

# 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 gasteori, tilstandslikninger (kap. 18)

Faseoverganger (smelte, fordampe) (kap.17.6+18.6)

Termodynamikkens 2. lov (kap. 20)

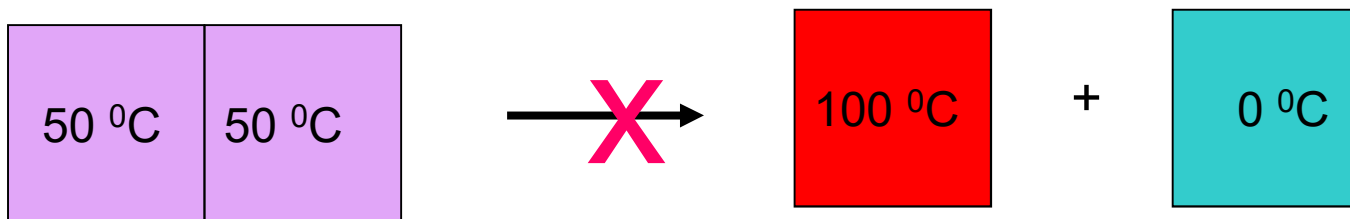
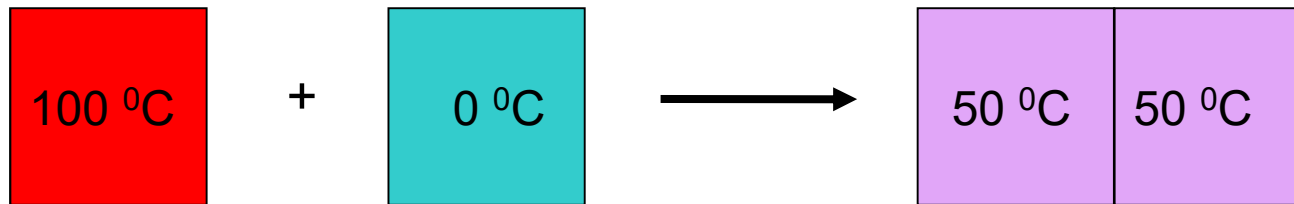
Varmetransport (kap. 17.7+39.5)

# 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 (faseoverganger)
- 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:

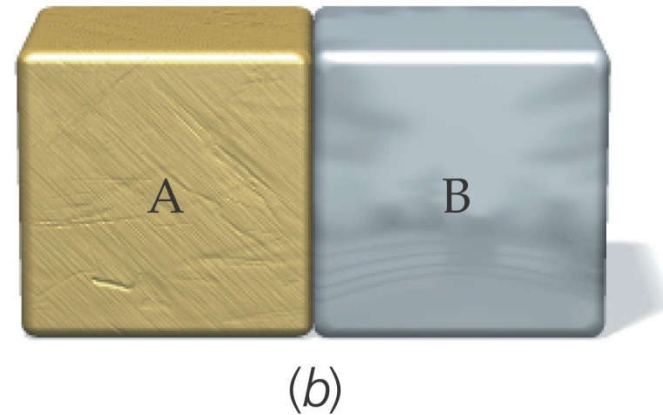
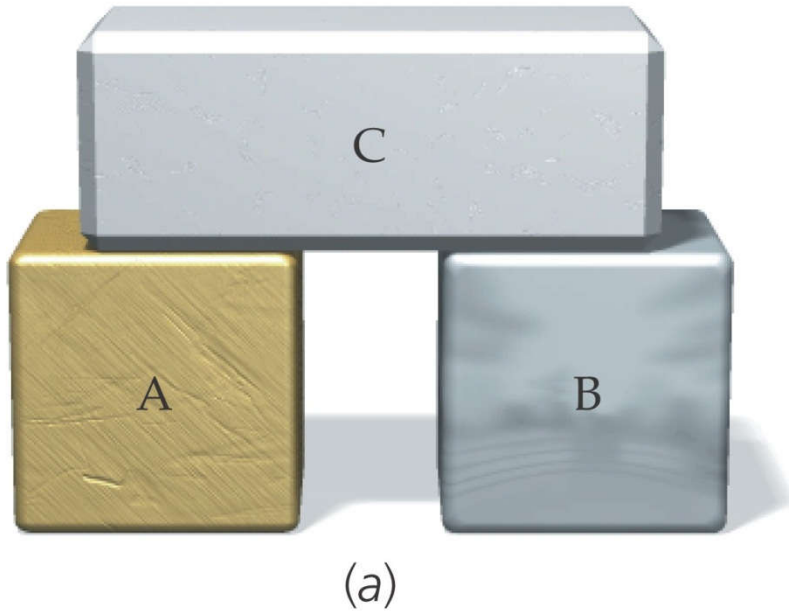
1. Termodynamikk: (=”varmens kraft”)  
Makroskopiske likevektslover (”slik vi ser det”)  
Temperatur. 1. og 2. hovedsetning
2. Kinetisk gassteori:  
Mikroskopisk lover, mekanikkens lover til punkt og prikke. Maxwells hastighetsfordeling.
3. Varmetransport:  
Ledning, konveksjon, stråling.

