

LABORATORIUM LASEROWE TECHNIKI
OBRÓBKI I WYTWARZANIA

Instrukcja do ćwiczenia 3

**POMIAR KĄTA ROZBIEŻNOŚCI
WIĄZKI LASEROWEJ**

Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

Równanie fali i definicje występujących w nim wielkości, laser, charakterystyczne cechy promieniowania laserowego; energia, moc i natężenie światła oraz ich jednostki.

Wprowadzenie teoretyczne

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą wyznaczania jednego z parametrów geometrycznych wiązki laserowej, jakim jest kąt rozbieżności wiązki.

Podstawowym rodzajem fali generowanej przez laser jest tzw. mod podstawowy. W takiej wiązce laserowej rozkład amplitudy E fali świetlnej w dowolnej płaszczyźnie poprzecznej z jest opisany funkcją Gaussa daną równaniem:

$$E_{r,z} = E_{\max} \exp\left[-\left(\frac{r}{w_z}\right)^2\right] \quad (1)$$

gdzie:

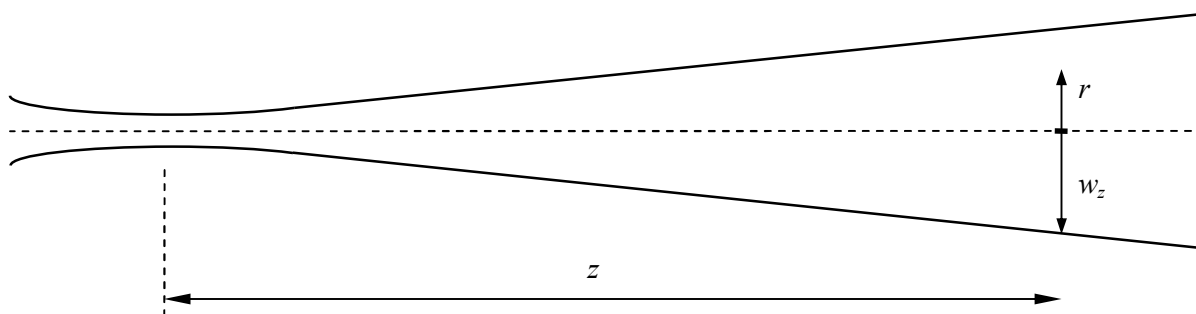
$E_{r,z}$ - amplituda wiązki w przekroju z , w punkcie odległym o r od osi optycznej,

E_{\max} - maksymalna wartość amplitudy fali świetlnej (dla $r=0$),

z - odległość wzdłuż osi wiązki od początkowego przewężenia wiązki laserowej,

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

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

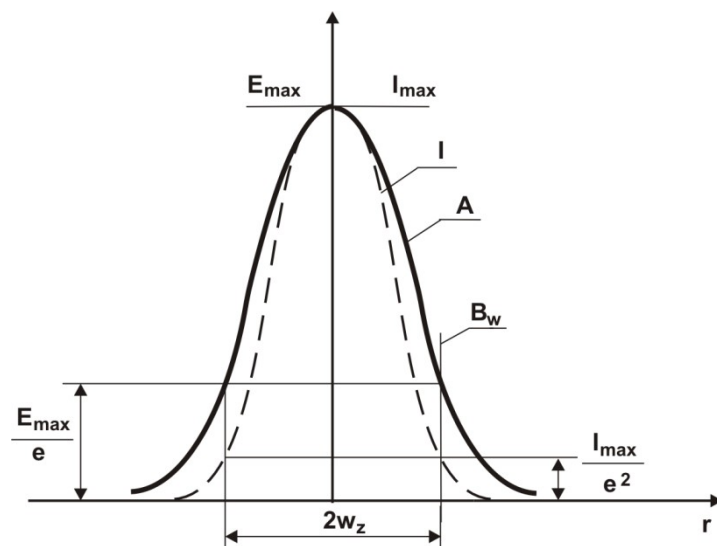


Rys. 1. Schemat wiązki laserowej (rozbieżność wiązki narysowana w przesadzie)

Ponieważ $E^2 \sim I$, gdzie I oznacza intensywność (natężenie), która jest miarą energii przenoszonej przez falę (na jednostkę czasu i na jednostkę powierzchni), to analogicznie przebiega rozkład intensywności promieniowania wiązki:

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

Rozkład amplitudy i intensywności pola w przekroju poprzecznym wiązki gaussowskiej przedstawia Rys. 2.

