Experimental Physics II

Luca Cordes

SS 2023/2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1 Thermodynamik

1.1 Haubtsätze

1.1.1 I. Haubtsatz

Die gesamt Energie ist in einem geschlossenen System zeitlich konstant.

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

$\Delta U =$ die Änderung der (gesamten) ineren Enrgie eines geschlossenen Systemes
$\Delta Q =$ von außen zugeführte Wärmeenergie
$\Delta W =$ vo außen zugeführte mechanische Energie

1.1.2 II. Haubtsatz

Wärme fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nicht umgekehrt.
In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie nicht ab $\Delta S \geq 09$.

1.1.3 III. Haubtsatz

Es ist prinzipiell nicht möglich, den absoluten Temperaturnullpunkt (T = 0 K) zu erreichen.

1.2 Wärmetransport

1.2.1 Diffusion

Netto-Teilchenstromdichte bei Diffusion:

$$\vec{j} = -D \cdot \vec{\nabla} n$$

1.2.2 Konduktion

Wärmestromdichte bei Konduktion:

$$\vec{j}_Q = -\lambda \cdot \vec{\nabla} T$$
$$\frac{|\,\mathrm{d}Q|}{S \cdot \mathrm{d}t} = \lambda \frac{|\Delta T|}{d}$$

1.2.3 Wärmestrahlung

Gesamtstrahlungsleitung (nach Stefan-Boltzmann-Gesetz):

$$P = \varepsilon \sigma A T^4$$

1.3 Zustandsänderungen

1.3.1 Isotherm

$$\Delta T = 0$$

1.3.2 Isobar

$$\Delta p = 0$$

1.3.3 Isochor

$$\Delta V = 0$$

1.3.4 Adiabatisch

$$\Delta Q = 0$$

$$\begin{aligned}
\Delta U &= \frac{f}{2} N k \Delta T = -p\Delta V = -\frac{NkT}{V}\Delta V \\
\frac{f}{2}\frac{\Delta T}{T} &= -\frac{\Delta V}{V} \\
TV^{\kappa-1} &= \text{const} \\
pV^{\kappa} &= \text{const} \\
p^{1-\kappa}T^{\kappa} &= \text{const}
\end{aligned}$$

1.4 Schallgeschwindikeit

Für niedrige Frequenzen:

$$v_s = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$$

FÜr hohe Frequenzen

$$v_s = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}}$$

1.5 Wärmekraftmaschine / Carnot - Kreisprozess

1.6 Energien

Im Gas:

$$\langle E_{tot} \rangle = \frac{f}{2} \mathrm{k}_B T$$

Allgemein:

$$\Delta E = c M \Delta T$$

1.7 Entropie

Klassischer, thermischer Entropiebegriff:

$$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T}$$
$$\Delta S = \int_K \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T}$$

Statistischer Entropiebegriff:
Die Entropie ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit eines Zustandes, d.h. für die Anzahl der mikroskopischen Realisierungsmöglichkeiten eines vorgegebe- nen makroskopischen Zustandes.

$$S = k_B \ln n_{RM}$$

$n_{RM} \hat{=}$ mikroskopische Realisierungsmöglichkeiten für einen makroskopischen Zustand

1.8 Thermodynamik realer Gase und Flüssigkeiten

1.8.1 Clausius-Clapeyron-Gleichung

$$Q(T) = T \cdot \frac{\mathrm{d}p_S}{\mathrm{d}T} \cdot (V_G - V_L)$$

Q ist die Verdampfungswärme für eine vorgegebene Stoffmenge (z.B. ein Mol), V_G bzw. V_L sind die entsprechenden Volumina falls sich die Substanz vollständig in der Gasphase bzw. im flüssigen Aggregatzustand befindet (Liquid), für die gleiche Stoffmenge. Entsprechendes gilt für die anderen Phasenübergänge.

Mit den Approximationen $V_G \ll V_L$ und $Q = \text{const}$ (d.h. nicht T-abhängig) kann man aus der Clausius-Clapeyron-Beziehung die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur näherungsweise berechnen:

$$W \frac{\mathrm{d}T}{T} = \mathrm{d}p_S \cdot V_G$$

Integration führt nun zu folgendem Ausdruck:

$$p_S = p_S^0 \cdot e^{-\frac{Q}{Nk}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

