

LASERY I ICH ZASTOSOWANIE W MEDYCYNIE

Laboratorium

Instrukcja do ćwiczenia nr 2

Temat: Pomiar parametrów geometrycznych wiązki
laserowej cz.2

1. POMIAR PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH WIAZKI LASERA He - Ne

1.1. Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami wyznaczania parametrów geometrycznych wiązki laserowej, takich jak: promień krzywizny czoła fali oraz kołowości wiązki laserowej.

Ćwiczenie obejmuje zapoznanie się z matematycznym opisem mierzonych parametrów, ich definicjami i sposobami pomiaru. Efektem ćwiczenia winny być wnioski podsumowujące wykonane pomiary, które powinny zawierać propozycje praktycznego zastosowania.

1.2. Wiadomości ogólne.

Charakterystyka promieniowania laserowego [1].

Wiązkę laserową dla modu podstawowego opisuje funkcja Gaussa. Wiązka ta jest podstawowym rodzajem drgań generowanych przez laser i opisana jest równaniem:

$$E_{r,z} = E_0 \frac{w_0}{w_z} \exp\left[-\left(\frac{r}{w_z}\right)^2\right] \exp\left[-i\left(kz - \phi - \frac{kr^2}{2R_z}\right)\right] \quad (1.1)$$

gdzie:

$E_{r,z}$ - amplituda wiązki w przekroju z w punkcie odległym o r od osi optycznej,

E_0 - wartość pola w początku układu współrzędnych ($z=0$),

z - odległość od przewężenia wiązki laserowej wzdłuż osi wiązki,

$2w_0$ - średnica wiązki laserowej w płaszczyźnie przewężenia,

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ - odległość rozpatrywanego punktu od osi wiązki w kierunku prostopadłym,

$$k = 2\pi / \lambda$$

$2w_z$ - średnica wiązki laserowej w płaszczyźnie odległej o z od przewężenia:

$$2w_z = 2w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.1a)$$

R_z - promień zaokrąglenia czoła fali w odległości z od przewężenia:

$$R_z = -z \left[1 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (1.1b)$$

λ - długość fali (dla lasera He-Ne, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) emitowanego promieniowania,

$\text{tg } \phi$ - poosiowa poprawka fazowa:

$$\text{tg } \phi = \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \quad (1.1c)$$

Z równania (1.1) wynika, że rozkład amplitudy w dowolnej płaszczyźnie z jest również opisany funkcją Gaussa:

$$E_{r,z} = E_0 \frac{w_0}{w_z} \exp \left[- \left(\frac{r}{w} \right)^2 \right] \quad (1.2)$$

gdzie: $E_0 \frac{w_0}{w_z} = E_{\max}$,

analogicznie przebiega rozkład intensywności promieniowania wiązki:

$$I_{r,z} = I_{\max} \exp \left[- 2 \left(\frac{r}{w_z} \right)^2 \right] \quad (1.3)$$

Rozkład amplitudy i intensywności pola w przekroju poprzecznym wiązki gaussowskiej przedstawia rys. 1.1.

Przez średnicę wiązki gaussowskiej w przekroju $z = \text{const}$ rozumie się średnicę okręgu utworzonego z punktów wiązki, w których wartość amplitudy pola spada e razy w porównaniu z jej wartością maksymalną, lub odpowiednio intensywność wiązki (parametr mierzony na pracowni) zmniejsza się e razy. Zgodnie z tą definicją średnica $2w_z$ jest średnicą wiązki w przekroju $z = \text{const}$, a $2w_0$ jest średnicą wiązki w płaszczyźnie $z = 0$. W miejscu $z = 0$ średnica wiązki jest najmniejsza, miejsce to nazywa się przewężeniem wiązki (rys. 1.2).

Składnik kz jest typowym składnikiem rozwiązania równania Maxwella dla fali płaskiej z jednorodnym rozkładem amplitudy.

Wielkość ϕ jako funkcja odległości z , określa poprawkę tej fazy na osi w stosunku do wspomnianej fali. Ma istotne znaczenie dla interferencji.

