

Varme og termodynamikk

Energibevaring, entropi og Carnot-grensen

KM11

Carnot og den evige motoren som aldri finnes

Nicolas Carnot analyserte i 1824 den ideelle varmemotor – en teoretisk motor uten friksjon og varmetap. Hans Carnot-syklus fastslo en absolutt grense: ingen motor kan ha høyere virkningsgrad enn $\eta = 1 - T_{\text{kald}}/T_{\text{varm}}$. Det var starten på termodynamikken. Carnot døde av kolera i 1832, 36 år gammel, og hans notatbok ble brent for smittevernets skyld. Noen sider overlevde.

- **0. lov (termisk likevekt):** definerer temperatur.
- **1. lov (energibevaring):** $\Delta U = Q - W$. Indre energi = tilsatt varme – utført arbeid.
- **2. lov (entropi):** entropi i et isolert system øker alltid. Varme flyter spontant fra varm til kald. Ingen maskin kan ha 100 % virkningsgrad.
- **Carnot-virkningsgrad:** $\eta = 1 - T_{\text{k}}/T_{\text{v}}$ (Kelvin). Eksempel: dampturbin med $T_{\text{v}}=800\text{K}$, $T_{\text{k}}=300\text{K}$: $\eta_{\text{max}} = 62,5 \%$.
- **Varmekapasitet:** $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$. Vann: $c = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.
- **Varmepumpe:** $\text{COP} = T_{\text{v}}/(T_{\text{v}} - T_{\text{k}})$. Henter varme fra utsiden og leverer innsiden. $\text{COP} = 3\text{--}5$: 3–5 ganger mer varme enn strøm brukt.

■ Nøkkelsammendrag

0.lov: termisk likevekt. 1.lov: $\Delta U = Q - W$
2.lov: entropi øker alltid. Varme fra varm $\rightarrow$ kald. Ingen 100% virkningsgrad
Carnot: $\eta_{\text{max}} = 1 - T_{\text{kald}}/T_{\text{varm}}$ (Kelvin)
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$. Vann $c = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Varmepumpe: $\text{COP} = 3\text{--}5$ (henter varme fra utsiden)
Entropi: energi degraderes. Hoeyverdigg $\rightarrow$ lavverdigg energi
Carnot 1824: definerte termodynamikkens grenser. Dode 36 aar gammel

Tenk og drøft

- 1 Forklar 2. termodynamikklov med eksempel fra hverdagen.
- 2 En dampturbin: $T_{\text{varm}}=600\text{K}$, $T_{\text{kald}}=300\text{K}$. Beregn Carnot-virkningsgrad.
- 3 En varmpumpe med $\text{COP}=4$ og strømforbruk 1 kW. Hvor mye varme leveres per time (kJ)?
- 4 For å varme 10L vann fra 20°C til 100°C : beregn energimengden.
- 5 Forklar how en isbit kan avkjøle romtemperaturen i glasset ditt uten å bryte noen termodynamikklover.

Praktiske forsøk

Forsøk 1: Spesifikk varmekapasitet – vann vs sand

Sammenlign oppvarming av vann og sand for å forstå havets klimaregulerende effekt.

Utstyr

- Vann og tørr sand 200g hver
- 2 begerglass
- Termometer x 2
- Varmelampe
- Stoppeklokke
- Vekt

Fremgangsmåte

1. Vei nøyaktig 200g vann og 200g sand.
2. Plasser begge under like varmekilder.
3. Mål starttemperatur. Mål hvert minutt i 10 min.
4. Plot temperaturkurver.
5. Beregn spesifikk varmekapasitet: $c = Q/(m \times \Delta T)$.
6. Sammenlign med tabellverdier.

Refleksjonsspørsmål

1. Forklar den store forskjellen mellom vann og sand.
2. Hva er konsekvensen for kystklima vs innlandsklima?
3. Forklar havets rolle som klimabuffer.

Forsøk 2: Isolasjon og Carnot-grense

Diskuter effektivitet og Carnot-grensen med en enkel varmemotor-analog.

Utstyr

- Stor sprøyte som stempel
- Varmtvann 80 grader
- Isvann
- Termometer

Fremgangsmåte

1. Fyll sprayten med luft. Mål volum ved romtemp.
2. Dypp i varmtvann 80 grader. Mål ny volum.
3. Beregn arbeid: $W = P \times \Delta V$.
4. Dypp tilbake i romtemp og observer.
5. Beregn Carnot-effektivitet: $\eta = 1 - T_k/T_v$ i Kelvin.
6. Diskuter gapet mellom faktisk og Carnot.

Refleksjonsspørsmål

1. Hva er Carnot-grensen og dens fysiske opphav?
2. Forklar entropi fra dette forsøket.
3. Hva er virkningsgraden til et kullkraftverk?