
1.2 Grenzen der klassischen Physik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

1.2 Grenzen der klassischen Physik

- ▶ Die Konzepte klassischer Teilchen und Wellen haben ihren Ursprung in unserer Alltagserfahrung, z.B.
 - ▶ Teilchen: Flugbahn eines Balls, Planetenbewegung
 - ▶ Welle: Wasserwelle

1.2 Grenzen der klassischen Physik



- ▶ Die Konzepte klassischer Teilchen und Wellen haben ihren Ursprung in unserer Alltagserfahrung, z.B.
 - ▶ Teilchen: Flugbahn eines Balls, Planetenbewegung
 - ▶ Welle: Wasserwelle
- ▶ Sie schließen sich gegenseitig aus:
 - ▶ Teilchen können nicht interferieren.
 - ▶ Wellen haben nicht gleichzeitig einen genauen Ort und Impuls.

1.2 Grenzen der klassischen Physik

- ▶ Die Konzepte klassischer Teilchen und Wellen haben ihren Ursprung in unserer Alltagserfahrung, z.B.
 - ▶ Teilchen: Flugbahn eines Balls, Planetenbewegung
 - ▶ Welle: Wasserwelle
- ▶ Sie schließen sich gegenseitig aus:
 - ▶ Teilchen können nicht interferieren.
 - ▶ Wellen haben nicht gleichzeitig einen genauen Ort und Impuls.
- ▶ Ist Licht Welle oder besteht es aus Teilchen?

1.2 Grenzen der klassischen Physik



- ▶ Die Konzepte klassischer Teilchen und Wellen haben ihren Ursprung in unserer Alltagserfahrung, z.B.
 - ▶ Teilchen: Flugbahn eines Balls, Planetenbewegung
 - ▶ Welle: Wasserwelle
- ▶ Sie schließen sich gegenseitig aus:
 - ▶ Teilchen können nicht interferieren.
 - ▶ Wellen haben nicht gleichzeitig einen genauen Ort und Impuls.
- ▶ Ist Licht Welle oder besteht es aus Teilchen?
 - ▶ Young (1802): Interferenz durch Beugung am Doppelspalt ⇒ **Welle!**
 - ▶ ebenso: Polarisierbarkeit
 - ▶ theoretische Beschreibung:
Maxwell-Gleichungen (1864) → elektromagnetische Welle

Licht-elektrischer Effekt („Photoeffekt“)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Erzeugung von Elektronen durch Bestrahlung einer Metallplatte mit UV-Licht (Hertz 1887)

- ▶ Erzeugung von Elektronen durch Bestrahlung einer Metallplatte mit UV-Licht (Hertz 1887)
- ▶ Beobachtung:
 - ▶ Die kinetische Energie der Elektronen hängt linear von der Frequenz ab:
 $T_{e^-} \sim \nu - \nu_0$, $\nu_0 = \text{Materialkonstante}$
 - ▶ Die Zahl der Elektronen ist proportional zur Lichtintensität.

- ▶ Erzeugung von Elektronen durch Bestrahlung einer Metallplatte mit UV-Licht (Hertz 1887)
- ▶ Beobachtung:
 - ▶ Die kinetische Energie der Elektronen hängt linear von der Frequenz ab:
 $T_{e^-} \sim \nu - \nu_0$, $\nu_0 = \text{Materialkonstante}$
 - ▶ Die Zahl der Elektronen ist proportional zur Lichtintensität.
- ▶ Deutung (Einstein 1905):
 - ▶ Licht besteht aus **Teilchen** (Lichtquanten, „Photonen“) mit Energie $E = h\nu = \hbar\omega$!
 - ▶ $h = 6,624 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ „Planck’sches Wirkungsquantum“,
 $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
 - ⇒ höhere Frequenz \leftrightarrow höhere Energie der einzelnen Photonen
 - ⇒ höhere Intensität (bei gleicher Frequenz) \leftrightarrow mehr Photonen

Weitere Hinweise auf die Teilchen-Natur des Lichts

- ▶ Wärmestrahlung schwarzer Körper
(Planck'sches Strahlungsgesetz (1900), siehe Ende des Semesters)
- ▶ Compton-Effekt (1922/23):
Streuung von Röntgenstrahlung an Elektronen
= elastischer Stoß von Photonen an Elektronen
- ▶ Photonen können einzeln im Detektor nachgewiesen werden.

Weiteres Problem: Stabilität der Atome



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ naives Bild: Elektronen umkreisen Kern auf „Planetenbahnen“



- ▶ naives Bild: Elektronen umkreisen Kern auf „Planetenbahnen“
- ▶ Problem:
Beschleunigte Ladungen strahlen in der Maxwell-Theorie elektromagnetischer Wellen und damit Energie ab. → Elektronen stürzen auf Spiralbahnen in den Kern.

- ▶ naives Bild: Elektronen umkreisen Kern auf „Planetenbahnen“
- ▶ Problem:
Beschleunigte Ladungen strahlen in der Maxwell-Theorie elektromagnetischer Wellen und damit Energie ab. → Elektronen stürzen auf Spiralbahnen in den Kern.
- ▶ qualitative Lösung im Rahmen der Quantentheorie (quantitativ folgt später):
Das Elektron ist *auch* eine Welle.
→ Nur solche „Bahnen“ sind erlaubt, bei denen Wellenlänge und Bahnumfang so zusammenpassen, dass sich eine stehende Welle ausbildet. Andernfalls würde sich das Elektron selbst durch destruktive Interferenz auslöschen.



► Fazit:

Sowohl Licht als auch Materie weisen Teilchen- *und* Welleneigenschaften auf. Dieser **Welle-Teilchen-Dualismus** steht in krassem Widerspruch zu unserer Anschauung.