

Assoc.Prof. Dr. R.A. Wilhelm  
wilhelm@iap.tuwien.ac.at

TU Wien - Grundlagen der Physik III (134.125) 2023W

30.11.2023

## Aufgabe 06.1 - 2 Pkt.

Die Ionisierungsenergie (Bindungsenergie des Außenelektrons) des Lithium-Grundzustandes  $\text{Li } 1s^2 2s$  ist  $E = 5.39 \text{ eV}$ , und jene des Rydbergzustandes  $\text{Li } 1s^2 20s$  ist nur noch  $E = 0.034 \text{ eV}$ .

Wie groß sind

- die effektive Kernladungszahl  $Z_{\text{eff}}$ ,
- der mittlere Bahnradius des äußeren Elektrons in beiden Zuständen?

**Lösung:** (a)  $Z_{\text{eff}}(n=2) = 1.26$ ,  $Z_{\text{eff}}(n=20) = 1$ ,  
(b)  $r(n=2) = 3.18a_0$ ,  $r(n=20) = 400a_0$

## Aufgabe 06.2 - 3 Pkt.

Im Bohrschen Atommodell hatten wir ein sehr einfaches Termschema der Energieniveaus, da die Energien nur von der Hauptquantenzahl  $n$  abhingen. Unter Verwendung der Quantentheorie spalten die Energieniveaus auf und zeigen eine Feinstruktur.

- Stellen Sie eine Tabelle der möglichen Zustände für  $n = 1, 2$  und  $3$  auf.
- Berechnen Sie die Verschiebung der Energieniveaus für  $n = 1, 2$  und  $3$  und zeichnen Sie sie schematisch in ein Termschema ein (Vergleich mit  $E_n$  ohne Korrekturterme). Welche Zustände sind noch immer entartet?
- Wie viele erlaubte elektrische Dipolübergänge gibt es für die Balmer-Alpha-Linie?

**Lösung:** (c) 7

## Aufgabe 06.3 - 3 Pkt.

- Um welchen Faktor sind (abgeschätzt) die Hyperfeinaufspaltungen gegenüber der Feinstruktur kleiner? Wie hängt die Größe der Aufspaltung von  $Z$  und  $n$  ab?
- Der Grundzustand des Deuteriums ist in zwei Hyperfein-Niveaus mit  $F = \frac{1}{2}$  und  $F = \frac{3}{2}$  aufgespalten. Welchen Wert muss entsprechend die dem Deuteron zugeordnete Spinquantenzahl  $I$  (Kernspin) haben?
- In welche Hyperfeinzustände spaltet dann das  $p_{3/2}$ -Niveau des Deuteriums auf?

**Lösung:** (a)  $\sim 10^{-3}$ , (b) 1

## Aufgabe 06.4 - 3 Pkt.

Plaziert man ein Wasserstoffatom in einem zeitunabhängigen Magnetfeld, dann spalten die Energieniveaus in Unterniveaus auf, wobei hier der Elektronenspin vernachlässigt werden soll.

- Wie nennt man diesen Effekt? In wieviele Unterniveaus zerfällt ein Niveau  $nl$ ?
- Skizzieren Sie die Aufspaltung eines  $s$ , eines  $p$ , und eines  $d$  Niveaus und beschriften Sie die Unterniveaus mit den jeweiligen Werten der magnetischen Quantenzahl  $m$ .
- Wieviele unterschiedliche Linien sind beim Übergang von einem  $p$ -Niveau in ein  $s$ -Niveau zu beobachten? Wieviele beim Übergang von einem  $d$ -Niveau in ein  $p$  Niveau? (Berücksichtigen Sie die relevante Auswahlregel!)

## Aufgabe 06.5 - 3 Pkt.

Beim Stern-Gerlach-Versuch durchfliegt ein Strahl von Wasserstoffatomen im Grundzustand die Polschuhe eines Elektromagneten.

- Warum benötigt man ein inhomogenes Magnetfeld? Zeigen Sie, dass ein homogenes Magnetfeld keine Kraft auf einen magnetischen Dipol ausübt.
- Der Magnetfeldgradient  $\vec{\nabla}B$  führt zu einer Kraft auf die Atome:  $\vec{F} = -\vec{p}_m \cdot \vec{\nabla}B$  wobei  $\vec{p}_m$  das mit dem Elektronenspin verbundene magnetische Dipolmoment darstellt. Berechnen Sie die seitliche Ablenkung der Atome über eine Strecke von  $L = 10 \text{ cm}$ , wenn die Geschwindigkeit der Atome  $v = 1000 \text{ m/s}$  und der Magnetfeldgradient  $dB/dz = 100 \text{ T/m}$  beträgt.
- Man stellt nun im Falle wasserstoffartiger Atome fest, dass es aufgrund des Magnetfeldes zu einer Aufspaltung in zwei Teilstrahlen kommt. Warum kann man aus dem Stern-Gerlach-Experiment auf die Existenz des Spins schließen und die Beobachtungen nicht einfach mit dem Bahndrehimpuls erklären?
- Gibt es eigentlich immer eine Aufspaltung in zwei Teilstrahlen, unabhängig von dem Atom und seinem Anregungszustand? (Mit Begründung.)
- Was passiert mit Atomen, welche sich in einem Überlagerungszustand aus Spin-up und Spin-down befinden? In welchem Zustand sind sie nach dem Durchfliegen der Stern-Gerlach-Apparatur?