

# Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej

## Część I: Optyka, wykład 1

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

Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski

2014/15

# Plan

- 1 Informacje ogólne
- 2 Przypomnienie z optyki
- 3 Promieniowanie, absorpcja i emisja światła

# O czym będzie ten wykład?

## O oddziaływaniu światła z materią:

- Absorbpcja i emisja światła
- Rozpraszanie
- Wzmocnienie światła (laser)
- Przekaz pędu (chłodzenie atomów)
- Optyczne badania materii (spektroskopia)
- Wpływ zewnętrznych pól na energie poziomów atomowych

## Formuła wykładu:

Tablica (wyprowadzenia wybranych praw) + rzutnik (rysunki i wnioski) + pokazy

# O czym nie będzie ten wykład?

## O własnościach samego światła:

- Dyfrakcja
- Interferencja
- Spójność
- Statystyka światła
- Stany kwantowe światła

# Co trzeba wiedzieć?

- Niewiele z zakresu optyki  
(tyle, ile na kilku kolejnych slajdach)
- Nieco z zakresu budowy materii:
  - Podstawy mechaniki kwantowej
  - Struktura atomu
- Podstawy termodynamiki

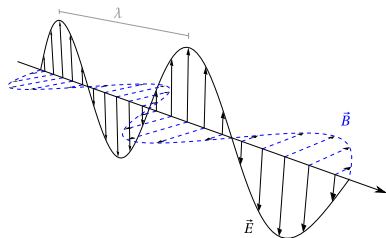
## Polecana literatura

- W. Demtroder, *Spektroskopia laserowa*, PWN, Warszawa 1993
- H. Haken, H. C. Wolf, *Atomy i kwanty*, PWN, Warszawa 1997
- J. Ginter, *Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego*, PWN, Warszawa 1979
- E. Hecht, *Optyka*, PWN, Warszawa 2012
- J. R. Meyer-Arendt, *Wstęp do optyki*, PWN, Warszawa 1979
- T. Stacewicz, A. Witowski, J. Ginter, *Wstęp do optyki i fizyki ciała stałego*, Wydawnictwa UW, Warszawa 2002
- A. Hennel, W. Szuszkiewicz, *Zadania z fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego*, PWN, Warszawa 1985
- Paweł Kowalczyk, *Fizyka cząsteczek*, PWN, Warszawa 2000
- Hermann Haken, Hans C. Wolf, *Fizyka molekularna z elementami chemii kwantowej*, PWN, Warszawa 1998

# Zasady zaliczenia

- kolokwium:  
(test 10 pytań/10 p-tów + 3 zadania/10 p-tów = 20 p-tów)  
połowa punktów zalicza ćwiczenia
- egzamin pisemny:  
(test 20 pytań/20 p-tów + 4 zadania/20 p-tów = 40 p-tów)
- na części zadaniowej kartka A4 z notatkami
- 1 zadanie podobne do zadań domowych (3 serie)
- egzamin ustny

# Pole elektryczne i wektor Poyntinga



Fala płaska w kierunku z:

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \cos(kz - \omega t) \hat{x}$$

$$\vec{B}(z, t) = \frac{1}{c} E_0 \cos(kz - \omega t) \hat{y}$$

Gęstość energii:

$$u = \frac{1}{2} \left( \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right)$$

$$u = \epsilon_0 E_0^2 \cos^2(kz - \omega t)$$

Strumień energii  
(wektor Poyntinga):

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B})$$

$$\vec{S} = cu \hat{z}$$



# Natężenie światła

Interesuje nas uśredniona po okresie wartość wektora Poyntinga:

$$\langle u \rangle = \epsilon_0 E_0^2 \langle \cos^2(kz - \omega t) \rangle = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$$

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \hat{z}$$

Natężenie światła  $I$ :

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

(uśredniona po okresie moc fali na jednostkę powierzchni)

# Notacja zespolona

Korzystamy ze wzoru Eulera:

$$e^{i\phi} = \cos \phi + i \sin \phi$$

Dla fali o wektorze falowym  $\vec{k}$ :

(Część urojoną pomijamy "w pamięci")

$$\vec{E} = E_0 e^{-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \hat{n}$$