# 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:

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

(for eksempel C et termometer)

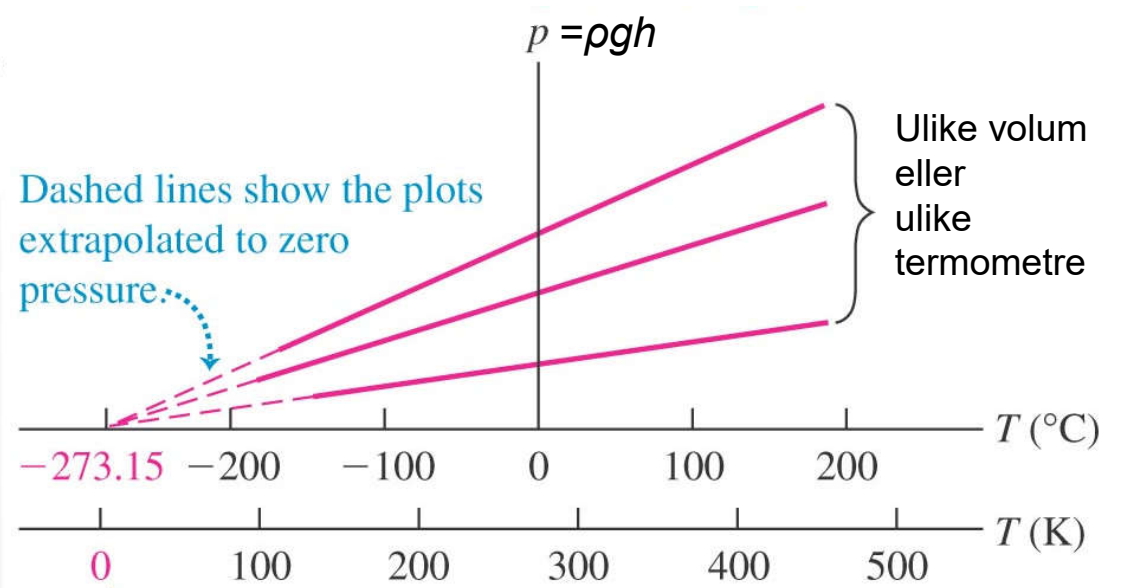
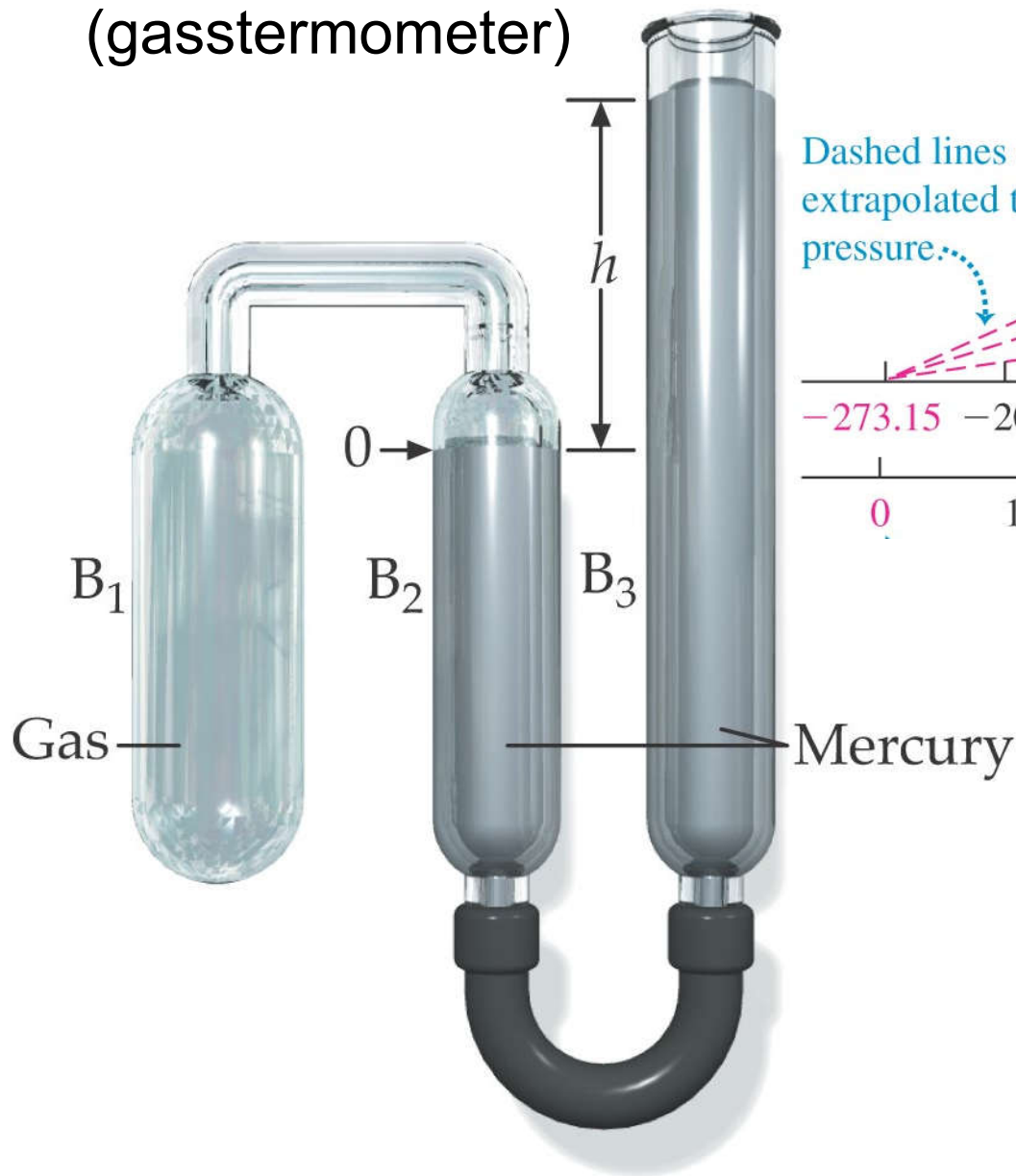
=>

