

# Einführung in die Quantenoptik

Sommersemester 2009

Carsten Henkel

## Übungsaufgaben Blatt 7

Ausgabe: 21. Juli 2009

Abgabe: außer Konkurrenz

---

**Hinweis.** Code zur studentischen Veranstaltungskritik erfragen.

### Elementares

(Ein, zwei Sätze genügen.)

**Problem 7.1** – (3 points)

Was ist ein Photon?

**Problem 7.2** – (4 points)

Geben Sie den Hamilton-Operator für das freie elektromagnetische Feld in Coulomb-Eichung an. Was bedeutet Coulomb-Eichung? Schreiben Sie die Modenentwicklung für das quantisierte elektrische Feld auf.

**Problem 7.3** – (2 points)

Was ist der Operator für die Observable "Anzahl der Photonen" in einer Mode des elektromagnetischen Felds?

**Problem 7.4** – (2 points)

Geben Sie die Definition eines kohärenten Zustands an.

**Problem 7.5** – (2 points)

Welche Observable misst ein Photodetektor?

**Problem 7.6** – (2 points)

Wie ist das (Frequenz-)Spektrum des elektrischen Felds definiert?

**Problem 7.7** – (3 points)

Erzählen Sie ihren Verwandten von den kuriosen Eigenschaften der Vakuum-Fluktuationen. Welche experimentellen Hinweise gibt es dafür, dass diese Fluktuationen wirklich existieren?

**Problem 7.8** – (2 points)

Geben Sie eine Größenordnung für die Zerfallsrate des angeregten Zustands eines Zwei-Niveau-Atoms im freien Raum an.

**Problem 7.9** – (2 points)

Geben Sie einen Hamiltonoperator für das System "Zwei-Niveau-Atom gekoppelt an zwei quantisierte Moden des elektromagnetischen Felds" an.

**Problem 7.10** – (3 points)

Was sind Rabi-Oszillationen? Geben Sie zwei Prozesse an, die zu ihrer Dämpfung führen.

### Wichtiges

**Problem 7.11** – (2 points)

Beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen dem Bloch-Vektor und der Dichtematrix eines Zwei-Niveau-Atoms.

**Problem 7.12** – (2 points)

Ausgehend von den Zuständen  $1s$ ,  $2s$  und  $2p$  im Wasserstoffatom, welche Zustände kann man durch elektrische Dipolübergänge aneinander koppeln? (Vernachlässigen Sie die Spin-Bahn-Kopplung und die Hyperfeinstruktur-Aufspaltung.)

**Problem 7.13** – (2 points)

Geben Sie den Wechselwirkungs-Hamiltonoperator eines neutralen Atoms mit dem elektromagnetischen Feld an: (i) in minimaler Kopplung; (ii) in elektrischer Dipol-Kopplung.

**Problem 7.14** – (2 points)

Geben Sie je eine Formel an, die die gedämpfte Dynamik des Zustands eines zwei-Niveau-Systems und einer Feldmode bei Temperatur  $T = 0$  beschreiben. Welche Näherungen müssen für diese Beschreibungen erfüllt sein?

**Problem 7.15** – (2 points)

Geben Sie die Bloch-Gleichungen für ein Zwei-Niveau-System an und legen Sie sich Regeln zurecht, um die Vorzeichen der diversen Terme (Rabi-Frequenz, Verstimmung, spontaner Zerfall) festzulegen.

**Problem 7.16** – (2 points)

Geben Sie die Photonenstatistik (= Wahrscheinlichkeit,  $n = 0, 1, \dots$  Photonen bei einer Messung zu finden) für einen thermischen Zustand an.

**Problem 7.17** – (3 points)

Dieselbe Aufgabe für einen (i) kohärenten Zustand und (ii) graphisch für den stationären Zustand eines konventionellen Lasers.

**Gesamt:** 40 Punkte.