

Theoretische Physik II → Quantenmechanik I → QM

45, E6-118, Di 16-18

www.physik.uni-bielefeld.de/~yorks/gm12

{
Termme
Skript
Übungen

Orga Vorl Di, Do 10.15 - 12 (H6)

Ü Fr 8-10, (10-12)³, (12-14)², ~~14-16~~

D01-249

D01-112A

C01-252

~~D6-135~~

D2-240

D6-135

D3-203

→ Listen: heute

→ erste Ü: Fr 13.4.

KL 28.8. 9.30 (H4)

Nachholtermin 12.1.13 9.30 (H4)

Lit s.a. website

Sem - Apparat ; QD 800 → 3m!

↳ z.B. manchmal zum Lösen der Ü wichtig

Warum QM?

Elektrodynamik + relativistische Mechanik = klassische Physik

→ eine vollständige Theorie

→ aber falsch

→ viele Phänomene, für die die klass. Physik
nicht einen Schimmer der Erklärung zu bieten hat

(z.B.: Atome-Existenz; Spektrallinien; chemische Bindung;
radioaktiver Kern-Zerfall; Gen-Mutationen; Halbleiter;
Ferro-magnet; Supraleiter; Laserenergie; Hardplatten-Strahlung;...)

⇒ suchen bessere Theorie; für das, was man wirklich essen kann

→ gesamte Natur; alle Experimente; alle Kompostellen...

→ klass. Physik muss als Grenzfall enthalten sein

1. Wellenmechanik

1.1 Einführung

Feynman: "I think it is safe to say that nobody understands quantum mechanics"

Problem: Messprozess; nur statistische Aussagen; Korrelationen; fehlende Alltagserfahrung; kein intuitives Verständnis; Quantensysteme haben Teilchen- und Welleneigenschaften

Klassische Physik: 2 fundamentale Konzepte

- Teilchen, mit Koord. x und Impuls p , bewegt sich via Newton
- Welle, füllt Raum, gegeben durch \vec{E}, \vec{B} -Felder, ändert sich via Max.

→ schön und aufgeräumt: materielle Welt + Beleuchtung
 → einfach, intuitiv, deterministisch, reversible Dynamik

- Zustand: Punkt (x, p) im Phasenraum
- Observablen: Funktionen $O(x, p)$ auf Phasenraum
z.B. $x^2 + y^2 + z^2$; $\frac{p^2}{2m}, \dots$

• Dynamik: via Hamiltonian $H(x, p)$

$$\dot{q} = \{q, H\} \text{ für } q = x, p, \dots$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \uparrow \\ \text{Poisson-Klammer} \end{array} \right. \{A, B\} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial A}{\partial x_i} \frac{\partial B}{\partial p_i} - \frac{\partial A}{\partial p_i} \frac{\partial B}{\partial x_i} \right)$$

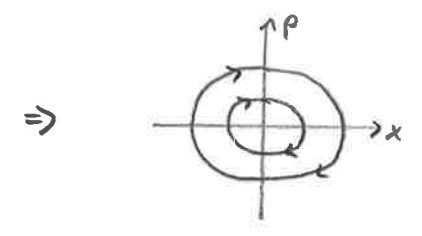


• Bsp: klass. harm. Oszillator

$$H = \frac{\kappa}{2} x^2 + \frac{1}{2m} p^2$$

$$\dot{x} = \{x, H\} = \frac{1}{m} p$$

$$\dot{p} = \{p, H\} = -\kappa x$$



Quantenphysik: fundamentale Konzepte

- Zustand: (komplexer) Vektor $|\psi\rangle$ im Vektorraum \mathcal{H} (Hilbertraum)
- Observable: hermitesche Operatoren $O^\dagger = O$
- Dynamik: $|\psi(t)\rangle = e^{-\frac{i}{\hbar} H t} |\psi(0)\rangle$, H hermitesch, t konstant
- Messprozess: "Kollaps-Postulat"

(einfache Version; schwieriger bei Entartung)

$$\text{wenn } |\phi\rangle = \sum_i \alpha_i |\lambda_i\rangle$$

$$\text{mit } A|\lambda_i\rangle = \lambda_i |\lambda_i\rangle, \lambda_i \neq \lambda_j$$

dann misst man $A = \lambda_i$ mit Wahrscheinlichkeit $|\alpha_i|^2$
und $|\phi\rangle = |\lambda_i\rangle$ nach der Messung

→ beschreibt alle Quantensysteme, und alle Experimente (≠ Gravi.)

(nach evtl. Verallgemeinerungen, z.B. Feldtheorie)

z.B. Atomspektrum (→ Quant. d. Energie)

Halbleiter, Transistoren (→ Quanten-Tunneln)

→ nicht intuitiv, nicht deterministisch, Dynamik nicht reversibel

Bem. • beide Beschreibungen (klass. + qm.) sind für gewisse Gültigkeitsbereiche nützlich

• das klass. Bild ist nicht fundamental

→ wird durch QM ersetzt

• ist QM fundamental?

vielleicht nicht

aber beschreibt alle zur Zeit für Technologie
und Gesellschaft relevante Physik

• (viel) mehr über die obigen Konzepte → diese Vorl.

Historisches (kurz; mehr: z.B. arXiv:physics/0512034)

klass. Bild bröckelt ~ 1900

ca 25 Jahre intensive Debatte (Einstem!) -> QM

1900, Planck: Hohlraumstrahlung (Spektrum exp. bekannt) kann erklärt werden, falls Strahlung (Licht!) nur quantisiert ^{emittiert} _{absorbiert} wird
-> $E = h \nu$ \leftarrow Frequenz
Energie \nearrow \leftarrow Planck'sche Konstante

1905, Einstem: photoelektrischer Effekt (exp. bekannt) kann erklärt werden, falls Licht selbst quantisiert ist
-> Licht-Teilchen \equiv Photonen

1912, Bohr: Wasserstoff-Spektrum (exp. bekannt) kann durch Quantisierung erklärt werden

1924, de Broglie: Teilchen haben Welleneigenschaften (theor. Vorhersage)
-> $E = h \nu = \hbar \omega$ \leftarrow Kreisfrequenz
 $\leftarrow \hbar \equiv \frac{h}{2\pi} \approx 10^{-34} \text{ Js} \approx 6.58 \cdot 10^{-22} \text{ MeVs}$
(manchmal $\hbar = 1 = c$; Hochenergiephysik)
 \swarrow Inputs
 $p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$ \leftarrow Wellenzahl
 \nwarrow Wellenlänge

1926, Schrödinger: Wellengleichung für Wellenfunktion ψ

1926, Born: Wahrscheinlichkeitsinterpretation von ψ

1927, Heisenberg: Unschärferelation für Teilchen mit Welleneigenschaften

Jordan, Pauli, Dirac, ...

Bem. • wichtige Experimente

Doppelspalt -> Photonen sind Wellen

Compton-Effekt -> Photonen sind Teilchen

Beugung von Teilchen-Strahlen am Kristallgitter (s.u.)

• Atome sind klassisch instabil (!!)