

Teil 1: Observation of Atom Cooled below the Doppler LimitPaul D. Lett *et al.*, PRL **2**, p.169 (1988)

- a) Wie funktioniert Laserkühlung von Atomen? Welche Rollen spielen spontane und stimulierte Emission bei diesem Prozess? Welche Effekte können eine vollkommene Abbremsung der Atome bis zum Stillstand verhindern?
- b) Welche Methoden werden beschrieben um die Temperatur der kalten Atome zu messen. Wie funktionieren Sie? Welche erachten Sie als am zuverlässigsten?

Teil 2: Doppler-Limit

Auf ein Atom, das sich mit der Geschwindigkeit v in einem Strahlungsfeld bewegt, wirkt über den Strahlungsdruck die Kraft (s.Vorlesung)

$$F(v) = \hbar k \gamma \rho_{ee} = \hbar k \frac{\gamma}{2} \frac{S_0}{1 + S_0 + [2(\delta - kv)/\gamma]^2}.$$

- a) Welche Kraft wirkt auf das Atom wenn es sich im Strahlungsfeld zweier gegenläufiger Laserstrahlen gleicher Frequenz befindet? Skizzieren sie den Verlauf der Kraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.
- b) Linearisieren sie den Ausdruck für die Kraft um den Bereich der Geschwindigkeit $v = 0$, so dass $F = -\beta v$. Zeigen Sie so, dass Sie für $kv \ll \gamma$ die Formel für den Dämpfungskoeffizienten

$$\beta = -4\hbar k^2 \frac{S_0(2\delta/\gamma)}{[1 + S_0 + (2\delta/\gamma)^2]^2}$$

aus der Vorlesung erhalten.

- c) Aus der oben stehenden Kraft ergibt sich die Kühlrate

$$\frac{dE}{dt}_{cool} = F(v)v = -\beta v^2.$$

Gleichzeitig erfährt das Atom aber auch ein Heizen

$$\frac{dE}{dt}_{heat} = \frac{1}{m} \frac{dp^2}{dt} = 2\gamma \rho_{ee} \frac{(\hbar k)^2}{m} = \gamma \frac{(\hbar k)^2}{m} \frac{S_0}{1 + S_0 + (2\delta/\gamma)^2}.$$

Zeigen Sie, dass im Gleichgewicht bei kleinen Strahlungsintensitäten ($S_0 \ll 1$) die Energie des Atom

$$E_{ss} = \frac{\hbar\gamma}{8} \left(\frac{2\delta}{\gamma} + \frac{\gamma}{2\delta} \right)$$

ist.

- d) Bei welcher Verstimmung ist diese Energie minimal? Welche Formel erhalten sie so für die minimale Temperatur (Doppler Limit)?

Teil 3: Zeeman-Slower

a) Cäsium-Atome mit der Geschwindigkeit $v_{x,0} = 319 \text{ m/s}$ in einem kollimierten Atomstrahl sollen durch Photonenabsorption aus einem gegenläufigen Laserstrahl mit $\lambda = 894 \text{ nm}$ auf $v_x = 0 \text{ m/s}$ abgebremst werden. Wie groß sind Bremsweg, Bremszeit und Bremsbeschleunigung, wenn $1,4 \cdot 10^7$ Photonen/s absorbiert werden?

b) Während die Atome durch die Photonen abgebremst werden, ändert sich ihre Resonanzfrequenz aufgrund der Doppler-Verschiebung $\Delta\nu_{Dopp} = v_x/\lambda$. Für die Absorptionsfrequenz gilt dann $\nu_{abs} = \nu_{Las} - \nu_{Dopp}$. Um den Lichtdruck konstant zu halten, muss diese Verschiebung ausgeglichen werden. Eine Möglichkeit dafür bietet der Seeman-Slower. Dabei wird mit Hilfe eines ansteigenden Magnetfeldes $B(x)$ und der daraus resultierenden Energieverschiebung der Dopplereffekt kontinuierlich kompensiert.

$\Delta\nu_{Zeeman} = \pm\mu_B B$ (abhängig davon, ob σ^+ - oder σ^- -polarisiertes Licht verwendet wird). Schreiben Sie die komplette Verstimmung der Lichtfrequenz δ auf und zeigen Sie, dass für eine konstante Abbremsung ein Feldverlauf entlang der Abbremsstrecke L folgende Form haben muss:

$$B(x) = B_b \pm B_0 \sqrt{1 - \frac{2ax}{v_0^2}} \quad (1)$$

Dabei ist B_b ein konstantes Offset-Feld.

c) Welchen Effekt hat ein Abbremsen der Atome in nur einer Richtung auf die anderen beiden Richtungen?

Abgabe und Besprechung am 15. Juni 2010