

Alice's Adventures in Wonderland, Chapter VI:
The Cheshire Cat gets Weirder.

- 4.1 Wasserstoffatom
- 4.2 Quantenmechanisches Modell
- 4.3 Atomorbitale
- 4.4 Normaler Zeeman Effekt
- 4.5 Elektronenspin
- 4.6 Spin-Bahn Kopplung
- 4.7 Wasserstoff im Magnetfeld
- 4.8 Hyperfeinstruktur

4-1 / 3 Atomspektren

Emissions-Spektrum Wasserstoff



Absorptions-Spektrum Wasserstoff



<http://javalab.uoregon.edu/dcaley/elements/Elements.html>

Beobachtungen:

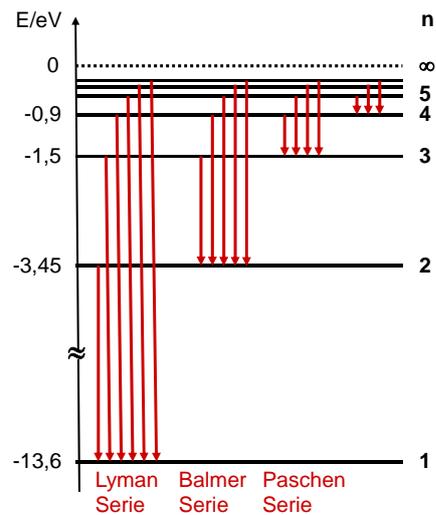
- identische Frequenzen in Adsorption und Emission
- elementspezifisch → Spektralanalyse
- Linien haben endliche Breite

4-1 / 4 Spektrum des Wasserstoff-Atoms

Einfaches Gesetz für Position der Spektrallinien:

$$\bar{\nu} = R_y \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Rydbergkonstante $R_y = 109678 \text{ cm}^{-1}$



4-1 / 5 Das Bohrsche Atommodell

Wesentliche Aussagen:

- Elektron bewegt sich auf Kreisbahnen um Kern, deren Radien quantisiert sind gemäß:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} a_0 = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi \mu Z \cdot e^2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$Z \equiv$ Kernladungszahl

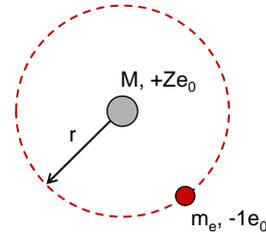
$a_0 \equiv$ Bohrscher Radius $= h^2 \epsilon_0 / (\pi \mu \cdot e^2) = 0,529 \text{ \AA}$

$$\mu \equiv \text{reduzierte Masse} = \frac{m_e M}{m_e + M}$$

- Zu jeder durch die Quantenzahl n definierten Bahn gehört eine Gesamtenergie

$$E_n = -R'_y \frac{Z^2}{n^2} \quad R'_y = \frac{\mu e_0^4}{2 \hbar^2 (4 \pi \epsilon_0)^2} = 13,6 \text{ eV}$$

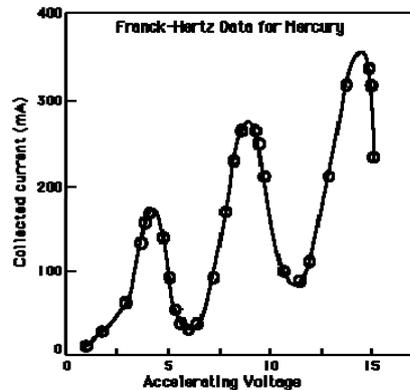
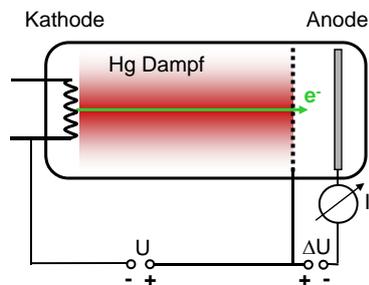
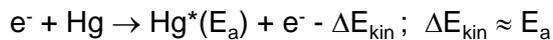
Energienullpunkt ist durch Ionisierungsgrenze ($n \rightarrow \infty$) definiert.