Termisk likevekt:

$$T_A = T_B$$

# Konstant-volum termometer

(gasstermometer)



# 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

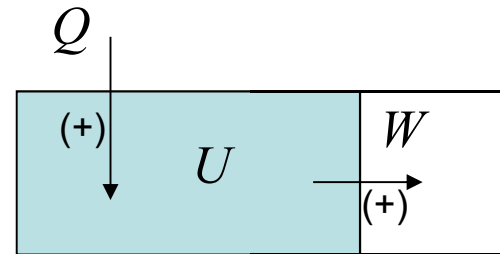
Varme ut  $\rightarrow$  tapper legemet for indre energi ( $U$ )

--- og temperaturen synker

### 1. Hovedsetning = Energibevarelse:

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

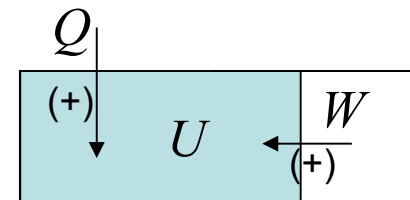
$$\Delta U = Q - W$$



- Kjemikere og noen fysikere bruker motsatt fortegn for  $W$

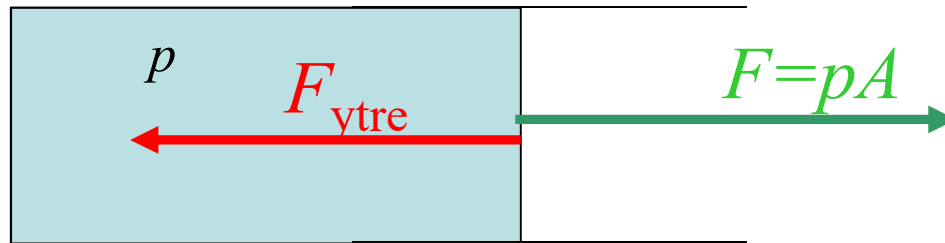
(bl.a. Lillestøl-Hunderi-Lien):

