

Termisk fysikk består av:

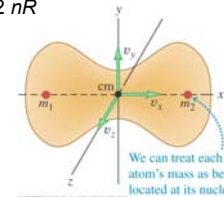
1. Termodynamikk: (= "varmens kraft")
Makroskopiske likevektslover ("slik vi ser det")
Temperatur. 1. og 2. hovedsetning

2. Kinetisk gassteori:

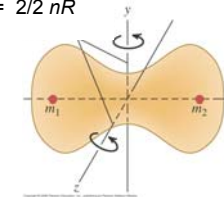
Mikroskopiske lover, mekanikkens lover til punkt og prikke.
Uttrykk for indre energi U .
(Maxwells hastighetsfordeling.)

3. Varmetransport:
Ledning, konveksjon, stråling.

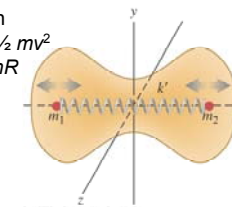
Translasjon
 $\frac{1}{2} m v_x^2 + \frac{1}{2} m v_y^2 + \frac{1}{2} m v_z^2$
 $U = 3/2 nR$



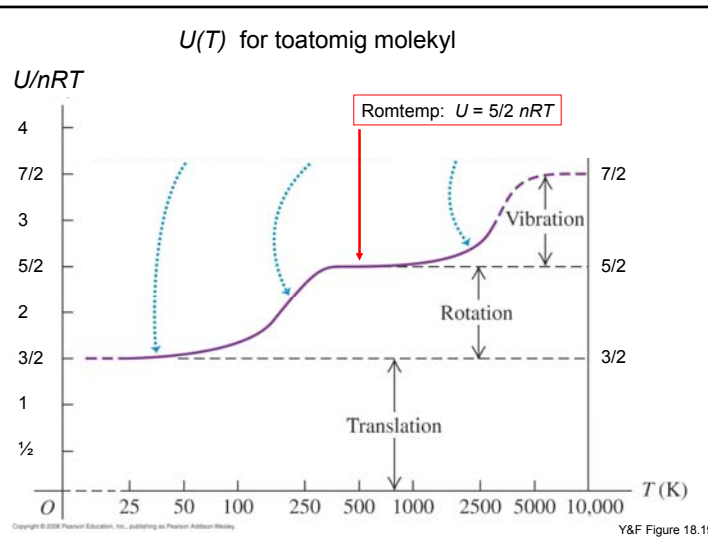
Rotasjon
 $\frac{1}{2} I_y \omega_y^2 + \frac{1}{2} I_z \omega_z^2$
 $U = 2/2 nR$



Vibrasjon
 $\frac{1}{2} k x^2 + \frac{1}{2} m v^2$
 $U = 2/2 nR$



Y&F Figure 18.18



Essensen i kinetisk teori:

Ideell gasslov + trykk pga. kollisjoner gir for enatomig molekyl:

Indre energi = middelverdi av kinetisk translasjonsenergi:

$$U = \langle E_k \rangle = N \cdot \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle$$

$$= n \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} R T$$

Utledninger er ikke pensum

Ekvipartisjonsprinsippet:

Hvert energibidrag: $E = (\text{konst}) \cdot \xi^2$ (= "frihetsgrad")

gir bidrag: $U = 1/2 nRT$

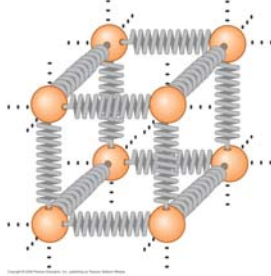
Eksempler på frihetsgrader:

Translasjon (3): $\frac{1}{2} m v_x^2$; $\frac{1}{2} m v_y^2$; $\frac{1}{2} m v_z^2$

Rotasjon (2): $\frac{1}{2} I_y \omega_y^2$; $\frac{1}{2} I_z \omega_z^2$; [$\frac{1}{2} I_x \omega_x^2 \approx 0$]

