

Wstęp do Optyki i Fizyki Materii Skondensowanej

Część I: Optyka, wykład 1

wykład: Piotr Fita

pokazy: Jacek Szczytko

ćwiczenia: Aneta Drabińska, Paweł Kowalczyk,
Barbara Piętka

Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

2017/18

Plan

- 1 Informacje ogólne
- 2 Przypomnienie z optyki
- 3 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?

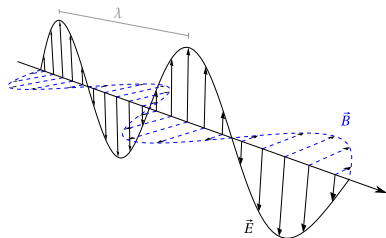
O własnościach samego światła:

- 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
- Adres strony wykładu:
<http://www.fuw.edu.pl/wiki/WdOiFMS>
 - zasady zaliczenia
 - polecana literatura
 - terminy
 - materiały z wykładów i ćwiczeń

Pole elektryczne i wektor Poyntinga



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):

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

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

Fala płaska w kierunku z:

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

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

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:

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

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

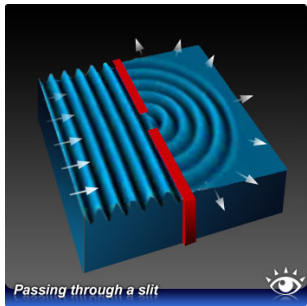
Natężenie światła:

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

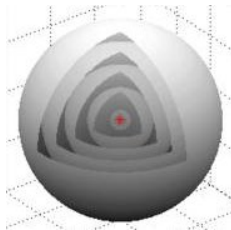
Fale płaskie a sferyczne

W trzech wymiarach:

Fale ze źródła punkтового:



[media.learn.udl.edu]



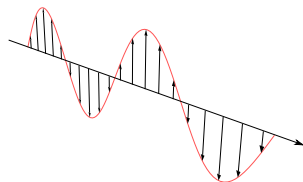
[ipodphysics.com]

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

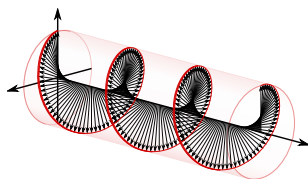
$$I(\vec{r}) \sim \frac{1}{r^2}$$

Polaryzacja światła

polaryzacja liniowa



polaryzacja kołowa

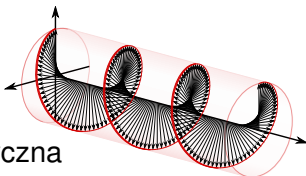


Dowolny stan polaryzacji światła może być uzyskany jako kombinacja liniowa (z odpowiednimi amplitudami i fazami):

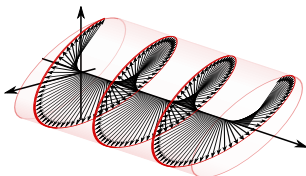
- Dwóch prostopadłych polaryzacji liniowych
- Dwóch przeciwnych polaryzacji kołowych

Polaryzacja światła

- polaryzacja kołowa



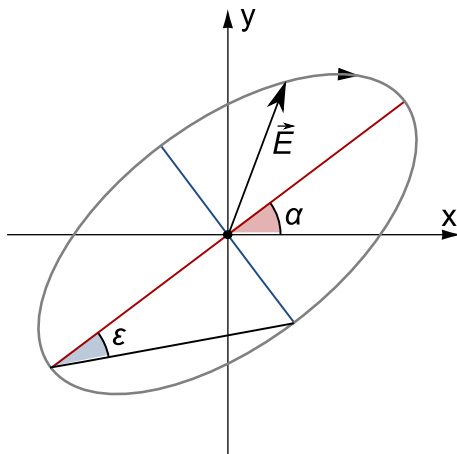
- polaryzacja eliptyczna



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

Polaryzacja eliptyczna

Opis polaryzacji eliptycznej



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**)

$$P = \sigma T^4$$

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

(Wyprowadzenie na ćwiczeniach)

Prawo Wiena

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

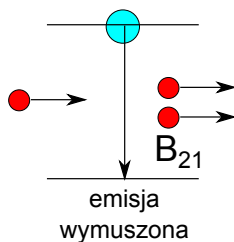
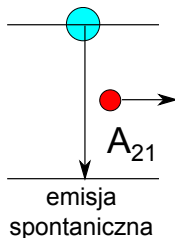
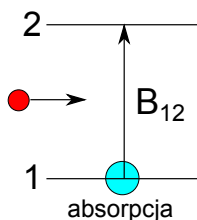
$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

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

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

(Wyprowadzenie na ćwiczeniach)

Absorpcja i emisja światła



- Liczba aktów absorpcji w czasie dt :

$$dN_{12} = B_{12}\rho(\nu)N_1dt$$

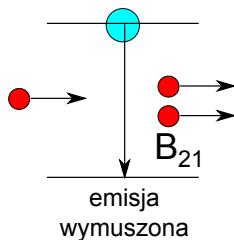
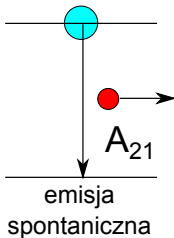
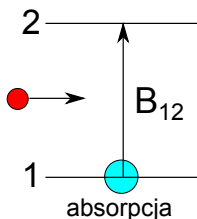
- Liczba aktów emisji spontanicznej w czasie dt :

$$dN'_{21} = A_{21}N_2dt$$

- Liczba aktów emisji wymuszonej w czasie dt :

$$dN''_{21} = B_{21}\rho(\nu)N_2dt$$

Absorpcja i emisja światła



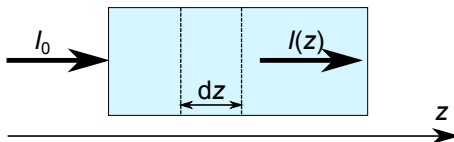
Relacje między współczynnikami Einsteina:

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

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

(Wyprowadzenie - na ćwiczeniach)

Prawo Lamberta - Beera



Liczba fotonów pochłoniętych w czasie dt :

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

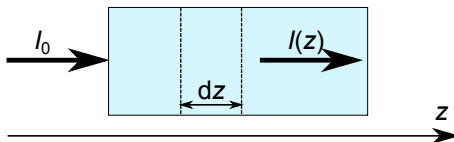
N_1 – liczba atomów w objętości, przez którą przechodzi światło:

$$N_1 = c_0 \cdot V = c_0 \cdot A \cdot dz$$

Wstawiamy:

$$dN_{12} = B_{12}(\nu)\rho(\nu)c_0 A dt dz \quad // : A dt$$

Prawo Lamberta - Beera



$$\frac{dN_{12}}{A \cdot dt} = B_{12}(\nu) \rho(\nu) c_0 dz$$

Lewa strona jest proporcjonalna do spadku natężenia światła:

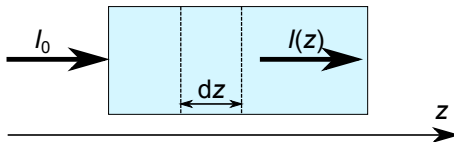
$$\frac{dN_{12}}{A \cdot dt} \sim -dI$$

Oraz $\rho(\nu) \sim I(\nu)$

Zbieramy wszystkie stałe do $\epsilon(\nu)$:

$$dI = -\epsilon(\nu) I(\nu) c_0 dz$$

Prawo Lamberta - Beera



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

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