

## TFY4115 Fysikk

Mekanikk: (kap.ref Young & Freedman)

SI-systemet (kap. 1); Kinematikk (kap. 2+3). (Rekapitulasjon)

Newtons lover (kap. 4+5)

Arbeid og energi (kap. 6+7)

Bevegelsesmengde, kollisjoner (kap. 8)

Rotasjon, spinn (kap. 9+10)

Statisk likevekt (kap. 11)

Svingninger (kap. 14)

**Termisk fysikk:**

Def. temperatur og varme. 1. hovedsetning. (kap. 17 + 19)

Kinetisk gassteori, tilstandsligninger (kap. 18)

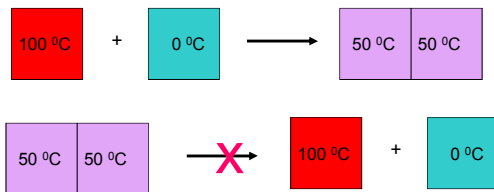
Termodynamikkens 2. lov (kap. 20)

Varmetransport (kap. 17.7+39.5)

## Kap 17-20. Termisk fysikk (varmelære, termodynamikk)

- Hva er temperatur og hva er varme?
- Måling av temperatur. Ideell gasslov
- Termisk utvidelse:
  - Fast stoff, væske, gass
- Varmekapasitet,  $c_p$ ,  $c_v$
- 0., 1. og 2. hovedsetning. Entropi
- Smelting, koking (faseovergang)
- Varmetransport:
  - Varmeledning, konveksjon, stråling.

## Kap. 17 Introduksjon



Ingen har observert varme strømme fra kaldt til varmt legeme

=>

**Termodynamikkens 2. hovedsetning (én formulering)**

## Termisk fysikk består av:

1. Termodynamikk: (= "varmens kraft")  
Makroskopiske likevektsløser ("slik vi ser det")  
Temperatur. 1. og 2. hovedsetning
2. Kinetisk gassteori:  
Mikroskopisk lover, mekanikkens lover til punkt og prikke. Maxwells hastighetsfordeling.
3. Varmetransport:  
Ledning, konveksjon, stråling.

### Kap. 17 Introduksjon. Historie

- Daniel Fahrenheit 1724
- Anders Celsius 1742
- William Thomson Kelvin 1848

} Temp.skalaer

- Sadi Carnot
- James Joule
- Rudolf Clausius

} Utviklet termodynamikken på 1800-tallet (1. og 2. lov, varmekraftmaskin)

- Robert Brown 1827
- Ludwig Boltzmann 1900
- Albert Einstein 1905
- Max Planck 1900

} Kinetisk gassteori, varmestråling mm. rundt 1900

### Termodynamikkens 0. hovedsetning

Termisk likevekt:  $T_A = T_C$  og  $T_B = T_C$   
(for eksempel C et termometer)

=> Termisk likevekt:  $T_A = T_B$

### Konstant-volum termometer (gasstermometer)

Dashed lines show the plots extrapolated to zero pressure.

Ulike volum eller ulike termometre

### Temperaturmålinger/skalaer:

- Galileo Galilei (italiensk) (1564-1642)
- Daniel G. **Fahrenheit** (tysk) (1686-1736)
- Anders **Celsius** (svensk) (1701-1744)
- René-Antoine Ferchault de **Réaumur** (fransk) (1683-1757)
- William JM **Rankine** (skotsk) (1820-1872)
- William Thomson **Kelvin** (Sir William Thomson) (skotsk) (1824-1907)

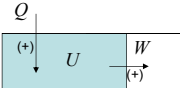
Varme = Energi som strømmer fra varmt til kaldt legeme

Varme ut → taper legemet for indre energi ( $U$ )  
 --- og temperaturen synker

**1. Hovedsetning = Energibevarelse:**

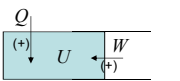
- Varme ( $Q$ ) inn øker indre energi ( $U$ )
- Arbeid ( $W$ ) utført senker indre energi ( $U$ )

$\Delta U = Q - W$

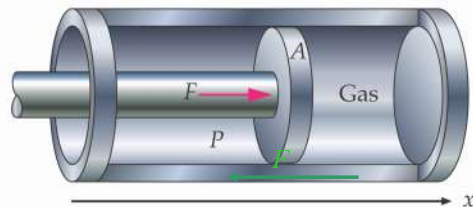


- Kjemikere og noen fysikere bruker motsatt fortegn for  $W$   
 (bl.a. Lillestøl-Hunderi-Lien):

