

Theoretische Physik IV

Thermodynamik + Statistik

→ <http://www.itp.tu-berlin.de/menne/lehre>

V:

Mi: 12.15 - 13.45 (EW 203)

Fr: 8.30 - 10.00 (EW 203)

- UE:
- Ausgabe der Zettel am Mi in der VL
 - Abgabe: jeweils Donnerstags in Buchkasten / Altkau bis 11h
 - Bearbeitung der Zettel in 2- oder 3er Gruppe

Scheinkriterien:

- 50% Punkte UE-Zettel

- mind. 1x korrekte
aktive Teilnahme!

- Beständene Klausur:

Termin: 04.07.2012 (Mi)

12-14h

0. Einführung

Ziel: der Thermodynamik und Statistischen Physik?

⇒ theoretische Beschreibung der physikalischen Eigenschaften von Systemen mit sehr vielen Freiheitsgraden!

Beispiele:

- Gase:

1 Mol $\hat{=}$ 6.024×10^{23} Teilchen
(Atome, Moleküle)

Klassische Freiheitsgrade

Orte $\underline{r}_i(\epsilon)$

Impulse $\underline{p}_i(\epsilon)$

- Flüssigkeiten (wechselwirkendes Vielteilchensystem)

- Festkörper:

- Positionen der Atome
- Elektronen

→ quantenmechanisches Vielteilchensystem!

- Quantengase

Beschreibungsebenen Solcher Vielteilchensysteme

• mikroskopische Ebene

→ vollständige Angabe der Konfiguration
(des mikroskopischen Zustands) des Systems
zu einer Zeit t

z.B. Klassisch: $M_i(t), f_i(t), i=1, \dots, N$

Quant: $|\Psi(q_i, t)\rangle$
↑
Dieser Zustand
z.B. Spin-Konfigurationen

involviert alle Freiheitsgrade!

makroskopische Ebene

Idee: Reduktion auf wenige Variablen

— möglichst solche, die auch experimentell
zugänglich sind!

z.B. $\left. \begin{array}{l} \text{Temperatur } T \text{ des Systems} \\ \text{Druck } P \\ \text{Energie } E \\ \text{Magnetisierung } M, \text{ Polarisation } P \text{ etc.} \end{array} \right\}$

„Makrozustand“ (makroskop. Zustand)

Rolle der Thermodynamik

→ Beschreibung der Systeme
auf der makroskop. Ebene

Thermodynamik liefert allgemeine Beziehungen
zwischen den makroskop. Variablen!

Beispiel: Änderung der Energie bei
Expansion oder Kompression
eines Gases

Rolle der statistischen Physik

"Brücke" zwischen Mikro- und Makrowelt

d.h. Konket

- Berechnung der makroskopischen Parameter
auf Basis des Mikrozustand

Beispiel: Magnetisierung M

Berechnung auf Basis der mikroskop. Spin-
Konfiguration als Funktion
von Temperatur, Magnetfeld

- mikroskopische Begründung
thermodynamischer Beziehungen!

Problem: sehr viele Freiheitsgrade

— wie geht man mit der Fülle
von Information um?

"Lösung"

statistische Beschreibung
(Wahrscheinlichkeitstheorie)
→ Fokus auf Mittelwert

Hoffnung: Die Mittelwerte beschreiben das System
hinreichend gut, Fluktuationen sind also
klein! — verbunden mit $\frac{1}{N}$!
in der Regel $\frac{1}{N}$!

Sowohl bei der Statistik als auch
bei der Thermodynamik unterscheidet
man

- Beispiel
- (a) Gleichgewicht
(betrachte ein System ohne äußere Einflüsse
(abgeschlossen))
- Observation (z.B. Energie) laufen für große
Zeiten auf konstanten Wert zu
- ↳ (b) Nichtgleichgewicht / Transport
offene Systeme, Systeme in zeitabhängigen Feldern

hier in dieser VL:

Idios auf Gleichgewicht

Themenübersicht

- Elemente aus der Wahrscheinlichkeitstheorie
- Statistische Ensemble
Klassisch, Quantenmechanisch, Informations-
Categorien
- Thermodynamik: Hauptsätze, Prozesse
- Anwendungen auf Gase, Flüssigkeiten, Festkörper
- Quantenstatistik
wechselwirkende Vielteilchensysteme

0.1. Kurze historische Überblick

• A. Avogadro (1776 - 1856)

→ Zustandsgleichung ideale Gase (1811)

↑ Keine Wechselwirkung

Druck →
$$\frac{P \cdot V}{N \cdot T} = \text{const}$$

↑ Teilchenzahl

↑ Volumen

↑ Temperatur

← Boltzmann Konstante k_B

• R. Mayer 1842

⇒ 1. Hauptsatz der Thermodynamik

$$dE = \underbrace{\delta Q}_{\text{Energieänderung eines Körpers}} + \delta A$$

Wärme, die dem Körper zugeführt wird

Arbeit, die aus dem Körper geleistet wird (z.B. Kompression)

• Clausius & Lord Kelvin (1850)

⇒ 2. Hauptsatz der Thermodynamik

⇒ es gibt eine Entgröße. Diese hängt für bestimmte Vorgänge mit der Wärme zusammen

$$\delta Q = T dS \quad \text{Entgröße}$$

• Maxwell 1860

→ Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung

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

• Boltzmann 1874

Brücke zw. Thermodyn. und Statistik!

$$S = k_B \ln \Omega(E, V, N)$$

Entropie

Boltzmannkonstante

Zahl der Mikrozustände des Systems bei vorgegebener Energie, Volumen, Teilchenzahl

• Gibbs (1839 - 1905)

→ Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Mikrozustands bei einer

John (Umgebungs-) Temperatur T

$$w_i \sim e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$$

E_i : Energie des Systems
im Zustand i

• Fermi & Dirac 1926

⇒ Statistik ideale Fermionen (Elektronen)

• Bose & Einstein 1924 ⇒ Statistik ideale Bosonen

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

mittlere Besetzung
des Quantenzustands i

" - " Bosonen

" + " Fermionen

• Planck :

Statistik von Photonen (masselose Bosonen)

Wichtige neue Entwicklungen :

Phasenübergänge, ungeordnet Medien, irreversibler Prozess,
Systeme weit weg vom therm. Gleichgewicht,
biologische Systeme

→ Statistische Physik als
„Querschnittsmethode“

für Vielteilchensysteme