

Optyka instrumentalna

semestr letni 2018/2019

dr Michał Karpiński
Zakład Optyki IFD
Laboratorium Fotoniki Kwantowej
<http://photon.fuw.edu.pl>

Plan

1. Oddziaływanie fal elektromagnetycznych z materią: transmisja, współczynnik załamania, dyspersja. Specyfikacja parametrów technicznych elementów optycznych.
2. Ośrodki anizotropowe: propagacja światła w kryształach dwójłomnych, promień zwyczajny i nadzwyczajny, kąt dryfu.
3. Polaryzacja światła: opis w formalizmie macierzowym, polaryzatory, płytki falowe, kompensatory.
4. Światło na granicy ośrodków: współczynniki transmisji i odbicia, powłoki metaliczne i dielektryczne.
5. Optyka geometryczna.
6. Aberracje w przyrządach optycznych.
7. Wybrane przyrządy optyczne: oko, lupa, obiektyw, luneta, mikroskop.
8. Interferencja i dyfrakcja, interferometry.
9. Widmo fal elektromagnetycznych i przyrządy spektralne.
10. Rezonatory optyczne: mody, warunki stabilności.
11. Wiązki gaussowskie: definicja, własności, propagacja przy pomocy macierzy ABCD.
12. Światłowody i optyka światłowodowa.
13. Modulacja światła i modulatory.
14. Detektory światła.
15. Optyka adaptacyjna.
16. Przetwarzanie częstości w procesach nieliniowych: generacja harmoniczných, suma i różnica częstości, procesy parametryczne.

Zaliczenie na ocenę: 70% egzamin, 30% aktywność. Aktywność: 10% na wykładzie, 20% szczegółowe pisemne/numeryczne opracowanie wskazanych zagadnień poruszanych na wykładzie.

Literatura:

E. Hecht, Optyka; Saleh, Teich, Fundamentals of Photonics; Born, Wolf, Principles of Optics; www: RP-photonics

Wielkości fizyczne

Światło – fala EM / \simeq strumień fotonów

| fale elektromagnetyczne | fotony |
|---|--|
| długość fali – λ (nm, μm) | energia fotonu – E (J, eV) |
| częstość – ν , f (Hz) | pęd fotonu – p (kg·m/s) |
| częstość kołowa – ω (rad/s) | masa fotonu – $m = 0$ |
| amplituda – E (V/m) | strumień fotonów – ϕ (1/(m ² s)) |
| natężenie – I (W/m ²) | strumień energii – I (W/m ²) |

Przykład Światło zielone

długość fali w próżni

częstość $\nu = c/\lambda$

energia fotonu

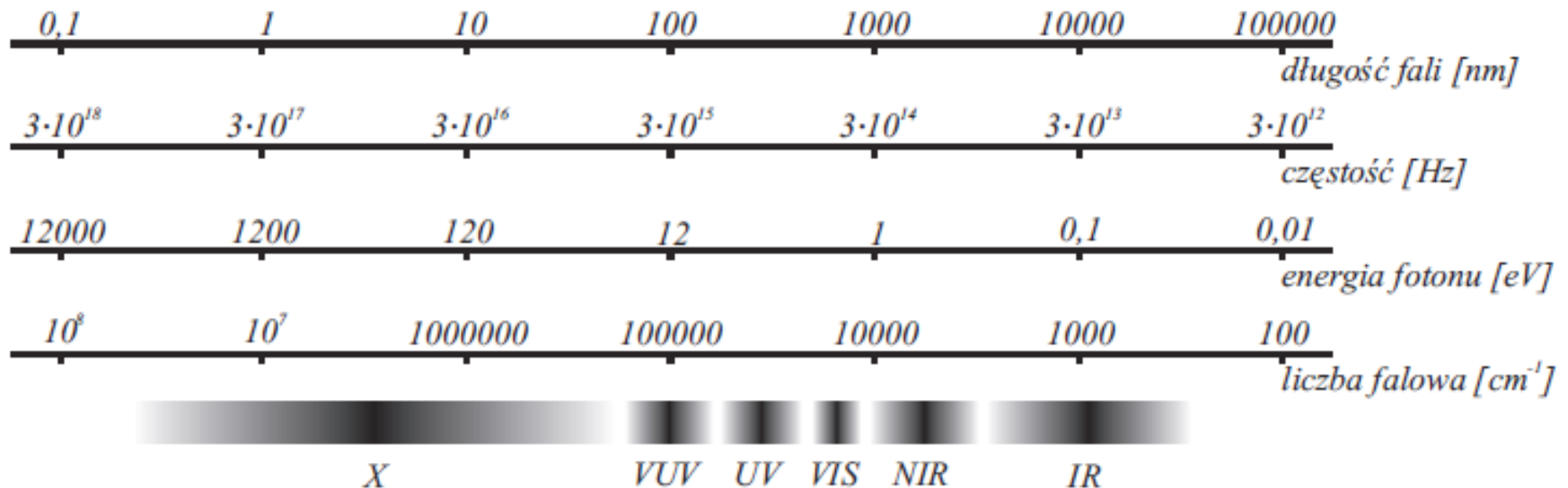
liczba falowa $\bar{\nu}$

Fluktuacje próżni: fluktuacje amplitudy pola E w objętości V $\sqrt{\text{Var}(\hat{E}_{\text{vac}})} = \sqrt{\hbar\omega/2\epsilon_0V}$

- Pomiar dla jednego modu pola EM: zrównoważona detekcja homodynowa (*balanced homodyne detection*). *Smithey i in., Phys. Rev. Lett. 70, 1244 (1993)*. *Cooper, Karpiński, Smith, Nature Commun. 5, 4332 (2014)*.
- Pomiar metodą elektrooptyczną, *Riek i in., Science 350, 420 (2015)*.

Np. długość fali 4,4 μm , objętość próbkowania ok. 100 $\mu\text{m}^3 \sim 1$ V/cm

- Zakres widmowy



X – promieniowanie rentgenowskie, < 10 nm

VUV – ultrafiolet próżniowy, 10 nm – 200 nm

UV – ultrafiolet, 200 nm – 400 nm

VIS – promieniowanie widzialne, 400 nm – 700 nm

NIR – bliska podczerwień, 700 nm – 1400 nm

IR – podczerwień (SWIR – 3 um – MWIR – 8 um – LWIR – 15 um – FIR)

Notacja zespolona

$$\vec{E}_z(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} - \psi)}$$

$$\vec{E} = \text{Re}(\vec{E}_z) = \frac{1}{2}[\vec{E}_z(\vec{r}, t) + c.c.]$$

Natężenie

$$I = \frac{\text{energia przepływająca przez powierzchnię } S}{S \cdot \text{czas}}$$

$$I = \frac{|\vec{E}_0|^2}{2\eta} \quad \eta_{\text{próżni}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \simeq 377 \, \Omega$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$\epsilon_0 = 8,854187817... \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

Natężenie chwilowe

$$\langle I \rangle = \frac{1}{2\eta} \lim_{\delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\delta t} \int_t^{t+\delta t} |\vec{E}(\tau)|^2 d\tau$$

$$I(t, \delta t) = \frac{1}{2\eta} \frac{1}{\delta t} \int_t^{t+\delta t} |\vec{E}(\tau)|^2 d\tau$$

Równania Maxwella

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

Równanie falowe

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Jedno z rozwiązań: płaska fala monochromatyczna

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \psi)$$

Front falowy
Prędkość fazowa