

# Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej

## Część I: Optyka, wykład 7

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

Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski

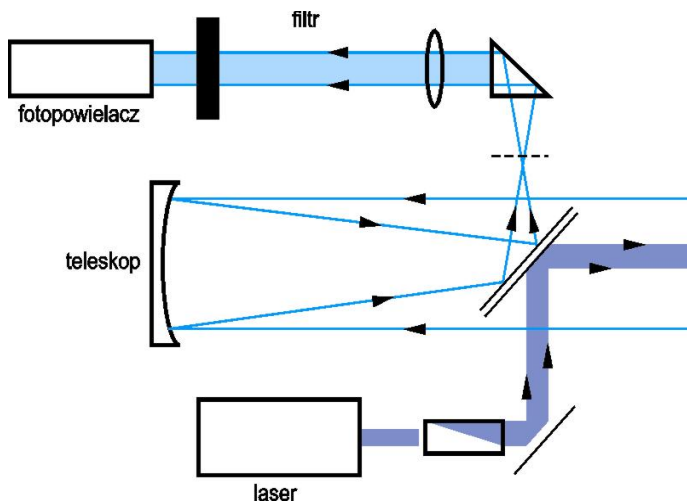
2014/15

# Plan

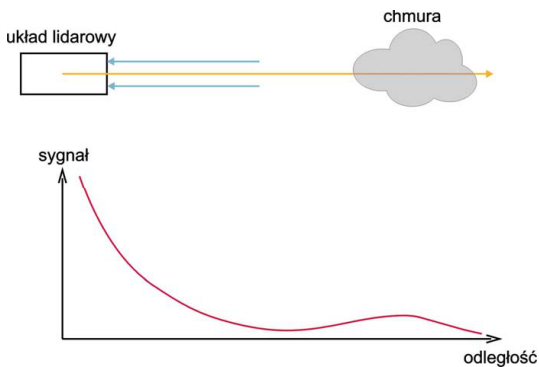
- 1 Lidar
- 2 Wzmacniacze optyczne
- 3 Rezonatory optyczne
- 4 Laser

# Lidar

## Light Detection And Ranging



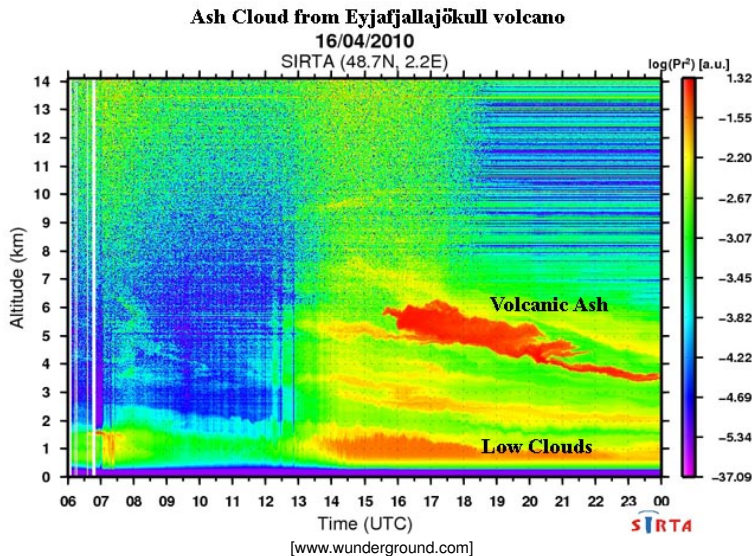
# Lidar



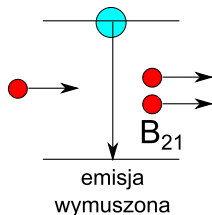
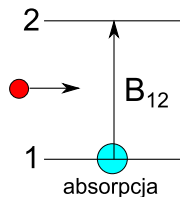
$$L(z) = \frac{A}{z^2} \beta(z) \exp \left( -2 \int_0^z \alpha(x) dx \right)$$

- $\beta$  - współczynnik rozpraszania do tyłu
- $\alpha$  - współczynnik absorpcji

