
Übungen zur Vorlesung Physik III

– Atom- und Quantenphysik –

Prof. C. Zeitnitz, Dr. F. Ellinghaus

Wintersemester 2015/2016

Universität Wuppertal

BLATT X

ABGABE BIS DONNERSTAG, DEN 28. JAN. 2016, 12:00

1. Mehrelektronenatome (3 Punkte)

Auch in Mehrelektronenatomen werden die Elektronenzustände durch vier Quantenzahlen, hier (n, l, m_l, m_s) beschrieben. Im Grundzustand sind die am stärksten gebundenen Zustände besetzt. Innerhalb einer Elektronenschale werden die Zustände mit niedrigerem l zuerst besetzt, da diese in Mehrelektronenatomen stärker gebunden sind.

- (a) Geben Sie an, wie viele Elektronen sich bei Helium, Neon ($Z=10$), Phosphor ($Z=15$) und Kupfer ($Z = 29$) jeweils in der K-, L-, M- und N-Schale befinden.
- (b) Geben Sie für alle Elemente in a) an, wie viele Elektronen einen Bahndrehimpuls von $l = 0$ und wie viele einen Bahndrehimpuls von $l = 2$ besitzen.
- (c) Geben Sie alle Quantenzahlen für die beiden Elektronen im Grundzustand von Helium an.

2. Matrixelemente (5 Punkte)

- (a) Der 2^1P_1 Zustand in Helium hat eine Lebensdauer von $\tau = 0,5 \cdot 10^{-9}$ s. Wie ist das Verzweigungsverhältnis zwischen dem ($2p \rightarrow 1s, \Delta E_{2p1s} = 21,07$ eV) und dem ($2p \rightarrow 2s, \Delta E_{2p2s} = 0,602$ eV) Übergang, wenn Sie annehmen, dass die beiden Übergänge das gleiche Matrixelement $|M_{2p1s}|^2 = |M_{2p2s}|^2$ haben?
Hinweis: Benutzen Sie die Formel aus der Vorlesung:

$$A_{kj} = \frac{e^2}{3\pi\epsilon_0} \frac{\omega_{kj}^3}{\hbar c^3} |M_{kj}|^2 \quad (1)$$

- (b) Wie groß müsste das Verhältnis der beiden Matrixelemente sein, damit beide Übergänge gleich stark sind?
- (c) Wie würde sich die Lebensdauer verändern, wenn der $2p \rightarrow 1s$ Übergang verboten wäre?

3. Heisenberg Energie-Zeit (2 Punkte)

Die Unschärferelation für Ort und Impuls kann analog auch für Energie und Zeit formuliert werden.

Die Lebensdauer eines Elektrons in einem Zustand mit der Hauptquantenzahl $n = 2$ des H-Atoms ist 10 ns. Wie groß ist die Unsicherheit seiner Energie ΔE ? Vergleichen Sie ΔE mit der Energie des Zustands $n = 2$.

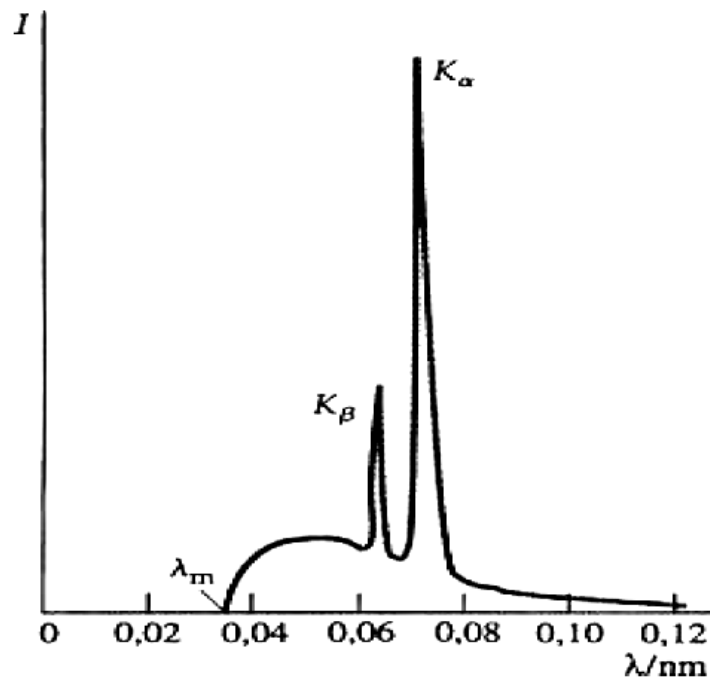
4. Rydberg-Atome (3 Punkte)

Wird in einem freien Atom ein Elektron in einen Zustand mit sehr kleiner Bindungsenergie gebracht, so nimmt die Wellenfunktion einen sehr großen Raum ein und die Struktur des restlichen Atoms spielt fast keine Rolle mehr. Man spricht dann von Rydberg-Zuständen.

- (a) Zur Anregung der Rydberg-Zustände von Wasserstoffatomen werden zwei Laser benutzt. Ein Laser hat die feste Frequenz zur Photonenenergie $E = 11.5$ eV, der andere Laser ist durchstimmbar. Welche Wellenlängen muss man an diesem einstellen, um die Zustände mit $n = 20, 30, 40, 50, 100$ anzuregen?
- (b) Wie groß sind die Radien und die Bindungsenergien dieser Zustände?

5. Röntgenspektrum (3 Punkte)

Das abgebildete Röntgenspektrum niedriger Auflösung wurde erzeugt, indem Elektronen mit einer kinetischen Energie von 35,0 keV auf eine Molybdän-Anode auftrafen.



Welche Werte von λ_m , λ_{K_β} und λ_{K_α} ergeben sich, wenn das Beschleunigungspotential bei 35,0 kV gelassen, aber Silber ($Z = 47$) statt Molybdän ($Z = 42$) als Anode verwendet wird?

Die Energieniveaus der K-, L- und M-Schale von Silber liegen bei -25,51 keV, -3,56 keV und -0,53 keV.

Hinweis: X_α bezeichnet den Übergang von der Schale X zur nächsthöheren Schale. X_β bezeichnet den Übergang von der Schale X zur übernächsten Schale, usw. K_α bezeichnet somit den Übergang von der K zur L Schale und K_β bezeichnet den Übergang von der K zur M Schale.

λ_m entspricht ungefähr der Wellenlänge, bei der das Elektron seine gesamte Energie an ein Photon abgibt.

6. Charakteristische Röntgenstrahlung (4 Punkte)

- (a) Welche Spannung muss mindestens an eine Röntgenröhre angelegt werden, damit man alle Linien der K-Serie erhält, wenn man das Anodenmaterial Wolfram verwendet?

Die tatsächlichen Wellenlängen der K-Linien von Wolfram sind 0.210, 0.184 und 0.179 Å für K_α , K_β und K_γ . Die zum Energieniveau der K-Schale gehörende Wellenlänge liegt bei 0.178 Å.

Hinweis: $\hbar c = 197 \text{ MeV fm}$

- (b) Welche Energie wird benötigt, um die L-Serie anzuregen, und wie groß ist die Energie der L_α -Linie?
- (c) Wie groß ist (ungefähr) die kürzeste charakteristische Wellenlänge von Wolfram?
- (d) Wie groß ist (ungefähr) die kinetische Energie des energiereichsten Auger-Elektrons, das statt der L_α -Linie emittiert wird?

Die Übungsblätter und weitere Informationen sind verfügbar unter
<http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~elli/AtomQuantenWiSe1516/>

ellinghaus@uni-wuppertal.de