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

2013/14

Plan

O czym będzie ten wykład?

O oddziaływaniu światła z materią:

- Absorbcja i emisja światła
- Rozpraszanie
- Wzmocnienie światła (laser)
- Załamanie na granicy ośrodków
- Przekaz pędu (chłodzenie atomów)
- Optyczne badania materii (spektroskopia)

Formuła wykładu:
Tablica (wyprowadzenia 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

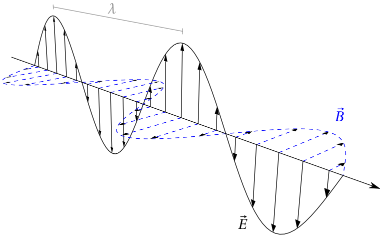
Polecana literatura

- 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

Zasady zaliczenia

- kolokwium: 28 kwietnia, godz. 9-13, P17
  (test 10 pytań/5 p-tów + 3 zadania/10 p-tów = 15 p-tów)
  połowa punktów zalicza ćwiczenia
- egzamin pisemny: 16 czerwca, godz. 9-13, P17
  (test 20 pytań/10 p-tów + 3 zadania/20 p-tów = 30 p-tów)
- na części zadaniowej kartka A4 z notatkami
- 1 zadanie podobne do zadań domowych (3 serie)
- egzamin ustny: 18-19 czerwca

Pole elektryczne i wektor Poyntinga



Fala płaska w kierunku z:

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

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

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):

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

$$\overrightarrow{S} = cu\widehat{z}$$

Natężenie światła

Interesuje nas uśredniona po okresie wartość wektora Poyntinga:

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

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

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 $\overrightarrow{k}$:
(Część urojoną pomijamy "w pamięci")

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

Tu E_0 może być zespolone, wtedy zawiera informację o fazie:
$E_0 = |E_0|e^{i\phi}$

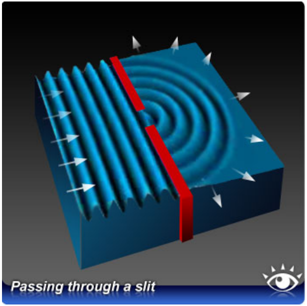
$$\overrightarrow{B} = \frac{1}{c}E_0 e^{-i(\overrightarrow{k}\cdot\overrightarrow{r}-\omega t)}(\widehat{k}\times\widehat{n})$$

Natężenie światła:

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

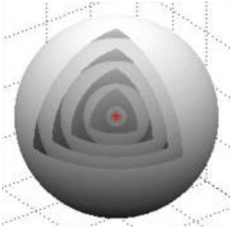
Fale płaskie a sferyczne

Fale ze źródła punktowego:



[media.learn.udi.edu]

W trzech wymiarach:



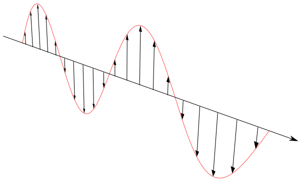
[ipodphysics.com]

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

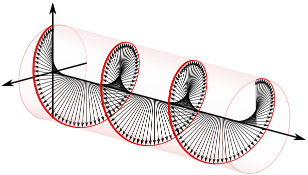
$$I(\vec{r}) \sim \frac{1}{r^2}$$

Polaryzacja światła

polaryzacja liniowa



polaryzacja kołowa

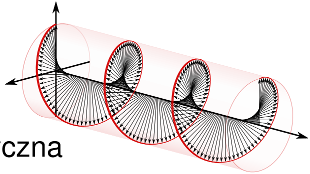


Dowolny stan polaryzacji światła może być uzyskany jako kombinacja liniowa (z odpowiednimi amplitudami i fazami):

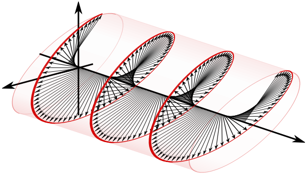
- Dwóch prostopadłych polaryzacji liniowych
- Dwóch przeciwnych polaryzacji kołowych