$\Delta U = Q + W$



Arbeid ved volumendring:  
 $W = p \Delta V$  der  $p = F/A$



Infinitesimalt:  $\delta W = p dV$   
 Integrert:  $W = \int p dV$

**Tilstandsvariable (-funksjoner):**  
 Målbare størrelser for systemet  
 Grunnleggende:  $p, V, T$  (andre:  $m, N, n, U, C_v, C_p, \dots$ )

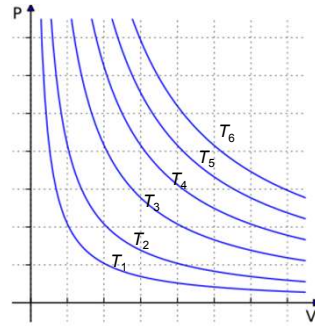
**Termodynamisk likevekt:**  
 Alle variable konstant over tid og innen hele systemet.

**Tilstandslikning:**  
 Sammenheng mellom tilst.variable:  
 $f(p, T, V) = 0$

- Eks. ideell gass:  $pV - Nk_B T = 0$
- eller: id.gass:
- $p = p(T, V) = Nk_B T/V$
- $V = V(T, p) = Nk_B T/p$
- $T = T(V, p) = pV/(Nk_B)$

**Tilstandsdiagram**

- Eks  $p = p(T, V)$

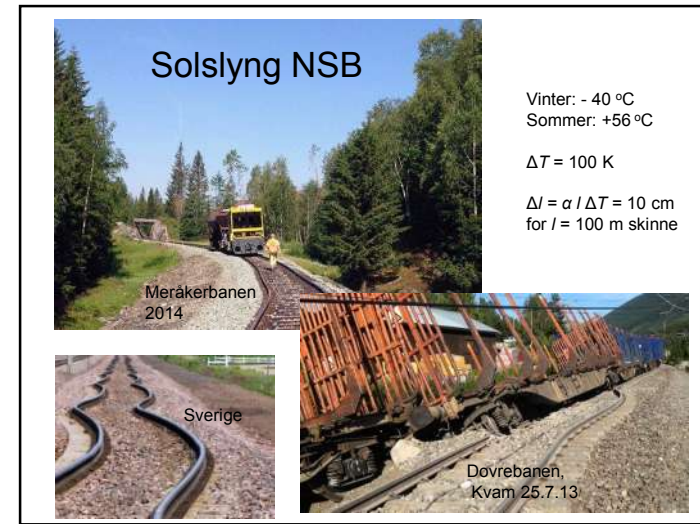


$T_6 > T_5 > \dots > T_1$

**TABLE 20-1**  
Approximate Values of the Coefficients of Thermal Expansion for Various Substances

Varmeutvidelses-koeffisienten:

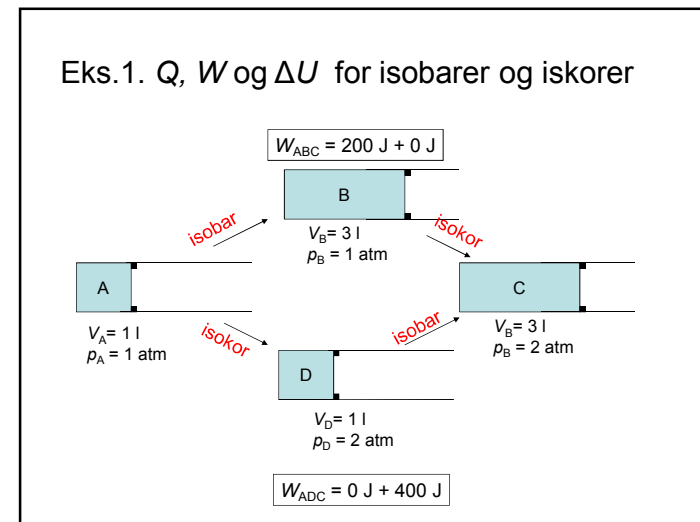
10 <sup>-2</sup>	Air	3.67 × 10 <sup>-3</sup>	} β/K <sup>-1</sup>	3-dim (volum) : ΔV/V = β ΔT
	Acetone	1.5 × 10 <sup>-3</sup>		
10 <sup>-3</sup>	Alcohol	1.1 × 10 <sup>-3</sup>		
	Water (20°C)	0.207 × 10 <sup>-3</sup>	} α/K <sup>-1</sup>	1-dim (lineært) : Δl/l = α ΔT
	Mercury	0.18 × 10 <sup>-3</sup>		
10 <sup>-4</sup>	Ice	51 × 10 <sup>-6</sup>		
	Aluminum	24 × 10 <sup>-6</sup>		
	Brass	19 × 10 <sup>-6</sup>		
	Copper	17 × 10 <sup>-6</sup>		
10 <sup>-5</sup>	Steel	11 × 10 <sup>-6</sup>		
	Glass (ordinary)	9 × 10 <sup>-6</sup>		
	Graphite	7.9 × 10 <sup>-6</sup>		
	Glass (Pyrex)	3.2 × 10 <sup>-6</sup>		
10 <sup>-6</sup>	Diamond	1.2 × 10 <sup>-6</sup>		
	Invar	1 × 10 <sup>-6</sup>		