Tu  $E_0$  może być zespolone, wtedy zawiera informację o fazie:

$$E_0 = |E_0| e^{i\phi}$$

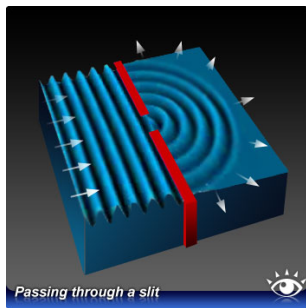
$$\vec{B} = \frac{1}{c} E_0 e^{-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} (\hat{k} \times \hat{n})$$

Natężenie światła:

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2} c \epsilon_0 |\vec{E}|^2 \sim |\vec{E}|^2$$

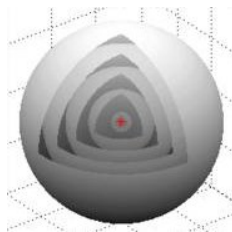
# Fale płaskie a sferyczne

Fale ze źródła punkowego:



[media.learn.udl.edu]

W trzech wymiarach:



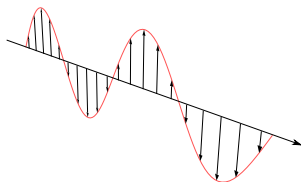
[ipodphysics.com]

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \frac{\vec{E}_0}{r} e^{-i(kr \pm \omega t)}$$

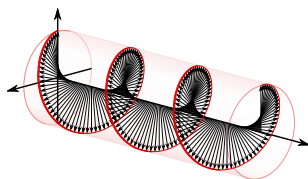
$$I(\vec{r}) \sim \frac{1}{r^2}$$

# Polaryzacja światła

polaryzacja liniowa



polaryzacja kołowa

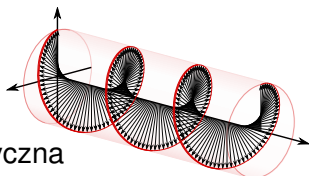


Dowolny stan polaryzacji światła może być uzyskany jako kombinacja liniowa (z odpowiednimi amplitudami i fazami):

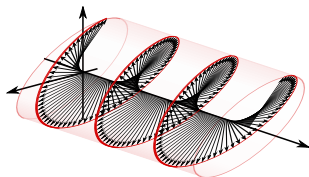
- Dwóch prostopadłych polaryzacji liniowych
- Dwóch przeciwnych polaryzacji kołowych

# Polaryzacja światła

- polaryzacja kołowa



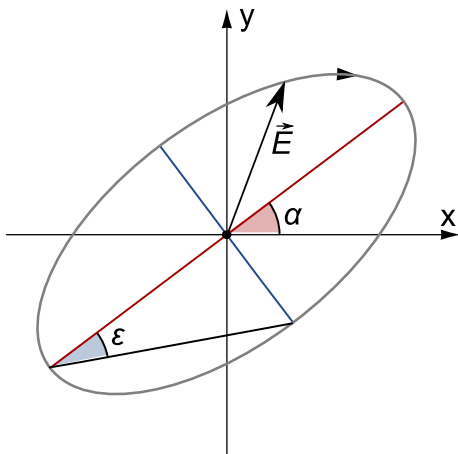
- polaryzacja eliptyczna



Kierunek wektora  $\vec{E}$  nie zależy od położenia w kierunku poprzecznym do kierunku propagacji

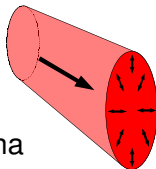
# Polaryzacja eliptyczna

Opis polaryzacji eliptycznej

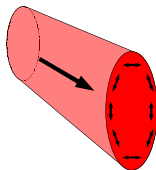


# "Nieklasyczne" polaryzacje

- polaryzacja radialna



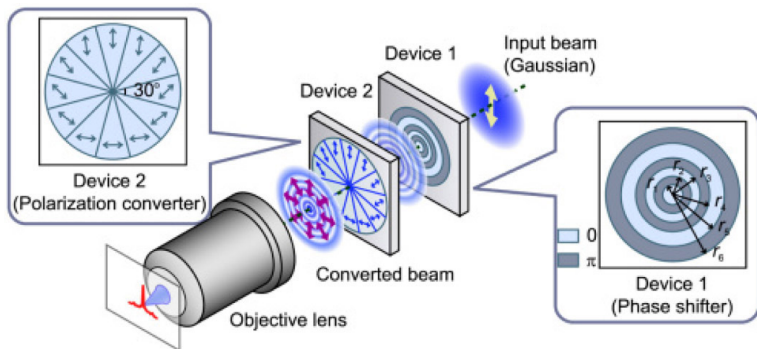
- polaryzacja tangencjalna



Kierunek wektora  $\vec{E}$  zależy od położenia w wiązce

# "Nieklasyczne" polaryzacje

Wytwarzanie polaryzacji radialnej:

