

0. Einführung

Gegenstand: Wärme und damit zusammenhängende Phänomene
- eine der unmittelbarsten Sinneserfahrungen, weil überlebenswichtig.
Wärme lässt sich in Mengen portionieren: „extensive“ Eigenschaft,
wurde daher zunächst als Stoff („kalorisches Fluid“) aufgefasst:
kalorische Theorie d. Wärme. Wärmefluss wird gesteuert durch
ein „Potenzial“ namens Temperatur („intensive“ Eigenschaft).
Symbol Q f. Wärme deutet eine gewisse Analogie mit elektrischer
Ladung an, aber wichtiger Unterschied: Wärme ist nicht erhalten!
Sie kann nicht nur fließen, sondern auch erzeugt werden, u.a.
durch chemische Reaktionen (nämlich „exotherme“) und me-
chanische Arbeit (Reibung). Umgekehrt kann Wärme in endo-
thermen Reaktionen „verbraucht“ und in mechanische Arbeit
umgewandelt werden (z.B. Konvektion \rightarrow Wetter). Erste
technische Anwendung: Dampfmaschine, spielerische
Vorläufer im 1. Jht. (Herosball), industriell genutzt
ab dem 18. Jht., ausgereift durch James Watt.

Optimierung v. Wärmemaschinen gab Anstoß zur Entwicklung
d. theoretischen Disziplin Thermodynamik, beginnend
mit Sadi Carnot (1. H. 19. Jht.), fortgesetzt von Clausius
u. Kelvin (2. H. 19. Jht.): Wärme und Temperatur sind
fundamentale Begriffe. Erstes wichtiges Resultat: Wärme
kann nicht vollständig in Arbeit verwandelt werden.

Empirisch inspirierte Axiome = Hauptsätze sind der logische Ausgangspunkt (ursprünglich nur 1. = Energieerhaltung und 2. = Nichtabnahme d. Entropie eines isolierten Systems)

Entropie eingeführt von Clausius durch $dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$,

mathematisch wohldefiniert, aber unanschaulich.

Vorzüge d. klassischen Thermodynamik: Allgemeinheit, mathemat. Eleganz u. zeitlose Gültigkeit (im Sinn einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit f. große Systeme)

Schwächen: Das axiomatische Fundament lässt Fragen offen (kalorische Theorie klärt nicht die wahre Natur der Wärme) und ist im physikalischen Sinn nicht exakt. Die Thermodynamik weiß nichts von Atomen und Molekülen! Diese Schwächen werden überwunden durch die

Statistische Physik

Hervorgegangen aus der kinetischen Theorie d. Wärme (Wärme = kinet. Energie d. Moleküle). Beschreibt große Systeme (viele Teilchen) mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. (Boltzmann, Gibbs Ende 19. Jhd.) Allerdings ist eine „statistische Mechanik“ aufbauend auf der klassischen Mechanik unzureichend. Viele makroskopische

Phänomene lassen sich nur auf der Grundlage der Quantenmechanik verstehen, die eine Verallgemeinerung der klassischen Wahrscheinlichkeitsrechnung zur „Quantentatistik“ erfordert. Die statistische Mechanik ist daher zur „statistischen Physik“ zu erweitern.

Methodik: Gesucht ist nicht die exakte Beschreibung der mikroskopischen Eigenschaften eines „großen“ Systems (zu kompliziert bei typisch $\sim 10^{23}$ Teilchen), sondern einiger weniger makroskopischer Parameter (Volumen, Gesamtenergie, Druck, Temperatur), die ein System für alle praktischen Zwecke hinreichend charakterisieren (denn das überhaupt möglich ist, ist durchaus nicht trivial).

Einem vollständigen Satz von makroskopischen Parametern entspricht ein Makrozustand = Gesamtheit („Ensemble“) von sehr vielen Mikrozuständen mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung^{*}). Die einfachsten Makrozustände sind die Gleichgewichtszustände (zeitunabhängig u. stabil) = wahrscheinlichste Makrozustände (die mit der „wahrscheinlichsten“ Verteilung).

Grundbegriff d. statist. Physik: statistische Entropie, ist allgemeiner als die thermodynamische Entropie.

^{*}) quantenmechanisch beschrieben durch eine sog. „Dichtematrix“

Im einfachsten Fall wird sie beschrieben durch die „Boltzmann-Formel“ (stammt von Planck!)

$S = k \ln W$, W = Zahl d. Mikrozustände eines isolierten Systems. Die Begriffe Temperatur und Wärme werden daraus abgeleitet. Eine natürliche Interpretation der statist. Entropie ist die als Informationsdefizit eines Makrozustands.

Anwendungen

Die statistische Betrachtungsweise ist in allen Teilgebieten der Physik nützlich: z.B. gibt es eine statistische Quantenfeldtheorie und auch die Gravitation weist bemerkenswerte thermodynamische Eigenschaften auf, deren statistische Deutung Gegenstand aktueller Forschung ist. Ein weiteres wichtiges Anwendungsbereich der statistischen Physik ist die heile Frühphase des Universums kurz nach dem „Urknall“. Statistische Physik ist also ein universell anwendbares Instrument, das auch fächerübergreifend in der Chemie und Biologie eine wichtige Rolle spielt.

Inhalt dieser Vorlesung

Betrachten hauptsächlich Systeme im thermischen Gleichgewicht.
Obwohl Annäherung an das thermische Gleichgewicht aus einem beliebigen Anfangszustand („Thermalisierung“) nur auf Grund mikroskopischer Wechselwirkungen möglich ist, sind diese im Gleichgewicht selbst oft vernachlässigbar. Teilchen eines idealen Gases können als frei genähert werden.

Nichtgleichgewichtsvorgänge sind Gegenstand der kinetischen Theorie, deren klassische Grundgleichung die Boltzmann-Gleichung ist.

- Plan :
1. Quantenstatistik mit den wichtigsten Anwendungen
 2. Thermodynamik
 3. kinetische Theorie und Nichtgleichgewichtsvorgänge

Die Schwierigkeit d. Vorlesung liegt nicht in der Mathematik, sondern in einer Fülle von Begriffen, deren Aneignung und Anwendung Sorgfalt erfordert!