

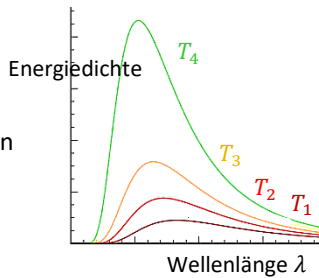
Von der kosmischen Hintergrundstrahlung zur Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation

Hohlraumstrahlung

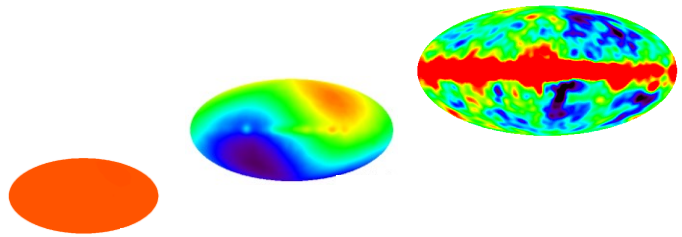
Max Planck (1900)

- Spektrale Energiedichte
- Emission und Absorption der Energie in Quanten

$$E = h \cdot f$$



„Merkblatt“



Der Welle-Teilchen-Dualismus

Teilcheneigenschaften elektromagnetischer Wellen

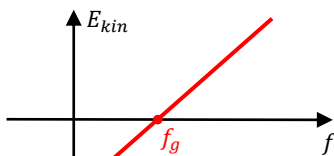
Lichtelektrischer Effekt

Albert Einstein (1905)

Auslösung von Elektronen aus Metalloberflächen durch Bestrahlung mit Licht

Lichtquantenhypothese

- Quantisierung der Lichtenergie
- Hypothese von Lichtquanten mit der Energie $E_\gamma = h \cdot f$



$$E_{kin} = h \cdot f - W_A$$

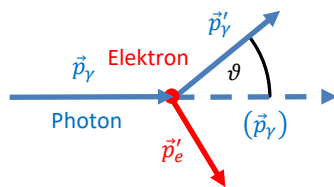
Compton-Effekt

Arthur Compton (1922)

Streuprozess von Photonen an Elektronen

Energie des Photons: $E_\gamma = h \cdot f$

Impuls des Photons: $p_\gamma = \frac{h}{\lambda}$



$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} (1 - \cos \vartheta)$$

Welleneigenschaften von Materieteilchen

De Broglie-Hypothese

Louis De Broglie (1924)

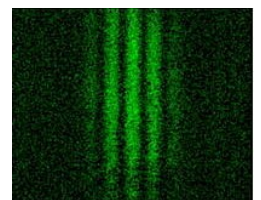
Wellenlänge eines Materieteilchens:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Frequenz f eines Materieteilchens:

$$E = h \cdot f$$

- Elektronenbeugungsröhre
- Doppelspaltexperimente mit Elektronen



Teilchenwellen

Max Born (1926)

Wahrscheinlichkeitsinterpretation

- Wellenfunktion $\Psi(x)$
- Wahrscheinlichkeitsdichte $|\Psi(x)|^2$
- Aufenthaltswahrscheinlichkeit $|\Psi(x)|^2 \cdot \Delta x$

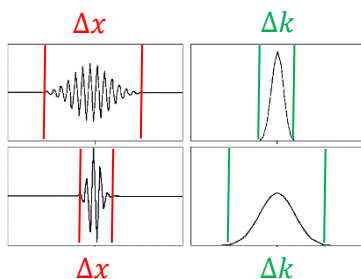
Eigenschaften von klassischen Wellen:

- Überlagerung harmonischer Wellen
- Wellenpakete

Komplementarität der Breiten

im Ort x und in der Wellenzahl $k = \frac{2\pi}{\lambda}$:

$$\Delta x \cdot \Delta k \approx 1$$



Die Unbestimmtheitsrelation

Werner Heisenberg (1927)

Komplementarität der Unbestimmtheiten Δx im

Ort und $\Delta p = \frac{h}{2\pi} \cdot \Delta k$ im Impuls

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Anwendungen auf Quantensysteme mit gebundenen Teilchen:

- Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden
- Atome und Atomkerne