

# Übungen zur moderne Experimentalphysik I (Physik IV, Atome und Kerne) KIT, Sommersemester 2017



Prof. Dr. Guido Drexlin, Dr. Kathrin Valerius

---

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Drexlin: Di 11:30-12:30, Valerius: Do 9:45-10:45
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Erhard, Schlösser: Mo 13:00-14:00
Ilias	<a href="https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_661999&amp;client_id=produktiv">https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_661999&amp;client_id=produktiv</a>

---

## Übungsblatt 6 – Bearbeitung bis 19.06.2017

**WICHTIGER HINWEIS:** Im Tutorium zu Blatt 6 (d.h. im nächsten Tutorium am 19.06.2017) wird ein kurzer Test zu den bisherigen Übungsaufgaben 1-18 (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.

### (19) Rubidium-Atomuhr mit Hyperfeinübergang

Als Zeitnormal können atomaren Übergänge verwendet werden, da hierbei die Übergangsfrequenzen (in Abwesenheit von externen Störungen) universell konstant sind (anders bei einer Pendeluhr oder einem Quarzoszillator). Hyperfeinübergänge liegen im Bereich von einigen GHz. Dies ist meßtechnisch sehr praktisch, da es sich hierbei um Frequenzen handelt, die sich elektronisch zählen lassen. (Vergleiche hierbei die Frequenz von sichtbaren Licht!).

(a) Wodurch resultiert die Hyperfeinaufspaltung in Atomen?

(b) In der Vorlesung wurde die Cs-Atomstrahl Uhr vorgestellt. Eine andere, kompaktere Art der Atomuhr ist eine, die auf Rubidium-Dampf beruht. Betrachten Sie dazu den Artikel von James Camparo [https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=file\\_705005\\_download&client\\_id=produktiv](https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=file_705005_download&client_id=produktiv) und beantworten Sie folgende Fragen.

- Für die Hyperfeinstrukturaufspaltung wird kein externes Magnetfeld benötigt. Wieso gibt es hier doch ein externes Magnetfeld?
- Wieso wählt man einen Übergang zwischen  $m = 0$  und  $m = 0$ ?
- Vergleich Sie die Übergangsenergie mit der thermischen Energie bei Raumtemperatur. Was bedeutet das für die Besetzung der Hyperfein-Zustände?
- Warum wird das optische Pumpen benötigt und wie funktioniert es?
- Wie stabilisiert man den Quarzkristalloszillator auf den atomaren Übergang?

### (20) Kernspin-Resonanz

Ein Wassertropfen befindet sich in einem Magnetfeld von  $B_0 = 2.5 \text{ T}$ . Nun wird über eine Spule zusätzlich ein alternierendes elektromagnetisches Wechselfeld eingekoppelt. Die Frequenz wird so eingestellt, dass sie mit der maximalen Spinumklapprate der im Wasser befindlichen Protonen übereinstimmt.

- (a) Berechnen Sie die dazu notwendige Frequenz. Das Magnetfeld ist parallel zur  $z$ -Achse angelegt und das magnetische Dipolmoment eines Protons in Richtung dieses Magnetfeldes beträgt  $\mu_z = 1.4 \cdot 10^{-26} \text{ J/T}$ .
- (b) Vergleichen Sie diese Frequenz mit typischen Frequenzen bei ESR Experimenten, die in der Vorlesung vorgestellt wurden. Woher kommt der Unterschied?
- (c) Das NMR Signal hat in der Regel ein schlechtes Signal-zu-Rausch-Verhältnis, da es sich hierbei nur um einen kleinen Effekt handelt. Erklären Sie weshalb das Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch folgende Maßnahmen verbessert werden kann:
- Signal-Akkumulation durch mehrfache Messung einer Probe und Addition aller Spektren
  - Erhöhung der Magnetfeldstärke  $B_0$
  - Senkung der Temperatur der Probe

### (21) Zeemann Effekt

Beim Zeemann-Effekt kommt es zu einer Wechselwirkung des magnetischen Moment des Atoms  $\vec{\mu}$  mit einem externen Magnetfeld  $B$ .

- (a) In der Vorlesung wurde von „normalem“ und „anomalem“ Zeemann Effekt gesprochen. Was ist hierbei der Unterschied und welcher von beiden ist eigentlich nur ein Spezialfall des Anderen?
- (b) Mittels des Zeemann-Effekts lässt sich das Magnetfeld der Sonne messen, ohne direkt vor Ort zu sein. In einem Sonnenfleck misst man einen Übergang des Elements Eisen (reiner Bahndrehimpuls), der sich in drei Komponenten aufspaltet. (z.B. einen Übergang mit  $n+1 \rightarrow n$  und  $l+1 \rightarrow l$ ).
- In wie viele Energieniveaus spaltet ein Zustand  $l$  in diesem Fall auf?
  - Erklären, sie energetisch, wieso sich der Zustand, der ohne Magnetfeld entartet ist, nun im Magnetfeld aufspaltet. Nutzen Sie bei der Erklärung das Bild eines magnetischen Dipol im Magnetfeld.
  - Warum werden nur drei Linien gemessen?
  - Die Aufspaltung zwischen benachbarten Linien beträgt 0.1 pm und die zentrale Wellenlänge beträgt 350 nm. Wie stark ist das Magnetfeld an dem Sonnenfleck?
- (c) In wie viele Linien würde sich eine der Balmer- $\alpha$  Linien ( $3p_{3/2} \rightarrow 2s_{1/2}$ ) aufspalten?

### (\*) Punkteverteilung

Übungsblatt	Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
6	19	a	0.5
6	19	b (pro Unterpunkt)	je 0.5
6	20	a, b, c	je 1
6	21	a, c	je 1
6	21	b	2