Thermodynamik

Konstanten

univ. Gaskonstante: $R = 8.3145 \frac{J}{Kmol}$
Boltzmannkonstante: $k = 1.3807 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
Stefan-Boltzmann-Konst.: $\sigma = 5.77 \cdot 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2}$

Ideale Gasgleichung: $\frac{pV}{T} = const$
Allgemeine Gasgleichung
$pV = nRT = NkT = \frac{2}{3} N \langle E_{kin} \rangle = \frac{2}{f} N \langle E \rangle$
mittl. kin. Energie: $\langle E_{kin} \rangle = \frac{f}{2} kT$
Freiheitsgrade

Einatom. Gas	$f = 3$ (nur Trans.)
Zweiatom. Gas	$f = 3 + 2 + 2$
Festkörper	$f = 3 \cdot 2$ (Eigenschw.)

Maxwell-Verteilung
$p(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1.5} 4\pi v^2 \exp(-\frac{mv^2}{2kT})$
$v_0 = \sqrt{\frac{kT}{m}}$
wahrsch. Geschw.: $v_w = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{2} v_0$
mittl. Geschw.: $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} v_0$
mittl. Geschw.²: $\sqrt{\bar{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{3} v_0$

Stoß (dünne Schicht)

Stoßquerschnitt: $\sigma = 4\pi r^2$
$\rho_n = \frac{N}{V}$
Mittl. freie Weglänge: $\langle x \rangle = \frac{1}{\rho_n \sigma}$
Mittl. Zeit zw. Stössen: $\tau = \frac{\langle x \rangle}{\bar{v}}$

Reale Gase

Van-der-Waals-Gl.: $\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - bn) = nRT$

Wärme & -kapazität

spez. Wärmekap.: $c = \frac{\Delta Q}{M \Delta T} \left[\frac{J}{kgK}\right]$
mol. Wärmekap.: $C_m = \frac{\Delta Q}{n \Delta T} = M_m c \left[\frac{J}{molK}\right]$
Wärmeap.: $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = cM = C_m n \left[\frac{J}{K}\right]$

Dulong-Petit (Festkörper)
$c = \frac{3Nk}{M} = \frac{3k}{m} = \frac{3R}{M_{mol}}$ (für $kT > \hbar\omega$)

Wenn $V = $ const

Wärmekap.: $c_v = \frac{fk}{2m}$; $C_{mV} = \frac{f}{2} R$
Wärme: $\Delta Q = \frac{f}{2} Nk \Delta T$

Wenn $p = $ const

Wärmekap.: $C_{mp} = C_{mV} + R = \frac{f+2}{2} R$
Wärme
$\Delta Q = C_{mV} n \Delta T + p \Delta V = (C_{mV} + R) n \Delta T$

Innere Energie: $U = \frac{f}{2} NkT$ (tot. therm. Energie)
Entropie: $dS = \frac{dQ}{T}$
Kompr.arbeit: $\Delta W = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV \overset{p \text{ const}}{=} p \Delta V$

Hauptsätze

1. Energieerhaltung: $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$
2: "Wärme fließt immer von Warm nach Kalt"
3: $T = 0K$ nicht erreichbar, $S(T = 0K) = 0$

Zustandsänderungen

- Isochor: $\Delta V = 0 \Rightarrow \Delta W = 0$
- Isobar: $\Delta p = 0 \Rightarrow \Delta Q = \Delta(H)$
  mit Enthalpie $H = U + pV$
- Isotherm: $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$
  $\Delta W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -nRT \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$
- Adiabatisch: $\Delta Q = 0$
  $TV^{\kappa-1} = $ const; $pV^{\kappa} = $ const
  Adiabatenkoeffizient: $\kappa = \frac{C_{mp}}{C_{mV}} = \frac{f+2}{f} > 1$

Kreisprozesse

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{|\Delta W|}{\Delta Q_{in}}$
Wirkungsgrad Carnot: $\frac{T_2 - T_1}{T_1}$

Wärmetransport

- Konvektion *Materialtransport*
- Wärmeleitung *KEIN Materialtransport*
  $\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \frac{dT}{dx}$
- Wärmestrahlung *kein Material nötig*
  Leistung: $\frac{dQ}{dt} = -\varepsilon \sigma A T^4$
  mit Emissionsgrad ε $(0 \leq \varepsilon \leq 1)$

Phasenübergänge

(Schmelz-/Verdampf.-)wärme: $\lambda = \frac{Q}{M} \left[\frac{J}{kg}\right]$
mol. Wärme: $\Lambda = \frac{Q}{n} \left[\frac{J}{mol}\right]$

Elektrizitätslehre

Konstanten

Induktionskonstante: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$
$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$
Elementarladung: $e = 1.60 \cdot 10^{-19} C$

Strom: $I = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q} \left[A = \frac{C}{s}\right]$
Coulomb-Gesetz: $\vec{F_C} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$