Faza φ fali gaussowskiej opisana jest równaniem:

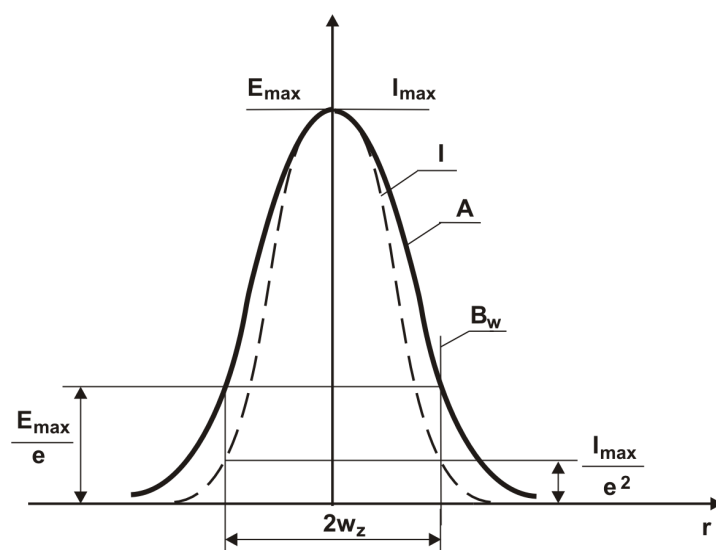
$$\varphi = kz - \phi - \frac{kr^2}{2R_z} \quad (1.4)$$

Z równania (1.4) wynika, że czoło fali jest zakrzywione, a dla dużych odległości od przewężenia wiązkę można traktować jako pęk promieni rozchodzących się prostoliniowo od środka przewężenia. Aproksymuje się ją stożkiem o kącie wierzchołkowym 2Θ (rys.1.2), który stanowi kąt rozbieżności wiązki definiowany jako:

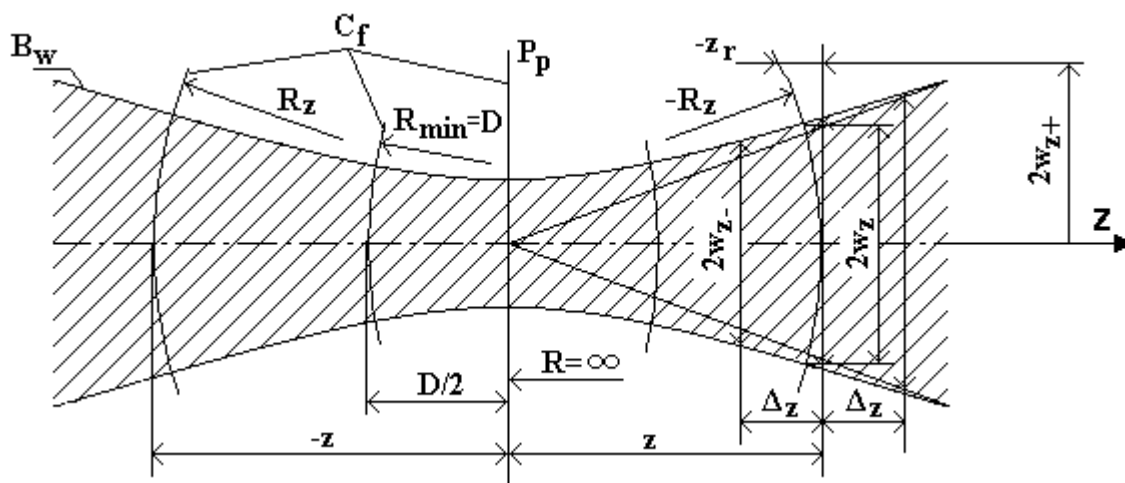
$$2\Theta = \lim_{z \rightarrow \infty} \left(\frac{2w_z}{z} \right) = \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{2w_0 \sqrt{1 + (2z/D)^2}}{z} = \frac{2\lambda}{\pi w_0} \quad (1.5)$$

gdzie: $D = \frac{2\pi}{\lambda} w_0^2$ - tzw. parametr konfokalny (1,5a)

