

Teil 1: 'Laser cooling below the Doppler limit by polarization gradients: simple theoretical models' J.Dalibard and C. Cohen-Tannoudji, JOSA B **6**, p.2023 (1989)

a) Wie funktioniert Sisyphus Kühlung?

b) Betrachten Sie die zwei Polarisationsgradienten Typen in einer eindimensionalen optischen Molasse. Was sind jeweils die Dämpfungskoeffizienten und die Geschwindigkeit Einfangbereiche (velocity capture range). Vergleichen sie mit den entsprechenden Ausdrücken für die Doppler-Kühlung. Wie ist die Abhängigkeit von der Laserleistung?

c) Welche Minimalen Temperaturen können bei der Sub-Doppler Kühlung erreicht werden. Was ist der begrenzende Effekt?

Teil 2: Die Dipolfalle

Es soll eine Dipolfalle für ultrakalte Rubidiumatome gebaut werden. Dafür wird ein Nd:YAG Laser (Wellenlänge $\lambda = 1064 \text{ nm}$) mit einer Ausgangsleistung von $P = 10 \text{ W}$ mit Hilfe einer Linse auf eine Strahltaile (waist) von $w_0 = 100 \mu\text{m}$ fokussiert. Der Laserstrahl besitzt dann eine gaußförmige Intensitätsverteilung:

$$I(x, y, z) = \frac{2P}{\pi w(z)^2} \exp[-2(x^2 + y^2)/w(z)^2]$$

Die gemittelte Resonanzwellenlänge der Rb Atome beträgt 787 nm mit einem Dipolmatrixelement für diesen Übergang von $4,29 \times 10^{-29} \text{ C} \cdot \text{m}$. Der Strahlradius $w(z)$ an einem beliebigen Ort z ist gegeben durch

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}$$

$z_R = \pi w_0^2 / \lambda$ ist dabei die sogenannte Rayleigh-Länge.

a) Berechnen Sie die Potentialtiefe U_0 der Dipolfalle und schätzen Sie damit ab, bis zu welcher Temperatur Sie Rubidiumatome in der Falle halten können. Zur Erinnerung, die AC-Stark-Verschiebung des Grundzustands ist in diesem Fall gegeben durch $\Delta E_g = \hbar \Omega_0^2 / 4\delta$, mit der Rabi-Frequenz Ω_0 und der Verstimmung δ .

b) In erster Näherung erzeugt der gaußförmige Laserstrahl in der Nähe des Fokus ein harmonisches Fallenpotential. In axialer Richtung beträgt die Fallenfrequenz um den Strahlfokus der Dipolfalle: $\omega_z = \sqrt{\frac{2U_0}{mz_R^2}}$. Berechnen Sie die Fallenfrequenz in radialer Richtung, indem Sie wie folgt vorgehen: Schreiben Sie zunächst das Potential für ihre Atome auf und entwickeln Sie dieses dann nach Taylor bis zu den Termen zweiter Ordnung in den entsprechenden Ortsvariablen. Vergleichen Sie mit dem harmonischen Potential $U = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$.

c) Wie aus den obigen Ergebnissen zu sehen ist, ist die Falle stark anisotrop. Welche Änderungen am Aufbau wären nötig um die Falle isotroper zu machen?