

**ÜBUNGEN**  
zur Vorlesung „Instrumente der modernen Physik“  
TU Dortmund Sommersemester 2019

– **BLATT 4** –

Daniel Krieg ( daniel.krieg @ tu-dortmund.de )  
Carsten Mai ( carsten.mai @ tu-dortmund.de )  
Vorbesprechung am Mi 08.05.2019, Abgabe am Mo 13.05.2019.

*Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (\*.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. LaTeX, Word, gescannt) per Email an die zwei Übungsleiter einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, dem PDF und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[Instrumente19 Übung] Abgabe Blatt 4, <Namen>“*

**Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)**

- a) Warum sind die Grenzen des aktiven Lasermediums (Fenster einer Gasentladungsröhre oder Endflächen eines Kristalls) oft um den Brewster-Winkel gegen die Strahlachse geneigt und wie ist der resultierende Laserstrahl polarisiert?
- b) Welchen Grund könnte es haben, dass die Endflächen eines Laserkristalls nicht gegeneinander geneigt, sondern (wie in der Skizze) parallel sind?



**Aufgabe 2: Ratengleichung (5 Punkte)**

Die Zahl der Atome  $N$  im gepumpten Niveau eines Lasers und die Photonenzahl  $n$  kann durch folgendes Modell beschrieben werden (siehe A. Siegman, *Lasers* oder viele andere Quellen):

$$\frac{dN}{dt} = -b \cdot N \cdot n - a \cdot N + R \quad (1) \qquad \frac{dn}{dt} = +b \cdot N \cdot n - \gamma \cdot n \quad (2).$$

In beiden Gleichungen beschreibt der erste Term die stimulierte Emission mit Koeffizient  $b$ . Der zweite Term in Gl. (1) ist die spontane Emissionsrate mit Koeffizient  $a$  und  $R$  ist die als konstant angenommene Pumprate. Der zweite Term in Gl. (2) ist die Resonatorverlustrate.

- a) Welcher Gleichgewichtswert von  $N$  stellt sich mit Photonenemission ein, wenn sich die Photonenzahl nicht mehr ändert ( $dn/dt = 0$ )?
- b) Welcher Gleichgewichtswert von  $n$  stellt sich ein, wenn sich die Photonenzahl und die Besetzung im gepumpten Niveau nicht mehr ändert ( $dn/dt = 0$  und  $dN/dt = 0$ )?
- c) Welche Zerfallsrate kompensiert gemäß b) die Pumprate im Gleichgewicht?
- d) Um welchen Wert wird gemäß b) die Photonenzahl im Gleichgewicht aufgrund der spontanen Emission reduziert?
- e) Wie groß ist die Zeitkonstante der Resonatorverluste?
- f) Definieren Sie die dimensionslosen Größen  $D$ ,  $A$ ,  $I$  und  $T$ , indem Sie  $N$ ,  $R$ ,  $n$  und  $t$  durch die Ausdrücke in a) und c) bis e) dividieren. Zeigen Sie, dass sich damit sowie mit  $G \equiv a/\gamma$  die Ratengleichungen in Aufgabe 3 ergeben.

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Einschwingen eines Lasers (4 Punkte)

Folgende Ratengleichungen beschreiben das Einschwingverhalten eines Lasers mit dimensionslosen Größen:

$$dD = G \{ A - D \cdot (I + 1) \} \cdot dT$$

$$dI = I \cdot (D - 1) \cdot dT$$

Hierbei wird die Inversion durch  $D(T)$  und die Laserintensität durch  $I(T)$  beschrieben (vgl. Aufgabe 2). Zu Beginn der Rechnung besteht keine Inversion ( $D = 0$ ) und der Anfangswert der Intensität ist klein, sollte aber von null verschieden sein (warum?). Der Parameter  $A$ , der die Pumpintensität beschreibt, sollte deutlich größer als 1 sein, z.B.  $A = 2$ . Der Verlustparameter  $G$  liegt für sehr verschiedenartige Laser bei einem universellen Wert um 0,001.

- Führen Sie mit Python die Gleichungen in einer Schleife wiederholt (ca. 20000 mal) aus, wobei die Zeitschritte  $dT$  kleiner als 1 sein sollten (Empfehlung 0,5) und stellen Sie  $D$  sowie  $I$  als Funktionen der Zeit dar. Betrachten Sie den Gesamtbereich von  $T$ , aber auch einen engeren Bereich um das erste Maximum.
- Tragen Sie  $I(T)$  gegen  $D(T)$  auf. Warum bezeichnet man diese Darstellung als Phasendiagramm?
- Variieren Sie  $A$  und  $G$ . Wie wird die Frequenz und Dämpfung des Einschwingvorgangs beeinflusst?