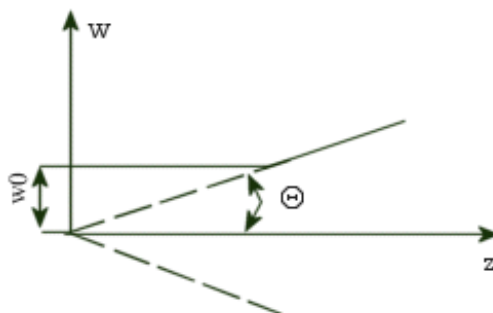
przedstawia to graficznie rys.1.3.



Rys. 1.1 Rozkład amplitudy - A i intensywności - I w poprzecznym przekroju wiązki gaussowskiej, B_1 - brzeg kształtu wiązki.



Rys. 1.2. Kształt wiązki gaussowskiej w przestrzeni wewnątrz rezonatora: B_w - brzeg kształtu wiązki, P_p - pł. przewężenia, C_f - czoła fali, L - odległość zwierciadeł rezonatora konfokalnego.



Rys.1.3. Graficzne przedstawienie zależności (1.5).

Z zależności (1.5) wynika, że:

$$(2w_0)(2\theta) = \frac{4\lambda}{\Pi} \quad (1.6)$$

Iloczyn średnicy przewężenia i kąta rozbieżności dla danej długości fali jest wartością niezmienniczą wiązki, co oznacza, że nie można wytworzyć wiązki, która miałaby dowolne wartości średnicy przewężenia i kąta rozbieżności.

Ostatni składnik zależności (1.4) opisuje zmianę fazy ze zmianą odległości rozpatrywanego punktu od osi (zmiana wartości r). Oznacza to, że przy skończonych wartościach R_z czoło fali jest zakrzywione. Znaczące wartości amplitudy pola występują na odległościach r dużo mniejszych od R_z . Z rys. 1.2

wynika, że strzałkę ugięcia czoła fali w mierze liniowej opisuje zależność:

$$z_r = R_z - \sqrt{R_z^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R_z}, \text{ dla } r^2 \ll R_z^2 \quad (1.7)$$

czoło fali jest sferyczne, a R_z jest wartością promienia krzywizny. Wartość R_z można wyznaczyć z zależności (1.1b), przy czym największe zakrzywienie czoła fali występuje dla $z = \pm \frac{D}{2}$ i wtedy $R_{\min} = D$ (rys.1.2).

1.3. Metody pomiaru parametrów geometrycznych wiązki laserowej.

W trakcie ćwiczenia mierzone będą promień zaokrąglenia czoła fali oraz kołowość wiązki laserowej

a) Pomiar promienia zaokrąglenia czoła fali [1].

Promień zaokrąglenia czoła fali R_z można policzyć z zależności (1.1b), w każdej odległości z od przewężenia, trzeba tylko znać wartość przewężenia w_0 . Praktycznie jednak pomiar promienia przeprowadza się metodą zdwojenia czoła fali za pomocą płytki płasko-równoległej (rys.1.4).

Zachodzi wtedy interferencja między obydwoma falami. Jeżeli bada się wiązkę, której promień czoła jest nieporównywalnie większy od średnicy wiązki i różnicy dróg wprowadzonej przez płytkę, wtedy prążki są prostoliniowe, a wartość promienia krzywizny wyznacza się ze wzoru:

$$R_z = \frac{d\Delta x}{\lambda} \quad (1.8)$$

gdzie: $d = \frac{t \sin 2\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$ - rozsuniecie czoł obydwu fal w

płaszczyźnie Π

t - grubość płytki płasko-równoległej,

α - kąt padania wiązki na płytkę,

n - współczynnik załamania płytki, $n = 1,5172$

Δx - odległość między prążkami.

b) Pomiar kołowości wiązki laserowej.