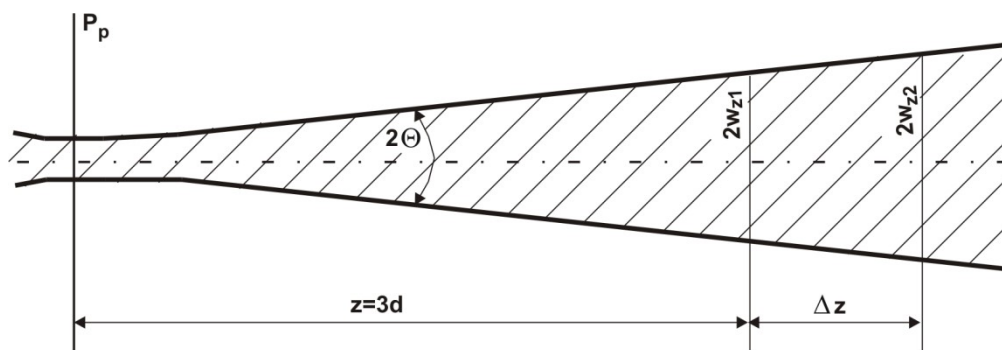


Rys. 2. Rozkład amplitudy - A i intensywności - I w poprzecznym przekroju wiązki gaussowskiej, B_1 - brzeg kształtu wiązki.

Przez średnicę $2w_z$ wiązki gaussowskiej w przekroju $z=const$ rozumie się średnicę okręgu utworzonego z punktów wiązki, w których wartość amplitudy pola spada e razy w porównaniu z jej wartością maksymalną (równanie 1), lub odpowiednio intensywność wiązki (parametr mierzony na pracowni) zmniejsza się e^2 razy (równanie 2). Zgodnie z tą definicją średnica $2w_z$ jest średnicą wiązki w przekroju $z=const$, 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. 3).

W przypadku, gdy pomiarów średnicy wiązki laserowej ($2w_1$ i $2w_2$) dokonamy w dwóch płaszczyznach odległych od siebie o Δz w odległości dostatecznie dużej od przewężenia ($z \gg z_0$, rys. 3), kąt rozbieżności policzyć można z zależności:

