

# 9 . Atomphysik und Quantenphysik

## 9.0 Atom (historisch)

- Atom: átomos (gr.) unteilbar.
- 5-4 Jh. v. Chr.: Demokrit und sein Lehrer Leukippos von Millet entwickeln Theorie der Atome
- Fragment 125 aus den Schriften des Demokrit (460-370 v. Chr)

Farbe, Süße, Bitteres, in Wahrheit aber nur Atome und Leere

- Verschiedenartige Lagen Anordnung der Atome verursachen das entstehen von Stoffen wie Zucker, Salz, etc.

## 9.0 Atom (historisch)

- Abstrakte Überlegungen Demokrits werden im 19 Jh. wieder aufgegriffen.
- 1808: Dalton (1766-1844) entwickelt eine Atomtheorie auf Basis chemischer Reaktionen
  - Jedes Element besteht aus Atomen Diese sind unzerstörbar.
  - Alle Atome desselben Elementes sind gleichartig
  - Die Vereinigung von Elementen erfolgt atomweise.

Atom ist die kleinste, chemisch unveränderliche Einheit eines Elements

- Heute: wissen, dass Atome zerteilbar sind, d.h. nicht die kleinsten Einheiten.

# 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Bisher:
  - Licht hat Wellencharakter
- Nicht erklärbar:
  - Licht wirkt in diskreten (unteilbaren) Energiequanten (z.B. Photoeffekt)
  - Licht hat Impuls (z.B. Compton-Effekt)

# 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Photoeffekt (Hallwachs, 1888)
  - negativ aufgeladene Metallplatten verlieren bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ihre Ladung
  - Bei positiv aufgeladenen Platten bleibt Ladung erhalten
  - Licht setzt Elektronen aus der Platte frei
- Zur Ausmessung der kinetischen Energie der Elektronen anderer Aufbau notwendig  
(siehe z.B. Stuart & Klages, Abb. 7.90, Stroppe, Abb. 43.3)

# 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Elektrodynamische Vorhersage:

Strahlungsleistung bestimmt Energie der Photoelektronen.  
Energie der Photoelektronen nimmt mit zunehmender Strahlungsleistung zu.

- Resultate
- Grenzspannung ist von der Bestrahlungsstärke unabhängig (Lenard, 1902)
- Energie der Elektronen hängt allein von Frequenz ab (Millikan, 1916).
- Unterhalb einer Grenzfrequenz  $f_{\text{grenz}}$  gibt es keinen Photostrom.

## 9.1 Teilchencharakter des Lichts

$$e \cdot U = E_{pot} = E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = h \cdot (f - f_{grenz})$$

1.2-18

Planksche Wirkungsquantum

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (9.1-1)$$

- Einstein Deutung:
- Die Absorption des Lichts wirkt unstetig. Nur, wenn ein Lichtquant genügend Energie hat, wird Elektron freigesetzt.
- Lichtquanten haben die Energie  $E = h \cdot f$  (9.1-2)
- Die kleinste Frequenz  $f_{grenz}$  (Grenzfrequenz) ist durch die Austrittsarbeit bestimmt, die gerade noch ein Elektron aus dem Material freisetzt (ohne kinetische Energie)

## 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Formale Überlegungen:
- Man ordne Photon wie jedem anderen Teilchen Masse zu, so hat dieses den Impuls

$$p = m \cdot c \quad (9.1-3)$$

- Aus Relativitätstheorie ergibt sich Äquivalenz von Masse und Energie

$$E = m \cdot c^2 \quad (9.1-4)$$

- Masse und Impuls eines Lichtquants mit 8.1-2

$$m = \frac{h \cdot f}{c^2} = \frac{h}{\lambda \cdot c} \quad (9.1-5)$$

$$p = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (9.1-6)$$

## 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Beispiel 1: Sichtbares Licht (400-700 nm)
- Wellenlänge eines roten Lasers  $\lambda = 632,8\text{nm}$
- Nach 9.1-5

$$m = \frac{h}{\lambda \cdot c} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{632 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 3,49 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

- Vergleiche: Elektronruhemasse  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Beispiel 2: Gamma Quant.  $\lambda = 10^{-12} \text{ m}$

$$m = \frac{h}{\lambda \cdot c} \approx 2,2 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \approx 2,4 m_e$$

- Daher erst bei Gammastrahlung deutlicher  
Impulseffekt bei Wechselwirkung Elektron-Photon

# 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Compton-Effekt:
  - Streuung von energiereichen Photonen (Röntgenlicht) an locker gebundenen Elektronen (wie z.B. Graphit, Paraffin)
- Grundlagen
  - Batra (1909) zeigte, dass Streuung auch mit Röntgenlicht möglich.
  - Elektrodynamik: Bei Streuung ändert sich die Richtung, nicht aber die Frequenz des Lichts (Rayleigh-Streuung).

# 9.1 Teilchencharakter des Lichts

- Compton-Effekt:
- Compton (1921) fand, dass neben der Rayleighstreuung auch Streuung mit geänderter Wellenlänge auftritt.
- Wellenlängenänderung  $\Delta\lambda$  ist abhängig vom Einstrahlwinkel.

