

---

|              |   |
|--------------|---|
| 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        | <a href="https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html">https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html</a> |

---

## Übungsblatt 9 – Bearbeitung bis 01.07.2019

### (29) Laser

Ein Laser besteht im Allgemeinen aus drei Komponenten: einem aktiven Medium, einem Resonator und einer Pumpquelle. Da es sich beim Laser um einen optischen Oszillator handelt, kann er mit einem selbsterregten, schwingenden elektronischen Oszillator verglichen werden. So dient das aktive Medium als Verstärker, der Resonator als Rückkopplung und die Pumpquelle als Energiequelle.

Wir betrachten in dieser Übungsaufgabe zunächst einen Helium-Neon-Laser.

- Erklären Sie, wie das aktive Medium, der Resonator und die Pumpquelle in diesem Laser umgesetzt sind. Nutzen Sie hierbei auch eine Skizze des Energiediagramms und beschränken Sie sich auf den charakteristischen Laserübergang bei  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ .
- Im Laserresonator sind nur diejenigen Wellenlängen resonant, die stehende Wellen ausbilden können. Jede dieser Wellenlängen entspricht einer sogenannten Resonatormode, siehe dazu Abbildung 1. Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda_n$  für die  $n$ te Mode sowie den Abstand zwischen zwei Moden. Nehmen Sie an, dass der Laserresonator eine Länge von  $\ell = 500 \text{ mm}$  hat.
- Die Gainkurve von Neon hat eine Breite von ca.  $1.5 \text{ GHz}$  (FWHM bei der typischen Wellenlänge

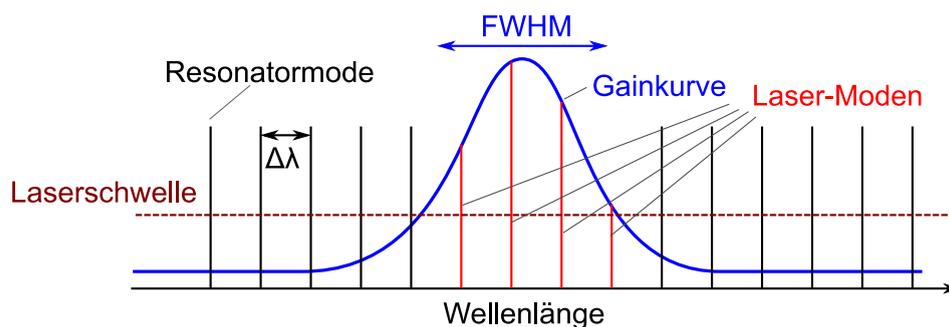


Abbildung 1: Moden im Laserresonator und Gainkurve.

von 632.8 nm). Der Laser kann auf allen (Resonator-)Moden lasern, die innerhalb der Gainkurve und über der Laserschwelle liegen. Wie viele Moden werden für den gegebenen Fall innerhalb der 1.5 GHz liegen unter der Annahme, dass dies genau der Bereich oberhalb der Laserschwelle ist?

- (d) Der Laser arbeitet meist gleichzeitig nur auf einer Lasermode. Kleine Störungen können aber bewirken, dass es zu Modensprüngen kommt und diese können unter Umständen unvorhersagbar sein. Daher fügt man in der Regel in einen Laserresonator noch ein zusätzliches *Etalon* ein, mit dem man alle unerwünschten Moden unterdrücken kann. Dabei handelt es sich um ein Glaspplättchen mit aufgedampften Spiegeln auf beiden Seiten, das wie ein Fabry-Perot-Interferometer arbeitet (ähnlich dem Laserresonator selbst). Es werden nur diejenigen Wellenlängen durchgelassen (d. h. überleben im Laserresonator), die innerhalb der Etalondicke stehende Wellen ausbilden. Das Etalon hat eine feste Dicke  $d$ ; der Lichtweg kann aber durch Verkippung etwas variiert werden. Berechnen Sie die Etalon-Moden für eine Dicke von 6 mm und einem Brechungsindex von  $n = 1.46$ . Zeichnen Sie in Abbildung 1 ein, wie mit der Wahl der Etalon-Mode nur eine Resonatormode zum Lasern gebracht werden kann.

Betrachten wir nun einen gepulsten Laser, z. B. für das Laserentfernungsmesssystem der Fundamentstation Wettzell. In dem System ist ein gepulster Laser verbaut, der Pulse mit einer Pulsbreite von etwa 200 ps und einer Pulsenergie von 150 mJ bei einer Wellenlänge von 532 nm liefert.

