

Termodynamik - Slafs

Aron Granberg, Daniel Kempe, Mårten Wiman

Utvidgning

$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$ [Pa^{−1}]
Isobar volymutvidgningskoefficient
 $\alpha_V = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ [K^{−1}]
Relativa volymändringen
 $\frac{dV}{V} = -\kappa \cdot dp + \alpha_V \cdot dT$

Kinetisk gasteori

m = massan per partikel [kg]
Molara massan
 $M = mN_A$
 $\nu R = Nk_B$
 $n = \frac{N}{V}$
 $v_p = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{k_B T}{m}}$
 $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{k_B T}{m}}$
 $v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{k_B T}{m}}$
 $\langle E_k \rangle = \frac{3k_B T}{2}$
Ekvipartitionsprincipen

Konstanter

Massenhet	u	1.66054 · 10 ^{−27}	kg
Avogadros	N_A	6.02214 · 10 ²³	mol ^{−1}
Boltzmanns	k_B	1.38065 · 10 ^{−23}	J K ^{−1}
Gaskonstanten	R	8.3145	J mol ^{−1} K ^{−1}
Stefan-Boltzmanns	σ	5.6704 · 10 ^{−8}	W m ^{−2} K ^{−4}
Plancks	h	6.62607 · 10 ^{−34}	J s
Ljushastigheten	c	299 792 458	m s ^{−1}

Vettiga värden

Arbete vid sömn	1	W kg ^{−1}
Lätt arbete utvecklar vid 25% eff.	55-75	W
Energibehov människa (3000 kcal)	12	MJ d ^{−1}
Jordens radie	6.4 · 10 ⁶	m
Månens radie	1.7 · 10 ⁶	m
Sveriges area	4.5 · 10 ¹¹	m ²
Värmekapacitet c_{luft}	1.007	kJ kg ^{−1} K ^{−1}
Energidensitet Li-ion batteri	0.3 – 0.9	MJ kg ^{−1}
Energidensitet trä	16	MJ kg ^{−1}
Energidensitet kol	24	MJ kg ^{−1}
Energidensitet fett	37	MJ kg ^{−1}
Energidensitet bensin	44	MJ kg ^{−1}
Energidensitet uran	8.1 · 10 ⁷	MJ kg ^{−1}
Sveriges elkonsumption	1.5 · 10 ¹⁰	W
Världens elkonsumption	2.1 · 10 ¹²	W
Sveriges energikonsumption	7.4 · 10 ¹⁰	W
Världens energikonsumption	1.5 · 10 ¹³	W

$U = Nk_B T \cdot \frac{1}{2} \cdot (\text{\#frihetsgrader})$ [J]
Energi i enatomig gas
 $U = N \frac{m \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2} Nk_B T$ [J]
Notera $Nk_B T = pV$
 $pV = \frac{2}{3} U$

Medelfri väg
 $l = \frac{k_B T}{\sqrt{2\pi d^2 p}} = \frac{1}{n\sigma\sqrt{2}}$
Där d = partikelns diameter
Stöttal
 $\nu^* = \frac{p}{\sqrt{2\pi mk_B T}} = \frac{1}{4} n \langle v \rangle$ [s^{−1} m^{−2}]
Maxwell-Boltzmanns hastighetsfördelning

$n(v) = K \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$
om $\int n(v) = \frac{N}{V}$, dvs om normaliserat
 $K = 4\pi n \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{3}{2}}$

Värme

Energi för att förändra temp.
 $\Delta Q = mC\Delta T$ [J]
Molar isokor värmekapacitet ideal gas
 $C_V = \frac{1}{\nu} \frac{dU}{dT}$ [J mol^{−1} K^{−1}]
Enatomig ideal gas har
 $C_V = \frac{3}{2} R$

Molar isobar värmekapacitet ideal gas
 $C_p = C_V + R$ [J mol^{−1} K^{−1}]
Molar värmekapacitet fast kropp
 $C_m = 3R$ [J mol^{−1} K^{−1}]

Adiabiska processer

C_p = isobara molar värmekapaciteten
 C_V = isokora molar värmekapaciteten
 $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{c_p}{c_v}$
 $pV^\gamma = \text{konst.}$
 $Tp^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{konst.}$
 $TV^{\gamma-1} = \text{konst.}$
Adiabatiskt arbete på en gas
 $W = -\int_0^1 pdV = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{1 - \gamma}$

Matematik

Sfär: $A = 4\pi r^2$; $V = \frac{4\pi r^3}{3}$

Värmetransport

λ = Värmekonduktivitet
 α = Värmeövergångskoefficient
Ledning
 $U = \frac{\lambda}{d}$ [W K^{−1} m^{−2}]
Konvektion
 $U = \alpha$ [W K^{−1} m^{−2}]
Värmemotstånd