$$2\theta = \frac{2w_{z2} - 2w_{z1}}{\Delta z} \quad (3)$$

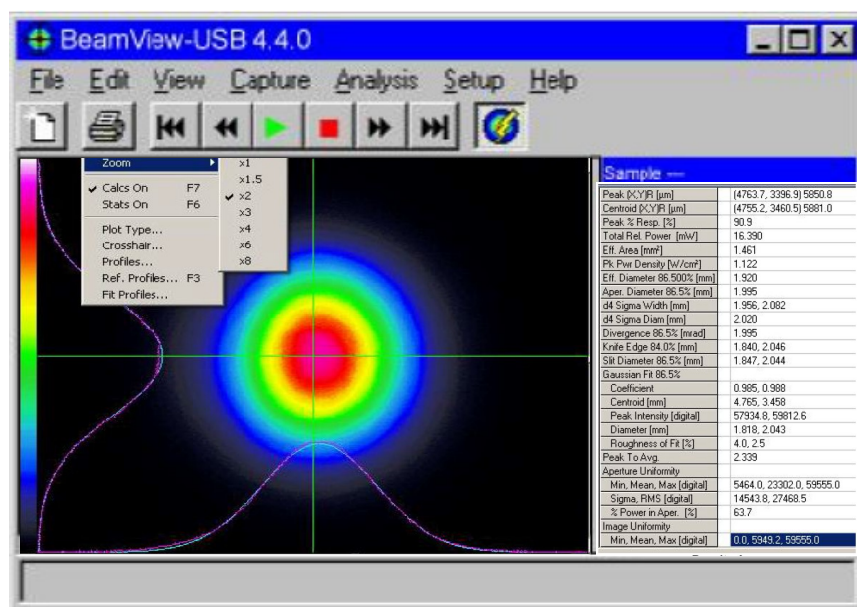


Rys.3. Wyznaczanie kąta rozbieżności wiązki w dużej odległości od płaszczyzny przewężenia P_p .

Do badania zostanie użyty zestaw pomiarowy firmy Beam View składający się z kamery oraz oprogramowania do badania wiązki laserowej:

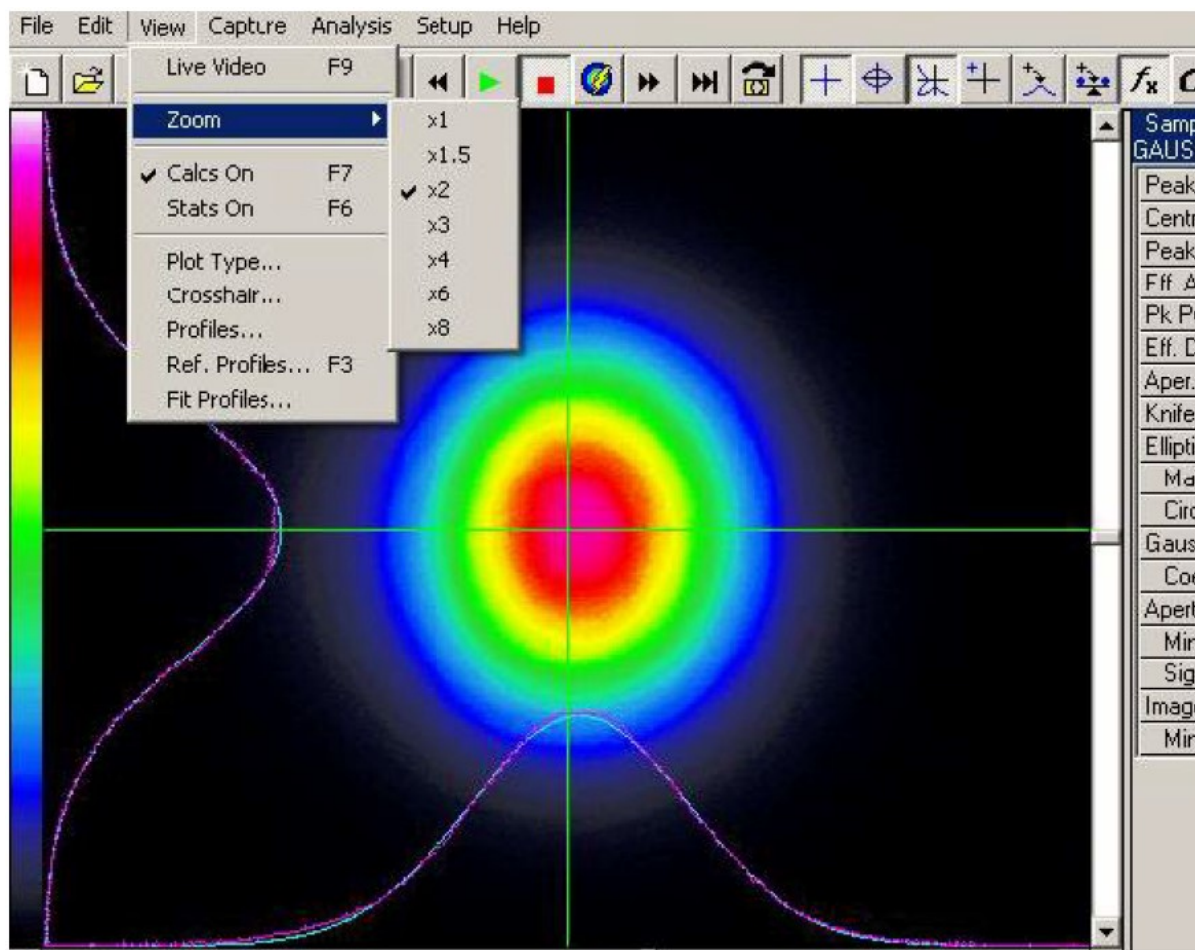
1. LaserCam-HR jest cyfrową kamerą przeznaczoną do rejestrowania i analizy profilu wiązki laserowej. Charakteryzuje się dobrym stosunkiem sygnału do szumu oraz liniowością i jednorodnością pomiarów.
2. Program Beam View jest wygodnym narzędziem do wizualizacji i pomiaru parametrów wiązki laserowej. W programie ustawiono automatyczne obliczanie parametrów wiązki takich jak: średnica wiązki, kołowość, współczynnik dopasowania krzywej Gaussa.