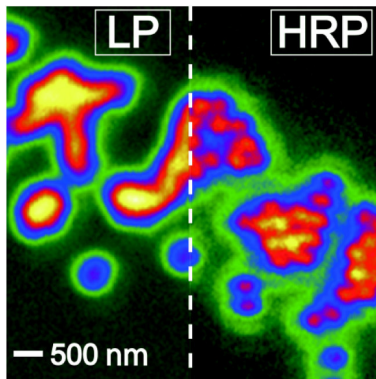


[T. Nemoto et al, DOI: 10.1117/2.1201211.004549]



## "Nieklasyczne" polaryzacje

Wiązkę spolaryzowaną radialnie (HRP) można ciaśniej zogniskować niż wiązkę o pol. liniowej (LP)  
(mikroskopia, mikroobróbka laserowa):



[T. Nemoto et al, DOI: 10.1117/2.1201211.004549]

# Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego

Gęstość energii promieniowana będącego w równowadze termicznej z otoczeniem:

- Klasycznie (prawo Rayleigha-Jeansa):

$$\rho(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}kT d\nu$$

(Działa w podczerwieni, ale "katastrofa w nadfiolecie")

- Kwantowo (prawo Plancka)

$$\rho(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

To są wyrażenia na **Gęstość energii** w przedziale częstości  $d\nu$ , nie na natężenie światła, czy moc wypromieniowaną

# Prawo Stefana-Boltzmannna

Gęstość energii w całym zakresie częstości ( $u$ ):

$$u = \int_0^{\infty} \rho(\nu) d\nu$$

Gęstość energii  $\rightarrow$  zdolność emisyjna ( $\rho(\nu) \cdot \frac{c}{4}$ )  $\rightarrow$  całkowanie  
 $\rightarrow$  moc promieniowania ciała doskonale czarnego na jednostkę powierzchni (**prawo Stefana-Boltzmannna**)

$$P = \sigma T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

# Prawo Wiena

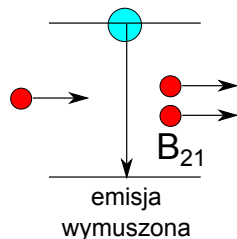
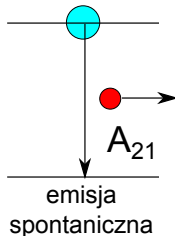
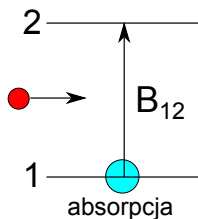
Długość fali, przy której gęstość energii osiąga maksimum w temp.  $T$  (**prawo Wiena**):

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

$$b \approx 2.9 \cdot 10^{-3} \text{mK}$$

Dla Słońca  $T \approx 5800 \text{ K} \rightarrow \lambda_{max} \approx 500 \text{ nm}$  (zielony)

# Absorpcja i emisja światła



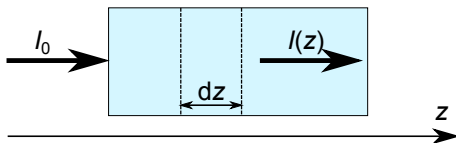
Relacje między współczynnikami Einsteina:

$$B_{12} = B_{21}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

# Prawo Lamberta - Beera

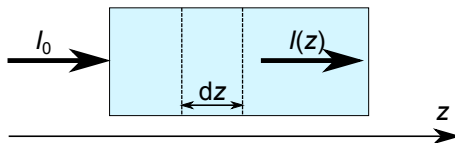


$$\frac{dI(\nu_0)}{dz} = -\epsilon(\nu_0)c_0 I(\nu_0)$$

$$I(\nu_0, z) = I_0(\nu_0)e^{-\epsilon(\nu_0)c_0 z} = I_0(\nu_0)e^{-\alpha(\nu_0)z}$$

(Wyprowadzenie - na tablicy)

# Prawo Lamberta - Beera



$$\frac{dI(\nu_0)}{dz} = -\epsilon(\nu_0)c_0 I(\nu_0)$$

$$I(\nu_0, z) = I_0(\nu_0)e^{-\epsilon(\nu_0)c_0 z} = I_0(\nu_0)e^{-\alpha(\nu_0)z}$$

(Wyprowadzenie - na tablicy)