

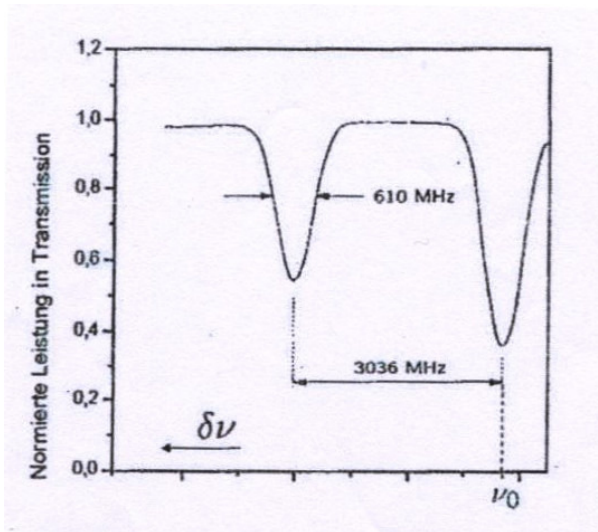
**Spektroskopie von  $^{85}\text{Rb}$ -Atomen**

**(20 Punkte)**

Wir betrachten ein Gas von  $^{85}\text{Rb}$ -Atomen mit Atommasse  $= 1,41 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$  unter Normalbedingungen. Der Übergang  $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}$  ( $D_2$ -Linie) der Rb-Atome bei der Wellenlänge  $\lambda_0 = 780 \text{ nm}$  hat eine natürliche Linienbreite von  $\Delta\omega = 2\pi \cdot 6 \text{ MHz}$  und wird mit Hilfe eines Lasers spektroskopiert.

- a) Geben Sie die Bedeutung der Buchstaben und Ziffern in der Notation  $5^2S_{1/2}$  bzw.  $5^2P_{3/2}$  an. Bestimmen Sie die möglichen Werte für die Gesamtdrehimpulsquantenzahl  $F$  in den beiden Niveaus unter Berücksichtigung der Kernspinsquantenzahl  $I = 5/2$  von  $^{85}\text{Rb}$ . **(4 Punkte)**

b)



Im Absorptionsspektrum der  $D_2$ -Linie von  $^{85}\text{Rb}$  werden bei entsprechender Auflösung zwei Linien aufgrund der Aufspaltung des Grundzustandes  $5^2S_{1/2}$  in zwei Niveaus beobachtet (s. nebenstehendes experimentelles Absorptionsspektrum). Erläutern Sie den Ursprung dieser Aufspaltung. Geben Sie die Position der Resonanz relativ zu der im Spektrum eingezeichneten Position  $\nu_0$  an, wenn es diese Aufspaltung nicht geben würde. Nehmen Sie hierfür an, dass nur der Wechselwirkungsterm  $W = A \cdot \vec{I} \cdot \vec{S}$  für die Aufspaltung verantwortlich ist, mit  $\vec{I}$  dem Kernspin von  $^{85}\text{Rb}$ ,  $\vec{S}$  dem Elektronenspin und  $A > 0$  einer Konstante. **(4 Punkte)**

- c) Wodurch ist die minimale Breite der beiden Resonanzen im Absorptionsspektrum gegeben? Nennen Sie zwei Effekte, die die Linienbreite vergrößern können. **(3 Punkte)**

Eine Möglichkeit, Verbreiterungsmechanismen zu unterdrücken und damit die spektroskopische Auflösung des Übergangs zu erhöhen, ist die Abkühlung des Gases durch Laserkühlung. Dazu betrachten wir die Rate  $R$ , mit der ein Atom des Gases Photonen des Lasers absorbiert. Die Rate beträgt für ein ruhendes Atom:

$$R = \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{s_0}{(2\delta/\gamma)^2 + 1}$$

Hierbei ist  $\delta = \omega_L - \omega_0$  die Verstimmung der Laserfrequenz  $\omega_L$  gegenüber der atomaren Resonanzfrequenz  $\omega_0$  und  $s_0 = I/I_0$  der (einheitslose) Sättigungsparameter (mit  $I_0$  der Sättigungsintensität).

- d) Bestimmen Sie den Impuls des Photons bei der Wellenlänge  $\lambda_0$ . Leiten Sie daraus mit Hilfe obiger Formel für  $R$  einen Ausdruck für Betrag und Richtung der Lichtdruck-Kraft her, die ein ruhendes Atom im Mittel durch Impulsübertrag bei der *Absorption* der Laserphotonen erfährt. Erläutern Sie auch kurz, welche Kraft das Atom im Mittel durch die Emissionsprozesse erfährt. **(4 Punkte)**
- e) Betrachten Sie jetzt ein Atom, das sich im Lichtfeld von zwei entgegengesetzt ausgerichteten Laserstrahlen gleicher Frequenz  $\omega_L$  befindet. Das Atom bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  in die Ausbreitungsrichtung des einen Laserstrahls und entgegengesetzt zur Ausbreitungsrichtung des anderen Laserstrahls. Ersetzen Sie in der Formel aus d) die Verstimmung  $\delta$  durch die *effektive* Verstimmung  $\delta_v$ , die das Atom aufgrund des Doppler-Effekts erfährt. Überlegen Sie sich dazu wie der Dopplereffekt die Frequenz der beiden Laserstrahlen  $\omega_L$  aus Sicht des Atoms modifiziert.

Addieren Sie dann die Kräfte, die die beiden Laserstrahlen auf das Atom ausüben. Leiten Sie aus dem entsprechenden Ausdruck ab, wie das Vorzeichen von  $\delta$  gewählt werden muss, um eine Reibungskraft und damit eine Abbremsung und Kühlung des Atoms zu erreichen. **(5 Punkte)**