

Übungen zur Vorlesung Moderne Experimentalphysik I

KIT, Sommersemester 2019



Prof. Dr. G. Drexlin, Dr. K. Valerius, Dr. M. Schlösser, Dr. H. Seitz-Moskaliuk

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Prof. Drexlin: Di 11:30-12:30, Raum F2-34 (Flachbau)
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30
Sprechstunde	Dr. Schlösser, Dr. Seitz-Moskaliuk: nach Vereinbarung (magnus.schloesser@kit.edu, hendrik.seitz-moskaliuk@kit.edu)
Ilias	https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html

Übungsblatt 6 – Bearbeitung bis 03.06.2019

WICHTIGER HINWEIS: Im Tutorium zu Blatt 6 (d.h. im nächsten Tutorium am 03.06.2019) wird ein kurzer Test zu den bisherigen Übungsaufgaben 1-17 (Blatt 1-5) durchgeführt. Dabei gibt es zu jeder Aufgabe eine kurze, einfache Verständnisfrage (kein Rechnen notwendig!). Es handelt sich hierbei um eine reine Wiederholung des Stoffes. Wer also die Übungen selbst gelöst hat oder die Lösungen im Tutorium mitgeschrieben hat, sollte keine Probleme haben alle Fragen zu beantworten.

(18) Das Wasserstoffatom nach Lösung der Schrödinger-Gleichung

Für die Lösung der Aufgabe empfehlen wir als Ergänzung zur Vorlesung das über SpringerLink verfügbare Buch *Atome, Moleküle und optische Physik I* von Hertel und Schulz (Link <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-662-53104-4>).

- Berechnen Sie das Maximum der radialen Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Grundzustand des Wasserstoffatoms. Vergleichen Sie dies mit dem entsprechenden Radius der Bohr-Theorie (Hertel, Absatz 2.6).
- In Aufgabe 14 b) wurde erklärt, dass myonischer Wasserstoff für die Messung des Ladungsradius des Protons sehr geeignet ist, da es einen sehr hohen Überlapp mit dem Kern hat (siehe auch Vorlesung 8). Welche Orbitale ($s(l = 0)$, $p(l = 1)$, $d(l = 2)$, $f(l = 3)$, ...) sind wohl am besten dazu geeignet, wenn der Effekt des Kerns am stärksten zu tragen kommen soll?
- Wie groß ist die mittlere potentielle Energie sowie mittlere kinetische Energie im quantenmechanischen Wasserstoffatom (Grundzustand $n = 1$, $l = 0$)? Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Herleitung des Bohrschen Atommodells (Hertel, 2.3.4). Nehmen Sie für $V(r)$ ein Coloumb-Potential an.

(19) Stern-Gerlach Versuch

Der Stern-Gerlach-Versuch ist ein grundlegendes Experiment in der Physik und wird immer wieder herangezogen, um quantenmechanische Erscheinungen zu erläutern, die im Rahmen der klassischen Physik nicht verständlich sind.

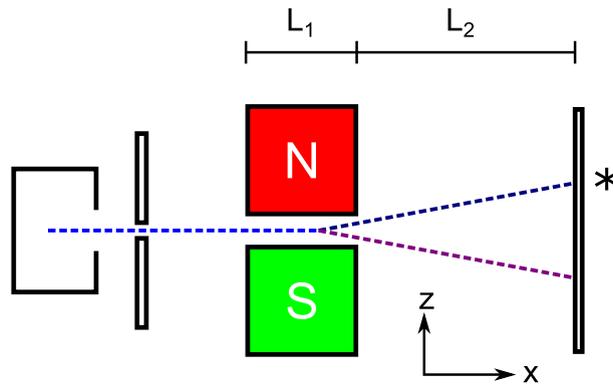


Abbildung 1: Aufbau des Experiments von Walther Gerlach und Otto Stern.

- (a) Welches ist die wichtigste Erkenntnis, die sich aus den Ergebnissen des Experiments ableiten lässt?
- (b) Was bestimmt, wie viele Linien gesehen werden? Welche experimentellen Eigenschaften bestimmen die Entfernung zwischen zwei Linien? Nutzen Sie zur Erklärung Abbildung 1.
- (c) Aus welchem Grund muss das untersuchte Teilchen ungeladen sein? Wieso muss das magnetische Feld inhomogen sein?
- (d) Beim historischen Stern-Gerlach Experiment wurden Silberatome verwendet. Diese haben im Grundzustand ein einzelnes $5s$ Elektron in einer nicht abgeschlossenen Schale. Hinweis: alle weiter unten liegenden Elektronen in abgeschlossenen Schalen addieren ihre Einzeldrehimpulse $\vec{\ell}$ genau zu einem Gesamtdrehimpuls $\vec{L} = 0$.

Wir nehmen hier folgende Geometrie an: $L_1 = 4 \text{ cm}$ und $L_2 = 10 \text{ cm}$. Die Magnetfeldstärke beträgt $\vec{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z \cdot 10^3 \text{ T m}^{-1} \end{pmatrix}$. Der Abstand zwischen den beiden Auftreffpunkten auf dem Schirm beträgt 2 mm . Die Silberatome aus dem Ofen haben eine thermische Geschwindigkeit von $v_x = 500 \text{ m/s}$.

- Berechnen Sie die Komponente des magnetischen Moments des Atoms in Richtung der Inhomogenität des Magnetfeldes.
 - Wie kann man mit diesem Experiment den g-Faktor des Elektrons bestimmen? Berechnen Sie ihn.
- (e) Ein feiner Strahl aus neutralen Atomen fliegt durch oben beschriebenen Stern-Gerlach Aufbau. Es werden fünf äquidistante Linien beobachtet. Wie ist der Gesamtdrehimpuls des Atoms?
- (f) Welche Struktur wird bei einem Strahl aus Wasserstoffatomen im Grundzustand beobachtet? Wieso?
- (g) Nun wird der Schirm an der Stelle (*) in Abbildung 1 geöffnet, so dass eine Komponente des Strahls isoliert wird. Nun wird dieser Strahl durch einen weiteren Stern-Gerlach Aufbau geführt. Welches Muster (d.h. gibt es eine Aufspaltung und wie sieht sie aus?) beobachtet man in folgenden Fällen:
- Das zweite Magnetfeld ist ebenfalls in z-Richtung ausgerichtet.
 - Das zweite Magnetfeld ist in y-Richtung ausgerichtet.

(Hinweis: Nutzen Sie in den Überlegungen ihre Kenntnis über die Eigenschaften von Operatoren sowie die Messungen von Eigenwerten aus der Vorlesung (ggf. aus Theo D).)

- (h) Welche Struktur wird bei einem Strahl aus Quecksilberatomen im Grundzustand beobachtet (1S_0)? Wieso?

(*) Punkteverteilung

Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
18	a, b, c	je 1
19	a, c, f, h	je 0,5
19	b	1
19	g, d	je 1,5

Bei Verständnisfragen gerne das Wiki im ILIAS nutzen oder eine Mail an die Übungsleiter schreiben.