Teil 1:

„Cryogenic detectors based on superconducting transition-edge sensors for time-energy-resolved single-photon counters and for dark matter searches "

B. Cabrera *et al.*, Physica B 280 (2000), pp. 509-514

1) Erklären Sie die prinzipielle Funktionsweise eines Transition-Edge Sensors.
2) Welche Größen sind für das Energie-Auflösungsvermögen des Sensors entscheidend? Wie könnte das Auflösungsvermögen weiter gesteigert werden? Berechnen sie das spektrale Auflösungsvermögen und Vergleichen sie mit dem bei HARPS erreichten Auflösungsvermögen.
3) Warum werden Transition Edge Sensoren verwendet? Was sind die Vor- und Nachteile gegenüber anderen Detektoren?

Zusatzfragen zur Besprechung in der Übung:

4) Was ist ein SQUID?
5) Im Text wird angegeben, dass eine optische Faser als Infrarot Filter fungiert. Wie funktioniert das?
6) Auf welche Weise werden Transition-Edge Sensoren bei der Suche nach dunkler Materie verwendet?

- bitte wenden -

Teil 2: Dopplerverbreiterung von Spektrallinien

a) Leiten Sie die Formel für die Dopplerverbreiterung von Emissionslinien ab. Gehen Sie dabei von einer Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung von Atomen der Masse m und Dicht N bei der Temperatur T aus:

$$n(v_z)dv_z = \frac{N}{v_p\sqrt{\pi}}\exp[-(v_z/v_p)^2]dv_z$$

$v_p = \sqrt{2k_BT/m}$ ist die wahrscheinlichste Geschwindigkeit. Die Atome emittieren Licht der Frequenz ω_0, das aber für einen Betrachter aufgrund der Geschwindigkeitskomponente in seine Richtung v_z Doppler-verschoben ist: $\omega = \omega_0(1+v_z/c)$. Zeigen Sie, dass die beobachtete Intensität $I_D(\omega)$ des abgestrahlten Lichts gegeben ist durch

$$I_D(\omega) = N\frac{c}{\omega_0 v_p\sqrt{\pi}}\exp\left[-(\frac{c}{v_p}\frac{\omega-\omega_0}{\omega_0})^2\right]$$

und dass sich die volle Breite der Emissionslinie bei halber Intensität schreiben lässt als

$$\delta\omega_G = 2\sqrt{\ln 2}\,\omega_0 v_p/c$$

Berechnen Sie die Breiten folgender Linien:

(i) Wasserstoff Lyman-α (Temperatur T = 77 K, λ = 121,6 nm, natürliche Lebensdauer τ = 1,6 ns, m = 1 amu),

(ii) Natrium D1-Linie (T = 300 K, λ = 589:6 nm, τ = 16:3 ns, m = 23 amu),

(iii) einen Übergang in einem CO2 Molekül (T = 300 K, λ = 10 μm, τ = 10 ms, m = 44 amu)

und vergleichen Sie diese mit den jeweiligen natürlichen Linienbreiten $\delta\upsilon_L = \gamma/(2\pi) = 1/(2\pi\tau)$.

b) Bei genauer Betrachtung besitzt eine Doppler-verbreiterte Spektrallinie nicht das in a) bestimmte Gaußprofil. Aufgrund der natürlichen Lebensdauer ist zusätzlich ein Lorentzprofil

$$I_L(\omega) = \frac{\gamma}{2\pi}\frac{1}{(\omega-\omega_0)^2+(\gamma/2)^2}$$

überlagert, und durch Faltung der beiden entsteht ein „Voigtprofil“

$$I_V(\omega) = \frac{\gamma Nc}{2v_p\pi^{3/2}\omega_0}\int_0^\infty d\omega'\frac{\exp\left[-(\frac{c}{v_p}\frac{\omega'-\omega_0}{\omega_0})^2\right]}{(\omega-\omega_0)^2+(\gamma/2)^2}$$

Skizzieren Sie solch eine Faltung für ein Verhältnis von 1:3 zwischen natürlicher und Dopplerlinienbreite. Diskutieren Sie für den Natrium-Übergang aus a)(ii), wie I_V für Abstände $\omega-\omega_0 = 2\delta\omega_G$ und $\omega-\omega_0 = 10\delta\omega_G$ vom Linienmittelpunkt im Vergleich zu I_D und I_L aussieht. Wo schneiden sich Gauß- und Lorentzprofil?

Abgabe und Besprechung am 20. Mai 2009