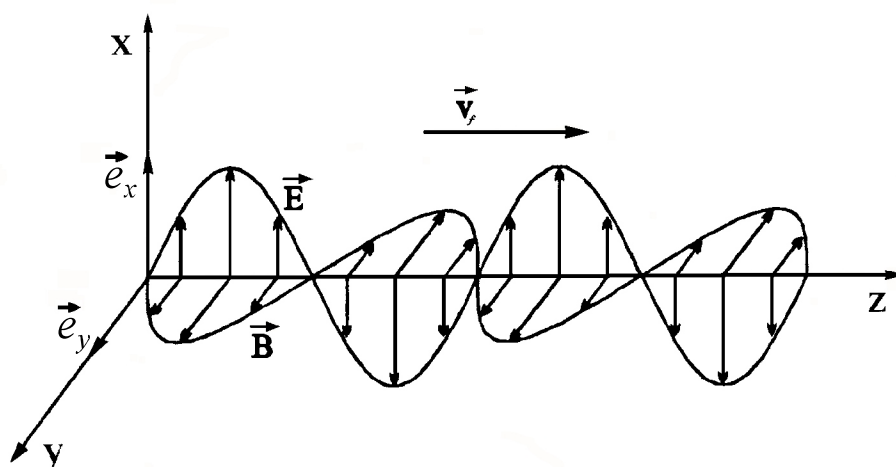


GŁÓWNE CECHY ŚWIATŁA LASEROWEGO

Światło może być rozumiane jako strumień fotonów albo jako fala elektromagnetyczna. Najprostszym przypadkiem fali elektromagnetycznej jest fala płaska

$$\vec{E} = \vec{e}_x E_0 \cos(\omega t - kz + \varphi) \qquad \vec{E} = \vec{B} \times \vec{v}_f$$

$$\vec{B} = \vec{e}_y B_0 \cos(\omega t - kz + \varphi) \qquad E = B v_f$$



ω - częstość kołowa, $\omega = 2 \pi \nu$

ν - częstość,

k - moduł wektora falowego, $k = |\vec{k}| = 2 \pi / \lambda$

λ - długość fali,

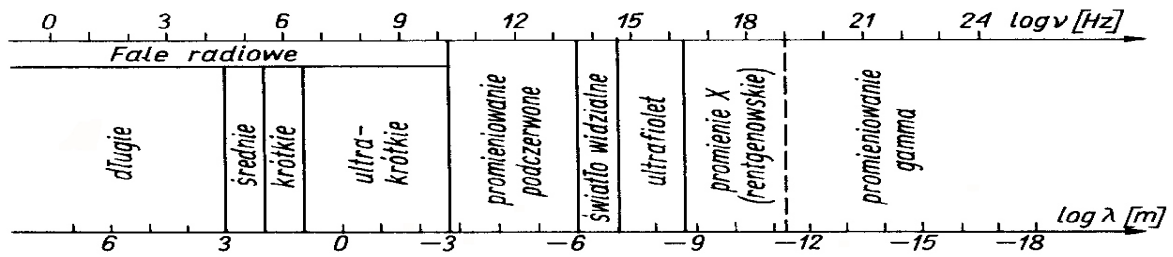
\vec{v}_f - prędkość fazowa fali,

$$\vec{v}_f = \frac{\vec{k}}{k} v_f = \vec{e}_k v_f = \vec{e}_z v_f$$

$(\omega t - kz + \varphi)$ - faza fali,

φ - faza początkowa.

Widmo promieniowania elektromagnetycznego



Oddziaływanie światła z materią

Fizjologiczne, fotochemiczne, fotoelektryczne działanie światła wywołane jest drganiami wektora \vec{E} fali elektromagnetycznej. Dlatego wektor \vec{E} nazywa się *wektorem świetlnym*. Siła oddziaływania elektrycznego z ładunkami jest znacznie większa niż siła oddziaływania magnetycznego.

