

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

←
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 $\hat{=} 6 \times 10^{23}$ Gasmoleküle

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

Mikrozustand: vollständige klass. oder quantentheor.

Angabe des Zustandes zu einer Zeit t

Beispiel: (i) klass. $r_i(t), p_i(t)$ für $i=1, \dots, N$

(ii) $\langle s_1, \dots, s_N | \alpha, t \rangle$ $s_i = \pm \frac{1}{2}$ 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 \rightarrow Informationsreduktion des Kenntnis des Mikrozustandes

auf Makrozustand durch zeitl. Mittelung
oder Ensemble-Mittelung.

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

1. Grundlagen der Statistik

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

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

1.1 Wahrscheinlichkeitsbegriff

Ereignis (event): Messergebnis von Obs.
oder Mikrozustand

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

\cup (Vereinigung : "oder")

\cap (Durchschnitt : "und")

Für $A, B, C \in \mathcal{A}$ gilt:

$A \cap B = B \cap A$, $A \cup B = B \cup A$ Kommut.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

$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$, $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ Distributivgesetz

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

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

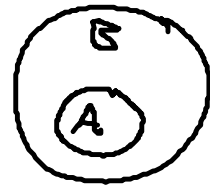
$\forall A \in \mathcal{A} \exists B$: $A \cap B = \emptyset$, $A \cup B = S$ Komplement

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

$\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 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: $P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N(A)}{N}$

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

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

N Zahl der Exp. insgesamt

axiomat. Def. (Kolmogoroff)

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

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

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

die Axiome:

$$P(A) \geq 0$$

$$P(S) = 1$$

$A \cap B = \emptyset \Rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B)$
(Ereignisse disjunkt)



Folgerung

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

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