

# FORMELBLAD

## Termodynamik

### Värmeutvidgning

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T \quad \frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T \quad \beta = 3\alpha$$

### Värme

$$Q = mc\Delta T \quad l_s = \frac{Q_s}{m} \quad l_a = \frac{Q_a}{m}$$

### Vätsketryck

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{vätska}} + p_{\text{luft}} = \rho gh + p_{\text{luft}}$$

### Ideala gaslagen

$$pV = NkT \text{ eller } pV = nRT$$

$$\text{där } n = \frac{m_{\text{tot}}}{M} = \frac{N}{N_A} \text{ och } R = kN_A$$

### Gasdensitet och partikeldensitet

$$\rho = \frac{m_{\text{tot}}}{V} = \frac{pM}{RT} \quad n_o = \frac{N}{V} = \frac{p}{kT}$$

### Barometriska höjdformeln

$$p = p_0 e^{-\rho_0 gh / p_0} \quad h = \frac{p_0}{\rho_0 g} \ln \frac{p_0}{p}$$

### Relativ luftfuktighet

$$R_{LF} = \frac{p_{\text{vatten}}}{p_{\text{mättnad}}}$$

### van der Waals' ekvation

$$\left( p + a \frac{n^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

### Kritisk punkt

$$V_k = 3nb \quad T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad p_k = \frac{a}{27b^2}$$

### Molekylradien

$$r = \left( \frac{3b}{16\pi N_A} \right)^{1/3}$$

### Ångtryckskurva

$$p = Ae^{-Ml_a/(RT)}$$

### Reynolds' tal

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\eta} \quad \text{Re} < 2300 \text{ laminär}$$

### Volymflöde

$$\phi = \frac{dV}{dt} = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

### Bernoullis ekvation

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gy_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gy_2$$

### Poiseuilles lag

$$\phi = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta L}$$

### Tryck (mikroskopiskt)

$$p = \frac{2}{3} n_o \frac{m_{\text{en}}}{2} \langle v^2 \rangle = \frac{2}{3} n_o \langle W_{\text{kin}} \rangle_{\text{en}}$$

### Temperatur (mikroskopiskt)

$$\langle W_{\text{kin}} \rangle_{\text{en}} = \frac{3}{2} kT$$

### Inre energi (ändring)

$$\Delta U = \frac{f}{2} Nk\Delta T = \frac{f}{2} nR\Delta T$$

### Första huvudsatsen

$$Q = \Delta U + W \quad \text{med } W = \int_1^2 pdV$$

### Isokor

$$W \equiv 0$$

### Isobar

$$W = p(V_2 - V_1)$$

### Isoterm

$$W = nRT \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

### Adiabat

$$W = -\Delta U$$

### Molar värmekapacitet

$$C = Mc \quad C_V = \frac{f}{2} R \quad C_p = C_V + R$$

### Adiabat (Poissons ekvationer)

$$T_1 V_1^{(\gamma-1)} = T_2 V_2^{(\gamma-1)}$$

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

### Kvoten

$$\gamma \equiv \frac{C_p}{C_V} = \frac{c_p}{c_v} = 1 + \frac{2}{f}$$

### Fysikaliska konstanter

Atomär masskonstant, $u$	$1,660\,538\,73 \cdot 10^{-27}$ kg
Avogadros tal, $N_A$	$6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>
Boltzmanns konstant, $k$	$1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K
Allmänna gaskonstanten, $R$	$8,314\,472$ J/(K·mol)

## Kretsprocess

$$Q_{netto} = W_{netto} = \oint p dV$$

## Verkningsgrad

$$\eta = \frac{W_{netto}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - |Q_{ut}|}{Q_{in}} = 1 - \frac{|Q_{ut}|}{Q_{in}}$$

## Ideal verkningsgrad

$$\eta = \frac{T_{varm} - T_{kall}}{T_{varm}} = 1 - \frac{T_{kall}}{T_{varm}}$$

## Köldfaktor (def. och idealt)

$$K_f \equiv \frac{Q_{in}}{|W_{netto}|} \quad K_f = \frac{T_{kall}}{T_{varm} - T_{kall}}$$

## Värmeffaktor (def. och idealt)

$$V_f \equiv \frac{Q_{ut}}{|W_{netto}|} \quad V_f = \frac{T_{varm}}{T_{varm} - T_{kall}}$$

## Gaussfördelning

$$f(v_z) = \sqrt{\frac{m_{en}}{2\pi kT}} e^{-m_{en}v_z^2/(2kT)}$$

## Maxwell-Boltzmannfördelning

$$f(v) = 4\pi v^2 \left( \frac{m_{en}}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_{en}v^2/(2kT)}$$

## Medelvärden

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_{en}}} \quad \langle v \rangle = 2 \langle |v_x| \rangle$$

$$\langle W_{kin} \rangle = \left\langle \frac{m_{en}v^2}{2} \right\rangle = \frac{m_{en}}{2} \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} kT$$

## Stöttal (antal per sekund och m<sup>2</sup>)

$$n^* = \frac{n_o}{4} \langle v \rangle$$

## Medelfriväg

$$l = \frac{1}{n_o \pi d^2 \sqrt{2}}$$

## Värmeledning (allmänt och stav)

$$P = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad P = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{L}$$

## Värmeövergång

$$P = \alpha A \Delta T$$

## Strålning

$$P_{ideal} = \sigma A T^4 \quad P_{verklig} = e P_{ideal}$$

t/°C	Vatten/kPa
-30	0,0381
-20	0,103
-15	0,165
-10	0,260
-5	0,401
0	0,610
5	0,872
10	1,23
15	1,70
20	2,34
25	3,17
30	4,24
35	5,64
40	7,37
50	12,3
60	19,9
70	31,2
80	47,3
90	70,1
100	101,3
110	143,2
120	198,4
130	270,0

Tabell 1 Mättnads-tryck för vatten.

