

# Theoretische Physik II : Quantenmechanik (3233 L070)

VL SS 2014 Ekehard Schöll

Pflichtvorlesung Bachelorstudiengang Physik: 10 ECTS  
4. Semester, Teil des Moduls TP I/II

(2 Ü-Scheine, 21 ECTS)  
VL Di + Mi 8:15 - 10:00 EW 201

UE 2 SWS Kleingruppen (Tutorien): Anmeldung MOSES bis 16.4.18:00

Beginn 22.4.14 (Mathias Hayn, Judith Lehnert, Andrea Völlinger,  
+ 2 Tutoren Zeynep Cetinkaya, Samuel Brem)

Klausur Di 8.7.14 8:00 - 10:00 im Audimax

Nachklausur Mi 16.7.14 8:00 - 10:00

Studienreformprojekt „Offensive Wissen durch Lernen“:

Computer - Visualisierungen (Java-Applets)

e-Kreide-Manuscript: s. Webseite

English Summary: 10 min. zu Beginn

\*\* Besuch der VL und Übung dringend empfohlen \*\*

## Lehrbücher (s. Webseite)

W. Nolting

F. Schwabl

U. Scherz

E. Fick

R.P. Feynman

# Inhalt

## Theorie quantenmechanischer Zustände

(Spezialfälle: Wellenmechanik, Matrizenmechanik)

- Schrödinger'sche Wellenmechanik  
(einfache Anwendungen: Potenzialtopf, -schwelle, 1-dim. harmon. Oszillator)
- Ausbau des math. Formalismus  
(Operatoren, Zustände, Hilbertraum, Darstellungen, Bilden)
- Weitere Anwendungen  
(H-Atom, Drehimpuls, Spin und Systeme identischer Teilchen, Näherungsmethoden)
- Erweiterungen der Theorie (QM II: Master)  
(Feld- oder 2. Quantisierung, Streutheorie, relativist. Quantentheorie)

Klass. Mechanik

↔

Quantenmechanik

- deterministisch
- nichtrelativist.
- nichtlinear

- probabilistisch
- nichtrelativistisch
- linear



Elektrodynamik

- Feldtheorie
- relativistisch invariant
- linear (Vakuum)

"Klassische Physik" bis 1900

1900 Quantenhypothese (M. Planck)

1905 Relativitätstheorie (A. Einstein)

## Entwicklung der Quantentheorie

- 14.12. 1900 M. Planck: Hohlraum-Strahlungsformel  
1905 A. Einstein: Lichtelektr. Effekt (Photoeffekt)  
1912/13 N. Bohr: Energieterme des Atoms  
1924 L. De Broglie: Materiewellen  
1925 E. Schrödinger: Wellen-Mechanik  
" W. Heisenberg: Matrizen-Mechanik  
ab 1925 „Quantentheorie“  
Äquivalenz von Wellen- u. Matrizen-Mechanik (J. v. Neumann)  
Statistische Interpretation (Born, Jordan, Dirac)  
Relativist. Quantentheorie (Dirac)  
Quanten-Elektrodynamik (Feynman)  
Quantenfeldtheorie (Quantenchromodynamik)

Klass. Physik (Mechanik, Elektrodyn., Thermodynamik)  
kann z.B. folgende Phänomene nicht erklären:

### 1) Makroskop. Systeme (Gase, Flüssigk., Festkörper)

Energieverteilung der Strahlung schwarzer Körper  
Thermodyn. Verhalten bei niedriger Temperatur  
(spezif. Wärme von Festkörpern)

Schall in Festkörpern (Phononen)

Ferromagnetismus

Suprafluidität ( $^4\text{He}$ )

Supraleitung

Josephson-Effekt (Tunneln)  
Nobelpreis 1973

Quanten-Hall-Effekt

v. Klitzing (Nobelpreis 1985), frakt. (Nobelpreis 1980: Laughlin, Störmer, Tsui)

Elektronenmikroskop Ruska

Raster-Tunnelmikroskop Binnig u. Rohrer } Nobelpreis 1986

Hoch-Temp.-Supraleitung Bednorz u. Müller (Nobelpreis 1987)

Bose-Einstein-Kondensation Cornell, Ketterle, Wieman (Nobelpreis 2001)

Quantenkontrolle Haroche, Wineland (Nobelpreis 2012)

Riesennagnetwiderstand (Nobelpreis 2007  
Fert/Grünberg)

makroskop. Quanteneffekte

→ Spannungsnormal } seit 1.1.90

→ Widerstandsnormal

## 2) Chemie u. Molekülphysik

Periodensystem der Elemente  
Molekülphysik  
Chem. Bindung

## 3) Atomphysik

Atomspektrum  
Größe u. Stabilität der Atome  
Photoelektr. Effekt

## 4) Kernphysik

Kernspektrum, Kernreaktionen, radioakt. Zerfall

## 5) Elementarteilchenphysik

# 1. Schrödinger'sche Wellenmechanik

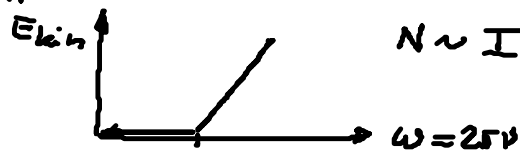
## 1.1 Historischer Abriss:

1900 M. Planck : Hohlraum-Strahlungsformel

Quantenhypothese : Energie-Austausch zwischen  
Materie u. Strahlungsfeld im thermodyn. Gleichgewicht  
nur in Quanten  $E = h\nu$ ,  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Planck'sches Wirkungsquantum  
 $\nu$  Strahlungsfrequenz

1905 A. Einstein : Photoeffekt



Klass. : Energie  $\sim \frac{1}{2} \epsilon_0 |\vec{E}|^2 \sim$  Lichtintensität  $I$   
(Feld)

Zahl der Elektronen unabh. v. Lichtintensität

Einstein : Photonen als Lichtquanten mit Energie  $E = \hbar\omega = \frac{h}{2\pi} \omega$

Compton 1925 Impuls  $p = \hbar k$

$$= h\nu$$

1912/13 N. Bohr : Energieterme des Atoms

(Rutherford zeigt 1911 durch Streuung von  $\alpha$ -Teilchen die Existenz von pos. geladenen Atomkernen mit sehr kleinem Radius. Modell: El. kreisen um Kern.

Klass. Elektrodyn.: beschleunigte Elektronen strahlen Energie ab und stürzen spiralförmig in den Kern.

Bohr's ad-hoc-Postulat: Stabile Bahnen sind möglich mit diskreten Energien  $E_n$ ,

Strahlung  $h\nu = E_2 - E_1$  bei Übergang  $E_2 \rightarrow E_1$

Quantenbed.:  $\oint p dq = 2\pi p r = n h$ ,  $n \in \mathbb{N}$

klass. Mech.  $\Rightarrow E_n = -\frac{Z^2 e^2}{2 a_B} \frac{1}{n^2}$ ,  $a_B = \frac{\hbar^2}{m e^2}$  Bohr-Radius