Do badania zostanie użyty zestaw pomiarowy firmy Beam View składający się z kamery oraz oprogramowania do badania wiązki laserowej. LaserCam-HR jest cyfrową kamerą przeznaczoną do rejestrowania i analizy profilu wiązki laserowej. Charakteryzuje się dobrym stosunkiem sygnału do szumu oraz liniowością i jednorodnością pomiarów. W programie ustawiono automatyczne obliczanie parametrów wiązki takich jak: średnica wiązki, kołowość, współczynnik dopasowania krzywej Gaussa.

1.3. Przebieg ćwiczenia.

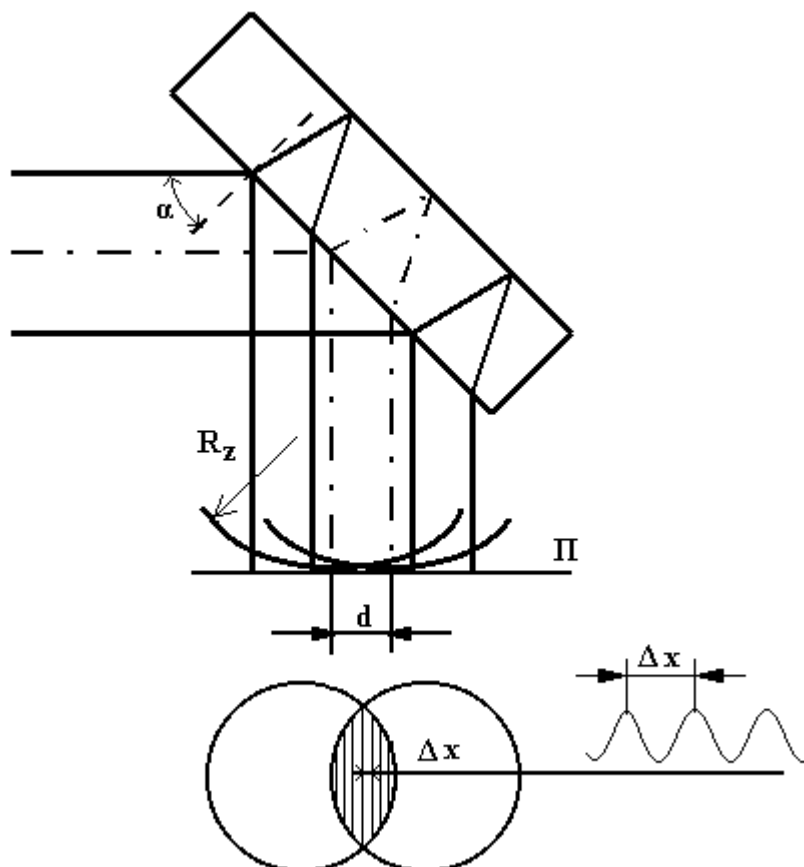
a) Zestawić układ pomiarowy wg rys.1.5.

b) Włączyć laser i odczekać kilka minut dla ustalenia się natężenia światła lasera i warunków pracy miernika.

c) Metodą skanowania określić odległość między prążkami Δx , policzyć d i obliczyć R_z z zależności (1.8).

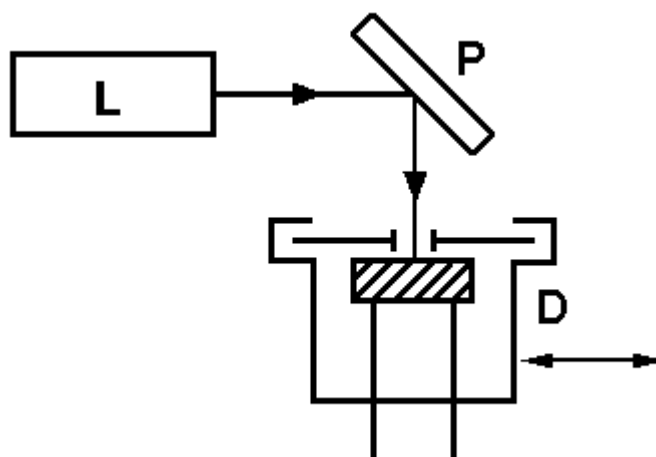
Wyniki pomiaru umieścić w tabeli:

x [mm]	
I [mV]	



Rys.1.4. Pomiar promienia krzywizny czoła fali za pomocą płytki płasko - równoległej.