$$\Delta U = Q + W$$



Arbeid ved volumendring:

$$W = p \Delta V \quad \text{der } p = F/A$$



Infinitesimalt:  $dW = p dV$

Integrert:  $W = \int p dV$

Kraft på stempel fra gasstrykk  $p$   $\xrightarrow{F = pA}$

Ytre kraft på stempel  $\xleftarrow{F_{\text{ytre}} = p_{\text{ytre}} A}$

Ved **langsom bevegelse** er det likevekt og  $p_{\text{ytre}} = p$

# Tilstandsvariable (-funksjoner):

Målbare størrelser for systemet

Grunnleggende:  $p$   $V$   $T$  (andre:  $m$   $N$   $n$   $U$   $C_V$   $C_p$  ..... )

## Termodynamisk likevekt:

Alle variable konstant over tid og innen hele systemet.

## Tilstandslikning:

Sammenheng mellom tilst.variable:

$$f(p, T, V) = 0$$

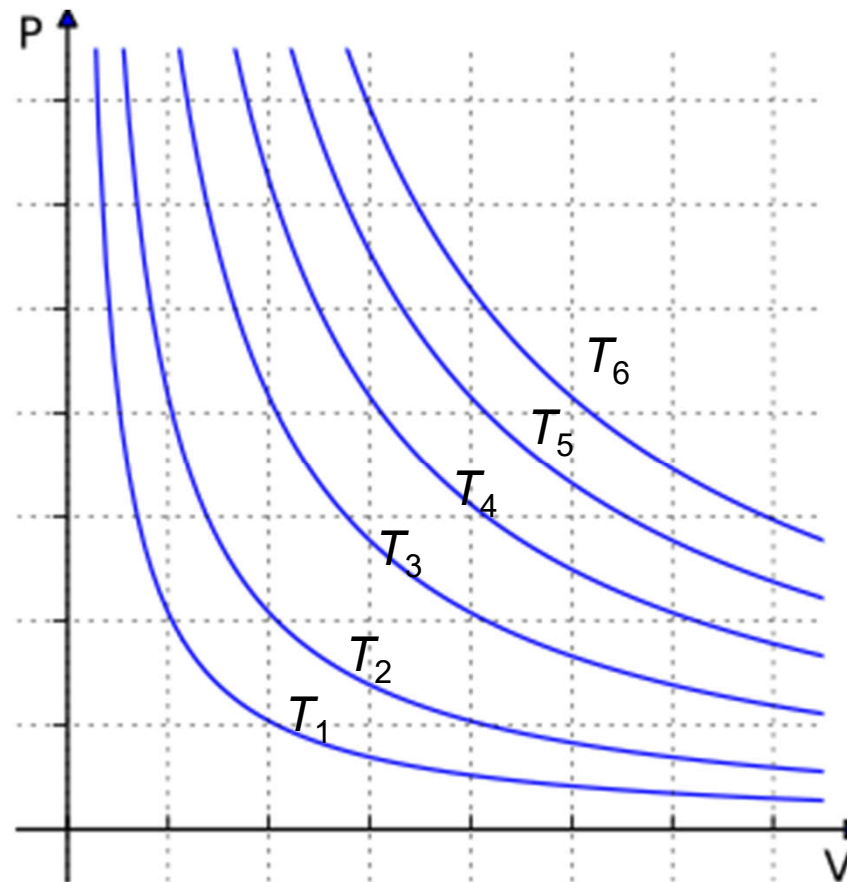
- Eks. ideell gass:  $pV - Nk_B T = 0$

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

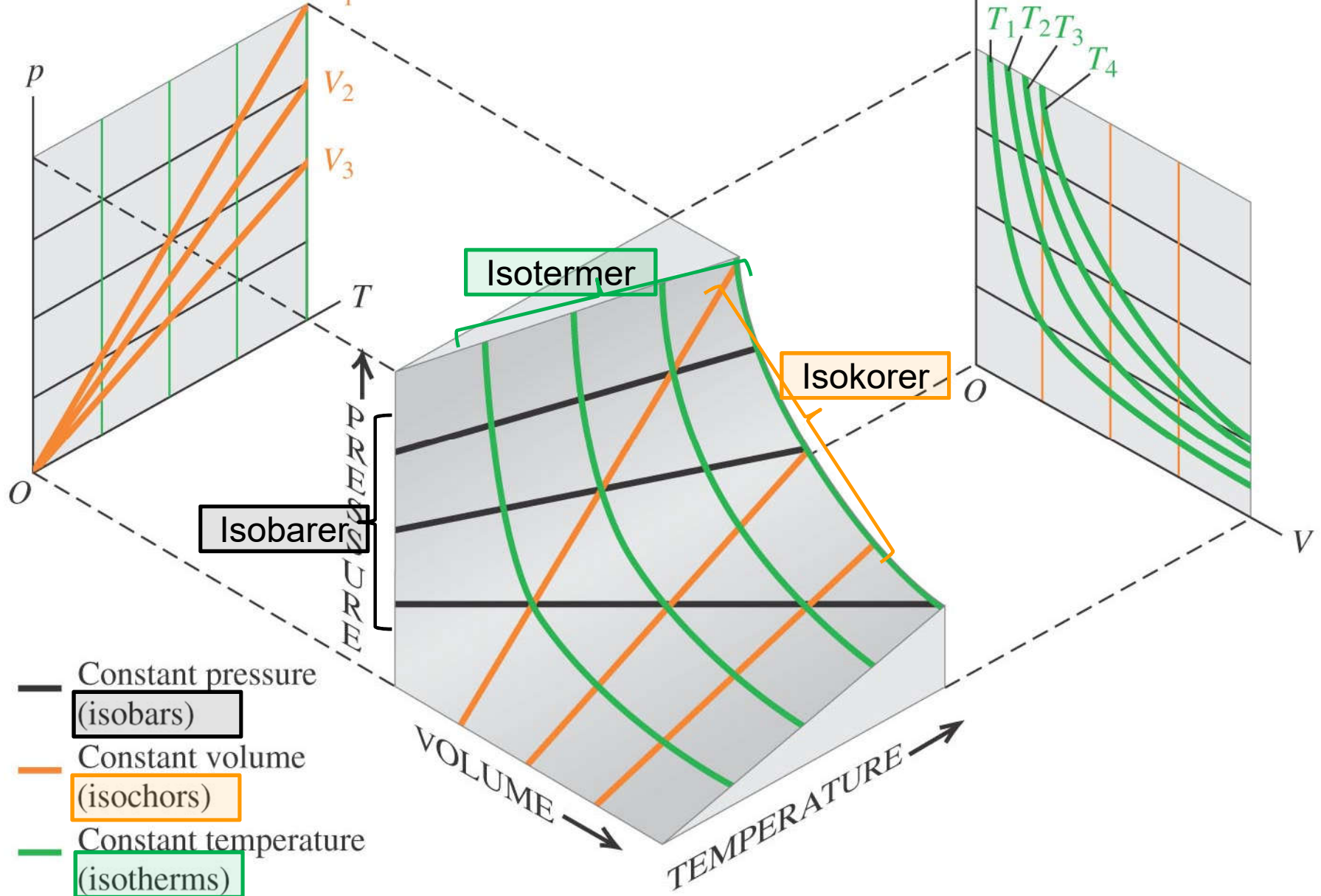
- Eks.:  $p = p(T, V)$   
Ideell gass:  $p = nRT/V$