Punktladung

Feld: $E(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$
Potential: $\Phi(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$
Fluss: $\frac{Q}{\varepsilon_0}$

Homogen geladene Ebene

Quader mit Fläche A, Höhe $2l$

Feld: $E(l) = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
mit Flächenladungsdichte $\sigma = \frac{Q}{A}$
Fluss: 2 AE(l)

Arbeit: $\Delta W_{el} = \Delta QU$
Wiedemann-Franz-Gesetz (Metalle)
$\frac{\lambda}{\sigma_{el}} = aT \approx 3 \left(\frac{k}{e}\right)^2 T$

Ohmsches Gesetz: $R = \frac{U}{I} \left[\Omega = \frac{V}{A}\right]$
Widerstand Draht: $R = \rho_S \frac{L}{A}$
spez. Widerstand: $\rho_S = \frac{1}{\sigma_{el}} [\Omega m]$

Kirchhoff'sche Regeln

Knotenregel: $\sum_i I_i = 0$
Maschenregel: $\sum_i U_i = 0$

Lorentz-Kraft: $\vec{F_L} = q(\vec{v} \times \vec{B})$
Rechte-Hand-Regel: TODO
LK auf Leiter: $\vec{F_L} = I(\vec{L} \times \vec{B})$

Kapazitäten

Kapazität: $C = \frac{Q}{U} \left[F = \frac{C}{V} = \frac{A^2 s^4}{kgm^2}\right]$
$W_{el} = \frac{1}{2} CU^2 \left[\frac{J}{m^3}\right]$
Energiedichte: $w_{el} = \frac{W_{el}}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \left[\frac{J}{m^3}\right]$

Plattenkondensator

Kapazität: $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$
Feldstärke: $E = \frac{U}{d}$

Metallkugel

Kapazität: $C = 4\pi\varepsilon_0 r$

el. Verschiebungsdichte: $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}$
Elektrischer Fluss: $\Phi_e = \int_A \vec{E} d\vec{A}$
Magnetischer Fluss: $\Phi_m = \int_A \vec{B} d\vec{A}$
Faraday: $U_{ind} = -\frac{d}{dt} \int_A \vec{B} d\vec{A} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

Magnetfelder

Ampère'sches Gesetz: $\oint_C \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 A$
Spule: $B = \mu_0 \frac{NI}{L}$
Draht: $B(r) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} = \mu_0 \vec{H}(r) \left[\frac{Vs}{m^2} = T\right]$
Helmholtz-Spulenpaar: $B = \frac{\mu_0 I}{(\frac{5}{4})^{\frac{3}{2}} R}$

$W_m = \frac{1}{2} LI^2$
Energiedichte: $w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2} \mu_0 I_0^2 \frac{N^2}{l^2} = \frac{1}{2\mu_0} B_0^2$

Einschaltvorgang $L - R - U_0$

$U_0 = RI - U_{ind} = RI + L \frac{dI}{dt}$
$I(t) = \frac{U_0}{R} \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L} t\right)\right)$
$\tau = \frac{L}{R}$

Ausschaltvorgang

$0 = RI - U_{ind} = RI + L \frac{dI}{dt}$
$I(t) = I_0 \cdot \exp(-\frac{R}{L} t)$
$U_{ind} = U_0 \frac{R_1 + R_L}{R_L} \exp(\frac{R}{L} t)$

Induktion

Rotierende Leiterschleife
$\Phi_m = AB \cos(\omega t + \phi_0)$
$U_{ind} = AB\omega \sin(\omega t + \phi_0)$
Spule
Selbstinduktivität: $L = \frac{\mu_0 A N^2}{l} \left[H = \frac{Vs}{A}\right]$

Transformator

$\left|\frac{U_2}{U_1}\right| = \frac{N_2}{N_1}$
Joul'sche Wärme: $\dot{Q} = UI = RI^2$

Wechselstrom

Spannung: $U(t) = U_0 \cos(\omega t)$
mittl. Leistung: $\langle P \rangle = \frac{1}{2} U_0 I_0$
eff. Spannung: $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$

Kapazität

Spannung: $U(t) = U_0 \cos(\omega t) = \frac{Q}{C}$
Strom: $I(t) = \frac{dQ}{dt}$
Widerstand: $\frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C}$

Induktivität

Spannung: $U(t) = U_0 \cos(\omega t) = L \frac{dI}{dt}$
Frequenz: $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$
Wellenzahl: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
Ausbreitungsgeschw.: $c = \nu\lambda$

Optik

Snellius: $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$
Ausbreitungsgeschw.: $c_{Medium} = \frac{c_{vak}}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c_{vak}}{n}$
Reflexion: $\alpha = \alpha'$
Totalreflexion: $\alpha_T = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ (falls $n_2 < n_1$)

Dünne Linse

Abbildungsgleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$
Bildgröße: $B \approx \alpha f$ (falls g sehr groß; α Bogenmass)