## Lidar



# Wzmocnienie światła



Szybkość absorpcji:

$$\frac{dN_{12}}{dt} = B_{12}\rho(\nu)N_1$$

Szybkość emisji wymuszonej:

$$\frac{dN_{21}}{dt} = B_{21}\rho(\nu)N_2$$

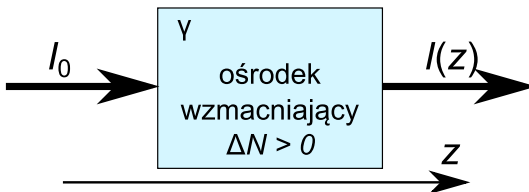
$$(B_{12} = B_{21})$$

- Jeśli  $N_2 > N_1$  to emisja wymuszona przeważa nad absorpcją – obserwujemy wzmocnienie światła
- W wyprowadzeniu prawa Lamberta-Beera  $N_2 = 0$ ; dla  $N_2 > 0$ :

$$\frac{dI_\nu}{dz} = B_{12} \frac{h\nu}{c} (N_2 - N_1) = \sigma(\nu)\Delta N = \gamma(\nu)$$

- $\Delta N = N_2 - N_1$  – inwersja obsadzeń
- $\gamma(\nu) = \sigma(\nu)\Delta N$  – współczynnik wzmocnienia

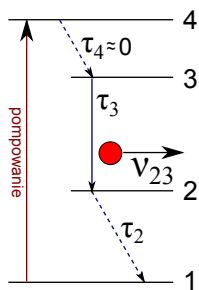
# Wzmocnienie światła



$$I_\nu(z) = I_0 e^{\gamma(\nu)z}$$

# Inwersja obsadzeń

- Inwersji obsadzeń nie można uzyskać w ośrodku dwupoziomowym (*ćwiczenia*)
- Wymagany ośrodek o większej liczbie poziomów, np. 3-poziomowy, 4-poziomowy



- Jeśli  $\tau_3 > \tau_2$ , to poziom 2 jest szybciej opróżniany od poziomu 3 i  $N_3 > N_2$
- Na przejściu  $3 \rightarrow 2$  można uzyskać wzmocnienie

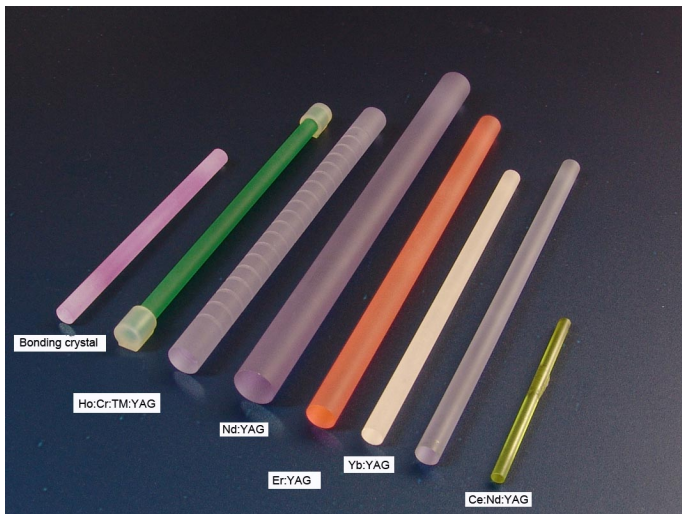


# Ośrodki wzmacniające i pompowanie

- Pompowanie wyładowaniem elektrycznym
  - Gazy atomowe lub molekularne:  
He-Ne, Ar<sup>+</sup>, laser N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ekscymery (Xe-Cl itp.)
- Pompowanie optyczne (lampą lub innym laserem)
  - Ciecze (roztwory barwników)
  - Kryształy  
(szafir Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, rubin Cr<sup>3+</sup>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, granat ytrowo-glinowy Nd<sup>3+</sup>:YAG)
  - Szkła, ceramiki
  - włókna optyczne domieszkowane jonami
- Pompowanie przepływem prądu elektrycznego
  - Struktury półprzewodnikowe

