

Übungen zur Vorlesung Moderne Physik für Lehramtskandidaten,
Geophysiker, Meteorologen und Ingenieurpädagogen

Sommersemester 2023
Prof. D. Hunger, M.Sc. J. Hessenauer

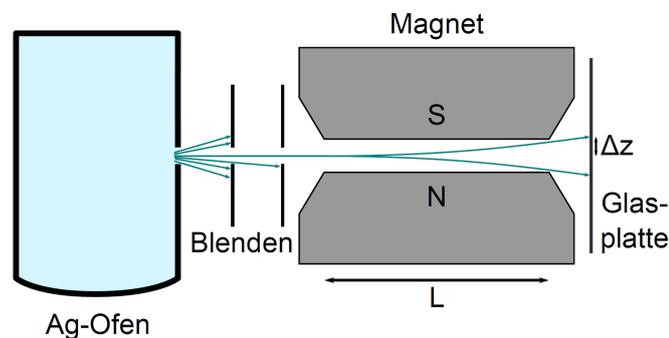
Fakultät für Physik
Physikalisches Institut

Übungsblatt Nr. 9
Spin und Mehrteilchensysteme

Ausgabe: 19.06.2023

Besprechung: 27.06.2023

Aufgabe 1: Der Stern-Gerlach-Versuch In dem Experiment von O. Stern und W. Gerlach (1922) tritt ein Strahl von Silberatomen aus einem Ofen ($1000\text{ }^\circ\text{C}$) aus. Der Strahl passiert einen $L = 5\text{ cm}$ langen Magneten, in welchem ein Gradient des Magnetfeldes von $1 \times 10^3\text{ T/m}$ herrscht. Direkt nach dem Magneten befindet sich eine Glasplatte, an der sich das Silber niederschlägt.



- Berechnen Sie die Ablenkung des Strahls Δz unter der Annahme, dass das magnetische Moment der Silberatome $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24}\text{ J/T}$ beträgt. Die Masse eines Silberatoms ist $m_{Ag} = 1.80 \times 10^{-25}\text{ kg}$. Die Geschwindigkeit der Silberatome in x-Richtung ist $v_x = 500\text{ m/s}$ [1P]
- Im Experiment beobachtet man eine Aufspaltung in zwei diskrete Teilstrahlen. Welche Schlussfolgerungen kann man daraus ziehen? Was würde man klassisch erwarten? [0.5P]
- Warum muss das Magnetfeld inhomogen sein? [0.5P]

Aufgabe 2: Termschema des Wasserstoffatoms

- Sie möchten den Gesamtdrehimpuls eines Wasserstoffatoms berechnen. Welche Drehimpulse müssen Sie hierzu kennen? [0.5P]

- b) Skizzieren Sie das vollständige Termschema des Wasserstoffatoms bis $n = 2$ inklusive Feinstrukturaufspaltung, Lamb-Verschiebung und Hyperfeinstrukturaufspaltung. Erklären Sie qualitativ die physikalische Effekte, die zu den jeweiligen Korrekturen bzw. Aufspaltungen der Energieniveaus führen. [2P]
Hinweis: Prüfen Sie, ob Ihnen alle Korrekturen klar sind und nutzen Sie diese Gelegenheit, Verständnisprobleme im Tutorium zu beheben. Die Lamb-Verschiebung wurde nur "anschaulich gemacht". Es ist nicht nötig sich hier ein tieferes Verständnis der QED zu erarbeiten. Geben Sie wieder, was Sie verstanden haben und nutzen Sie die Gelegenheit, Ihr Verständnis noch einmal mit den Tutoren zu diskutieren.

Aufgabe 3: Helium-Atom

Die Ionisationsenergie von Helium beträgt 2372.3 kJ/mol für das erste Elektron und 5250.3 kJ/mol für das zweite Elektron.

- a) Was ist die Besetzungskonfiguration des Helium-Atoms?
 Geben Sie die Ionisationsenergien pro Atom in der Einheit eV an. [0.5P]
- b) Wir wollen nun versuchen diese Ionisationsenergien aufgrund von theoretischen Überlegungen zu berechnen. Dazu führen wir das komplizierte Heliumatom auf das einfachste Atom dessen Schrödinger-Gleichung wir bereits gelöst haben zurück: Das Wasserstoffatom. Berechnen Sie die erwarteten Ionisationsenergien der beiden Elektronen ausgehend von den Wasserstoff-Energieniveaus $E_n = R_H \frac{e^2}{n^2}$, mit $R_H = -13.6$ eV. Gehen Sie dabei davon aus das ein Elektron die unabgeschirmten Kernladungen des Helium-Atoms sieht, während für das andere Elektron in erster Näherung eine der Kernladungen komplett abgeschirmt ist. Vergleichen Sie die berechneten Energien mit den tatsächlich gemessenen aus Aufgabe a). [0.5P]
- c) Wir verbessern die obige Näherung indem wir zur Berechnung der Ionisationsenergie von Atomen mit mehreren Elektronen annehmen, dass die Kernladung durch die übrigen Elektronen nur teilweise abgeschirmt wird, $Z_{\text{eff}} = Z - S$. Wie gross ist dieser Abschirmkoeffizient S für Helium? Benutzen Sie die in a) berechneten Ionisationsenergien von Helium. [0.5P]

Aufgabe 4: Periodensystem der Elemente

- a) Stellen Sie folgende Aussage richtig und begründen Sie Ihre Antwort: "Der Atomdurchmesser nimmt mit der Kernladungszahl zu". [0.5P]
- b) Das Periodensystem der Elemente (siehe z.B. hier: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Detailliertes_Periodensystem_mit_Elektronenkonfiguration.png) zeigt für das Element Kalium eine scheinbare Unregelmäßigkeit bei der Besetzung der Zustände. Um welche Unregelmäßigkeit handelt es sich und woher stammt sie? [1P]
- c) Beantworten Sie mit Hilfe der Hundschen Regeln folgende Fragen:
- (a) Was ist der Gesamtdrehimpuls J von Neon im Grundzustand? [0.5P]
- (b) Ein Atom im Grundzustand hat 5 Elektronen in der L-Schale. Welchen Wert hat der Gesamtdrehimpuls J ? [1P]

- (c) Welches Element hat die Elektronenkonfiguration $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, und welche Elektronenkonfiguration hat Chrom? [1P]

Weitere Informationen und Updates zur Vorlesung/Übung finden Sie auch hier:
https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2093879&client_id=produktiv