

VL Theo IV

Mi 12¹⁵ - 13⁴⁵
Fr 8³⁰ - 10⁰⁰ } EW 203

Ausgabe ÜE-Zettel: Mi in der VL

Abgabe Freitag bis 12⁰⁰ Briefkasten Althaus
Abgabe in Dreiergruppen!

Scheinkriterien:

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

0. Einführung

Ziel der Thermodynamik und Statik

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

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

- Flüssigkeit

(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 sehr Vielteilchensystem

• mikroskopisch

⇒ Vollständige Angabe des Gesamtzustands
des Systems zu einer Zeit t

involviert alle
Freiheitsgrade!

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

$| \psi_i(q_i, p_i, t) \rangle$ 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 Gesamtenergie
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 Information
die im Mikrozustand enthalten ist ?
(und dann noch als Fkt. der Zeit?)

«Lösung»:

Statische Beschreibung

(Methoden aus der Wahrscheinlich-
keitstheorie)

⇒ Fokus auf Mittelwerte und
Schwankung darum

Hoffnung dabei:

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

Wir werden später ~~et~~ 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,
Observablen laufen für große Zeiten auf
konstante Werte
z.B. Gesamtenergie)

b) Nichtgleichgewicht

(offene System, System in zeitabhängigen
Feldern)
⇒ Transporteigenschaften

Themenüberblick:

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

- Thermodynamik
Hauptsätze, Prozesse
- Wechselwirkende Systeme: Gase, Flüssigkeit, Spinsysteme
- Quantenstatistik

0.1. Kurzer historische Überblick

- Avogadro (1776-1856)

⇒ Zustandsgleichung idealer Gase (1811)

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

Druck \downarrow p - Volumen V
 Teilchenzahl N Temperatur T
 Boltzmannkonstante k_B

nicht-wechselwirkende Teilchen

- 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 fest Teilchenzahl)

Experimentelle \u00dcberpr\u00fcfung durch Joule (1843-1849)
anhand von Gasen

- Clausius und Lord Kelvin (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

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

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. ermöglicht für das Auftreten eines
Mikrozustands mit der Gesamtenergie E_i ist

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

"Boltzmannverteilung"

• Fermi & Dirac 1926

Statistik idealer Fermionen

Teilchen mit
halbzahligen Spin
(Elektronen)

1

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{(E_i - \mu)/k_B T} + 1}$$

Belegzahl

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

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{(E_i - \mu)/k_B T} - 1}$$

chem. Potential

Weitere neuere Entwicklungen:

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

→ Statistische Physik als Querschnittsmethode!