

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

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

O czym będzie ten wykład?

O oddziaływaniu światła z materią:

- Absorbpcja 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

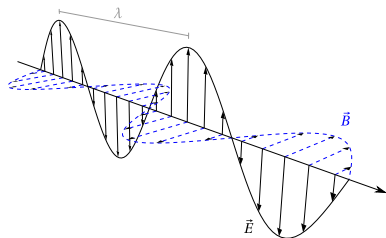
Polecana literatura

- 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:

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

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

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:

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

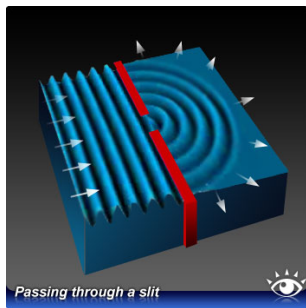
$$\vec{B} = \frac{1}{c} E_0 e^{-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} (\hat{k} \times \hat{n})$$

Natężenie światła:

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

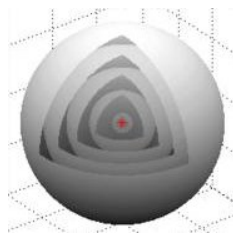
Fale płaskie a sferyczne

Fale ze źródła punkowego:



[media.learn.udi.edu]

W trzech wymiarach:



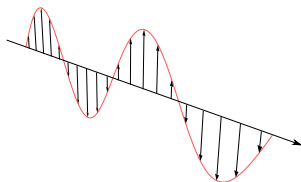
[ipodphysics.com]

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

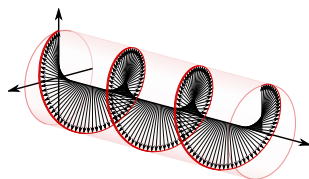
$$I(\vec{r}) \sim \frac{1}{r^2}$$

Polaryzacja światła

polaryzacja liniowa



polaryzacja kołowa

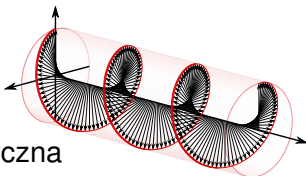


Dowolny stan polaryzacji światła może być uzyskany jako kombinacja liniowa (z odpowiednimi amplitudami i fazami):

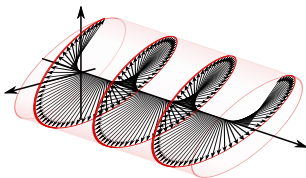
- Dwóch prostopadłych polaryzacji liniowych
- Dwóch przeciwnych polaryzacji kołowych

