

Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej

Część I: Optyka, wykład 3

wykład: Piotr Fita
pokazy: Andrzej Wysmołek
ćwiczenia: Anna Grochola, Barbara Piętka

Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

2014/15

Plan

- 1 Kształty linii
- 2 Spektroskopia subdopplerowska
- 3 SSWO

Naturalna szerokość linii

Liczba przejść spontanicznych:

$$dN_{21} = A_{21} N_2 dt \quad (1)$$

Liczba atomów w stanie wzbudzonym:

$$N_2(t) = N_{20} e^{-A_{21} t} = N_{20} e^{-t/\tau} \quad (2)$$

Czas życia stanu wzbudzonego: $\tau = A_{21}^{-1}$

Kształt linii widmowej:

$$\tilde{I}(\omega) = \frac{I_0}{(\omega - \omega_0)^2 + (A_{21}/2)^2} \quad (3)$$

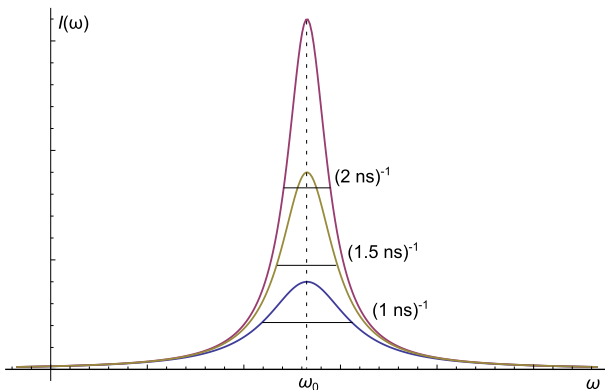
(Szczegóły - na tablicy)

Profil Lorentza

Szerokość poławkowa profilu Lorentza:

$$\Delta\omega = A_{21} = \tau^{-1}$$

(Zasada nieoznaczoności)



Poszerzenie zderzeniowe

Zderzenia są dodatkowym czynnikiem tłumiącym (Γ):

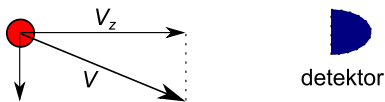
$$A_{21} \rightarrow A_{21} + \Gamma$$

Ma znaczenie, gdy $\Gamma > A_{21}$ (dużo zderzeń = wysokie ciśnienia)

Widmo linii poszerzonej zderzeniowo:

$$\tilde{I}(\omega) = \frac{I_0}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{A_{21} + \Gamma}{2}\right)^2}$$

Poszerzenie dopplerowskie



Dopplerowskie przesunięcie częstości:

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{v_z}{c} \right)$$

Maxwellowski rozkład składowej prędkości w kierunku z:

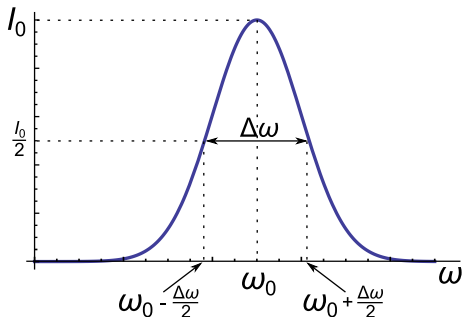
$$n_i(v_z)dv_z = \frac{N_i}{\sqrt{\pi}v_p} \exp \left[- \left(\frac{v_z}{v_p} \right)^2 \right]$$

v_p - prędkość najbardziej prawdopodobna, $v_p = \sqrt{2kT/m}$

Poszerzenie dopplerowskie

Kształt linii emisyjnej:

$$I(\omega) = I_0 \exp \left[- \left(\frac{c(\omega - \omega_0)}{v_p \omega_0} \right)^2 \right]$$



Całkowita szerokość połówkowa:

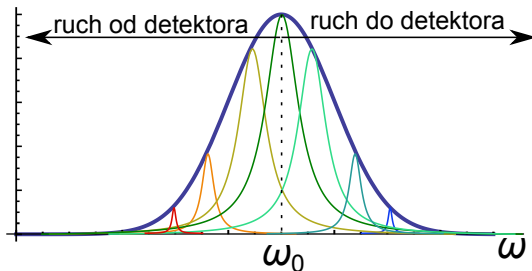
$$\Delta\omega = \omega_0 \frac{2\sqrt{\ln 2}}{c} v_p = \omega_0 \sqrt{\frac{8kT \ln 2}{mc^2}}$$