$$T_6 > T_5 > \dots > T_1$$

$V_1 < V_2 < V_3$  **Ideell gass:  $p = nRT/V$**

$T_1 < T_2 < T_3 < T_4$



# TABLE 20-1

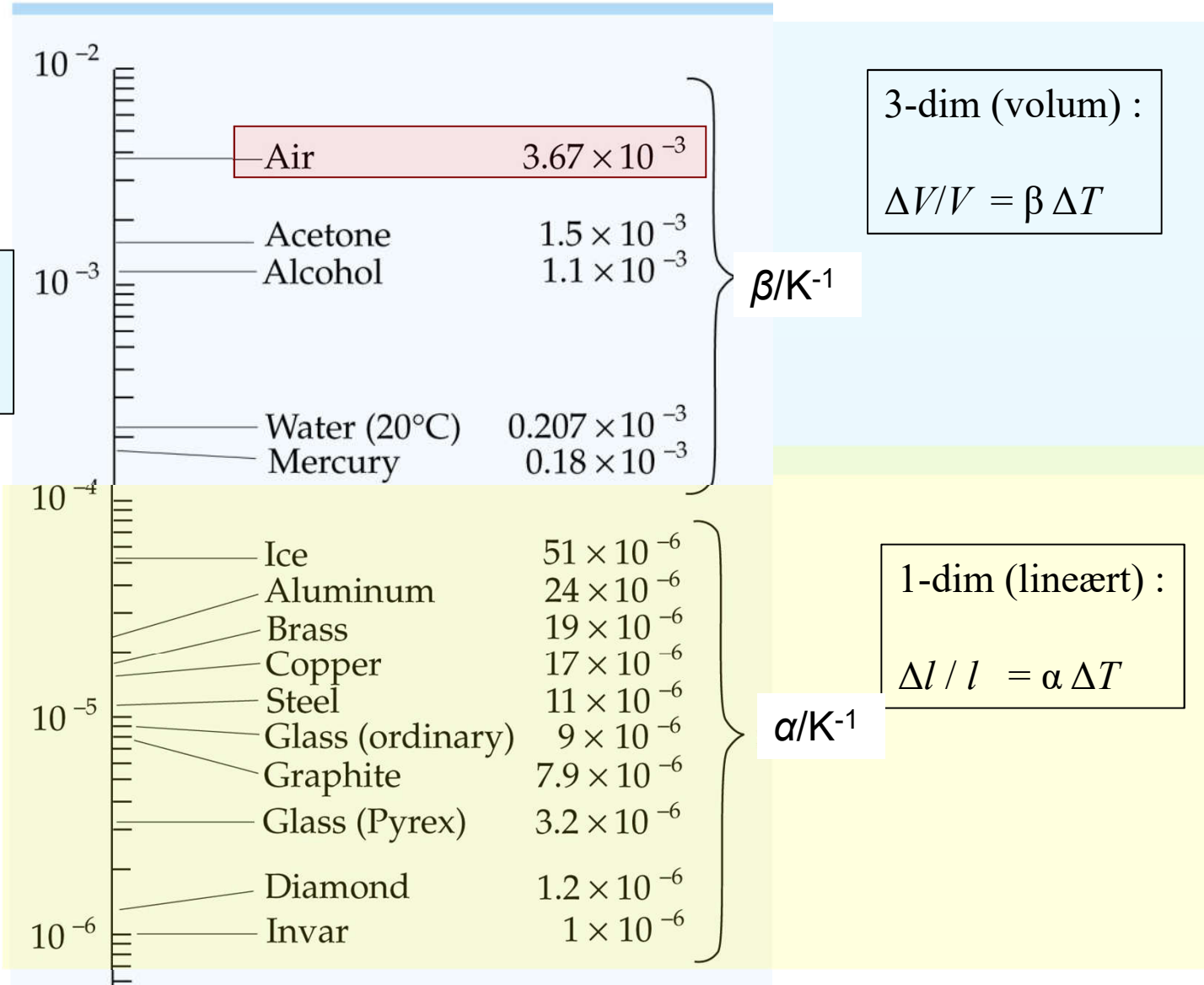
## Approximate Values of the Coefficients of Thermal Expansion for Various Substances

Varmeutvidelses-  
koeffisienten:

