Repetition

- Termodynamikens **fundamentala differential relation** (TDF)

$$dU = TdS - PdV + \mu dN$$

- **3 tillståndsvariabler (makroskopiskt tillstånd):**

$$(T, V, N) \to (S, V, N) \qquad T, U, H, F, G...$$

- Maxwellrelationer:

(andra-derivator är lika)

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{T,N} = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_{V,N}$$

- **Reversibla och irreversibla processer:**

$$\Delta S_{tot} = 0 \qquad \Delta S_{tot} > 0$$

Inledande fråga

- Betrakta en liten isoterm kompression ($dV<0$) av en ideal gas med initial volym, V, inre energi, U, och antal partiklar, N. Hur förändras entropin för den ideala gasen?

Ledning:

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN$$

Lösning den väldigt korta vägen

- För isoterm process är temperaturen konstant och därför är inre energin konstant (*dU=0*).

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN$$

- Vi får direkt:

dS= (P/T) dV

Lösning den väldigt korta vägen

- För isoterm process är temperaturen konstant och därför är inre energin konstant (*dU=0*).

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN$$

- Vi får direkt:

$$dS = (P/T)\, dV$$

FRÅGA: Betyder detta är entropin kan minska för systemet?

A: Ja
B: Nej

Lösning den väldigt korta vägen

- För isoterm process är temperaturen konstant och därför är inre energin konstant (*dU=0*).

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN$$

- Vi får direkt:

$$dS = (P/T)\, dV$$

FRÅGA: Betyder detta är entropin kan minska för systemet?

A: Ja

B: Nej

Lösning (den väldigt långa vägen)

- Entropiändringen (vi vet att dN=0 för isoterm):

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{P}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN$$

- TD#1’: Energinändringen ges av värme och arbete:

$$dU = dQ + dW$$

- Arbetet (tryck-volym arbete) tar ut volym termen:

$$dW = -PdV$$

- Värmeökningen vid isoterm expansion vid T_0:

$$dQ = -dW = PdV$$

$$dS = \frac{dQ}{T_0} = \frac{PdV}{T_0} < 0 \ \ \mathrm{om}\, dV < 0.$$

Kommentar om isoterm kompression

- Integrera entropi ändringen över volym

$$dS = \frac{P(U,V,N)dV}{T_0}$$

- Halvering av volymen

$$\Delta S = Nk\int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = - \ Nk\ln(2)$$

- Värmen tas från omgivningen (”kvasistatiskt”)

$$dS_{omg} = \frac{dQ_{omg}}{T_0} = -\frac{dQ}{T_0}$$

Kommentar om isoterm kompression

- Integrera entropi ändringen över volym

$$dS = \frac{P(U,V,N)dV}{T_0}$$

- Halvering av volymen

$$\Delta S = Nk \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = - \ Nk \ln(2)$$

- Värmen tas från omgivningen (”kvasistatiskt”)

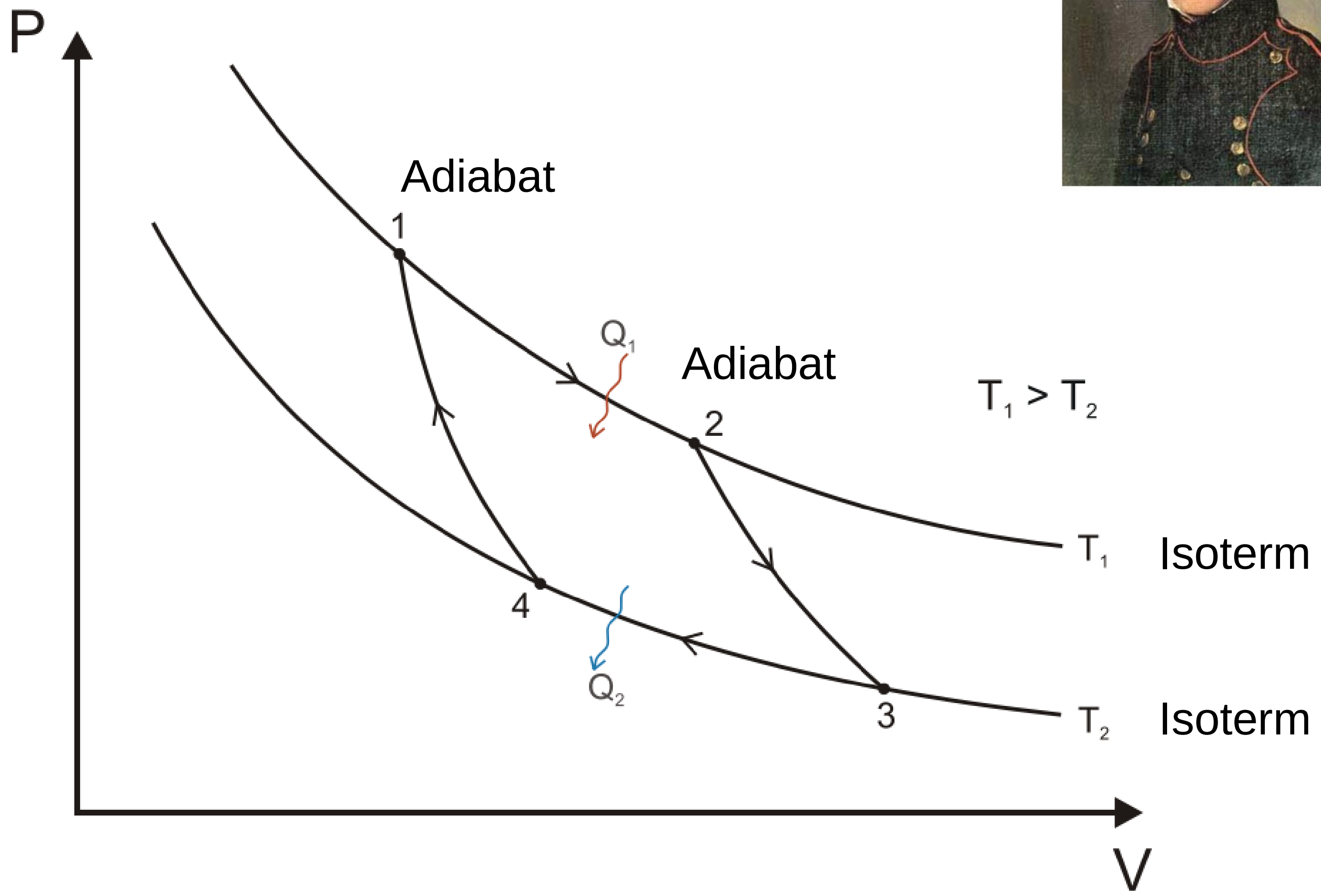
$$dS_{omg} = \frac{dQ_{omg}}{T_0} = -\frac{dQ}{T_0}$$

$dS_{tot}=0$

Föreläsning #6: Värmemaskiner

- **Kvasistationära processer**
- Ångmaskinen (1800-talet)
- Hur kan **arbete utvinnas ur värmeresevoir?**
- Teoretisk maximal verkningsgrad (Carnot)
- Reversibla och irreversibla maskiner
- Carnot-cykeln – den perfekta motorn?

Carnot-cykeln



Sammanfattning

- Kvasistationär process $$dS = \frac{dQ}{T}$$
- Carnot verkningsgrad $$\eta = \frac{w}{q_h} \leq 1 - \frac{T_l}{T_h}$$
- Reversibla och irreversibla maskiner
- Carnot cykeln – den perfekta motorn?

$$\Delta S_{total} = 0$$