Theoret. Physik IV (BSc): Thermodynamik u. Statistik

VL E. Schöll SS 2009

Do 10:15 – 11:45 EW 203
Fr 8:30 – 10:00 EW 203

Inhalt:

Makroskop. phänomenolog. Thermodynamik

mikroskop.-statist. Begründung: $\Uparrow$ Mittelwertbildung von Mikroobserv.

statist. Physik von Vielteilchensystemen
(klass. u. quantenmech.)

Historisch: Einteilung der Physik nach Sinneswahrnehmungen:
Optik, Akustik, Wärmelehre

methodisch: Statist. Physik als Methode zur Beschreibung von Systemen mit vielen Freiheitsgraden, unabhängig von der Stoffklasse

$\swarrow$ Flüssigkeiten, Gase, Festkörper, weiche Materie
Astrophysik, Molekülcluster, Atome, ... Elementarteilchen

Einteilung:

a) Gleichgewichtsthermodynamik (Thermostatik)

b) Nichtgleichgewicht

lineare Thermodynamik irreversibler Prozesse (TIP)

nichtlineare " fern vom Gleichgewicht

Thermodyn. System sind phys. Systeme mit einer sehr großen Anzahl von Freiheitsgraden.

(i) 1 Mol $\hat{=}$ 6×10^{23} Gasmoleküle

(ii) $N = 10^{23}$ Elektronen in einem Festkörper

Mikrozustand: vollständige klass. oder quantentheor. Angabe des Zustandes zu einer Zeit t

Beispiel: (i) klass. $\underline{r}_i(t)$, $\underline{p}_i(t)$ für $i = 1, .., N$

(ii) $\langle s_1, \cdots, s_N | \alpha, t \rangle$ $\quad s_i = \pm \frac{1}{2}$ Spin-Eigenzust.

Anzahl der mögl. Mikrozustände: 2^N

Makrozustand (= thermodyn. Zustand):
Beschreibung durch typ. makroskop. Observable (Meßgrößen):

(i) Arbeitskoord. (äußere Parameter): Volumen, el. u. magn. Felder

(ii) innere Systemkoord. (makroskop. Mittelwerte von Mikroobservablen): Energie, Impuls, elektrische Polarisation, Magnetisierung

Thermodynamik $\longrightarrow$ Informationsreduktion der Kenntnis des Mikrozustandes auf Makrozustand durch zeitl. Mittelung oder Ensemble-Mittelung.

Literatur: F. Schlögl: Probabity and Heat
u.a. s. Webseite

1. Grundlagen der Statistik

(i) Begriff der Wahrscheinlichkeit u.
(ii) Begriff der Informationsmaße
→ allg. Zusammenhänge, die eine Anwendung in daraus abgeleiteten makroskop. thermodyn. Relationen (z.B. Hauptsätzen) haben.

NB: auch Anwend. auf nichtphysikal. Systeme, z.B. Computersimulationen → biolog. Systeme, Hirn, Ökonomie, Finanzmärkte, Börsencrash, Verkehrsfluss auf Straßen, Netzwerke: Stromnetz, Internet, Flugnetz, neuronaler Netzwerke
(Seminar: Nichtlineare Dynamik von Netzwerken)
Di 16:00 GW 731

1.1 Wahrscheinlichkeitsbegriff

Ereignis (event): Meßergebnis von Obs. oder Mikrozustand

Die Ereignisse bilden einen Boole'schen Verband $\mathfrak{A}$ (Ereignisalgebra):

$\cup$ (Vereinigung: "oder")

$\cap$ (Durchschnitt: "und")

Für $A, B, C \in \mathcal{A}$ gilt:

$A \cap B = B \cap A$, $A \cup B = B \cup A$ Komm.gesetz

$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$, $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ Assoz.gesetz

$A \cap (A \cup B) = A$, $A \cup (A \cap B) = A$ Verschmelzungsgesetz

$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$, $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ Distrib.gesetz

$\exists\, S$ (Einselement: "sicheres Ereignis"): $A \cap S = A$

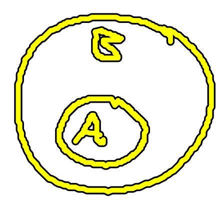
$\exists\, \emptyset$ (Nullelement: "leeres Ereignis"): $A \cup \emptyset = A$

$\forall A \in \mathcal{A}\ \exists B$: $A \cap B = \emptyset$, $A \cup B = S$ Komplement

($B = \neg A = \bar{A}$: nicht A)

Induzierte Halbordnung:

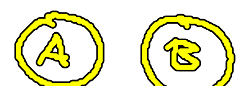
$A \subseteq B$, falls $A \cap B = A$



(A impliziert B)

$A \Rightarrow B$

A und B sind disjunkt, falls $A \cap B = \emptyset$



Vollständige disjunkte Ereignismenge (sample set)

$\{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$ mit $A_i \cap A_j = A_i \delta_{ij}$

$$\bigcup_{i=1}^{n} A_i = S$$

Beispiel: $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ beim Würfel

(NB: diese Menge M ist keine Algebra, da $A \cup B \notin M$, $\bar{A} \notin M$)

Wahrscheinlichkeit

empirische Definition: $P(A) = \lim\limits_{N \to \infty} \frac{N(A)}{N}$

$\frac{N(A)}{N}$ relative Häufigkeit des Ereignisses A

$N(A)$ Zahl der Exp. mit Ergebnis A

N Zahl der Exp. insgesamt

axiomat. Def. (Kolmogoroff)

Sei $A \in \mathfrak{A}$ (Boole'scher Verband)

Sei $S \in \mathfrak{A}$ das sichere Ereignis

Dann erfüllt die Wahrscheinl. $P(A) : \mathfrak{A} \to \mathbb{R}_+$

die Axiome:

$$P(A) \geq 0$$

$$P(S) = 1$$

$$A \cap B = \emptyset \implies P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

(Ereignisse disjunkt)

Folgerung

$$P(A) + P(\bar{A}) = P(A \cup \bar{A}) = P(S) = 1$$

$$\implies P(A) \leq 1$$