

Experimentalphysik IV (PEP4)

Dozent. Prof. S. Jochim

Übung 11

Abgabe am Montag, den 30.6.2014 vor der Vorlesung

Aufgabe 1: Der HeNe-Laser (4P)

- Das Produkt aus dopplerverbreitertem Verstärkungsprofil des aktiven Mediums des HeNe-Lasers und der Verlustrate des Resonators weist über einem Frequenzbereich von 1.5 GHz eine Nettoverstärkung $G > 1$ auf. Der Laserresonator habe eine Länge von 30 cm. Wie groß ist der Frequenzabstand $\Delta\nu_0$ zweier aufeinander folgender Resonatormoden. Wie viele longitudinale Moden oszillieren im Resonator?
- Mit welchen Mitteln kann man erreichen, dass der Laser nur auf einer Resonatorfrequenz schwingt? Wie kann man die Laserfrequenz (innerhalb des Verstärkungsprofils) kontinuierlich durchstimmen?
- Wie stark ändert sich die Laserfrequenz ($\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Hz) bei einer Temperaturänderung $\Delta T = 0.1$ K. Die zwei Endspiegel des linearen Laserresonators seien durch Stahlstangen miteinander verbunden. Der thermische Ausdehnungskoeffizient des Stahls sei $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/K.

Aufgabe 2: Laserkühlung von Natriumatomen (4P)

Natriumatome (ein Valenzelektron, Grundzustand $3^2S_{1/2}$, die in einem Ofen verdampft werden und eine mittlere Geschwindigkeit $v_0 = 500$ m/s haben, sollen durch das so genannte Dopplerkühlen mit Laserlicht abgebremst werden. Dazu wird ein Laserstrahl, der den Übergang vom Grundzustand $3^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$ (589 nm) anregt, dem vom Ofen emittierten Atomstrahl entgegengerichtet.

- Wie groß sind Impuls- und Geschwindigkeitsänderung der Atome pro absorbiertem Photon? Wie viele Photonen müssen absorbiert werden, damit die Atome zum Stillstand kommen?
- Die Lebensdauer des 3p-Niveaus beträgt $\tau = 16$ ns. Nehmen Sie eine maximale Streurrate der Photonen von $R = 1/(2\tau)$ an. Wie groß sind die maximale Verzögerungskraft und die Beschleunigung der Atome? Nach welcher Strecke kommen die Atome zum Stillstand?
- Welchen Einfluss hat die Dopplerverschiebung der Resonanzlinie? Berechnen Sie Ort und Geschwindigkeit bei der die Atome nicht mehr mit dem Laser wechselwirken (Frequenzabweichung gleich der vollen Linienbreite), wenn die Laserfrequenz bei der Geschwindigkeit v_0 im Resonanzmaximum war. Vergleichen Sie die Strecke mit dem Ergebnis aus b).

Anmerkung: Dieser Effekt kann vermieden werden, indem man z.B. ein Magnetfeld so konzipiert, dass Atome, die sich entlang des Laserstrahls bewegen, auf Grund des Zeeman-Effekts immer resonant mit dem Laserstrahl sind. Die Atome im Zeeman-Slower haben eine ortsabhängige Geschwindigkeit und können somit über die ganze Strecke des Zeeman-Slows (30 – 100 cm typisch) effizient abgebremst werden (etwa 50 m/s), um im magneto-optische Fallen transferiert zu werden.

Tipp: Die Dopplerverstimmung ist in erster Näherung durch $\delta_{Doppler} = v/\lambda$ gegeben.

Aufgabe 3: Laserpulse (4P)

In einem Laser können durch Modenkopplung kurze Pulse im fs-Bereich erzeugt werden. Dabei befinden sich viele Eigenmoden des Laser-Resonators über der Laserschwelle. Nehmen Sie an, der Laser bestehe aus einem Fabry-Perot-Resonator der Länge $L = 0,5$ m und dem Kristall in der Mitte als Medium. Dieser soll als dispersionslos angenommen werden.

- Wie groß ist der Frequenzabstand $\Delta\omega = \omega_{n+1} - \omega_n$ zweier benachbarter Eigenmoden des Laserresonators? Berechnen Sie die Ordnung n_0 (Zahl der in den Resonator passenden Halbwellen), für einen Titan-Saphir-Laser (Ti:Sa) mit einer Wellenlänge von 800 nm.
- Stellen Sie mit dem Numerikprogramm Ihrer Wahl (z.B. Matlab, Octave, Mathematica, Maple, ...) folgende Summe dar:

$$\sum_{n=n_0}^{n_0+N} \cos(\omega_n t + \varphi_n)$$

Wählen Sie zunächst $n_0 = 0$ (der Einfachheit halber) und $N=0, 1, 20, 100$ im Bereich von 0 bis $3 \cdot 2\pi/\Delta\omega$.

Setzen Sie $\varphi_n = 0$ (Modenkopplung, d.h., alle Eigenmoden des Resonators schwingen mit derselben Phase). Wie und warum verändert sich die Struktur mit steigendem N ? Wie hoch ist die Repetitionsrate der Pulse?

- Im Allgemeinen ist die Synchronisation der Phasen zwischen den einzelnen Moden nicht gegeben, und die Phasenbeziehung ist beliebig. Wählen Sie nun für den Fall mit dem Ti:Sa-Laser. Simulieren Sie dies, indem Sie jeder Mode eine zufällige Phase φ_n (im Bereich von 0 bis 2π) geben und dieselben Plots erstellen wie in Teil b). Was hat sich geändert?

(Zusatzaufgabe) Schätzen Sie die Anzahl Resonatormoden ab, die benötigt werden, um einen Puls im Femtosekundenbereich (10^{-15} s) zu erzeugen. Überlegen Sie sich dazu das Fourier-Spektrum der obigen Summe für $\varphi_n = 0$. Ti:Sa hat ein sehr breites Verstärkungsprofil. Erfüllt es die Anforderungen für einen fs-Laser?