

Theoretische Physik II: Quantenmechanik I

- Dozent: Holger Stark EW 703, Tel: 29623
email: Holger.Stark@tu-berlin.de
<http://www.itp.tu-berlin.de/stark>
- Zeit: Di: 8³⁰-10⁰⁰ EW 203
Mi: 8³⁰-10⁰⁰ EW 202
- grobe Inhaltsangabe:
 - I. Die Entwicklung der Quantenmechanik
 - II. Der formale Rahmen der QT
 - III. Anwendungen der QT
- Voraussetzungen: Mathematische Methode der Physik } Vorlesungsaufschrieb
Mechanik }
Mathematik-Vorlesung } Internet
- Literatur: → Folie

- Webseite: .../stark/ → Lehre
- Übungen: WM's Vasily Zaburdaev
Sebastian Hidenreich
Valentin Finkert
Tutoren: Christian David
Christopher Wallin
Details: s. Webseite
Anmeldung: bis Fr. 18.4., 12⁰⁰
- Achtung: -Vorlesungsmitschrieb ≠ Skript
- Wiederholung: „S-Funktion“, → Mechanik, Vorlesung 9

I. Die Entwicklung der Quantentheorie

- Quantentheorie (QT): moderner Ausdruck als Quantenmechanik (QM)
QM: Entwicklung aus der Mechanik heraus
- Ende 19. Jh: abgeschlossenes System der klass. Physik:
klass. Mechanik, E-Dynamik, Thermodynamik,
statistische Mechanik
- Beginn 20. Jh: „Erschütterungen“
 - (i) Lichtausbreitung passt nicht in Rahmen der klass. Mechanik
→ Spezielle Rel. Theorie (SRT) (s. Mechanik-
Vorlesung)
 $c = \text{konstant}$ in jedem Inertialsystem → Lorentz-
relativ. Mechanik ↳ Paradoxa
 - (ii) Hinweise: klass. Physik versagt in atomaren,
mikroskopischen Bereich (Längen $\leq 1 \text{ nm}$)

→ Quantentheorie mit Welle-Teilchen Dualismus

↑
Energie wird in
Energiequanten/portionen
aufgenommen, nicht
kontinuierlich

↑
klass. Teilchen / Wellen
gibt es nicht
Teilchen haben Wellencharakter
em Wellen + Teilchen
→ Heisenbergsche Unschärferelation

1. Erinnerung: Mechanik Relativ. Teilchen

• Impuls:

$$p = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v \quad (1.1)$$

geschw. abh. Impuls masse: $\rightarrow \infty$ für $v \rightarrow c$
m... Ruhemasse

• Energie:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1.2)$$

.. $E \rightarrow \infty$ für $v \rightarrow c$, also $v=c$ nicht erreichbar für $m \neq 0$

• Umkehrung:

$$(i) (1.2) \rightarrow E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} \quad (1.3)$$

Beweis: Übungen

(ii) nicht relativ. Grenzfall: $v \ll c \rightarrow p \ll mc$
 $\hat{=} \text{klass. Teilchen}$

$$(1.3) \rightarrow E \approx mc^2 + \frac{p^2}{2m} \quad (1.4)$$

Beweis: Übungen

(iii) Geschwindigkeit:

$$\underline{v} = \nabla_p E \quad (1.5)$$

$$\text{mit } \nabla_p = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial p_1} \\ \frac{\partial}{\partial p_2} \\ \frac{\partial}{\partial p_3} \end{pmatrix}$$

Beweis: s. Übungen

2. Das Versagen der klassischen Physik & Wellen-Teilchen-Dualismus

• Krise der klass. Physik & neue Konzepte

2.1. Licht als Teilchen

• E-dynamik: Licht = em. Welle: $\underline{E}(x,t) = \text{Re} \left[\underline{E}_0 e^{i(\underline{k} \cdot \underline{r} - \omega t)} \right]$
 $\underline{B}(x,t) = \text{Re} \left[\underline{B}_0 e^{i(\underline{k} \cdot \underline{r} - \omega t)} \right]$ ebene Welle

\underline{k} .. Wellenvektor
 $k = |\underline{k}|$.. "zahl
 ω .. Kreisfrequenz

$$\omega = ck \quad (2.1)$$

... Dispersionsrelation

komplexe Darstellung

NB: $\nu = \frac{c}{2\pi} \dots$ Frequenz
 $\lambda = \frac{2\pi}{k} \dots$ Wellenlänge } $c = \lambda \nu$ (2.2)
 ... wird hier nicht verwendet

- (i) Beugung am Einzelspalt, Doppelspalt, Gitter
 - (ii) Bragg-Reflexion von Röntgenstrahlen am Kristall [Festkörpervorlesung]
- Interferenz
zweier Wellen
 $E = E_1 + E_2$