$\Delta\lambda$  ist unabhängig von eingestrahlter Wellenlänge

## 9.2 Charakteristisches Spektrum der Atome

- Festkörper, Flüssigkeiten und Gase unter Druck strahlen üblicherweise kontinuierliches Licht aus.
- ABER: Einatomige Gase zeigen Linienspektrum z.B. Wasserstoff (siehe unten)
- Siehe Praktikumsversuch (Kap. 7.2.4)
- Klassisch nicht erklärbar.

## 9.2 Charakteristisches Spektrum der Atome

- Anmerkung: Sonne hat auch Linien-Spektrum
- Fraunhofer-Linien: Dunkle Linien im Spektrum der Sonne (und anderer Sterne)
- Später: Linienspektren der Atome aber helle Linien auf dunklem Grund
- Erklärung Kirchhoff (1859):  
Kontinuierliches Spektrum als Hintergrund vor heissem Gas.  
Fraunhoferlinien sind Absorptionslinien

## 9.3 Bohrsche Atommodell

- Grundlagen:

- Balmer (1885) gibt erste Formel für Wellenlänge an
- Runge (1888) ersetzt Wellenlänge durch Frequenz
- Rydberg (1890) stellt Serienformel für Wasserstoff in der heute gebräuchlichen Form auf

Rydberg-Frequenz  $R_H$

$$f = R_H \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

(9.3-1)

$$R_H = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

(9.3-2)

- Manchmal auch als Wellenzahl  $1/\lambda$  unter Ausnutzung von  $c = \lambda \cdot \phi$  (5.7-2) dargestellt

Rydberg-Konstante  $R$

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

(9.3-1a)

$$R = \frac{R_H}{c} = 1,09737 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$$

(9.3-2a)

## 9.3 Bohrsche Atommodell

- Grundlagen (Fortsetzung)
- Lenard (1903) schießt Elektronen auf dünne Metallfolien und stellt fest, dass Atome sehr „luftige“ Gebilde sind.
- Rutherford (1911) bestrahlt Goldfolie mit  $\alpha$ -Strahlen ( $\text{He}^{2+}$  Ionen) und stellt fest, dass die meisten davon die Goldfolie ungehindert durchdringen.
- Er stellt Planetenmodell des Atoms auf, dessen grundlegende Struktur – Kern und Hülle – der Ursprung aller moderner Atommodelle ist.

## 9.3 Bohrsche Atommodell

- Bohr (1913)
- Annahme wie im Rutherford'schen Modell:
  - Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen um den Kern.
  - Die Emission und Absorption von Energie kann nur in diskreten Energiesprüngen geschehen
- Diese aus 9.3-1 errechenbar (beachte  $E=h \cdot f$  (9.1-2))

$$h \cdot f = \left( \frac{h \cdot R_H}{n^2} - \frac{h \cdot R_H}{m^2} \right) = E_m - E_n \quad (9.3-3)$$

## 9.3 Bohrsche Atommodell

- Bestätigung des Postulates diskreter Energieniveaus durch Frank-Hertz-Versuch (1913)  
(Versuchsaufbau z.B. Stroppe Abb. 44.5,
- Maxima in Vielfachen von 4,85 eV  
(1eV=  $1,60218 \cdot 10^{-19}$  J)
- Bei Versuch wird ultraviolettes Licht ( $\lambda=253,6\text{nm}$ ) gemessen, dass in seiner Energie  $hf$  mit Einstrahlung übereinstimmt

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

- Verfeinerung (Stoss erfolgt im feldfreien Raum) offenbart mehr Linien, z.B.  $\lambda = 185\text{nm}$  entspricht Energie=6,73eV.

## 9.4 Röntgenspektren

- Einstrahlung durch hochenergetische Elektronenstrahlen erzeugt Spektrum im Röntgenbereich

(für Spektren siehe z.B. Stuart & Klages, Abb. 8.4)

- Erklärung: Strahlen entfernen inneres Elektron. Dieses wird durch weiter außen liegende Elektronen ersetzt.
- Stärkste Linie  $K\alpha$  entspricht Übergang  $n=2$  auf  $n=1$

(für Abbildung zur Entstehung der Röntgenstrahlen siehe z.B. Stroppe, Abb 44.16, Meschede, Abb. 15.26)

## 9.4 Röntgenspektren

- Linearer Zusammenhang zwischen der Wurzel der Frequenz und der Kernladungszahl (Mosleysches Gesetz, 1913)
- Dieses kann durch ähnliche Formel wie 9.3-1 beschrieben werden kann.

$$f = R_H \cdot (Z - 1)^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (9.4-1)$$

- Z ist Kernladungszahl
- In Gleichung Z-1 da durch zweites Elektron Kernladung abgeschirmt

## 9.4 Röntgenspektren

- Daraus die teilweise Umstellung nötig z.B. Argon vor Kalium, obwohl Argon schwere als Kalium ist.
- Diese Umstellungen waren schon vorher aus ihren chemischen Verhalten gefordert worden.
- Postulierte neue Elemente, die erst später gefunden wurden  
(näheres siehe z.B. in Lehrbüchern zur allgemeinen Chemie)

## 9.4 Röntgenspektren

- Mosley leitete aus Röntgenspektren der Elemente ein Periodensystem ab, dass auch heute noch Gültigkeit besitzt.
- Zeigte, dass nicht das Atomgewichteinordnung wie bei Mendelejew (1869) angenommen die Ordnung der Elemente bestimmt sondern die Kernladungszahl  $Z$ .