Kemi

	Atom	Atomnummer	Substans	C_V/R
	Kol	6	He	1.52
	Kväve	7	H_2	2.44
	Syre	8	N^2	2.49
	Neon	10	O^2	2.51
	Glöm inte bort att molekyler är flera atomer		CO	2.53

Ämne	Densitet	[kg m ^{−3}]
Kol		1050
Vatten		1000
Järn		7844
Luft		1.275
Helium		0.1785
Väte		0.0899
Nysnö		60
Packad snö		400
Is		850

Tillståndsekvationer för gaser

M = molar massan [kg mol^{−1}]; m = totala massan i systemet [kg]
 $\rho = \frac{m}{V}$; $p = \frac{\rho RT}{M} = \frac{Nk_B T}{V} = \frac{\nu RT}{V}$; $\nu = \frac{m}{M}$
 $b \approx$ molekylens volym; $a \approx$ växelverkan mellan partiklar
 $p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - a \left(\frac{N}{V} \right)^2$ Van der Waals tillståndsekvation
 $b_0 = bN_A$; $a_0 = aN_A^2$; $v = \frac{V}{\nu}$

$\frac{1}{\bar{v}} = \sum \frac{1}{\bar{v}_i}$
Värmefflöde
 $\Phi = U A (T_i - T_u)$
Kom ihåg: Vid jämvikt är värmefflödet konstant, och i t.ex en vägg är värmefflödet konstant genom hela väggen.

Första huvudsatsen

Arbete på en gas
 $\delta W = -pdV$
Energiutbyte med omgivningen
 $dQ = dU + pdV$
Derivatan av inre energi
 $dU = dQ + \delta W = dQ - pdV$
Vid isokor process
 $dU = \nu C_V dT$
Entalpi
 $H = U + pV$
Arbete på en gas
 $W = -\int_{V_1}^{V_2} pdV$
Isotermt kompressionsarbete på en gas
 $W_T = -\nu RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$
Isobart kompressionsarbete på en gas
 $W_p = -p_2(V_2 - V_1)$
Isokort arbete på en gas
 $W_V = 0$

Andra huvudsatsen

Tillförs dQ reversibelt till ett system så är $dS = \frac{dQ}{T}$
Reversibel process i slutet system $\Delta S = 0$
Irreversibel process i slutet system $\Delta S > 0$

Övrigt om entropi

$T = 0 \Rightarrow S = 0$
 W = antal möjliga mikroskopiska tillstånd
 $S = k_B \ln W$
Om S_A är entropi för system A och S_B entropi för system B så har S_A och S_B sett som ett enda system entropin
 $S_{A \cup B} = S_A + S_B$
Need proof $\Delta S = \nu C_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

Carnotprocesser

$T_H \geq T_C$
 Q_H Värme som tillförs vid T_H
 Q_C Värme som tillförs vid T_C
 $\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_C|}{T_C}$
 $-W = Q_H + Q_C$ (termer kan vara negativa)
 $|W| = |Q_H| - |Q_C|$

$$\left(p + \frac{a_0}{v^2} \right) \cdot (v - b_0) = RT$$

Van der Waals tillståndsekvation

Strålning

ρ = reflexionsfaktor; τ = transmissionsfaktor
 ν = frekvens = $\frac{c}{\lambda}$
Svartkropp $\Rightarrow \varepsilon = 1$
 $\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 h^3}$

$\varepsilon(\nu) + \rho(\nu) + \tau(\nu) = 1$
 $\varepsilon(\nu) = \alpha(\nu)$ Kirchoffs lag
 $\varphi = \varepsilon \sigma T^4$ [W/m²] Strålningstäthet
 $\Phi = A \varepsilon \sigma T^4$ [W] Strålningsintensitet
 $\frac{h\nu m_{ax}}{k_B T} = 2.821$ Wiens förskjutningslag frekvens
 $\frac{hc}{\lambda_{max} k_B T} = 4.965$ Wiens förskjutningslag våglängd **skippa?**
 $\lambda_{max} T = 2.898 \cdot 10^{-3}$ m K Wiens förskjutningslag våglängd

$u(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$ [J s m^{−3}] Planck-fördelningen
 $U(T) = V \frac{\pi^5}{15} \cdot \frac{8h}{c^3} \left(\frac{k_B T}{h} \right)^4$ [J] Total energi hålrumsstrålning
 $\varphi = \frac{1}{4V} U(T) c = \sigma T^4$ Strålningstäthet hålrumsstrålning
 $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ [J] Fotonenergi