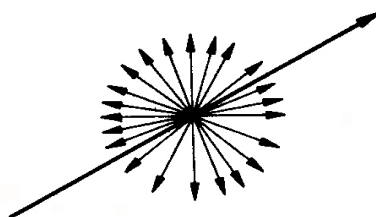
$$\vec{F}_E = q \vec{E} \qquad \vec{F}_M = q (\vec{v}_q \times \vec{B})$$

Dla elektronu

$$\frac{F_E}{F_M^{\max}} = \frac{e E}{e v_e B} = \frac{B v_f}{v_e B} \approx \frac{c}{v_e} \gg 1$$

Polaryzacja światła

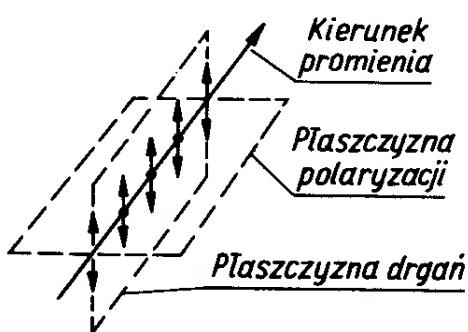
Światło naturalne - światło, w którym drgania wektora świetlnego w różnych kierunkach szybko i w sposób nieuporządkowany zamieniają się wzajemnie (światło zdepolaryzowane).



Polaryzacja światła, cd

Światło spolaryzowane - światło, w którym drgania wektora świetlnego są w jakiś sposób uporządkowane

Polaryzacja liniowa - rodzaj polaryzacji, kiedy drgania wektora świetlnego zachodzą tylko w jednej przechodzącej przez promień płaszczyźnie



Według nowej terminologii:

Płaszczyzna polaryzacji = płaszczyzna drgań

ŚWIATŁO LASEROWE A ZWYKŁE

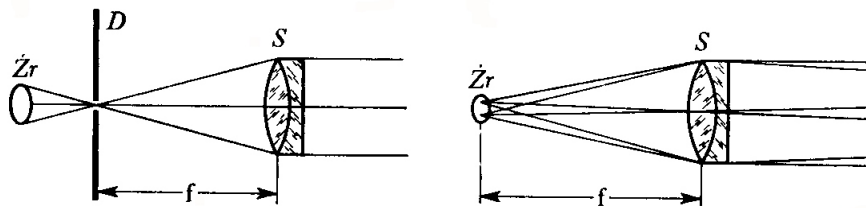
Energia fotonów

Energia fotonu wygenerowanego przez laser jest taka sama jak energia fotonu o tej samej długości fali pochodzącego ze zwykłego źródła światła.

Kierunkowość promieniowania

W konwencjonalnych źródłach światła równoległość promieniowania ograniczona jest skończonymi rozmiarami obszaru, gdzie wytwarzane jest światło

Kierunkowość promieniowania, cd



Promieniowanie wychodzące z lasera jest zazwyczaj złożone z ciągu fal o prawie idealnie płaskich frontach falowych. Równoległość wiązki laserowej jest ograniczona dyfrakcją. Dyfrakcyjna rozbieżność wiązki zależy od rozmiaru apertury oraz od długości fali generowanego promieniowania.

Rozbieżność w płaszczyźnie zawierającej oś optyczną:

$$\Delta\theta = K \frac{\lambda}{d}$$

d - szerokość wiązki na wyjściu lasera,

λ - długość fali,

K - stała o wartości bliskiej jedności, której wielkość zależy od rodzaju lasera i rezonatora.

