

VL Theo IV

Mi 12¹⁵ - 13⁴⁵
Fr 8³⁰ - 10⁰⁰ } EW 203

Ausgabe ÜE-Zettel: Mi in der VL

Anzahl Freitag bis 12⁰⁰ Briefkasten Althaus
Abgabe in Dreiergruppen!

Scheinkriterien:

- 50 % der Punkte auf der Übungsblätter
- aktive Teilnahme im Tutorium
mind. 1 x Vorrechnung
- ^{Bestandene} Klausur: 04.07.2014 um 8⁰⁰
in ER 270

0. Einführung

Ziel der Thermodynamik und Statistik

⇒ theoretische Beschreibung von Systemen mit
vielen Freiheitsgrade
($N \sim 10^{23}$)

Beispiele:

- Gase

1 Mol $\hat{=}$ 6.024×10^{23} Teilchen
eines einatomigen Gases

Freiheitsgrade (Klassisch):

Orte $\underline{r}_i(t)$, $\underline{p}_i(t)$

↖ Impulse

- Flüssigkeiten

(im Unterschied zum Gas hat
man hier Wechselwirkung)

→ Korrelation zw. den Teilchen

- Festkörper

Freiheitsgrade: - Position der Atome

- Elektronen

- Phononen (Gitterschwingungen)

- Quantengase:

quantenmechanische Eigenschaften wichtig,
Fermionen / Bosonen

Beschreibungsebenen eines Vielteilchensystems

• mikroskopisch

→ vollständige Angabe des Gesamtzustandes des Systems zu einer Zeit t

involviert alle Freiheitsgrade!

z.B. $Q_i(t), p_i(t), i=1, \dots, N$
Klassisches System

$|\psi_i(q_i, t)\rangle$ Dirac-Zustand
← z.B. Spin aller Teilchen

⇒ sehr viele Variablen

⇒ Definition des „Mikrozustand“

• makroskopisch

⇒ Reduktion auf wenige Variablen, die auch experimentell zugänglich sind!

z.B. Temperatur T

Druck P (im Gas, Flüssigkeit)

Magnetismus M

⇒ Definition des "Mikrozustands"

Rolle / Aufgabe der Thermodynamik:

→ Beschreibung der Systeme
auf Makroebene

Thermodynamik liefert allgemeine Beziehung
zw. den makroskopischen Variablen

Beispiel: Änderung der Quantenzustände
bei Expansion oder Kompression
eines Gases (d.h. Änderung des
Gesamtvolumens)

Rolle / Aufgabe der Statistischen Physik

"Brücke" zwischen Mikro- und
Makroebene

d.h. Berechnung makroskop. Parameter auf Basis von Informationen aus der 'Mikrowelt'

→ makroskop. Begründung der Thermodynamik!

Problem: Umgang mit der Menge von Informationen die im Mikrozustand enthalten ist ?
(und dann noch als Fkt. der Zeit?)

„Lösung“:

Statische Beschreibung

(Methoden aus der Wahrscheinlichkeitstheorie)

→ Fokus auf Mittelwert und Schwankung darum

Hoffnung dabei:

Die Mittelwerte beschreiben das System bereits hinreichend gut; Fluktuationen sind klein

Wir werden später sehen, dass dies für große Systeme meist auch der Fall ist

Sowohl bei der Statist.-Physik als auch der Thermodynamik unterscheidet man

a) Gleichgewicht

(abgeschlossene Systeme,
Observationen laufen für große Zeiten auf
konstante Werte
z.B. Grundenergie)

b) Nichtgleichgewicht

(offene Systeme, Systeme in zeitabhängigen
Zuständen)
→ Transporteigenschaften

Themenüberblick:

- Wahrscheinlichkeitstheorie (Elemente
daran)
- Statistische Ensembles
klassisch und quantenmechanisch
⇒ Bezug zur Thermodynamik
z.B. Entropie
(auch Informationsentropie)

- Thermodynamik
Hauptsätze, Prozesse
- Wechselwirkende Systeme: Gase, Flüssigkeiten, Feststoffe
- Quantenstatistik

0.1. Kurzer historische Überblick

- Avogadro (1776-1856)

⇒ Zustandsgleichung idealer Gase (1841)

$$\frac{p \cdot V}{N \cdot T} = \text{const}$$

Druck \downarrow p Volumen \downarrow V
 Teilchenzahl \downarrow N Temperatur \downarrow T

nicht-wechselwirkende Teilchen
 Boltzmannkonstante k_B

- R. Mayer 1842

→ 1. Hauptsatz der Thermodynamik

$$dE = \underbrace{\delta Q}_{\text{W\u00e4rme, die dem K\u00f6rper zugef\u00fchrt wird}} + \underbrace{\delta A}_{\text{Arbeit, die am K\u00f6rper geleistet wird}}$$

Energie\u00e4nderung eines K\u00f6rpers (f\u00fcr hot Teilchen z.B.)

Experimentell \u00fcberpr\u00fcft durch Joule (1845-1859) anhand von Gasen

• Clausius und Carl Neumann (1850)

→ 2. Hauptsatz der Thermodynamik

es gibt Entropie!

Diese h\u00e4ngt f\u00fcr reversible Vorg\u00e4nge mit der W\u00e4rme wie folgt zusammen:

$$\delta Q = T dS$$

• Maxwell 1860

→ Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung

$$w(\underline{v}) \sim e^{-\frac{m}{2} \frac{v^2}{k_B T}}$$

in einem Gas

Die Geschwindigkeiten sind also statistisch verteilt!

Boltzmann 1874

$$\rightarrow S \sim \ln \Omega(E, V, N)$$

Entropie

↖ Zahl der Mikrozustände
zu festem E, V, N

↑
Energie

ermöglicht "mikroskopische" Berechnung der Entropie

• Gibbs (1839-1903)

→ Wahrsch. einer Mikrozustand mit der Gesamtenergie E ist

$$W_i \sim e^{-E_i / kT}$$

„ Boltzmannverteilung “

• Fermi & Dirac 1926

Statistik idealer Fermionen

Teilchen mit
halbzahligen Spin
(Elektronen)

1

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{(\epsilon_i - \mu)/kT} + 1}$$

Besetzungszahl

- Bose & Einstein 1924: Statistik idealer Bosonen (z.B. He⁴)

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{(\epsilon_i - \mu)/kT} - 1}$$

chem. Potential

Weitere neue Entwicklungen:

- Phasenübergänge
- ungeordnet Medien, Spingläser, fraktale Systeme } Gleichgewicht
- irreversible Prozesse, geordnete Systeme
- Systeme weit weg von Gleichgewicht
- Biosysteme } Nicht-Gleichgewicht

→ Statistische Physik als Querschnittsmethode!