



III. Physikalisches Institut B, RWTH Aachen
Prof. Dr. Christopher Wiebusch, Dr. Philipp Soldin

Übungen zur Physik IV - SS 2024
Atome Moleküle Kerne

Übung 5

Ausgabedatum: 08.05.24

Abgabedatum: 15.05.24

Tag der Besprechung: 27.05.24

Verständnisfragen

Kapitel 4

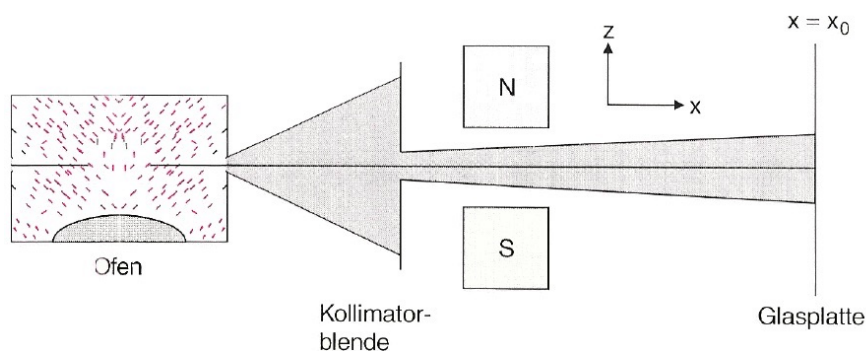
1. Wie kommt es zur Spin-Bahnkopplung im H-Atom?
2. Wie werden Energieniveaus auf Grund der LS Kopplung modifiziert?
3. Was ist das Konzept von Störungsrechnung und wozu wird sie benötigt?
4. Wie groß ist die Feinstruktur im Wasserstoffspektrum?
5. Was ist die Feinstrukturkonstante?
6. Welche relativistischen Korrekturen modifizieren die Feinstruktur des Wasserstoffspektrums und wie?
7. Was ist die Darwin Korrektur?
8. Kann man Feinstruktur, relativistische Korrektur und Darwin als konsistenten Effekt verstehen?
9. Was ist der Lamb Shift?
10. Was bezeichnet man als Hyperfeinstruktur?
11. Wie funktioniert das Experiment von Lamb und Retherford?
12. Was ist die 21cm Linie des Wasserstoffs?
13. Wie funktioniert MRT?
14. Fassen Sie alle Effekte durch interne und externe elektro-magnetische Felder zusammen!

Übungsaufgaben

Aufgabe 1 ★ ★ ★ ★ ☆

STERN-GERLACH EXPERIMENT

(10 + 30 = 40 Punkte)



Mit einem Atomstrahl aus Kalium-Atomen wird ein Stern-Gerlach-Experiment durchgeführt. Die Temperatur des Ofens beträgt $T = 190^\circ \text{C}$, das Magnetfeld besitzt eine Inhomogenität $\partial B/\partial z = 82 \text{ T/m}$. Die Atome durchfliegen das Magnetfeld auf einer Strecke von $l = 10 \text{ cm}$. In einem Abstand von $d = 32 \text{ cm}$ hinter dem Magneten befindet sich eine Glasplatte, auf der die Atome aufgefangen werden.

- In welchem mittleren Abstand in z -Richtung beobachtet man die beiden Atomstrahlen auf der Glasplatte (siehe Abbildung)? Hinweis: Bei Kalium trägt nur der Spin des Elektrons im $4^2s_{1/2}$ Zustand bei.
- Entwickeln Sie ein python-Skript oder Jupyter-Notebook mit einer Monte Carlo Simulation des Stern-Gerlach Experiments mit der Sie den Auftreffort einzelner Kalium-Atome darstellen können. Würfeln Sie dazu zunächst die inertialen Teilchengeschwindigkeiten, die einer Maxwell-Boltzmann-Verteilung mit der gegebenen Temperatur folgen.
Nutzen Sie diese dann, um die Verteilung der Kalium-Atome am Schirm als Histogramm darzustellen. Nehmen Sie an, dass das Experiment unter perfekten Laborbedingungen stattfindet, das Experiment also durch die gegebenen Parameter und die Abbildung vollständig beschrieben wird. Es darf angenommen werden, dass Teilchen aus dem Kollimator an immer exakt der gleichen Position und mit exakt gleicher Flugrichtung austreten. Sie können ebenfalls einen Gangunterschied im Magnetfeld vernachlässigen. Vergleichen Sie die Verteilung mit Ihrer Erwartung aus Aufgabenteil (a).
Tipp: Verwenden Sie zum generieren von Zufallszahlen in ihrer Monte Carlo Simulation geeignete Pseudozufallszahlengeneratoren wie z.B. `numpy.random.uniform` in Python.

Aufgabe 2 ★ ☆ ☆ ☆ ☆

(10 + 10 = 20 Punkte)

MÖGLICHE ÜBERGÄNGE BEIM NORMALEN ZEEMAN-EFFEKT

- Schreiben Sie alle möglichen elektrische Dipolübergänge zwischen dem d-Niveau in ein p-Niveau in der Standardnomenklatur auf.
- Wie viele der Übergänge aus a) unterscheiden sich energetisch? Schreiben Sie auf welche der Übergänge aus (a) zur gleichen Spektrallinie führen.

Hinweis: Die Auswahlregel für die elektrischen Dipolübergänge lautet $\Delta m = +1, 0, -1$

Aufgabe 3 ★ ★ ★ ☆ ☆

(25 + 15 = 40 Punkte)

ANOMALER ZEEMAN-EFFEKT

Bei Natrium tritt der anomale Zeeman-Effekt auf. Die Natrium- D_2 -Linie ist der Übergang von $3^2P_{3/2}$ nach $3^2S_{1/2}$.

- Betrachten Sie die Aufspaltung der D_2 -Linie in einem externen Magnetfeld B .
In wieviele Niveaus spalten $3^2P_{3/2}$ bzw. $3^2S_{1/2}$ auf?
Wie groß ist die Aufspaltung zwischen zwei benachbarten Zeeman-Linien in Einheiten von $\mu_B B$?
- Fertigen Sie eine Skizze der Aufspaltung an, und zeichnen Sie die möglichen Übergänge gemäß der Auswahlregel $\Delta J = \pm 1$, $\Delta m_j = 0, \pm 1$ ein.