(Szczegóły - na tablicy)

Rzeczywisty kształt linii widmowej gazu

Profil Voigta

Szer. naturalna ($1 \cdot 10^7$ Hz) \ll szer. dopplerowska (10^9 Hz)



Kształt linii = splot profilu Dopplera $D(\omega)$ i Lorentza $L(\omega)$

$$I(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} D(\omega)L(\omega - \omega')d\omega'$$

Poszerzenie jednorodne i niejednorodne linii

Poszerzenie **jednorodne** - prawdopodobieństwo oddziaływania ze światłem o danej częstotliwości jest jednakowe dla wszystkich atomów (cząsteczek), np:

- poszerzenie naturalne
- poszerzenie ciśnieniowe

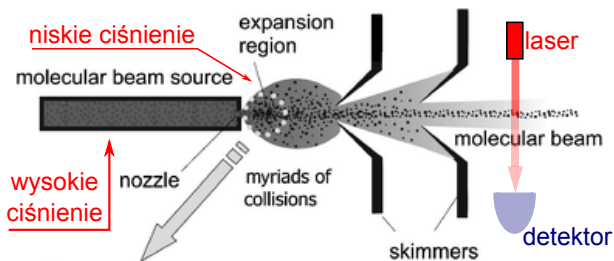
Poszerzenie **niejednorodne** - prawdopodobieństwo oddziaływania jest różne dla różnych grup atomów (cząsteczek):

- poszerzenie dopplerowskie - prawdopodobieństwo oddziaływania zależy od składowej prędkości w kierunku obserwatora

Poszerzenie niejednorodne można zredukować, np. selektywnie wzbudzając cząsteczki o określonej prędkości.

Spektroskopia subdopplerowska

Wiązki atomowe i molekularne

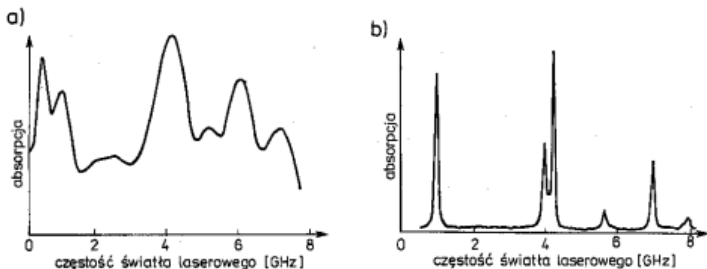


[V. Aquilanti et al, Phys. Chem. Chem. Phys., 2005,7, 291]

- rozprężanie gazu prowadzi do obniżenia temperatury
- selekcja przestrzenna wybiera cząsteczki (atomy) o \approx zerowej prędkości poprzecznej
- wiązka laserowa prostopadła do wiązki molekularnej (atomowej)
→ zredukowany efekt Dopplera

Spektroskopia subdopplerowska

Wiązki atomowe i molekularne

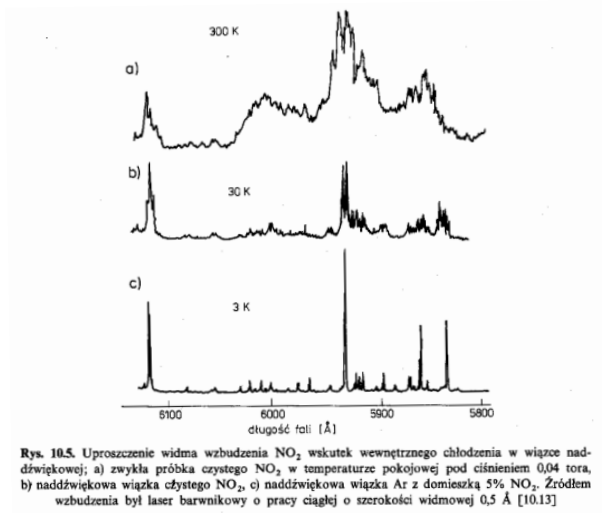


Rys. 10.3. Wycinek widma wzbudzenia cząsteczki Cs_2 w zakresie widmowym około $\lambda = 476,5$ nm
a) uzyskanego w komórce z parami cezu, b) uzyskanego w skolimowanej wiązce cezowej

[W. Demtroder, Spektroskopia laserowa, PWN]