Væsker  
og  
gasser

og  
faste stoff:  
 $\beta = 3 \alpha$

Faste  
stoff



3-dim (volum) :  
 $\Delta V/V = \beta \Delta T$

1-dim (lineært) :  
 $\Delta l / l = \alpha \Delta T$

$\beta/K^{-1}$

$\alpha/K^{-1}$

# Solslyng NSB



Meråkerbanen  
2014

Vinter: - 40 °C  
Sommer: +56 °C

$$\Delta T = 100 \text{ K}$$

$$\Delta l = \alpha l \Delta T = 10 \text{ cm}$$

for  $l = 100 \text{ m}$  skinne



Sverige



Dovrebanen,  
Kvam 25.7.13

**Varmekapasitet**  $C$  = Varme opptatt per temp.stigning og per mol:

$$\Rightarrow Q = C \cdot n \cdot \Delta T = C' \cdot m \cdot \Delta T$$

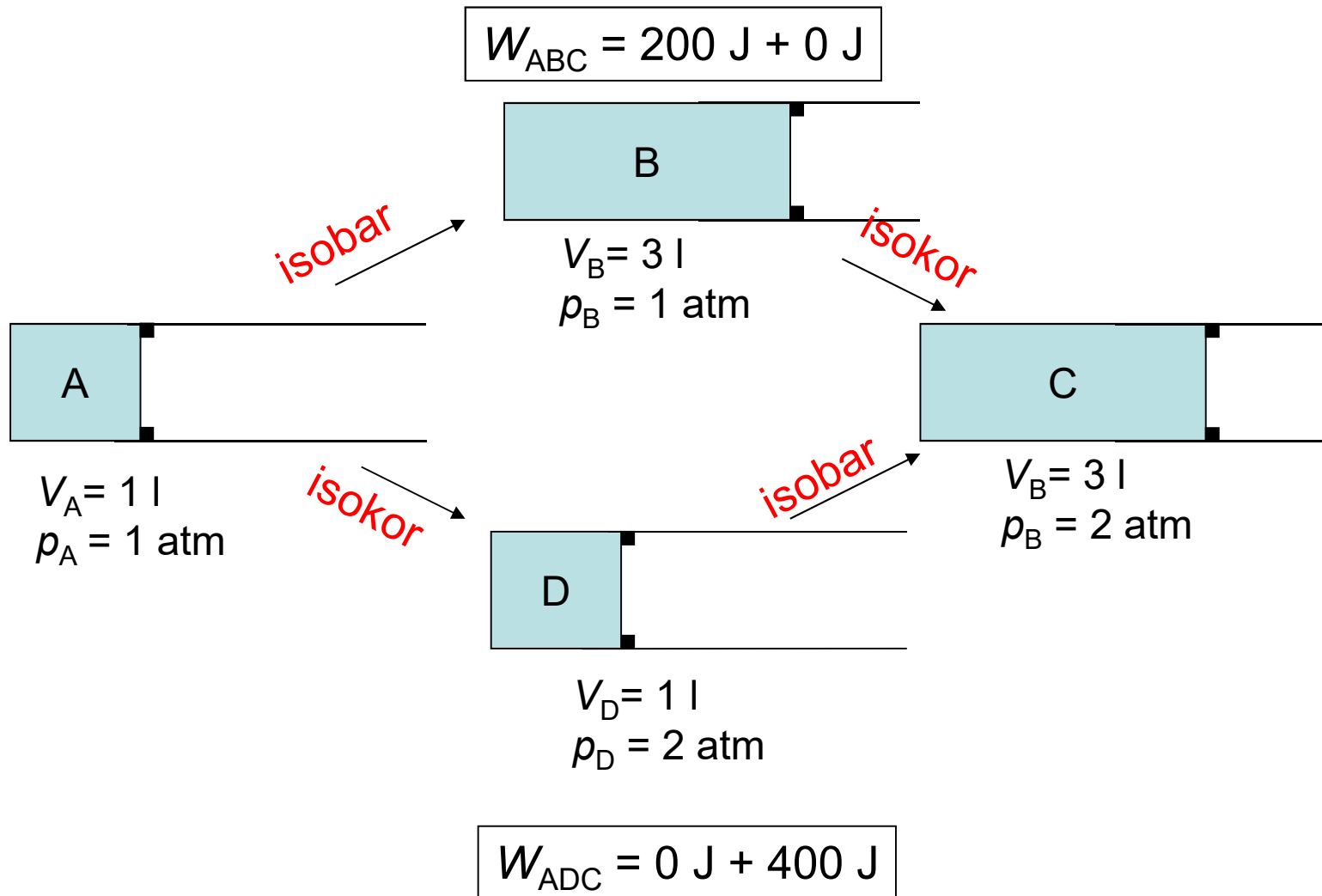
TABLE 18-1