Rozbieżność w kącie bryłowym:

$$\Delta\Omega \approx \frac{\lambda^2}{A}$$

$\Delta\Omega$ - kąt bryłowy rozbieżności wiązki,

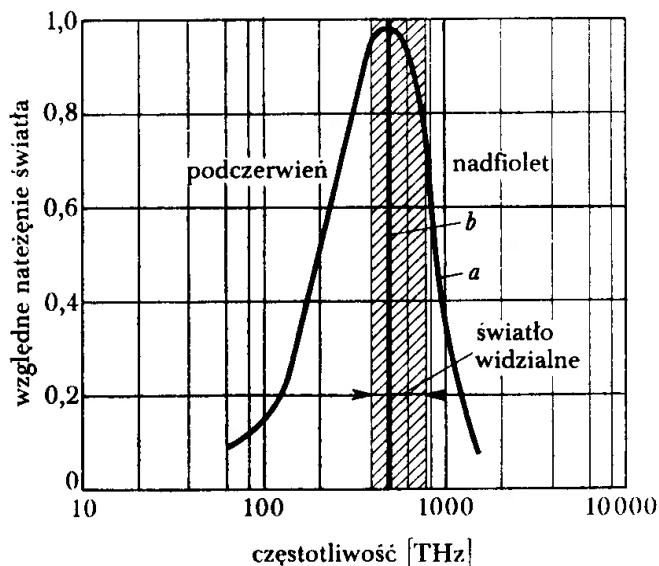
A - powierzchnia apertury wyjściowej lasera.

Dyfrakcyjna rozbieżność wiązki laserowej jest rzędu pojedynczych sekund kąta ($1'' \approx 4,85 \text{ mm}/1 \text{ km}$). By z naturalnego źródła światła za pomocą optycznego kolimatora uzyskać typową dla wiązki laserowej rozbieżność, należałoby użyć układu o ogniskowej kilkudziesięciu metrów. Przy takiej ogniskowej natężenie skolimowanego światła byłoby znikome.

Monochromatyczność

Dzięki laserom można uzyskać ekstremalnie wąskie spektralnie linie o szerokości nieosiągalnej innymi metodami. Szerokość widmowa typowych laserów mieści się w zakresie od 1 MHz do 1 GHz (przy $\lambda = 600 \text{ nm}$, $1 \text{ MHz} \rightarrow 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$). Np. dla lasera rubinowego $\Delta\lambda \approx 0,002 \text{ nm}$ przy $\Delta\lambda \approx 0,54 \text{ nm}$ dla zwykłego światła fluorescencji rubinu. W specjalnych wykonaniach buduje się układy laserowe o szerokościach linii o kilka rzędów mniejszych.

Dla porównania szerokość pasma promieniowania słonecznego jest rzędu 10^{15} Hz .



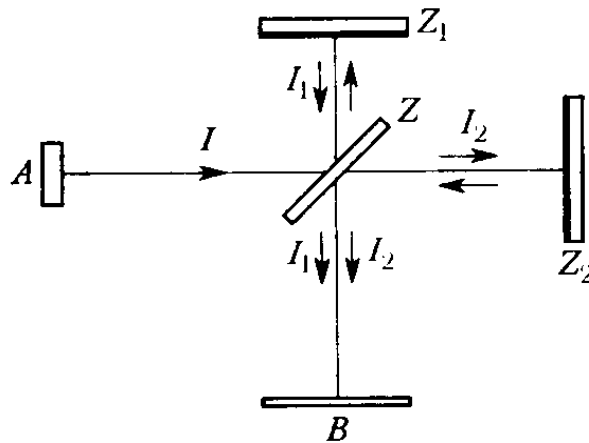
Niemożliwe jest jednak uzyskanie promieniowania ściśle monochromatycznego.

Względna czystość spektralna promieniowania laserowego określana jest przez stosunek $\Delta\nu/\nu$, który może osiągać wartości $\Delta\nu/\nu = 2 \times 10^{-15}$.

Wysoki stopień monochromatyczności światła laserowego jest podstawą zastosowania go w telekomunikacji, spektroskopii, metrologii i innych dziedzinach nauki i techniki.