Vibrasjon (2): $\frac{1}{2} k x^2$; $\frac{1}{2} m v^2$

Figure 18.20



Metaller:

- Ingen translasjon
- Ingen rotasjon
- Tre vibrasjonsretninger á 2 frihetsgrader:

$$U = 6 \cdot 1/2 nRT = 3nRT$$

$$C_V \approx C_p = dU/dT \cdot 1/n = 3R = 25 \text{ J/K mol}$$

Kap. 8 Kinetisk teori

Ideell gasslov + trykk pga. kollisjoner gir for enatomig molekyl:

Indre energi = middelverdi av kinetisk translasjonsenergi:

$$U = \langle E_k \rangle = N \cdot 1/2 m \langle v^2 \rangle = n \cdot 3 \cdot 1/2 R T$$

Varmekapasiteter

1) Konst. volum: $C_V = (dQ/dT)_V/n = (dU/dT)/n$

2) Konst. trykk: $C_p = (dQ/dT)_p/n = (dU/dT)/n + p (dV/dT)/n$

ideell gass: $C_p = C_V + R$

	enatomig ideell gass	toatomig ideell gass	metall
U	$3/2 nRT$	$5/2 nRT$	$6 nRT$
C_V	$3/2 R$	$5/2 R$	$6 R$
C_p	$5/2 R$	$7/2 R$	$6 R$

Table 17.3 Approximate Specific Heats and Molar Heat Capacities (Constant Pressure)

Substance	Specific Heat, c (J/kg · K)	Molar Mass, M (kg/mol)	Molar Heat Capacity, C (J/mol · K)
Aluminum	910	0.0270	24.6
Beryllium	1970	0.00901	17.7
Copper	390	0.0635	24.8
Ethanol	2428	0.0461	111.9
Ethylene glycol	2386	0.0620	148.0
Ice (near 0°C)	2100	0.0180	37.8
Iron	470	0.0559	26.3
Lead	130	0.207	26.9
Marble (CaCO ₃)	879	0.100	87.9
Mercury	138	0.201	27.7
Salt (NaCl)	879	0.0585	51.4
Silver	234	0.108	25.3
Water (liquid)	4190	0.0180	75.4

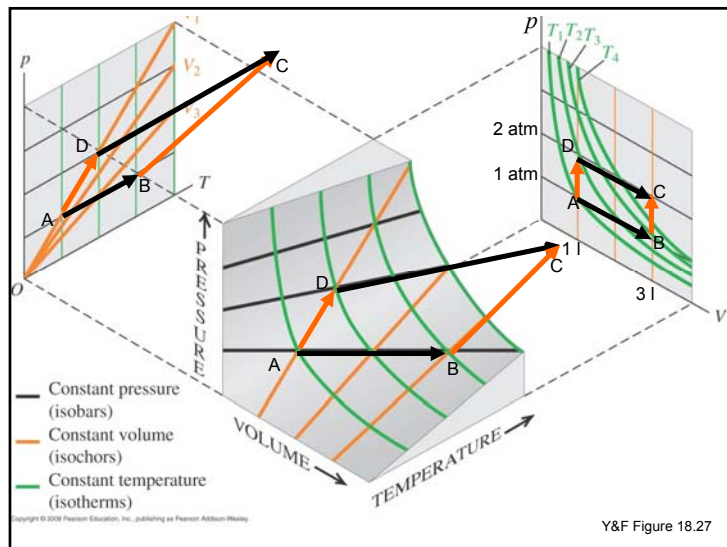
Metaller: $3R \approx 25 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