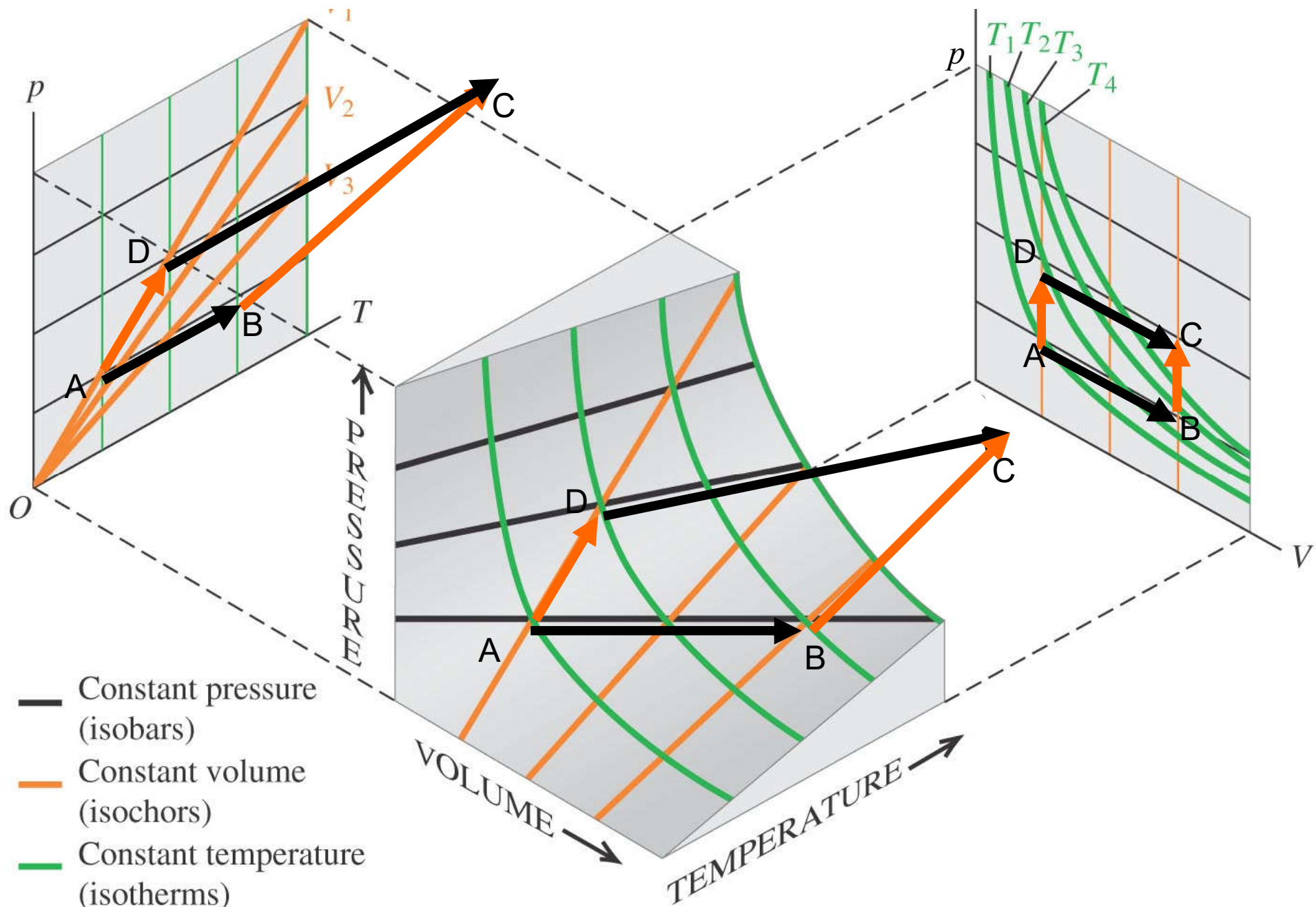
Specific Heats and Molar Specific Heats of Some Solids and Liquids

Substance	$C'$ <del><math>c</math></del> , kJ/kg·K	$c$ , kcal/kg·K or Btu/lb·F°	$C$ <del><math>c'</math></del> , 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



# Eks.1. $Q$ , $W$ og $\Delta U$ for isobarer og iskorer

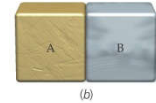
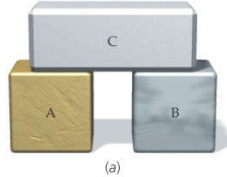




# Oppsummering varmelære så langt:

## 0. Hovedsetning = Termisk likevekt:

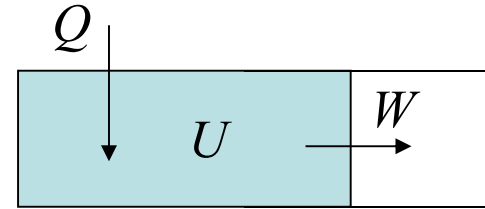
$$T_A = T_C \text{ og } T_B = T_C \rightarrow T_A = T_B$$



## 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.