4-1 / 6 Franck-Hertz-Versuch

Quantisierung des Energieübertrags auch bei Stoßprozessen

(J. Franck/ G. Hertz, 1914):

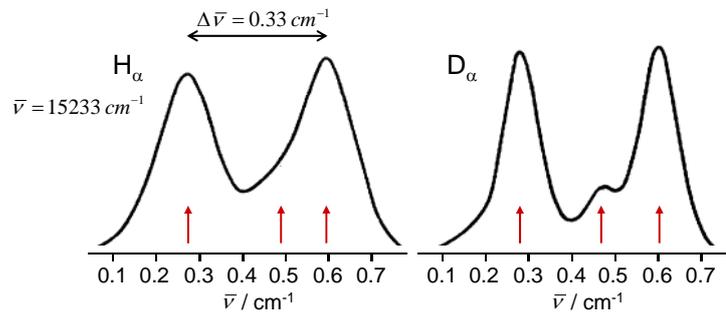


4-1 / 7

Feinstruktur von Wasserstoff

Linienaufspaltung („Multipllett“) in hochauflösender Spektroskopie →

- weitere Quantenzahlen notwendig
- erste Deutung → Sommerfeld-Modell:
 - Ellipsenbahnen
 - Energieunterschiede aufgrund relativistischer Massenänderung in Kernnähe



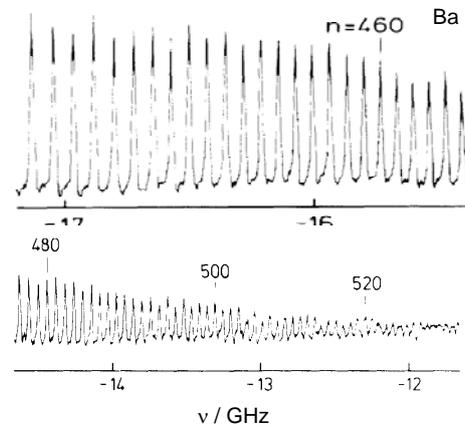
4-1 / 8

Rydberg-Zustände

Atome mit Elektron in hochangeregtem Zustand (bis $n \approx 500$)

→ Übergang zu klassischen Systemen:

- sehr groß (bis $r \approx 0.01$ mm)
- sehr langlebig (bis 1 s)
- leicht polarisierbar
- leicht ionisierbar



J. Neukammer, et al., Phys.Rev.Lett. 59, 2947 (1987)

4-1 / 9 Wasserstoffähnliche Systeme

Systeme mit (effektiv) einem Elektron in Coulombpotential:

- H-Isotope
- Ionen mit einem Elektron
- Exotische Atome:
 - Myonische Atome
 - Antiwasserstoff
 - Positronium und Myonium
 - Protonium und antiprotonische Atome
- Lochzustände
- Exitonen
- Bildpotentialzustände

4-1 / 10 Wasserstoffähnliche Atome

Bahnradien und Energieniveaus:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} a_0 = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi \mu Z \cdot e^2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_n = -R_y \frac{Z^2}{n^2}; \quad R_y = \frac{\mu \cdot e^4}{8 h^2 \epsilon_0^2}$$

$Z \equiv$ Kernladungszahl

Wellenlängen λ_{12} für Übergänge $n=1 \rightarrow n=2$:

H	1215,66 Å
D	1215,33 Å
He ⁺	303,6 Å
Li ²⁺	135,0 Å
Be ³⁺	75,9 Å
B ⁴⁺	48,6 Å
C ⁵⁺	33,7 Å

4-1 / 11 Exotische Atome

Künstliche Atome, bei denen einer oder beide Bausteine (Proton, Elektron) durch anderes Elementarteilchen ersetzt ist:

- Myonische Atome: $e^- \rightarrow \mu^-$
Masse Myon $m_\mu = 207 m_e \rightarrow$ Bohrscher Radius $a_0 = 230 \text{ fm}$
- Antiwasserstoff: $e^- \rightarrow \text{Positron } e^+, p^+ \rightarrow \text{Antiproton } p^-$
- Positronium und Myonium: $p^+ \rightarrow e^+, \mu^+$
- Protonium : $e^- \rightarrow p^-$

4-1 / 12 Exzitonen

Wasserstoffähnliche Zustände in Festkörpern :

- Elektronen (oder pos. geladene „Löcher“), gebunden an geladene Verunreinigungen in Festkörpern