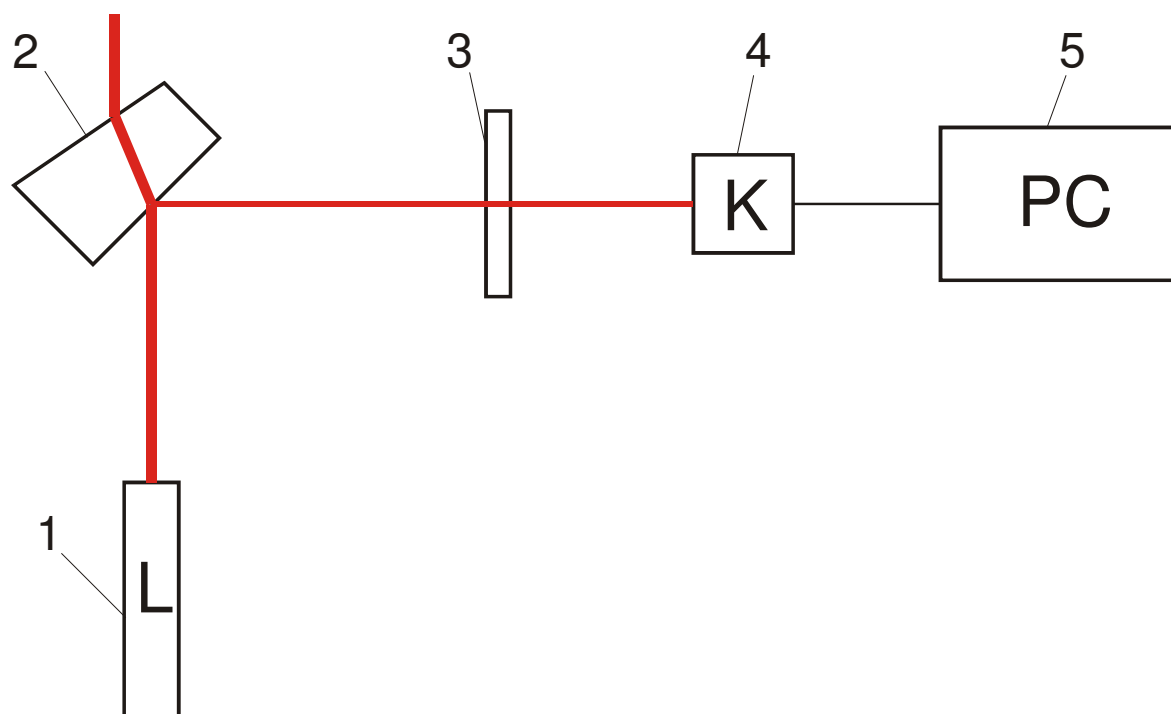
d) Zestawić układ wg rys.1.5.



Rys.1.5. Schemat układu do pomiaru promienia krzywizny czoła fali, P - płytko płasko - równoległa, D - fotodetektor z pinholem.

e) Z przebiegu i kształtu prążków wyciągnąć wnioski co do dokładności wykonania zwierciadeł rezonatora oraz wnioski ogólne z przeprowadzonego ćwiczenia.

f) Zmontować układ wg rys. 1.6.



Rys.1.6. Schemat układu pomiarowego do badania kształtu wiązki laserów, 1 - laser, 2 - rozdzielacz wiązki laserowej, 3 - filtr neutralny, 4 - kamera, 5 - komputer z oprogramowaniem.

g) Zmierzyć według wskazówek prowadzącego kołowość oraz średnicę badanych laserów (HeNe oraz półprzewodnikowego) wyciągnąć wnioski na temat kształtu wiązki badanych laserów.

Literatura:

- [1] R. Józwicki, Optyka laserów, WNT Warszawa 1981.
- [2] BN-86/3378-01/05.
- [3] BN-86/3378-01/06.