# Ośrodki wzmacniające

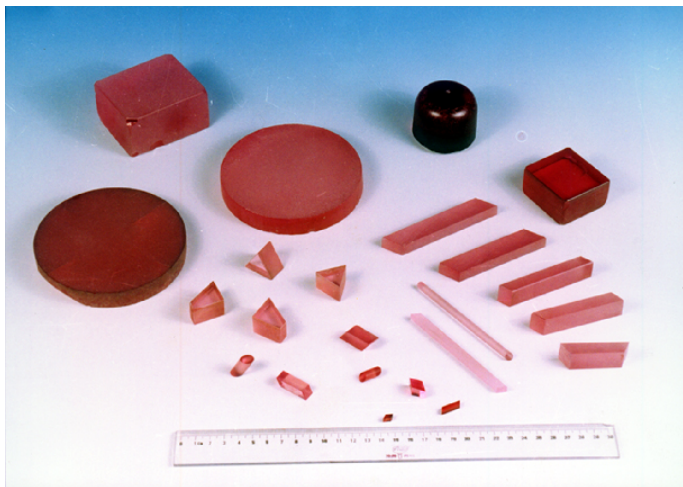
Kryształy YAG domieszkowane różnymi pierwiastkami



[i01.i.aliimg.com]

# Ośrodki wzmacniające

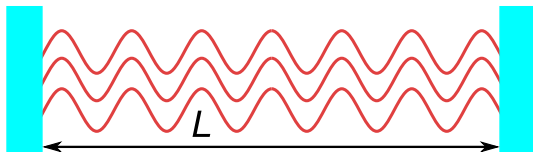
## Kryształy szafiru



[[cn.lambdaoptics.com/](http://cn.lambdaoptics.com/)]

# Rezonatory optyczne

Rezonator optyczny - układ zwierciadeł umożliwiający powstanie fali stojącej



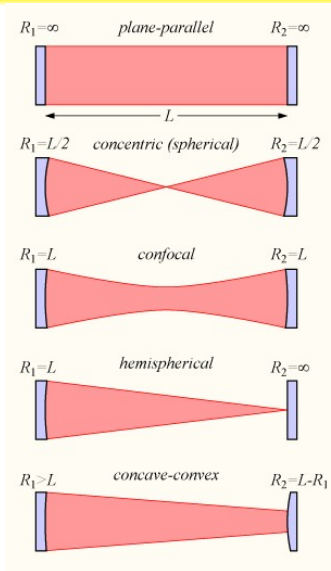
Warunek powstania fali stojącej w rezonatorze płaskim:

$$L = m \frac{\lambda_m}{2}$$

$m$  – liczba naturalna określająca *mod podłużny*



# Rezonatory z lustrami sferycznymi

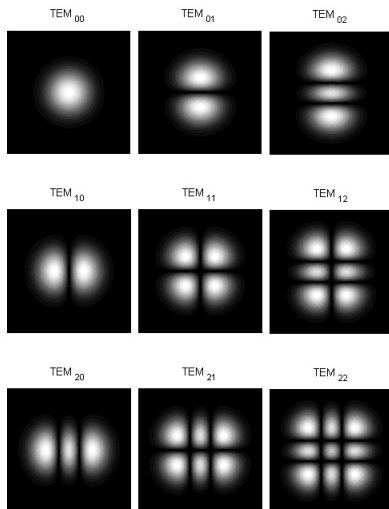


[wikipedia.org]

Ze względu na trudności w wyjustowaniu rezonatora płaskiego o większych wymiarach, częściej używa się konstrukcji z lustrami sferycznymi

# Mody poprzeczne rezonatora

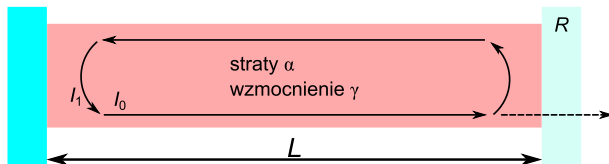
- Różne poprzeczne rozkłady pola spełniają warunek powstawania fali stojącej.
- Odległość ( $\Delta\nu$ ) modów poprzecznych jest dużo mniejsza niż podłużnych ( $\frac{c}{2L}$ )
- Zazwyczaj chcemy, żeby laser pracował w modzie podstawowym –  $TEM_{00}$



[photonicswiki.org]