Polaryzacja światła

- polaryzacja kołowa



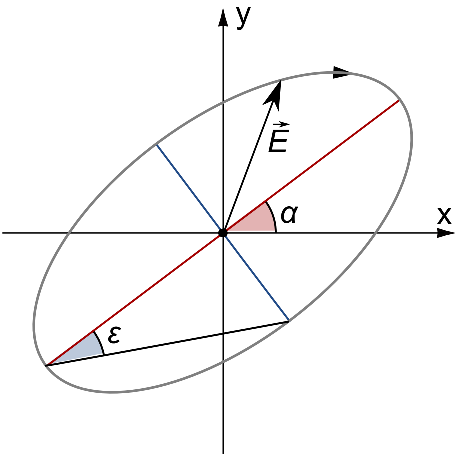
- polaryzacja eliptyczna



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

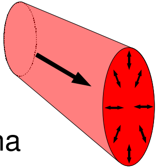
Polaryzacja eliptyczna

Opis polaryzacji eliptycznej

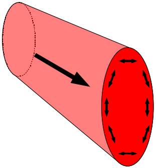


"Nieklasyczne" polaryzacje

- polaryzacja radialna



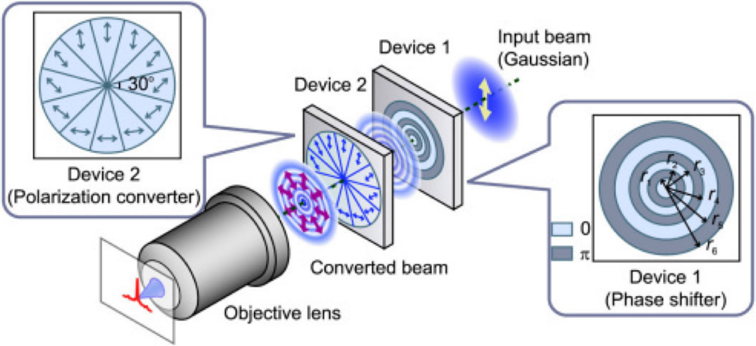
- polaryzacja tangencjalna



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

"Nieklasyczne" polaryzacje

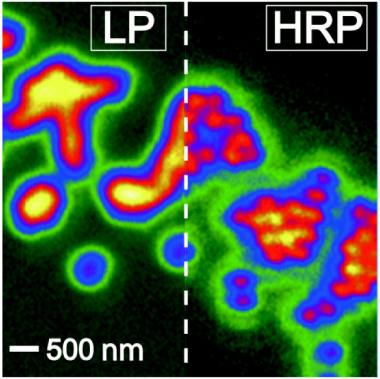
Wytwarzanie polaryzacji radialnej:



[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

Gestość energii promieniowana będącego w równowadze termicznej z otoczeniem:

- Klasycznie (prawo Rayleigha-Jeansa):

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

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

- Kwantowo (prawo Plancka)

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

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

Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego

Gęstość energii w całym zakresie częstości (u):

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

Gęstość energii $\rightarrow$ szybkość emisjii energii $\rightarrow$ całkowanie $\rightarrow$ moc promieniowania ciała doskonale czarnego na jednostkę powierzchni **(prawo Stefana-Boltzmanna)**

$$P = \sigma T^4$$

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

Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego

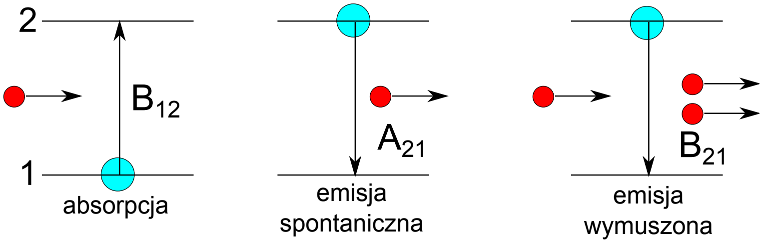
Długość fali, przy której gęstość energii osiąga maksimum w temp. T **(prawo Wiena)**:

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

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

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

Absorpcja i emisja światła



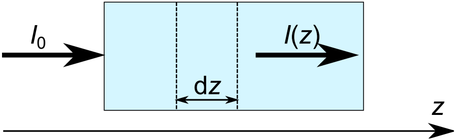
Relacje między współczynnikami Einsteina:

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

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

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

Prawo Lamberta - Beera

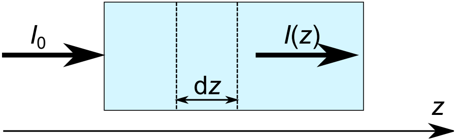


$$\frac{\mathrm{d}I(\nu_0)}{\mathrm{d}z} = -\epsilon(\nu_0)c_0 I(\nu_0)$$

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

(Wyprowadzenie - na tablicy)

Prawo Lamberta - Beera



$$\frac{\mathrm{d}I(\nu_0)}{\mathrm{d}z} = -\epsilon(\nu_0)c_0 I(\nu_0)$$

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

(Wyprowadzenie - na tablicy)