

Ćwiczenie 4

Temat ćwiczenia: Badanie parametrów charakteryzujących wiązkę laserową (gaussowską)

1. Wstęp

Wiazkę laserową dla modu podstawowego (TEM_{00}) opisuje funkcja Gaussa. Wiązka ta jest podstawowym rodzajem drgań generowanych przez laser i opisana jest równaniem [1]:

$$E(r, z) = E_0 \cdot \frac{w_0}{w_z} \cdot \exp\left[-\left(\frac{r}{w_0}\right)^2\right] \cdot \exp\left[-i \cdot \left(k \cdot z - \phi - \frac{k \cdot r^2}{2 \cdot R_z}\right)\right] \quad (1)$$

Gdzie:

$E(r, z)$ – amplituda wiązki w przekroju z w punkcie odległym o r od osi optycznej,

E_0 – wartość pola w $z = 0$,

w_0 – promień wiązki laserowej w $z = 0$ (tzw. przewężenie wiązki laserowej),

k – kołowa liczba falowa równa $2 \cdot \pi / \lambda$

λ – długość emitowanego promieniowania (dla lasera Nd:YAG używanego w ćwiczeniu $\lambda = 532$ nm),

w_z – promień wiązki laserowej w płaszczyźnie odległej o z od przewężenia,

R_z – promień krzywizny czoła fali w odległości z od przewężenia,

i – jednostka urojona równa $\sqrt{-1}$,

ϕ – parametr związany z poosiową poprawką fazową $\text{tg } \phi = (\lambda \cdot z) / (\pi \cdot w_0^2)$.

Z równania (1) wynika, że rozkład amplitudy w dowolnej płaszczyźnie z jest również opisany funkcją Gaussa (patrz Rys. 1):

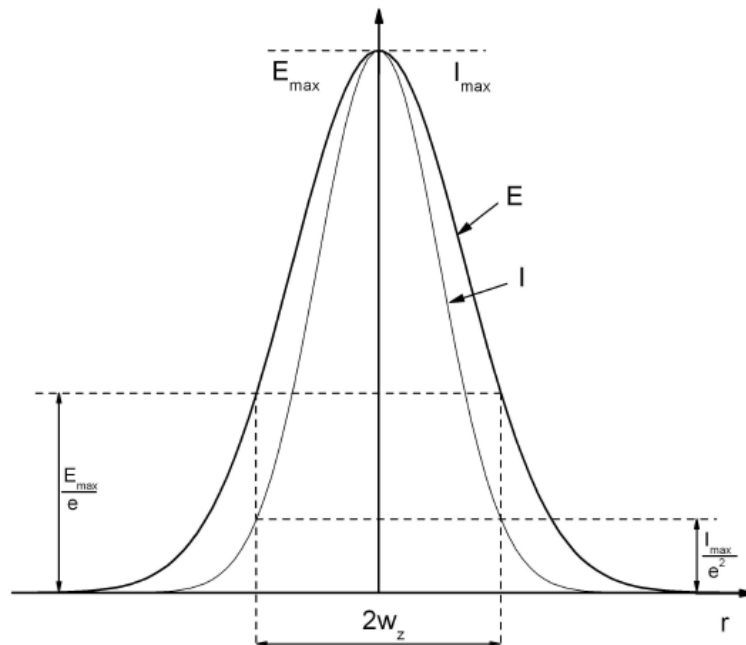
$$E(r, z) = E_0 \cdot \frac{w_0}{w_z} \cdot \exp\left[-\left(\frac{r}{w_z}\right)^2\right], \quad (2)$$

analogicznie przebiega rozkład intensywności promieniowania wiązki:

$$I(r, z) = I_{\max} \cdot \exp\left[-2 \cdot \left(\frac{r}{w_z}\right)^2\right] \quad (3)$$

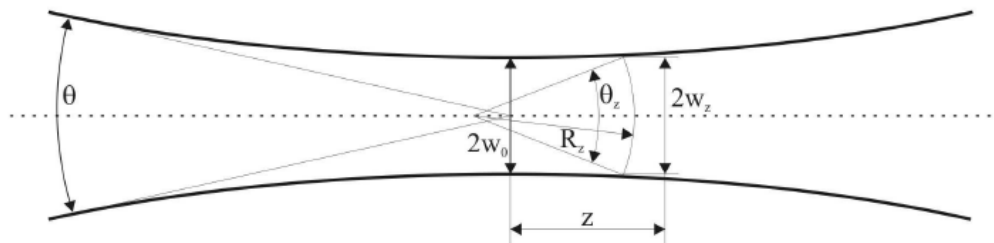
Zgodnie z definicją, przez średnicę wiązki laserowej w danym przekroju poprzecznym z rozumie się średnicę okręgu utworzonego przez punkty, w których wartość amplitudy pola

maleje e razy względem jej wartości maksymalnej, lub odpowiednio intensywność wiązki zmaleje e^2 razy.