- (e) Wie ist die Momentanleistung während des Pulses im Vergleich zu der Leistung eines Kraftwerks?  
 (f) Wie viele Photonen werden in jedem Puls emittiert?  
 (g) Mit Dauerstrichlasern (englisch continuous wave, cw) können sehr schmale Bandbreiten in der Laseremission erreicht werden. Gepulste Laser haben hier eine physikalische Begrenzung, die wir auch schon in ähnlicher Form auf einem früheren Übungsblatt kennen gelernt haben. Welche ist das und was ist das kleinste  $\Delta\lambda$ , das mit obigem Laser erreicht werden kann?

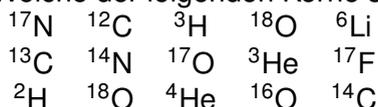
### **(30) Einstieg in die Kernphysik**

Nuklide stimmen sowohl in der Anzahl der Protonen als auch in der Anzahl der Neutronen im Atomkern überein. Nuklide werden wie folgt notiert:

$${}^A_ZX. \quad (1)$$

Hierbei ist  $A$  die Nukleonanzahl (oder Massenzahl),  $Z$  die Ordnungszahl und  $X$  das Elementsymbol.

- (a) Welche der folgenden Kerne sind i) Isotope, ii) Isobare und iii) Isotone zueinander?



- (b) Vervollständigen Sie die Schreibweise nach Gleichung 1.

Anschließend betrachten wir ein paar Abschätzungen zur Dichte von Kernmaterie. Nehmen Sie in beiden Teilaufgabenstellungen an, dass die Neutronen wie Tropfen ohne Freiräume den gesuchten Raum ausfüllen können (Tröpfchenmodell).

- (c) Der Radius eines Protons sowie eines Neutrons ist ungefähr 0.8 fm. Stellen Sie sich einen Ball aus Neutronen vor, der die Größe Ihres Kopfes hat (z.B. mit Radius  $r = 10$  cm). Wieviel würde er wiegen?

**Tabelle 1:** Massen einiger leichter Kerne (1 amu = 931,5 MeV).

| Nuklid       | Masse (amu) | Nuklid        | Masse (amu) |
|--------------|-------------|---------------|-------------|
| $^1\text{H}$ | 1,00783     | $^3\text{He}$ | 3,01603     |
| $^2\text{H}$ | 2,01410     | $^4\text{He}$ | 4,02603     |
| $^3\text{H}$ | 3,01605     | $^6\text{Li}$ | 6,01512     |

- (d) Ein Neutronenstern ist ein kollabierter Stern, der beinahe vollständig aus Neutronen besteht. Was wäre die Größe des Neutronensterns, falls er die doppelte Sonnenmasse aufweist? (Masse der Sonne  $\approx 2 \cdot 10^{30}$  kg.)

Im Atomphysikteil der Vorlesung haben wir bereits die Rutherford-Streuung kennengelernt, die die Streuung an einer Punktladung beschreibt. Nun haben wir in der Vorlesung gelernt, dass der Kern und damit die Ladungsverteilung selber eine Ausdehnung besitzt und somit die Streuung beeinflusst wird.

- (e) Mit welchem Impuls müssen Elektronen ausgestattet sein, um Kernstrukturen aufzulösen?

Der Wirkungsquerschnitt der Rutherford-Streuung beträgt

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E_{\text{kin}}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \Theta/2}. \quad (2)$$

Die endliche Ladungsverteilung im Kern verändert den Wirkungsquerschnitt mittels des sogenannten Formfaktors  $F(\vec{q}^2) = \int e^{i\vec{q}\vec{x}/\hbar} \rho(\vec{x}) d\vec{x}$ .

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R \cdot |F(\vec{q}^2)|^2 \quad (3)$$

- (f) Erklären Sie in eigenen Worten, was man unter  $\vec{q}$  versteht.
- (g) Berechnen Sie den Formfaktor eines kugelförmigen Kerns mit einer homogenen Ladungsverteilung  $\rho(\vec{x})$ .  
Hinweis: Integrieren Sie in Kugelkoordinaten (d.h.  $d\vec{x} = r^2 \sin(\theta) dr d\phi d\theta$  und  $\vec{x} = r \cdot \cos(\theta)$ ). Für die Integration können Sie dann  $u = i\vec{q} \cdot r \cdot \cos(\theta)$  substituieren und nach  $du$  integrieren.

### **(31) Bindungsenergien und Kernmassen**

In Tabelle 1 sind die Massen einiger leichter Kerne aufgelistet.

- (a) Was ist die maximale Energie des Beta-Teilchens aus dem Zerfall von  $^3\text{H}$  in  $^3\text{He}$ ?
- (b) Welche Fusionsreaktion produziert mehr Energie?



### **(\*) Punkteverteilung**

| Aufgabe | Teilaufgabe | Punkte |
|---------|-------------|--------|
| 29      | a-g         | je 0,5 |
| 30      | a, b, g     | je 1   |
| 30      | c-f         | je 0,5 |
| 31      | a, b        | je 1   |

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