

Theoretische Physik II: Quantenmechanik I

- Dozent: Holger Stark EW 709, 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 Quantentheorie
 - II. Der formale Rahmen der QT
 - III. Anwendungen der QT
- Voraussetzungen: Mathematische Methoden der Physik } Vorlesungsaufschreibe
Mechanik } → Internet
Mathematik-Vorlesung
- Literatur: → Folie

- Webseite:/stark/ → Lehre
- Übungen: WM's Vasily Zaburdaev
Sebastian Heidenreich
Valentin Flunkert
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): modernere 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 trafo
 - (ii) Hinweise: klass. Physik versagt im atomaren, mikroskopischen Bereich (Längen $\leq 1 \text{ nm}$)

→ Quantentheorie mit Welle-Teilchen Dualismus

Energie wird in Energiequant/-portionen aufgenommen, nicht kontinuierlich

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

1. Erinnerung: Mechanik Relativ. Teilchen

• Impuls:

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

geschw. abh. Impuls masse: $\rightarrow \infty$ für $v \rightarrow c$
 $m \dots$ 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 $m \neq 0$

• Umschreibung:

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

Beweis: Übungen

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

(1.3) \rightarrow $E \approx mc^2 + \frac{p^2}{2m}$ (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 & Welle-Teilchen-Dualismus

• Krise der klass. Physik & neue Konzepte

2.1. Licht als Teilchen

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

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

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

... Dispersionsrelation

Komplexe Darstellung

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

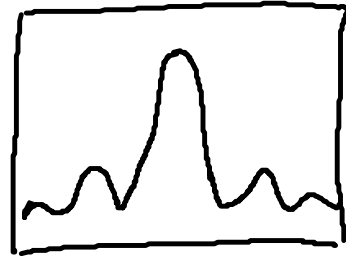
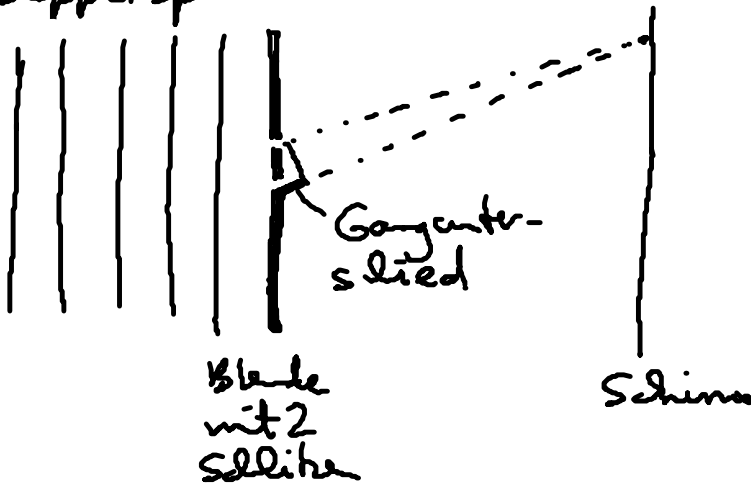
- (i) Beugung am Einzel-, Doppelspalt, Gitter
 - (ii) Bragg-Reflexion von Röntgenstrahlen am Kristall [Festkörpervorlesung]
- Interferenz
zweier Wellen
 $\underline{E} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2$

$$I = \underline{E}^2 = \underline{E}_1^2 + 2\underline{E}_1 \cdot \underline{E}_2 + \underline{E}_2^2$$

... Intensität ... Meßgröße auf Schirm

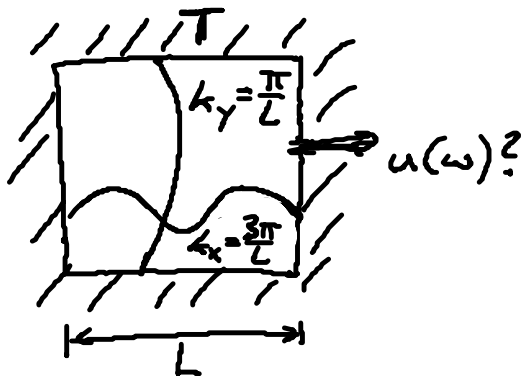
also: $\underline{E}_1 = \underline{E}_2 \rightarrow I = 4\underline{E}_1^2$... konstruktiv
 $\underline{E}_1 = -\underline{E}_2 \rightarrow I = 0$... destruktiv

Doppelspalt:



a) Hohlraumstrahlung

• Hohlraum bei Temp. T: (schwarzer Körper)



Strahlungsgleichgewicht (Absorption = Emission von Wänden)

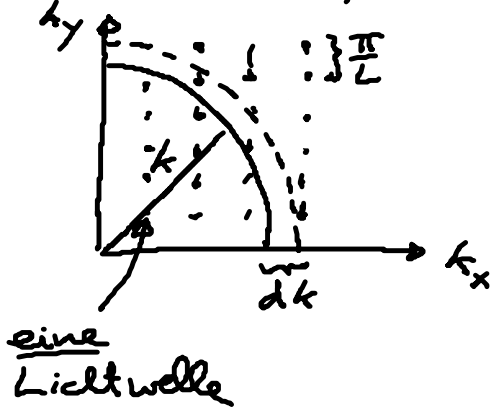
→ stehende Lichtwellen

(1) Wellenvektoren: $\underline{k} = \frac{\pi}{L}(n_x, n_y, n_z)$
 $n_i = 1, 2, \dots$

(2) Energie des Lichtfeldes in $[\omega, \omega + d\omega]$: $\underbrace{u(\omega)}_{\text{Energie pro Volumen}} L^3 d\omega$

• Klass. Berechnung: $u(\omega) L^3 d\omega = \underbrace{\text{Anzahl } N \text{ stehender Wellen in } [\omega, \omega + d\omega]}_{(1)} \times \underbrace{\text{mittlere Energie}}_{(2)}$

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



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

also: $N = \frac{1}{8} \frac{\text{Volumen der Kugelschale}}{k\text{-Raum-Vol. pro Zustand}} \times 2$

↑
Lichtpolarisation

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

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