Rys. 1. Rozkład amplitudy i natężenia wiązki laserowej w przekroju poprzecznym w odległości z od przewężenia.

UWAGA! Podczas wykonywania ćwiczenia mierzona jest intensywność wiązki. W miejscu $z = 0$ średnica wiązki jest najmniejsza, a miejsce to nazywa się przewężeniem wiązki laserowej. Na Rys. 2 przedstawiono przekrój podłużny wiązki laserowej w okolicy przewężenia.



Rys. 2. Parametry wiązki laserowej.

Dla dużych odległości od przewężenia wiązkę można traktować jako pęk promieni rozchodzących się prostoliniowo od środka przewężenia. Aproksymuje się ją stożkiem o kącie wierzchołkowym θ (patrz Rys. 2), który stanowi kąt rozbieżności wiązki definiowany jako:

$$\theta = \lim_{z \rightarrow \infty} \left(\frac{2w_z}{z} \right) = \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{2w_0 \cdot \sqrt{1 + (2 \cdot z / D)^2}}{z} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot w_0}, \quad (4)$$

gdzie $D = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot w_0^2$ jest tzw. parametrem konfokalnym.

Średnica wiązki laserowej jest wyrażana wzorem:

$$2w_z = 2w_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

W funkcji odległości zmienia się także promień krzywizny czoła fali R_z :

$$R_z = -z \cdot \left[1 + \left(\frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda \cdot z} \right)^2 \right] \quad (6)$$

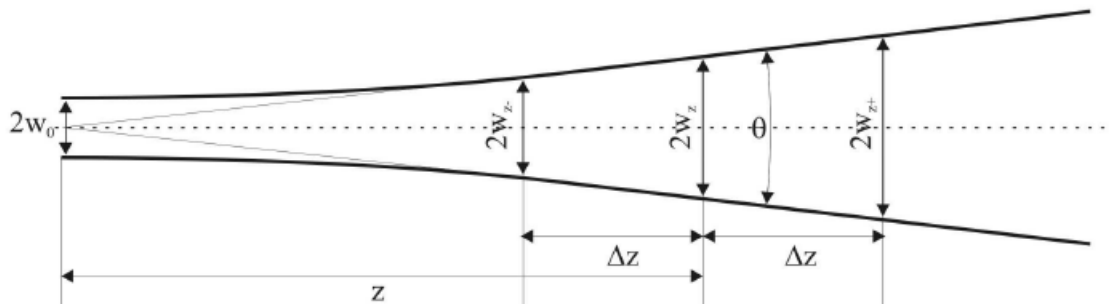
Z wyrażenia (6) wynika, że największe zakrzywienie czoła fali występuje dla $z = \pm \frac{D}{2}$ i wtedy $R_{min} = D$.

Literatura:

[1] Józwicki R.: Optyka laserów. WNT warszawa, 1981.

2. Pomiar parametrów wiązki laserowej

Ćwiczenie polega na wyznaczeniu parametrów wiązki lasera Nd:YAG poprzez pomiar średnicy wiązki w trzech przekrojach odległych o z , $z+\Delta z$ i $z-\Delta z$ od przewężenia (patrz Rys. 3).



Rys. 3. Wyznaczanie parametrów wiązki laserowej poprzez pomiar średnicy wiązki w trzech przekrojach.

W tym wypadku z nie jest wartością znaną. Wykorzystując wyrażenie (4) można doprowadzić wzór (5) do postaci:

$$(2w_z)^2 = (2w_0)^2 + (\theta \cdot z)^2 \quad (7)$$

Stosując wyrażenie (7) dla wymienionych położeń, otrzymuje się:

- płaszczyzna z : $(2w_z)^2 = (2w_0)^2 + (\theta \cdot z)^2 \quad (8a)$

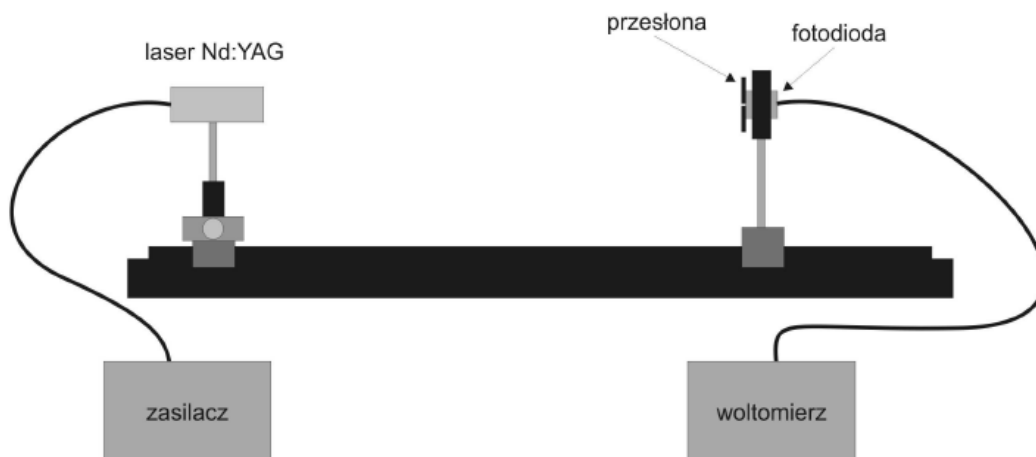
- płaszczyzna $z+\Delta z$: $(2w_{z+})^2 = (2w_0)^2 + \theta^2 \cdot (z + \Delta z)^2 \quad (8b)$

- płaszczyzna $z-\Delta z$: $(2w_{z-})^2 = (2w_0)^2 + \theta^2 \cdot (z - \Delta z)^2 \quad (8c)$

$$\theta = \frac{1}{\Delta z} \cdot \sqrt{\frac{(2w_{z+})^2 + (2w_{z-})^2}{2} - (2w_z)^2} \quad (9)$$

Znając kąt rozbieżności wiązki laserowej można wyznaczyć średnicę przewężenia ze wzoru (4), położenie przewężenia względem płaszczyzny wyjściowej $2w_z$ ze wzoru (8a) oraz parametr konfokalny D .

Pomiary średnicy i rozbieżności wiązki laserowej należy wykonać w układzie przedstawionym na Rys. 4. Układ pomiarowy składa się z ławy optycznej, na której umieszczono laser Nd:YAG ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $P = 5 \text{ mW}$) oraz fotodiodę z przesłoną.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego.

Lasery umieszczone są na przesuwie poprzecznym do osi ławy, ze śrubą mikrometryczną umożliwiającą zmianę położenia wiązki laserowej względem osi ławy. Fotodiody wraz z przesłoną umieszczone są w osi ławy. Otworek w przesłonie jest mały w porównaniu do średnicy wiązki.

3. Przebieg ćwiczenia

Umieścić laser i fotodiody na ławie optycznej. Podłączyć zasilanie lasera i woltomierz. Za pomocą śrub regulacyjnych ustawić otworek przesłony w centrum wiązki laserowej. Wykonać pomiar profilu wiązki dla trzech płaszczyzn (płaszczyzny wyjściowej i dwóch płaszczyzn odległych o $\pm\Delta z$). Odległości pomiędzy płaszczyznami wyznaczyć korzystając z podziałki na ławie optycznej. Pomiar profilu w każdym z przekrojów wykonać mierząc napięcie wytwarzane przez fotodetektor i odczytywane na woltomierzu dla kolejnych położań stolika ze śrubą mikrometryczną. Wyniki należy zapisać w tabeli.

4. Zadania do opracowania w sprawozdaniu z ćwiczenia

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy zmierzone profile rozkładu intensywności promieniowania laserowego unormować i przedstawić na wykresach. Ponadto należy:

- wyznaczyć średnicę wiązki laserowej dla każdego profilu, mierząc jego szerokość na poziomie $1/e^2$ natężenia maksymalnego,
- obliczyć kąt rozbieżności wiązki laserowej,
- obliczyć średnicę przewężenia wiązki laserowej,
- obliczyć odległość płaszczyzny przewężenia od płaszczyzny wyjściowej (odległość z),
- obliczyć parametr konfokalny,
- obliczyć promień krzywizny czoła fali w płaszczyźnie wyjściowej.

Na podstawie wykonanego ćwiczenia w sprawozdaniu zamieścić wnioski, spostrzeżenia i uwagi.