

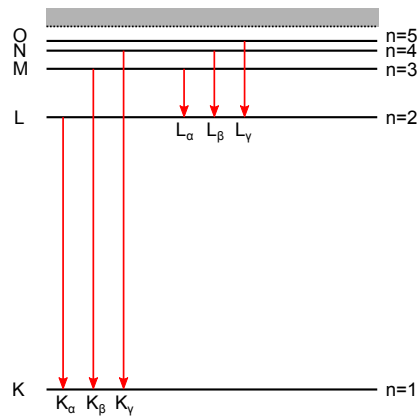
## 12. Übung zur Vorlesung Atom- und Molekülphysik (E4) SS2021

Prof. H. Weinfurter, Dr. L. Knips

Zur Teilnahme an der Klausur ist eine Anmeldung zur Klausur im LSF („E4/E4p-Klausur“) **zwingend** erforderlich. Die Frist dazu endet am 11.7.2021.

### Aufgabe 39 Röntgenstrahlung von Wolfram

Die K-Absorptionskante von Wolfram (d.h. die Wellenlänge, wo Freisetzung von Elektronen aus der K-Schale beginnt) liegt bei 0.17845 Angström. Die Wellenlängen der  $K_{\alpha}$ -,  $K_{\beta}$ -,  $K_{\gamma}$ -, und  $K_{\delta}$ -Linien liegen bei: 0.2100, 0.1840, 0.1790 und 0.1789 Angström (Feinstruktur sei vernachlässigt).



- Geben Sie die Energien der  $K$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $N$ , und der  $O$ -Schale an.
- Welche Minimalenergie ist nötig, um die  $L$ -Serie anzuregen?
- Wie groß ist die Wellenlänge der  $L_{\alpha}$ -Linie?
- Die Energie  $E_K$  in der  $K$ -Schale kann nach der Rydbergformel unter Berücksichtigung einer effektiven Kernladungszahl  $Z_{\text{eff}} = Z - S$  und einer Abschirmkonstante  $S$  abgeschätzt werden:

$$E_K = h\nu = (Z - S)^2 \cdot Ry \cdot \frac{1}{n^2},$$

wobei  $Z$  die ungeschirmte Kernladungszahl ist. Wie groß ist die Abschirmkonstante  $S$  für ein Elektron in der  $K$ -Schale von Wolfram?

### Aufgabe 40 Kernspin-Tomographie

In einem NMR-Spektrometer wird eine zu untersuchende Probe in ein ortsabhängiges Magnetfeld mit konstantem Gradienten ( $B(x) = B_0 + Gx$ ) eingebracht. Eine wasserhaltige Probe kleiner Ausdehnung soll mit Hilfe des Spinsignals der Protonen untersucht werden. Die Probe wird zunächst am Ort  $x = 0$  positioniert und die Absorption von Hochfrequenzwellen als Funktion der Frequenz gemessen. Durch die Aufspaltung der Atomniveaus im Magnetfeld ( $\Delta E$ ) entsteht eine Absorption, wenn die Frequenz  $\omega_p$  den Übergang von Kernspin-down ( $m_I = -1/2$ ) zu Kernspin-up ( $m_I = +1/2$ ) ermöglichen kann. Die Lebensdauer des Spins im oberen Zustand betrage  $\tau = 10\mu\text{s}$ .

- Berechnen Sie die Resonanzfrequenz  $\nu_p$  und die Breite der Resonanzkurve  $\Delta\nu_p$  für ein Magnetfeld von  $B = 1\text{T}$ .
- Sie wollen die Protonendichte einer ausgedehnten Probe messen. Wie gross muss der Gradient  $G$  des Magnetfeldes gewählt werden, um eine Ortsauflösung von 0.5 mm zu erhalten?

#### Aufgabe 41 (nicht Teil des Bonussystems)      Allgemeine Fragen zur Wiederholung

Diese Aufgabe soll bearbeitet und besprochen werden, dient aber eher als Ausgangspunkt für weitere Fragen und Diskussionen zur Wiederholung.

- a) Welche Quantenzahlen werden benötigt, um ein Elektron im Wasserstoffatom vollständig zu beschreiben?
- b) Was ist die effektive Rabi-Frequenz und wovon hängt sie ab?
- c) Wie stark muss ein Zweiniveausystem optisch getrieben werden, um das obere Niveau stärker als das untere zu besetzen?
- d) Was sind die möglichen Gesamtdrehimpulse, wenn Sie zwei Elektronen im 2s-Niveau per LS-Kopplung koppeln? Wie sieht es für Elektronen im 3p-Zustand aus?
- e) Wann wird die sogenannte  $jj$ -Kopplung relevant?
- f) Welche Bedeutung hat die Quantenzahl  $F$  und wie hängt der Abstand zweier benachbarter Hyperfeinniveaus ( $E_{F+1} - E_F$ ) von  $F$  ab?
- g) Was ist die Wellenlänge der Materiewelle eines Kohlenstoffatoms mit Schallgeschwindigkeit?
- h) Was bedeutet *Singulett-Zustand* bzw. *Triplet-Zustand* beim Heliumatom?
- i) Warum ist der  $2^3S_1$ -Zustand von Helium metastabil (über 2 Stunden mittl. Lebensdauer)?
- j) Wie viele Nullstellen hat die radiale Wahrscheinlichkeitsverteilung des  $3s$ -Zustandes von Wasserstoff?
- k) Welche sind die zwei niederenergetischsten Wasserstoff-Niveaus, deren Entartung durch den Lambshift aufgehoben werden?
- l) Was bestimmt die Linienbreite eines Zerfallskanals?
- m) Was versteht man unter  $sp^3$ -Hybridisierung und welche Form nimmt die Elektronenstruktur an?