Molar Heat Capacities in J/mol·K of Various Gases at 25°C

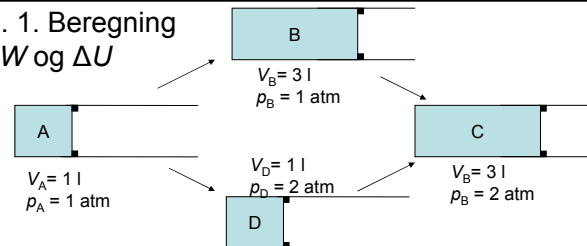
Gas	C_p	C_V	C_V/R	$C_p - C_V$	$(C_p - C_V)/R$
Monatomic					
He	20.79	12.52	1.51	8.27	0.99
Ne	20.79	12.68	1.52	8.11	0.98
Ar	20.79	12.45	1.50	8.34	1.00
Kr	20.79	12.45	1.50	8.34	1.00
Xe	20.79	12.52	1.51	8.27	0.99
Diatomic					
N ₂	29.12	20.80	2.50	8.32	1.00
H ₂	28.82	20.44	2.46	8.38	1.01
O ₂	29.37	20.98	2.52	8.39	1.01
CO	29.04	20.74	2.49	8.30	1.00
Polyatomic					
CO ₂	36.62	28.17	3.39	8.45	1.02
N ₂ O	36.90	28.39	3.41	8.51	1.02
H ₂ S	36.12	27.36	3.29	8.76	1.05

Alle: $C_p - C_V = R$

ca 7/2R



Eks. 1. Beregning Q, W og ΔU



ADC: $\Delta U = Q - W = 1650 \text{ J} - 400 \text{ J} = 1250 \text{ J}$
 ABC: $\Delta U = Q - W = 1450 \text{ J} - 200 \text{ J} = 1250 \text{ J}$

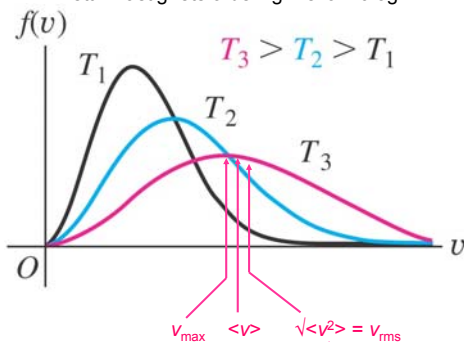
W avhengig vegen (prosessen): Ikke tilst.funksjon. ~~ΔW~~ ~~dW~~
 Bruk: $\int dW$

Q avhengig vegen (prosessen): Ikke tilst.funksjon. ~~ΔQ~~ ~~dQ~~
 Bruk: $\int dQ$

Differansen U uavhengig vegen, tilst.funksjon: $\Delta U = Q - W$
 $dU = dQ - dW$

Maxwells hastighetsfordeling (orienterende stoff)

Antatt: Alle molekylar same hastighet v_x etc.
 Rett: Hastighetsfordeling mellom 0 og ∞



Brukt i utledningen for ideell gass

Y&F Figure 18.23a

Kap. 8 Kinetisk teori. Oppsummering

Ideell gasslov + trykk pga. kollisjoner (Newton 2) gir:

Indre energi = middelvei av termisk kinetisk energi:

Enatomige molekylar, kun translasjonsenergi:

$U = \langle E_k(\text{trans}) \rangle = N \cdot (1/2) m \langle v^2 \rangle = N \cdot 3 \cdot k_B T / 2$ Frihetsgrader: $n_f = 3$

Toatomige molekylar, translasjonsenergi + rotasjonsenergi:

$U = \langle E_k(\text{trans}) \rangle + \langle E_k(\text{rot}) \rangle = N \cdot 5 \cdot k_B T / 2$ Frihetsgrader: $n_f = 5$

Varmekapasiteter ideell gass

Konst. volum: $C_V = (dQ/dT)_V \cdot 1/n = dU/dT \cdot 1/n$, $C_V = n_f \cdot R/2$

Konst. trykk: $C_p = (dQ/dT)_p \cdot 1/n = (dU + p dV)/dT \cdot 1/n$, $C_p = n_f \cdot R/2 + R$

	enatomig ideell gass	toatomig ideell gass	metall
U	$3/2 nRT$	$5/2 nRT$	$6 nRT$
C_V	$3/2 R$	$5/2 R$	$6 R$
C_p	$5/2 R$	$7/2 R$	$6 R$