1.8.2 Zustandsgleichung des realen Gases

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

1.8.3 Boltzmann-Faktor

$$N(R) \propto e^{-\frac{E}{kT}}$$

1.9 Zeichen und ihre Bedeutung

$$\begin{aligned}
p &\iff \text{Druck/Pressure} \\
V &\iff \text{Volumen} \\
T &\iff \text{Temperatur} \\
f &\iff \text{Zahl der Freiheitsgrade} \\
n &\iff \text{Stoffmenge (in mol)} \\
N &\iff \text{Stoffmenge} \\
U &\iff \text{innere Energie} \\
Q &\iff \text{Wärmeenergie} \\
\vec{j} &\iff \text{Netto-Teilchenstromdichte bei Diffusion} = -D \cdot \vec{\nabla} n \\
\mathrm{d}R &\iff \text{Reduzierte Wärmemenge } = \frac{\mathrm{d}Q}{T} \\
\mathrm{d}S &\iff \text{Entropie } = \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T} \\
\kappa &\iff \text{Adiabatenindex } = \frac{c_P}{c_V} && = \frac{f+2}{f} = 1 + \frac{2}{f} \\
\\
N_A &\iff \text{Avogadro-Konstante} \\
R &\iff \text{allgemeine Gaskonstante} \\
k &\iff \text{Boltzmann-Konstante} \\
c &\iff \text{spezifische Wärmekapazität } = \frac{\Delta Q}{M \Delta T} \\
D &\iff \text{Diffusionskonstante} \\
\sigma &\iff \text{Stefan-Boltzmann-Konstante } = 5.77 \cdot 10^{-8} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 K^4}} \\
\varepsilon &\iff \text{Absorptionsgrad } \leq 1
\end{aligned}$$

2 Elektrostatik

2.1 Haubtsätze

2.1.1 Gaußsches Gesetz

$$\begin{aligned}
\vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\
\implies Q &= \iiint_V \rho \, \mathrm{d}V = \epsilon_0 \oiint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S}
\end{aligned}$$

$$\Longrightarrow \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}\frac{Q}{r^2}\vec{e_r}$$

2.2 Kondensator

2.2.1 Plattenkondensator

Elektrisches Feld:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0\epsilon_r A}$$

Spannung:

$$U = \frac{Q}{d} \overset{reihe}{\Longrightarrow} U = U_1 + U_2 \overset{parallel}{\Longrightarrow} U_1 = U_2$$

Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0\epsilon_r\frac{A}{d} \overset{reihe}{\Longrightarrow} \frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \overset{parallel}{\Longrightarrow} C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

2.2.2 Zylinderkondensator

Elektrisches Feld:

$$E = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0\epsilon_r}$$

Kapazität:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r\frac{l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

2.2.3 Kugelkondensator

Elektrisches Feld:

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2\epsilon_0\epsilon_r}$$

Kapazität:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$$

3 Elektrik

3.1 Aufgabenformate

1. Driftgeschwindigkeit bestimmen

$$\begin{aligned} v_D &\overset{(a.)}{=} \sigma_{el}E \overset{(a.)}{=} \frac{E}{\varrho} \overset{(a.)}{=} a \cdot \tau \overset{(a.)}{=} \frac{j}{nq} \\ &= \frac{I}{nqA} \end{aligned}$$

2. Mittlere Flugzeit zwischen Kollisionen von Elektronen im Leiter

$$\tau = \frac{v_D}{a} = \frac{v_D m_e}{qE} = \frac{I m_e}{nAq^2E}$$

3. Mittlerer Weglänge:

$$\begin{aligned}
\Lambda &= v\tau \\
\frac{1}{2}m_e v^2 &= \frac{3}{2}k_B T \\
v &= \sqrt{\frac{3k_BT}{m_e}} \\
\Lambda &= \tau\sqrt{\frac{3k_BT}{m_e}}
\end{aligned}$$

3.2 Strom

$$I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \oint j\,\mathrm{d}A = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int \varrho_{el}\,\mathrm{d}V$$

3.3 Beweglichkeit

$$\begin{aligned}
\vec{v}_D &= \mu \cdot \vec{E} = \frac{I}{nq} \\
n &= \frac{Q_{frei}}{V}\mu & &= \frac{q}{m}\tau_s
\end{aligned}$$

3.3.1 Kontinuitätsgleichung

$$\vec{\nabla} j(r,t) = -\frac{\partial}{\partial t}\varrho_{el}(r,t)$$

3.4 Knotenregel

$$0 = \sum_i I_i$$

3.5 Maschenregel

$$\begin{aligned}
0 &= \sum_i U_i \\
-U_0 &= \sum_{i\geq 1} U_i
\end{aligned}$$

3.6 Zeichen und ihre Bedeutung

$$
\begin{aligned}
I = \frac{U}{R} &\Longleftrightarrow \text{Stromstärke} \\
U = IR &\Longleftrightarrow \text{Spannung} \\
R = \frac{I}{U} = \rho_R \frac{L}{A} &\Longleftrightarrow \text{Widerstand} \\
\vec{j} = \frac{I}{A} = \sigma_e \cdot \vec{E} = nq\vec{v}_D &\Longleftrightarrow \text{Stromdichte} \\
n = \frac{N}{V} &\Longleftrightarrow \text{Ladungsträgerdichte} \\
\vec{v}_D = \mu \vec{E} = \vec{a}\tau_s &\Longleftrightarrow \text{Driftgeschwindigkeit} \\
\tau_s = \frac{\mu m}{q} &\Longleftrightarrow \text{mittlere Zeit zwischen zwei Stößen} \\
\mu = \frac{q}{m}\tau_s &\Longleftrightarrow \text{Beweglichkeit} \\
\sigma_e = \frac{q^2}{m} n\tau_s &\Longleftrightarrow \text{elektrische Leitfähigkeit} \\
\rho_R = \frac{1}{\sigma_e} &\Longleftrightarrow \text{spezifischer Widerstand} \\
&\Longleftrightarrow \\
&\Longleftrightarrow \\
&\Longleftrightarrow
\end{aligned}
$$