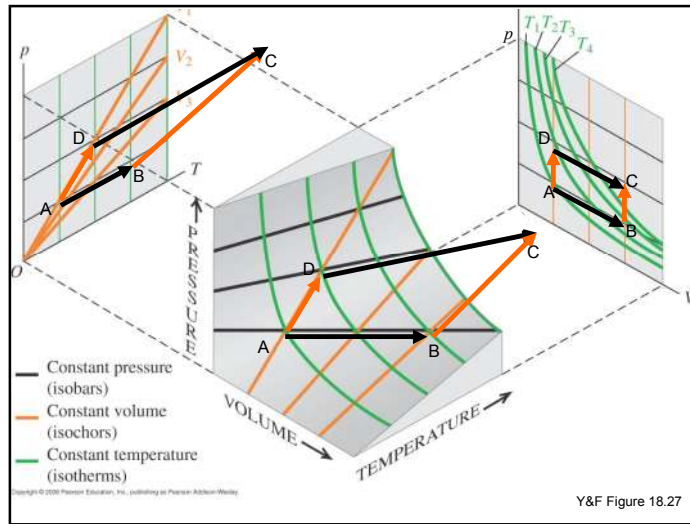


**Varmekapasitet C** = Varmer opptatt per temp.stigning og per mol:  
=>  $Q = C \cdot n \cdot \Delta T = C' \cdot m \cdot \Delta T$

**TABLE 18-1**  
Specific Heats and Molar Specific Heats of Some Solids and Liquids

Substance	C', kJ/kg·K	c, kcal/kg·K or Btu/lb·F°	C, J/mol·K
Aluminum	0.900	0.215	24.3
Bismuth	0.123	0.0294	25.7
Copper	0.386	0.0923	24.5
Glass	0.840	0.20	—
Gold	0.126	0.0301	25.6
Ice (-10°C)	2.05	0.49	36.9
Lead	0.128	0.0305	26.4
Silver	0.233	0.0558	24.9
Tungsten	0.134	0.0321	24.8
Zinc	0.387	0.0925	25.2
Alcohol (ethyl)	2.4	0.58	111
Mercury	0.140	0.033	28.3
Water	4.18	1.00	75.2





Oppsummering varmelære så langt:

**0. Hovedsetning = Termisk likevekt:**

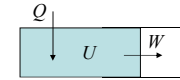
$$T_A = T_C \text{ og } T_B = T_C \rightarrow T_A = T_B$$



**1. Hovedsetning = Energibevarelse:**

$$\Delta U = Q - W$$

(endring indre energi) = (varme inn) – (arbeid utført)



$W = \int p \, dV$  avhengig vegen: Ikke tilstandsfunksjon.

Isokor:  $W = 0$ ; Isobar:  $W = p \Delta V$ ; Isoterm:  $W = nRT \ln V_2/V_1$

$Q$  beregnes fra 1.H:  $Q = \Delta U + W$ , eller

Isokor:  $Q_V = n C_V \Delta T$ ; Isobar:  $Q_p = n C_p \Delta T$ ; Ikke tilst.funksjon

**2. Hovedsetning = Mulige prosesser:**

Varme kan ikke strømme fra kaldt til varmt legeme. Mer seinere.