

Theoretische Physik II : Quantenmechanik

- VL: Di: 8.30h - 10h EW 203
Mi: 8.30h - 10h EW 201

• Übungen:

- Online-Anmeldung ist dringend erforderlich (bis 16.04. Mittwoch)
 - Abgabe in 3-er Gruppen
 - Jeder muß einmal vortragen
- Tabelle der
Übungen
→ Internet
- Klausur: Dienstag 06.07. 7.30h H 0105 (Hauptgebäude)
 - Nach-Klausur: Mittwoch 14.07. 7.30h H 3503

alle Informationen auch auf
der Homepage:

itp.dv-berlin.de

→ Lehrveranstaltungen

→ Theo Phys. II

Verbemerkungen

Zu Motivation und Rolle der QM

Stand der Theoretischen Physik zu Beginn des 20. Jahrhunderts ("klassische Theorie")

• Klassische Mechanik:

→ Theorie der Bewegung materieller Körper in Raum und Zeit

'materiell': so groß, daß man seine Dynamik jederzeit verfolgen kann

→ man kann Ort und ^{Impuls} ~~Zeit~~ des Körpers jederzeit genau angeben!

→ Anfangsbedingungen legen Dynamik fest ("deterministische Theorie")

mittels Newton, Lagrange, Hamiltons

• Klassische Elektrodynamik

• Die wichtigen Größen sind die elektrischen Felder $\underline{E}(\underline{r}, t)$ und die magnetischen Felder $\underline{B}(\underline{r}, t)$
→ bestimmt durch Maxwellgleichungen

→ liefert z.B. Beschreibung
von Lichtwellen
(elektromagnet. Felder im Vakuum)

• Klassische Thermodynamik

Beziehungen zwischen makroskopischen Größen
wie etwa Energie, Wärme, Arbeit, Druck etc.

→ Erster und zweiter Hauptsatz
der Thermodynamik

Die klassischen Theorien versagen im Bereich
atomarer Längenskalen ($10^{-15} \text{ m} - 10^{-9} \text{ m}$)
(und typischerweise tiefen Temperaturen!)
Nanometer

Beispiele für Phänomene, die mit den
klass. Theorien nicht beschreibbar sind:

- Verhalten von Festkörpern
bei niedrigen Temperaturen
(spezifische Wärme)
 - ~~Super~~ Supraleitung
 - Superfluidität (^4He)
 - Ferromagnetismus
- } makroskopische
Quantenphänomene

- Atom- und Kernphysik
→ Spektren, Radioaktiver Zerfall,
Elementartafeln

- Molekülphysik, Chemie

Periodensystem der Elemente
Molekülschwingungen, chem. Bindung

QM = Theorie, die die Abläufe in
atomaren Dimensionen beschreibt ($< 10^{-9}$ m)

Merkmale der Quantentheorie

• nicht-deterministisch

Grundgrößen (z.B. Ort, Impuls) sind nicht
uneingeschränkt gleichzeitig festlegbar (messbar)
sondern sie sind mit Unschärfen behaftet

Heisenbergsche Unschärferelation

$$\Delta q_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2}$$

↑
Ort des Teilchens i
(in 1 Dimension)

↑
Impuls

←
Unschärfe

mit $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h Planck'sche Wirkungsquantum
 $h = 6.624 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

- Ein Messprozess führt zu einer Störung des Systems
- Lineare Theorie: Bewegungsgleichungen sind linear-
(in den Zuständen)
- Erweiterungen der Theorie

→ Quantenstatistik:

QM von Vielteilchensystemen
in mehreren Dimensionen (Fermionen, Bosonen)

• Quantenelektrodynamik, Quantenoptik

Inhalte dieser Vorlesung

I: Einführung, experimentelle Hinweise

II: Schrödinger'sche Wellenmechanik
→ Wellenfunktion, Schrödinger-Gleichung

III: Formalisierung der Quantenmechanik
→ Hilbertraum, Zeitentwicklung, Messprozessen

IV: Drehimpuls und Spin
→ Wasserstoffatom

V. Näherungsmethoden

(evtl. ^{nach} relativistische QM)