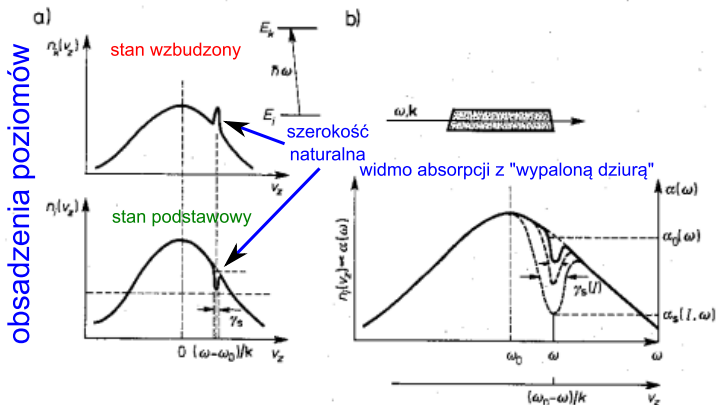
Spektroskopia subdopplerowska

Wiązki atomowe i molekularne



Spektroskopia nasyceniowa

Wypalanie dziur

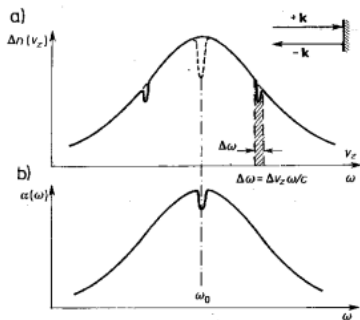


Rys. 10.17. a) „Wypalanie dziury” w rozkładzie obsadzeń $n_i(v_z)$ dolnego poziomu przejścia oraz powstawanie odpowiadającego jej pików w obsadzeniu górnego poziomu. b) Poszerzenie się dziury Bennetta w miarę wzrostu nasycającego natężenia światła

[W. Demtroder, Spektroskopia laserowa, PWN]

Spektroskopia nasyceniowa

Dip Lamba

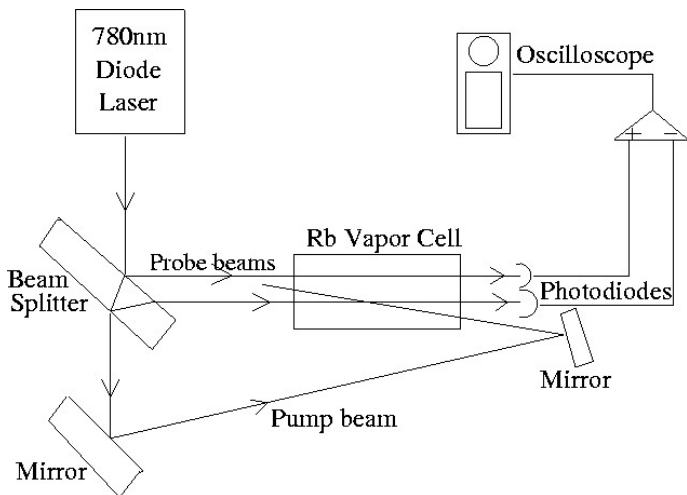


[W. Demtroder, Spektroskopia laserowa, PWN]

- Przeciwbieżne wiązki o $\omega \neq \omega_0$ wypalają w rozkładzie obsadzeń dwie symetryczne dziury (dla v_z i $-v_z$) - tzw. dziury Benneta.
- Jeśli wiązka jest dostrojona dokładnie do przejścia ($\omega = \omega_0$) to powstaje jedna dziura w centrum profilu dopplerowskiego (dla $V_z = 0$) - tzw. **dip Lamba**
- Szerokość wypalonych dziur odpowiada szerokości naturalnej

