# 9. Atomphysik und Quantenphysik


9.0 Atom (historisch)

9.1 Teilchencharakter des Licht

9.2 Charakteristisches Spektrum der Atome

9.3 Bohrsches Atommodell

9.4 Röntgenspektren

# Licht (Wiederholung)

- Energieübertragung von Licht auf Elektronen ist diskret in Vielfachen von $h \cdot f$. (Photoeffekt)
- Streuung von energiereichen Photonen (Röntgenlicht) an Elektronen durch elastischen Stoss mit Elektronen erklärbar (Comptoneffekt)

$$p = m \cdot c = \frac{h}{\lambda} \qquad (9.1\text{-}3) + (9.1\text{-}6)$$

$$E = m \cdot c^2 = h \cdot f \qquad (9.1\text{-}4) + (9.3\text{-}1)$$

# 9.5 Welle-Teilchen-Dualismus des Elektrons
# De Broglie Welle

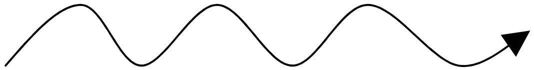
- Licht hat Wellencharakter (Kap. 7 & 8)
- Licht hat auch Teilchencharakter (Kap. 9.3)
- De Broglie Ansatz:
- Jedes Teilchen hat Wellen und Teilchencharakter, also z.B. auch Elektron.

  Geschwindigkeit v, Masse m

De Broglie Wellenlänge

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{m \cdot v}} \qquad (9.5\text{-}1)$$

Welle



Teilchen

# 9.5 Welle-Teilchen-Dualismus
# De Broglie Welle

- Beispiel 1:

  Elektron (m ≈ 9·10-31kg, e ≈ 1,6·10-19 C) durch elektrisches Feld (Spannung U = 200 V) beschleunigt.

(9.5-1) (1.2-1) (siehe Kap. 9.1)

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \qquad p = m \cdot v \qquad e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m}$$

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot U \cdot m}}} \qquad (9.5\text{-}2)$$

$\lambda \approx 10^{-12}\, m$ ➡ Bereich von Röntgen- und Gamma-Strahlen. Daher Beugungsphänomene wie bei jenen

# 9.5 Welle-Teilchen-Dualismus
# De Broglie Welle

- Beispiel 2:

  Fiat Seicento (m≈730kg) mit Fahrer (m≈70kg) sei mit der Geschwindigkeit v = 120km/h (≈33m/s) unterwegs.

$$\lambda \overset{(9.5\text{-}1)}{=} \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{(730+70) \cdot 33}\,\mathrm{m} \approx 2{,}5 \cdot 10^{-38}\,\mathrm{m}$$

⇛ Wellenlänge deutlich kleiner als Ausmaße des Wagens 3,34x1,51x1,45 m (LängexBreitexHöhe), daher Wellencharakter vernachlässigbar.

# 9.5 Welle-Teilchen-Dualismus
# De Broglie Welle

- Allgemein:
  - Wenn Abmessungen des Körpers vergleichbar mit Wellenlänge dann sein Wellencharakter nicht vernachlässigbar
  - Mechanik ⇨ Wellenmechanik/Quantenmechanik
- Vergleiche klassisch
  - Wenn Wellenlänge vergleichbar zu Ausmaßen des bestrahlten Objekts
  - Strahlenoptik ⇨ Wellenoptik

# 9.6 Unschärferelation

- Ort $x$ und Impuls $p$ sind nicht gleichzeitig exakt messbar. Es gilt die Heisenbergsche Unschärferelation für Impuls und Ort.

$$\boxed{\Delta p \cdot \Delta x \geq h} \qquad (9.6\text{-}1)$$

- Entsprechend gilt Unschärferelation zwischen Zeit $t$ und Energie $E$

$$\boxed{\Delta E \cdot \Delta t \geq h} \qquad (9.6\text{-}2)$$

# 9.6 Unschärferelation

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \qquad (9.6\text{-}2)$$

- Anschauliche Erklärung:
- Die Energie hängt mit der Frequenz zusammen.

$$E = h \cdot f \qquad (9.3\text{-}1)$$

- Um eine Frequenz zu bestimmen braucht man eine gewisse Zeit (mindestens die Dauer einer Periode), d. h. eine zeitlich exakte Aussage ist nicht möglich. Wenn man jedoch nur zu einem Zeitpunkt das Teilchen betrachtet so kann man eine Frequenz nicht bestimmen.

## 9.6 Wellentheoretische betrachtetes Atommodell

- Bahnen als stehende Wellen interpretierbar (vgl. Kap 5.8) (siehe z.B. Stroppe, Abb. 44.6)
- Quantenmechanische Formulierung des Wasserstoffatoms durch Schrödinger Gleichung

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - V)\psi = 0$$

ψ = Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons

V = Potentielle Energie des Elektrons

E = Gesamtenergie

m = Elektronenmasse

- Diese aus allgemeine Wellengleichung herleitbar (siehe z.B. Stroppe, Kap. 45.1)

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0$$

# 9.7 Nebenquantenzahlen

- Außer Hauptquantenzahl $n$ (Energieniveau) auch Nebenquantenzahlen $l$, $m$ die in halbklassischer Veranschaulichung den Bahndrehimpuls ($l$) und seine Richtung bzgl. einer Achse ($m$) beschreiben.

$$\boxed{\begin{aligned} \left|\vec{l}\right| &= \sqrt[2]{l(l-1)} \quad \text{mit} \quad l = 0,1,2,\ldots,(n-1) \\ l_z &= m_l \frac{h}{2\pi} \quad \text{mit} \quad m_l = 0,\pm 1,\pm 2,\ldots,\pm l \end{aligned}} \qquad (9.7\text{-}1a+b)$$

- Außerdem haben Elektronen noch Eigendrehimpuls.

$$\boxed{\left|\vec{s}\right| = \sqrt[2]{s(s-1)} \quad \text{mit} \quad s = \pm\frac{1}{2}} \qquad (9.7\text{-}2)$$