# Warunek akcji laserowej

**Laser = ośrodek wzmacniający w rezonatorze optycznym**



- Zmiana natężenia światła po jednym obiegu rezonatora:

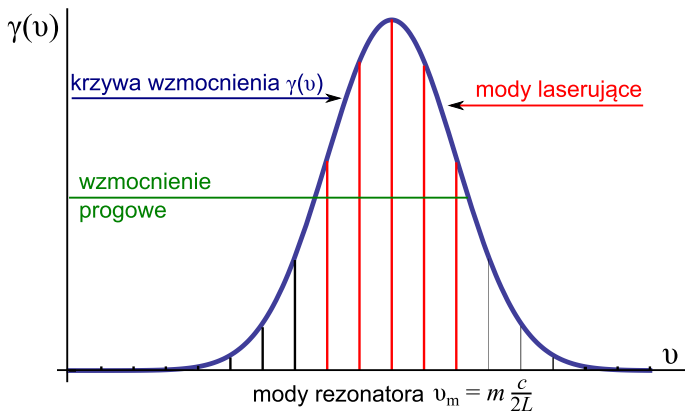
$$I_1 = I_0 R e^{2\gamma L} e^{-2\alpha L}$$

- Akcja laserowa zachodzi, jeśli  $I_1 \geq I_0$
- Warunek progowy:  $R \geq e^{-2(\gamma-\alpha)L}$
- Współczynnik odbicia lustra wyjściowego  $R$  musi być dostatecznie duży



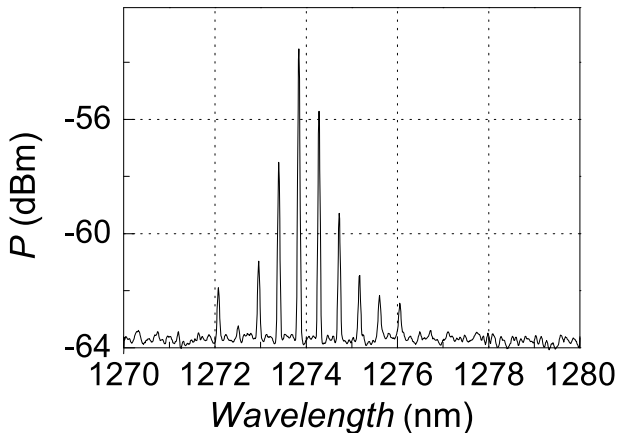
# Widmo emisji laserowej

- Przy ustalonym  $R$  wzmocnienie  $\gamma(\nu) \geq \alpha + \frac{\ln R}{2L} = \gamma_{prog}$



- Wzbudzają się te mody, dla których  $\gamma(\nu) \geq \gamma_{prog}$

# Widmo lasera wielomodowego



Widmo wielomodowej diody laserowej

[cdn.intechopen.com]

# Lasery jedno- i wielomodowe

Lasery wielomodowe:

- źle określona długość fali
- dudnienia między modami - fluktuacje mocy wyjściowej
- ograniczona spójność światła

Lasery jednomodowe:

- widmo może być bardzo wąskie ( $< 1$  kHz)
- stabilne natężenie wiązki wyjściowej
- wysoka spójność

Pracę jednomodową trzeba wymusić konstrukcją lasera (np. wąskie filtry spektralne wewnątrz rezonatora, odpowiednia długość rezonatora)

## Nasycenie wzmacnienia

- Obecność światła w ośrodku wzmacniającym prowadzi do zmniejszenia inwersji obsadzeń w wyniku przejść wymuszonych
- Wzmocnienie ośrodka maleje w miarę wzrostu natężenia światła w rezonatorze

$$\gamma(I) = \frac{\gamma_0}{1 + \frac{I}{I_s}}$$

- W laserze ustala się takie natężenie światła, przy którym wzmacnienie dokładnie równoważy straty

## Przełączanie dobroci rezonatora (*q-switching*)

- W zablokowanym rezonatorze wzmocnienie narasta powyżej progu akcji laserowej (nie ma efektu nasycenia)
- Po odblokowaniu rezonatora powstaje silny impuls laserowy ( $\sim 1-100$  ns)
- Przełączanie strat w rezonatorze szybką migawką akustooptyczną lub elektrooptyczną