„Relevante“ Literatur

- W. Nolting; Grundkurs Theoret. Physik 5-1
5-2
- F. Schwabl; Quantenmechanik
- Eugen Fick; Einführung in die Grundlagen der Quantentheorie
- Messiah; Quantenmechanik 1+2

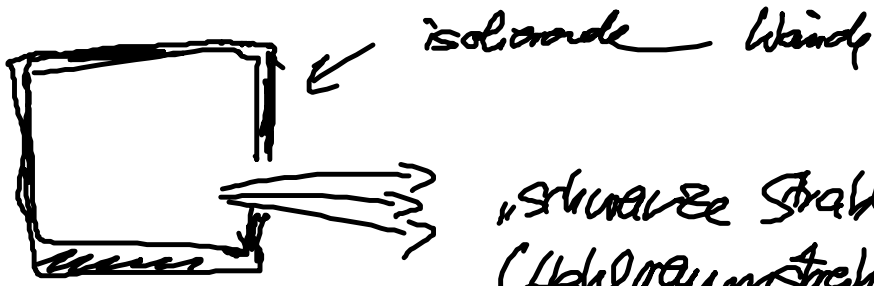
I. Einführung: Experimentelle Hinweise auf die Quantenmechanik

I.1. Planck'sches Strahlungsgesetz (Hohlraumstrahlung)

→ Gesetz zur spektralen Energiedichte der sog. Wärmestrahlung (d.h. einer Form von elektromagnet. Strahlung) eines Festkörpers im thermischen Gleichgewicht

Messung durch „Schwarzen Körper“

↓
Körper, der fast alle auf ihn auftreffende Strahlung absorbiert



(im wesentlichen identisch mit der Wärmestrahlung, die die Innenwände abgeben)

„thermisches Gleichgewicht“:
 „Innenwände absorbieren und emittieren Strahlung, beide Prozesse halten sich die Waage“

Spektrale Energiedichte

$$u(\nu, T) = \frac{dU}{d\nu}$$

← Energiedichte der Wärmestrahlung

↑ ↑
 Frequenz Temperatur

Wien'sche Gesetz (1896)

$$u = \frac{dU}{d\nu} = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right)$$

f ist eine sogenannte Skalenfunktion, die nur vom Verhältnis $\frac{\nu}{T}$ abhängt

Folgerung:

$$U = U(T) = \int_0^{\infty} dv \, u(v, T) \stackrel{\text{Wien}}{=} \sigma T^4$$

mit $\sigma = \text{const}$

„Stefan-Boltzmann Gesetz“

Wie sieht die Spektralfunktion $f(\frac{\nu}{T})$ aus?

Vorschlag von Wien:

$$u = \nu^3 \frac{ae^{-b\frac{\nu}{T}}}{f(\frac{\nu}{T})} \quad \text{mit } a, b = \text{const}$$

aber:

Wien'sche Gesetz ist nur dann verträglich mit den Experimenten, falls ν groß und $\frac{1}{T}$ klein
($b\nu \gg T$)

funktioniert nicht bei kleinen ν (Frequenz)!

daher:

Alternativvorschlag durch Lord Rayleigh (1900)

Ausgangspunkt

- Energie des elektromagnet. Feldes im Hohlraum wird erzeugt durch ein System schwingender Wellen des elektr. und magnetischen Feldes

1. Frage: Wieviel Wellen ~~gibt es~~ (Was ist die Anzahl der Frequenzen) gibt es im Bereich $\nu, \nu + d\nu$

→ Zustandsdichte: $dN(\nu) = 4\pi \left(\frac{3\nu^2}{c^3} d\nu \right)$
↑
Kantenlänge des Hohlraum

2. Frage: Wieviel Energie trägt jede schwingende Welle bei?

→ Gleichverteilungssatz:

Jede Welle liefert einen Beitrag $k_B T$ (Je $\frac{k_B T}{2}$ von der elektr. und magnetischen Anteil)

↑
Boltzmann-Konstante

⇒ $u d\nu = dN(\nu) \cdot k_B T \cdot 2$ ← zwei Polarisationsrichtungen

⇒ $u(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} k_B T$ "Rayleigh-Jeans Formel"