quad đW = -pdV$$

→ fyrir 1 mól af kjörgasi

$$C_v dT = -pdV = -\frac{RT}{V} dV$$

$$\rightarrow C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\rightarrow \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = -\frac{R}{C_v} \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$C_p = C_V + R \;\rightarrow\; \gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V}$$

$$\rightarrow\; -\frac{R}{C_V} = 1 - \gamma$$

$$\rightarrow\; \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = (1-\gamma)\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \;\rightarrow\; \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma}$$

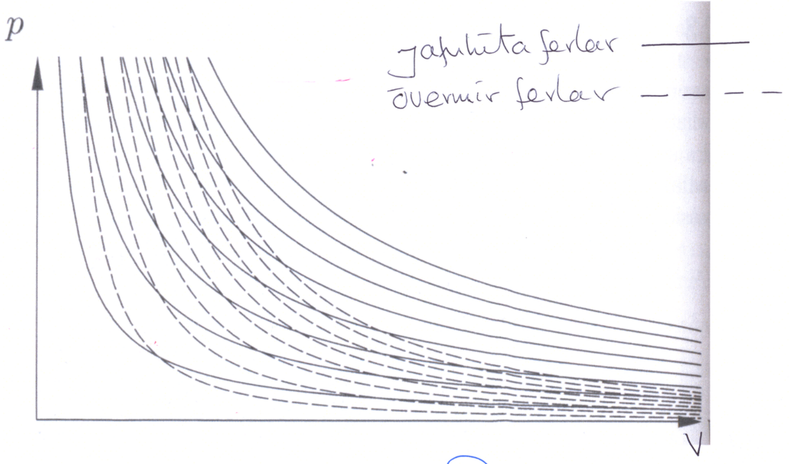
ezda $\dfrac{T_2}{V_2^{1-\gamma}} = \dfrac{T_1}{V_1^{1-\gamma}} \;\rightarrow\; TV^{\gamma-1} = $ fasti

notum $pV \sim T$ $\rightarrow$

ezda

$$\boxed{pV^{\gamma} = \text{fasti}}$$

$$\boxed{p^{1-\gamma}T^{\gamma} = \text{fasti}}$$



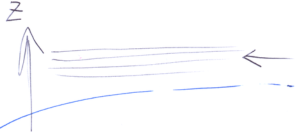
Í hverjum punkti er afleiðan korri
fyrir óvermu ferlana

Lofthjúpurinn

Hugsum okkur lagskiptan lofthjúp

masi sameindar

$\rho = nm$: massaþéttleiki



$$dp = -n\,dz \cdot mg = -\rho g\,dz$$

Vökvastöðu-jafnan

$$p = nk_BT, \quad \rho = nm \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{mp}{k_BT}$$

$$\rightarrow \quad \frac{dp}{dz} = -\frac{mgp}{k_BT} \quad \rightarrow \quad T\frac{dp}{p} = -\frac{mg}{k_B}\,dz$$

Ef $T = $ fasti þá fæst lausnin

$$n(z) = n(0)\exp\left\{-\frac{mgz}{k_BT}\right\}$$

fyrir jafnhita lofthjúp ← vitum að $T = $ fasti er fjarri mælingum

Óvermin loftþjöppun, (betri nálgun)

Þá ætti að gilda
$$p^{1-\gamma}T^{\gamma} = \text{fasti}$$
$$\longrightarrow (1-\gamma)\frac{dp}{p} + \gamma\frac{dT}{T} = 0$$

notum í
$$T\frac{dp}{p} = -\frac{mg}{k_B}\,dz \longrightarrow \underbrace{\frac{dT}{dz} = -\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)\frac{mg}{k_B}}_{}$$

T minnkar línulega með hæð

$$\frac{\gamma-1}{\gamma} = \frac{R}{C_p}$$
$$R = N_A k_B$$
$$M_{mólar} = N_A m$$

$$\frac{dT}{dz} = -\underbrace{\frac{M_{mólar}\,g}{C_p}}_{}$$

óvermin lækkun á hita
~ 9.7 K/km fyrir þurrt loft

þumalputtaregla 1C á 100m $\rightarrow$ er nær 6-7 K/km hvar?