Enhetsomvandling.

1 u = 1,660 538 73 · 10 <sup>-27</sup> kg
1 u = 931,494 MeV/c <sup>2</sup>
1 eV = 1,602 176 46 · 10 <sup>-19</sup> J

Ämne	$\alpha/(10^{-6} \text{K}^{-1})$	Ämne	$\alpha/(10^{-6} \text{K}^{-1})$
Aluminium	23	Glas (typvärde)	6,0
Silver	19	Volfram	4,3
Mässing (Cu+Zn)	19	Marmor (typvärde)	2,5
Koppar	17	Invar (Fe+Ni)	2,0
Järn	12	Grafit	2,0
Stål	11	Diamant	1,2
Platina	9,0	Kvarts	0,4

Tabell 2 Längdutvidgningskoefficient vid 20°C och normalt lufttryck.

Ämne	$\beta/(10^{-6} \text{K}^{-1})$	Ämne	$\beta/(10^{-6} \text{K}^{-1})$
Aceton	1490	Glycerin	500
Bensin	950	Vatten	210
Etanol	750	Kvicksilver	180

Tabell 3 Volymutvidgningskoefficient vid 20°C och normalt lufttryck.

Fast ämne	$\rho/(10^3 \text{ kg/m}^3)$	Vätska	$\rho/(10^3 \text{ kg/m}^3)$
Aluminium	2,70	Aceton	0,79
Bly	11,3	Blod	1,06
Guld	19,3	Etanol	0,79
Järn	7,87	Eter	0,72
Koppar	8,93	Glykol	1,12
Platina	21,5	Kvicksilver	13,6
Silver	10,5	Vatten	1,00
Volfram	19,3	Ättika	1,12

Tabell 4 Densitet vid 20°C och normalt lufttryck.

Fasta ämnen	$c/( \text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1})$	Vätskor	$c/( \text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1})$
Aluminium	0,90	Vatten	4,19
Marmor	0,88	Havsvatten	3,90
Porslin	0,84	Eter	3,72
Glas (typvärde)	0,83	Metanol	2,55
Järn	0,44	Etanol	2,49
Koppar	0,39	Glykol	2,39
Mässing	0,38	Ättika	2,06
Silver	0,24	Olivolja	1,97
Volfram	0,14	Kvicksilver	0,14

Tabell 5 Specifik värmekapacitet vid 20°C och normalt lufttryck.

Vätska	$\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	Gas	$\eta/(\mu\text{Pa}\cdot\text{s})$
Glycerin	1480	Syrgas ( $\text{O}_2$ )	20,2
Motorolja	1000	Helium	19,4
Kvicksilver	1,55	Luft	18,4
Etanol	1,20	Kvävgas ( $\text{N}_2$ )	17,6
Vatten	1,00	Koldioxid ( $\text{CO}_2$ )	14,8
Aceton	0,32	Vätgas ( $\text{H}_2$ )	8,7

Tabell 6 Viskositet vid 20°C.

Ämne	$I_s$ /(kJ/kg)	Smältpunkt/°C	$I_a$ /(kJ/kg)	Kokpunkt/°C
Helium			21	-269
Kvävgas N <sub>2</sub>	26	-210	200	-196
Syrgas O <sub>2</sub>	14	-218	210	-183
Metan	17	-182	130	-161
Etanol	105	-114	841	78
Eter	113	-116	377	35
Kvicksilver	12	-39	293	357
Vatten	333	0	2 260	100
Natrium	113	98	4 200	892
Bly	23	328	860	1 744
Aluminium	398	660	10 500	2 467
Platina	101	1769	2 370	3 827

**Tabell 7** Specifikt smält- och ångbildningsvärme, smält- och kokpunkter vid och normalt lufttryck.

Gas	Kemisk beteckning	$a$ / ( $10^{-2}$ Pam <sup>6</sup> mol <sup>-2</sup> )	$b$ / ( $10^{-5}$ m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> )	$r$ / ( $10^{-10}$ m)
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	42,1	3,71	1,54
Argon	Ar	13,6	3,22	1,47
Helium	He	0,345	2,37	1,33
Koldioxid	CO <sub>2</sub>	36,3	4,27	1,62
Koloxid	CO	15,0	3,99	1,58
Krypton	Kr	23,4	3,98	1,58
Kvicksilver	Hg	81,7	1,70	1,19
Kvävgas	N <sub>2</sub>	14,0	3,94	1,57
Syrgas	O <sub>2</sub>	13,7	3,18	1,47
Vattenånga	H <sub>2</sub> O	55,2	3,05	1,45
Vätgas	H <sub>2</sub>	2,47	2,66	1,38
Xenon	Xe	42,4	5,11	1,72

**Tabell 8** Konstanterna i van der Waals' ekvation samt molekylradijer.

Ämne	Beteckning	$T_3$ /K	$p_3$ /kPa
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	195,4	6,07
Koldioxid	CO <sub>2</sub>	216,55	517
Kvävgas	N <sub>2</sub>	63,18	12,5
Neon	Ne	24,56	432
Syrgas	O <sub>2</sub>	54,36	0,152
Vatten	H <sub>2</sub> O	273,16	0,610
Vätgas	H <sub>2</sub>	13,80	7,04

**Tabell 9** Trippelpunkt för några vanliga ämnen.