Spójność czasowa światła laserowego: długość spójności, czas spójności

Spójność czasową światła można badać za pomocą *interferometru Michelsona*



Długość spójności - Wartość krytyczna różnicy dróg optycznych, Δl_{sp} przebytych przez obie wiązki, powyżej której przestają one ze sobą interferować.

Czas spójności: $\Delta\tau = \Delta l_{sp} n/c$

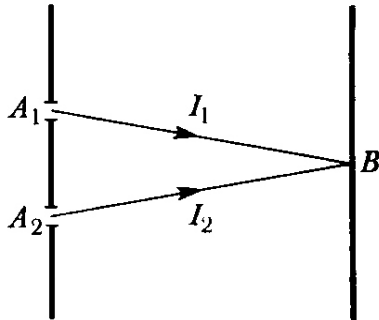
Czas spójności (czas koherencji, spójność czasowa) związany jest ze stopniem monochromatyczności:

$$\Delta\tau = 1/\Delta\nu$$

Dla typowych układów laserowych $\Delta\nu \approx 1 \text{ MHz} \Rightarrow \Delta\tau \approx 1 \mu\text{s}$

Spójność przestrzenna światła laserowego

Spójność przestrzenna - spójność drgań wywołanych przez falę w różnych punktach powierzchni falowej.



Schemat doświadczenia ilustrującego spójność przestrzenną światła.

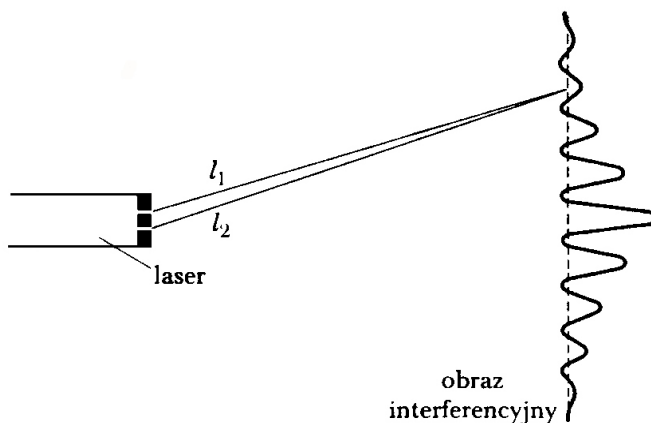
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \delta \rangle$$

Dla źródeł konwencjonalnych spójność przestrzenna związana jest ze skończonymi rozmiarami przestrzennymi źródła. Promień spójności ρ_{sp} obszaru spójności w danym punkcie powierzchni falowej

$$\rho_{sp} = \frac{\lambda}{\varphi}$$

λ - długość fali, φ - kąt pod jakim widać

źródło z danego punktu powierzchni falowej.



Schemat doświadczenia interferencyjnego przy użyciu lasera

Intensywność promieniowania

Ze względu na równoległość wiązki za pomocą laserów można łatwo osiągnąć bardzo wysokie powierzchniowe gęstości mocy

- przy pracy ciągłej - 10^4 - 10^{12} W/cm²,
- przy pracy impulsowej - 10^7 - 10^{16} W/cm².

Dzieje się tak dlatego, że monochromatyczna wiązka laserowa daje się łatwo ogniskować (praktyczny brak aberracji chromatycznej) oraz, że impulsy laserowe mogą być bardzo krótkie (np. rzędu femtosekund).

W niezogniskowanej wiązce pole elektryczne ma natężenie rzędu 10^7 V/cm, a w wiązce zogniskowanej rzędu 10^9 V/cm, co przekracza natężenie pola utrzymujące zewnętrzne elektrony w większości pierwiastków. Ciśnienie światła w tym przypadku wynosi 10^6 kg/m² (dla światła słonecznego $E \approx 7\text{V/cm}^2$, $p \approx 1\text{mg/m}^2$).

Dzięki takim własnościom światła laserowego można je łatwo wykorzystać do podgrzewania, topienia i cięcia różnych materiałów.