

Experimental Physics II

Luca Cordes

SS 2023/2024

Contents

1	Thermodynamik	1
1.1	I. Hauptsatz	1
1.2	II. Hauptsatz	2
1.3	III. Hauptsatz	2
1.4	Wärmetransport	2
1.4.1	Diffusion	2
1.4.2	Konduktion	2
1.4.3	Wärmestrahlung	2
1.5	Zustandsänderungen	2
1.5.1	Isotherm	2
1.5.2	Isobar	2
1.5.3	Isochor	2
1.5.4	Adiabatisch	3
1.6	Schallgeschwindigkeit	3
1.7	Wärmekraftmaschine / Carnot - Kreisprozess	3
1.8	Energien	3
1.9	Entropie	3
1.10	Formeln	4

Contents

1 Thermodynamik

1.1 I. Hauptsatz

Die gesamt Energie ist in einem geschlossenen System zeitlich konstant.

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

ΔU = die Änderung der (gesamten) inneren Enrgie eines geschlossenen Systemes

ΔQ = von außen zugeführte Wärmeenergie

ΔW = vo außen zugeführte mechanische Energie

1.2 II. Hauptsatz

Wärme fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nicht umgekehrt.
In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie nicht ab $\Delta S \geq 0$.

1.3 III. Hauptsatz

Es ist prinzipiell nicht möglich, den absoluten Temperaturnullpunkt ($T = 0 \text{ K}$) zu erreichen.

1.4 Wärmetransport

1.4.1 Diffusion

Netto-Teilchenstromdichte bei Diffusion:

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

1.4.2 Konduktion

Wärmestromdichte bei Konduktion:

$$\vec{j}_Q = -\lambda \cdot \vec{\nabla} T$$
$$\frac{|dQ|}{S \cdot dt} = \lambda \frac{|\Delta T|}{d}$$

1.4.3 Wärmestrahlung

Gesamtstrahlungsleistung (nach Stefan-Boltzmann-Gesetz):

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

1.5 Zustandsänderungen

1.5.1 Isotherm

$$\Delta T = 0$$

1.5.2 Isobar

$$\Delta p = 0$$

1.5.3 Isochor

$$\Delta V = 0$$

1.5.4 Adiabatisch

$$\Delta Q = 0$$

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

1.6 Schallgeschwindigkeit

Für niedrige Frequenzen:

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

Für hohe Frequenzen

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

1.7 Wärmekraftmaschine / Carnot - Kreisprozess

1.8 Energien

Im Gas:

$$\langle E_{tot} \rangle = \frac{f}{2} k_B T$$

Allgemein:

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

1.9 Entropie

Klassischer, thermischer Entropiebegriff:

$$\begin{aligned}dS &= \frac{dQ_{rev}}{T} \\ \Delta S &= \int_K \frac{dQ_{rev}}{T}\end{aligned}$$

Statistischer Entropiebegriff:

Die Entropie ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit eines Zustandes, d.h. für die Anzahl der mikroskopischen Realisierungsmöglichkeiten eines vorgegebenen makroskopischen Zustandes.

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

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

1.10 Formeln

Zustandsgleichung des idealen Gases:

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

Zustandsgleichung des realen Gases:

$$\left(p + \frac{aN^2}{V^2}\right) \cdot (V - Nb) = NkT$$

Gesamte kinetische Energie, abhängig von Freiheitsgraden:

$$E_{kin}^{tot} = \frac{f}{2} kT$$

Expansionsarbeit:

$$|\Delta W| = p\Delta V$$

$$\langle E_{kin}^{atom} \rangle = \frac{3}{2} k \cdot T$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V} = 3\alpha \Delta T = \gamma \Delta T$$

Zeichen und ihre Bedeutung:

$p \iff$ Druck/Pressure

$V \iff$ Volumen

$T \iff$ Temperatur

$f \iff$ Zahl der Freiheitsgrade

$n \iff$ Stoffmenge (in mol)

$N \iff$ Stoffmenge

$U \iff$ innere Energie

$Q \iff$ Wärmeenergie

$\vec{j} \iff$ Netto-Teilchenstromdichte bei Diffusion $= -D \cdot \vec{\nabla} n$

$dR \iff$ Reduzierte Wärmemenge $= \frac{dQ}{T}$

$dS \iff$ Entropie $= \frac{dQ_{rev}}{T}$

$\kappa \iff$ Adiabatenindex $= \frac{c_P}{c_V}$

$$= \frac{f+2}{f} = 1 + \frac{2}{f}$$

\iff

\iff

\iff

$N_A \iff$ Avogadro-Konstante

$R \iff$ allgemeine Gaskonstante

$k \iff$ Boltzmann-Konstante

$c \iff$ spezifische Wärmekapazität $= \frac{\Delta Q}{M \Delta T}$

$D \iff$ Diffusionskonstante

$\sigma \iff$ Stefan-Boltzmann-Konstante $= 5.77 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$

$\varepsilon \iff$ Absorptionsgrad ≤ 1

\iff

$$pV = NkT$$