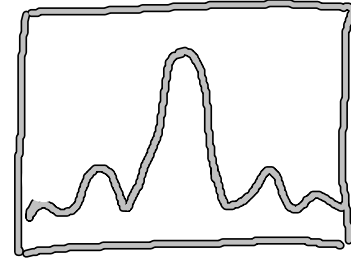
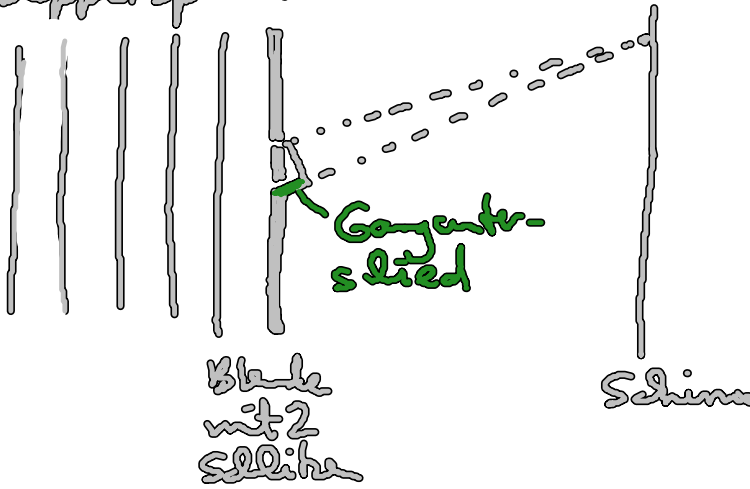
$$I = E^2$$

$$= E_1^2 + 2E_1 E_2 + E_2^2$$

... Intensität ... Maßgröße auf Schirm

also: $E_1 = E_2 \rightarrow I = 4E_1^2 \dots$ konstruktiv
 $E_1 = -E_2 \rightarrow I = 0 \dots$ destruktiv

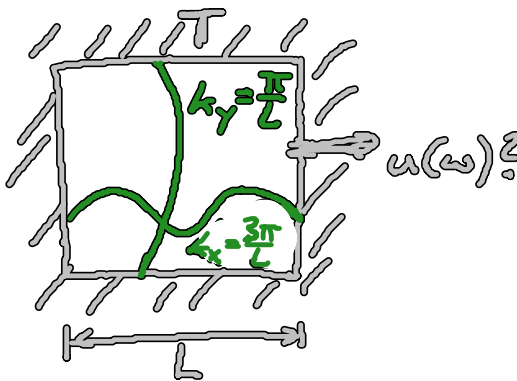
Doppelspalt:



a) Hohlraumstrahlung

- Hohlraum bei Temp. T: (schwarzer Körper)

Strahlungsgleichgewicht (Absorption = Emission von Wänden)



→ stehende Lichtwellen

(1) Wellenvektor: $\underline{k} = \frac{\pi}{L}(n_x, n_y, n_z)$

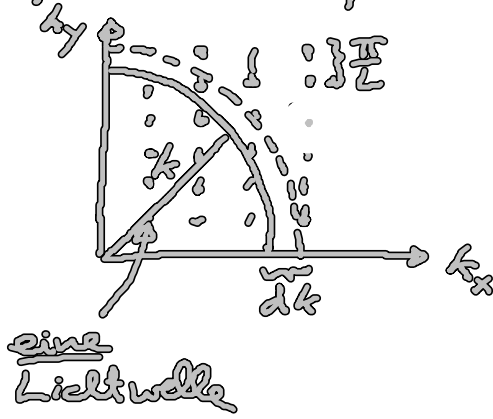
(2) Energie des Lichtfeldes in $[\omega, \omega+d\omega]$: $u(\omega) L^3 d\omega$

Energie pro Volumen $d\omega$

• Klass. Berechnung: $u(\omega) L^3 d\omega = \text{Anzahl } N \text{ stehender Wellen in } [\omega, \omega+d\omega] \times \text{mittlere Energi =}$

(1) (2)

(1) mit $\omega = ck$, N in $[k, k+dk]$?



Quasi-Kontinuum für $L \gg \frac{\pi}{L}$

also: $N = \frac{4}{8} \frac{\text{Volumen der Kugelchale}}{k\text{-Raum-Vol. pro Zustand}} \times 2$

↑
Lichtpolarisation

$$= \frac{2}{8} \frac{4\pi k^2 dk}{\left(\frac{\pi}{L}\right)^3}$$

$\xrightarrow{k=\frac{\omega}{c}}$

$$N = \frac{L^3}{\pi^2 c^3} \omega^2 d\omega$$