Polaryzacja światła

- polaryzacja kołowa



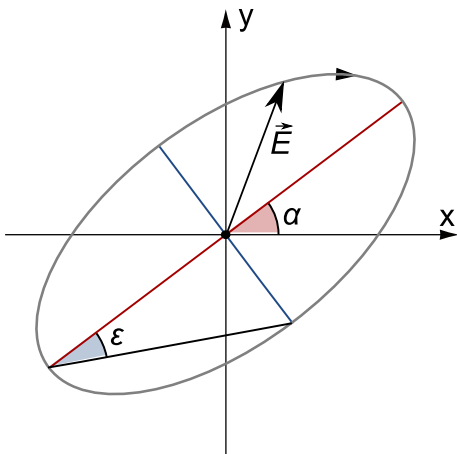
- polaryzacja eliptyczna



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

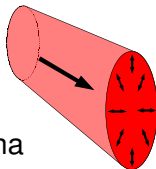
Polaryzacja eliptyczna

Opis polaryzacji eliptycznej

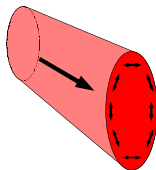


"Nieklasyczne" polaryzacje

- polaryzacja radialna



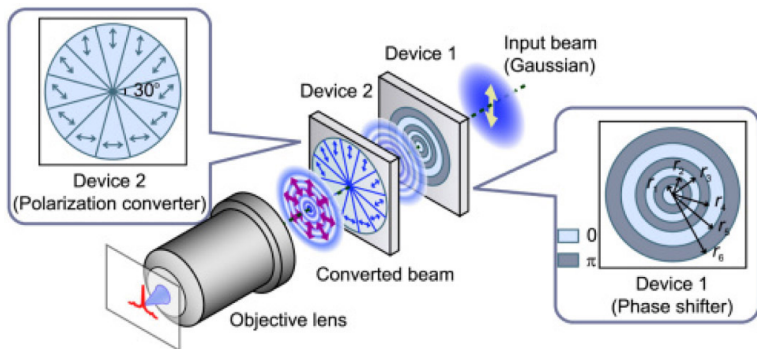
- polaryzacja tangencjalna



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

"Nieklasyczne" polaryzacje

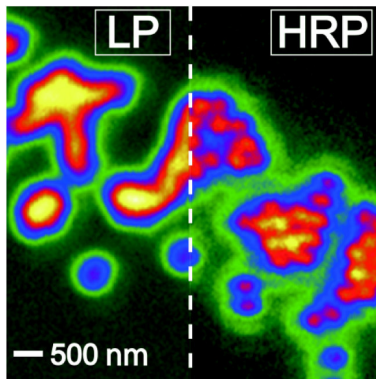
Wytwarzanie polaryzacji radialnej:



[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 promieniowania ciała doskonale czarnego

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

$$P = \sigma T^4$$

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

Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego

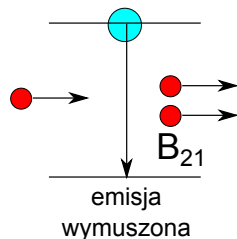
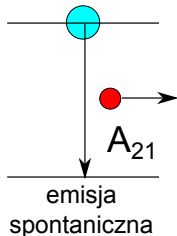
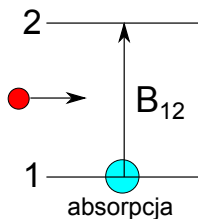
Długość fali, przy której gęstość energii osiąga maksimum w temp. T (**prawo Wiena**):

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

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

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

Absorpcja i emisja światła



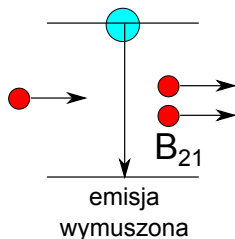
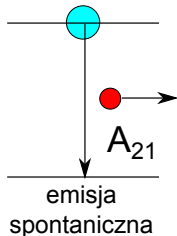
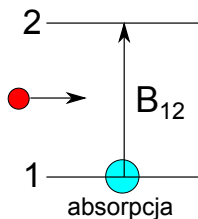
Relacje między współczynnikami Einsteina:

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

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

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

Absorpcja i emisja światła



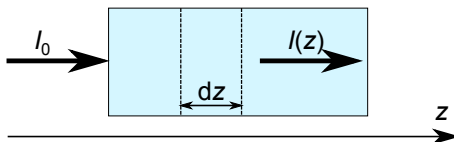
Relacje między współczynnikami Einsteina:

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

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

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

Prawo Lamberta - Beera

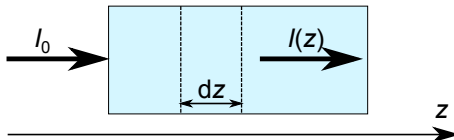


$$\frac{dI(\nu_0)}{dz} = -\epsilon(\nu_0)c_0 I(\nu_0)$$

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

(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)

Widmo światła

Rozkład pola elektrycznego na fale płaskie:

$$E(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{E}(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Amplitudy spektralne:

$$\tilde{E}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E(t) e^{-i\omega t} dt$$

Widmo = ile mocy (energii) przypada na przedział częstości $d\omega$ w okolicy częstości ω

$$\tilde{I}(\omega) \sim |\tilde{E}(\omega)|^2$$

(Przypomnienie: natężenie światła $I(t) \sim |E(t)|^2$)

(Szczegóły na tablicy)

Jednostki w spektroskopii

- Częstość kołowa: ω [1/s]
- Częstotliwość: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ [Hz]
- Długość fali: $\lambda = \frac{c}{\nu}$ [μm , nm]
- Energia: $\mathcal{E} = h\nu$ [J, eV, meV]
- Liczba falowa: $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$ [cm^{-1}]