Annað lögmál varmafræðinnar og varmavélar

Annað lögmálið spratt upp úr lýsingum á varmavélum. Er því til í nokkrum myndum. Þekktastar eru

Clausius

Ekkert ferli er mögulegt sem aðeins flytur varma frá kaldari til heitari hlutar

Kelvin

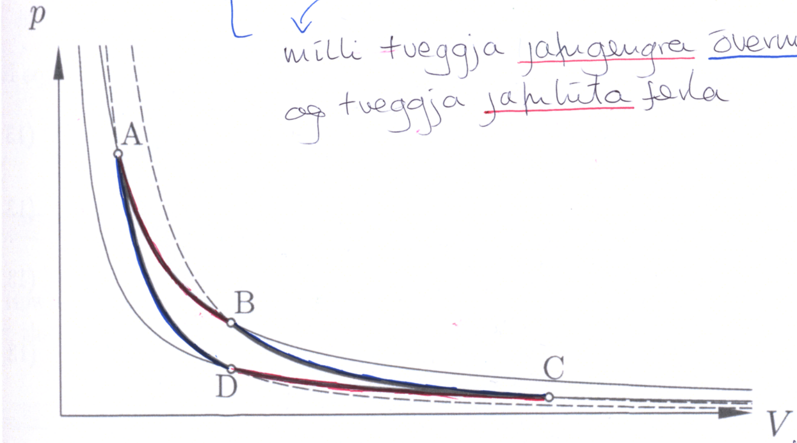
Ekkert ferli er mögulegt sem breytir varma algerlega í vinnu

Sjáum hvernig þessar staðhæfingar tengjast

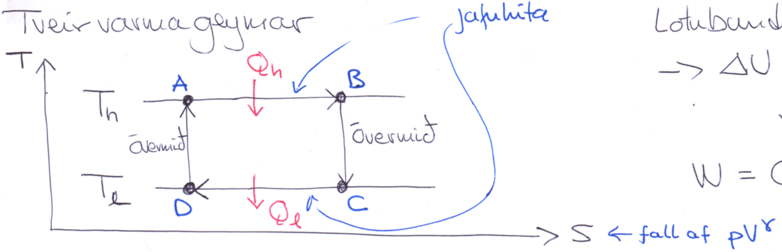
Vél Carnots

Lotubundið ferli, sem breytir varma í vinnu

milli tveggja jafngengra óverminna ferla og tveggja jafnhita ferla



Tveir varmageymar



Lotubundið ferli

$\longrightarrow \Delta U = 0$ í lotu

$\Downarrow$

$$W = Q_h - Q_\ell$$

A → B: sáum áður: $\Delta Q = RT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

→ hér $Q_h = RT_h \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ (1)

B → C: sáum áður: $TV^{\gamma-1} = \text{fasti}$

→ hér $\left(\frac{T_h}{T_l}\right) = \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma-1}$ (2)

$V_D < V_C$

og því

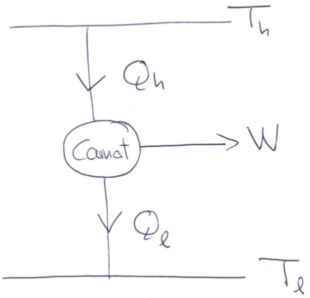
C → D: $Q_l = -RT_l \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$ (3)

D → A: $\left(\frac{T_l}{T_h}\right) = \left(\frac{V_A}{V_D}\right)^{\gamma-1}$. (4)

Jöfnur 2 og 4 $\longrightarrow$ $\dfrac{V_B}{V_A} = \dfrac{V_C}{V_D}$

1 og 3 $\longrightarrow$ $\dfrac{Q_h}{Q_l} = - \dfrac{R T_h \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)}{R T_l \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)}$

$$\boxed{\frac{Q_h}{Q_l} = \frac{T_h}{T_l}}$$



nýtni $\eta = \dfrac{W}{Q_h} < 1$, þ.s. $W = Q_h - Q_l$

$$\eta_{carnot} = \frac{Q_h - Q_l}{Q_h} = \frac{1 - \frac{Q_l}{Q_h}}{1} = 1 - \frac{Q_l}{Q_h} = 1 - \frac{T_l}{T_h}$$