Spektroskopia nasyceniowa

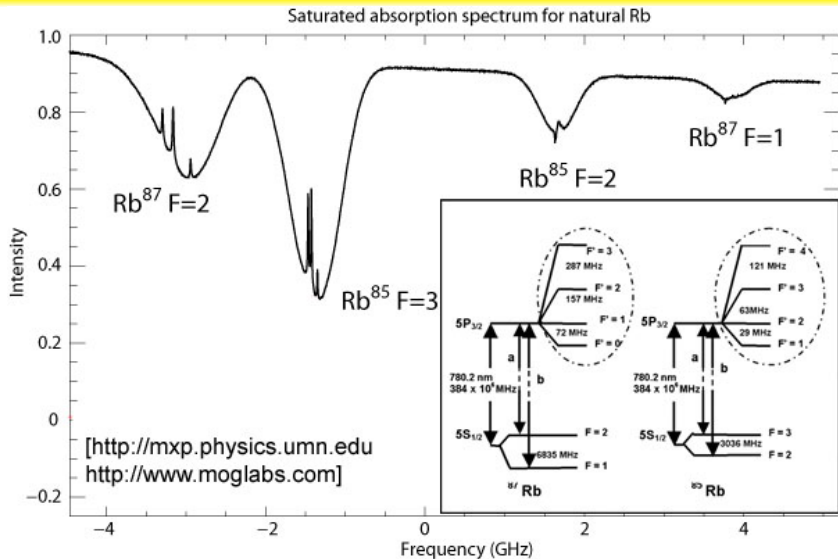
Pomiar widma absorpcji nasyceniowej



[<http://laser.physics.sunysb.edu>]

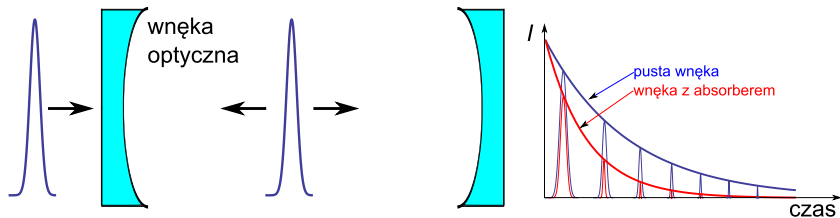
Spektroskopia nasyceniowa

Struktura nadsubtelna widma rubidu



Spektroskopia Strat we Wnęce Optycznej

Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS)



Współczynnik odbicia luster jest bliski 1 (np. 0,999)!

$$\frac{dI(t)}{dt} = -I(t) \left(\frac{1}{\tau_0} + c\alpha \right) = -\frac{I(t)}{\tau}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} \right)$$

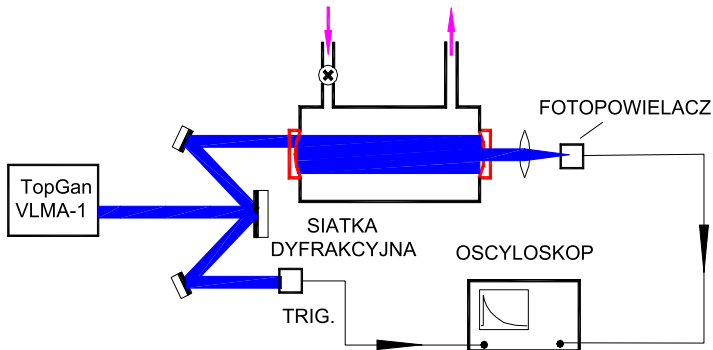
Pusta wnęka: $I(t) = I_0 e^{-t/\tau_0}$

Z absorberem: $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$

Rezultat nie zależy od fluktuacji mocy lasera i charakterystyki spektralnej detektora

Spektroskopia Strat we Wnęce Optycznej

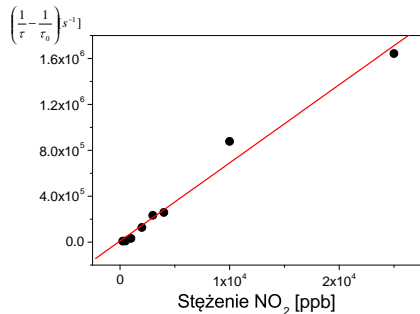
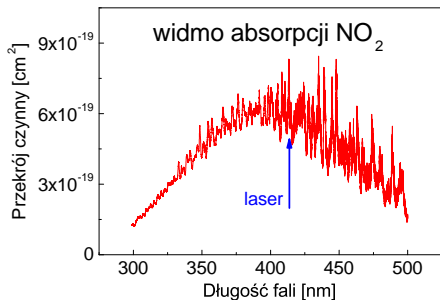
Detekcja NO₂



- Laser: 50 mW, 414 nm, 30 ns, 10 kHz
- Zwierciadła: $R > 0,99992$

Spektroskopia Strat we Wnęce Optycznej

Detekcja NO₂



Dokładność wyznaczenia czasu: $\frac{\tau_0 - \tau}{\tau_0} \approx 1\%$

Czułość detekcji NO₂: < 1 ppb (część na miliard)