Główną część okna programu zajmuje po lewej stronie obszar wizualizacji obrazu otrzymanego za pomocą kamery a po prawej stronie tekstowy obszar wyników analizy przeprowadzanej przez program (Rys. 4).



Rys. 4. Okno programu

Obszar wizualizacji przedstawiony jest osobno na Rys. 2. Obrazuje on rozkład natężenia światła w płaszczyźnie poprzecznego przekroju wiązki laserowej, która pada na kamerę podłączoną do złącza USB komputera. Poszczególne kolory odwzorowują skalę natężenia światła, od najniższego mierzalnego natężenia – kolor czarny, poprzez wszystkie kolory przedstawione na pasku po lewej stronie obszaru wizualizacji, aż do największego mierzalnego natężenia – kolor biały.



Rys. 5. Obszar wizualizacji

Widoczne także są dwie krzyżujące się zielone linie – pionowa i pozioma. Wzdłuż tych linii jest automatycznie skanowane natężenie światła I , a wynik tego skanowania przedstawiony jest w postaci dwóch wykresów $I(x)$ i $I(y)$, zwanych profilami, widocznych przy dolnej i lewej krawędzi całego obszaru wizualizacji. Oba profile – kolor fioletowy – nie są gładkie z powodu skończonej rozdzielczości pomiaru i (niewielkich) przypadkowych błędów pomiarowych. W tle tych linii widoczne są także gładkie linie koloru niebiesko-zielonego dopasowane do powyższych punktów pomiarowych. Dopasowane linie są wykresami funkcji Gaussa

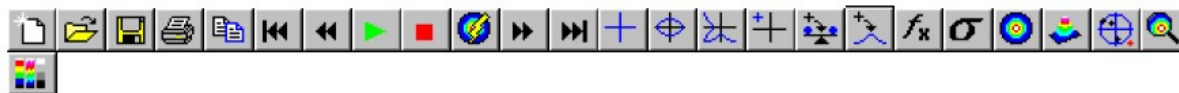
$$I(r) = I_{\max} \exp \left[-2 \left(\frac{r - r_0}{w} \right)^2 \right]$$

która przedstawia teoretyczną zależność $I(r)$ dla idealnej wiązki światła laserowego. W powyższym wzorze r może być współrzędną skanowania x lub y dla odpowiedniej z dwóch linii, r_0 jest współrzędną x lub y maksimum natężenia, a w jest standardowym (umownym) promieniem wiązki ($2w$ to standardowa średnica wiązki).

Po kliknięciu w okolice przecięcia się obu linii można przesuwać położenie tego przecięcia. Każdą linię można też osobno przesuwać po kliknięciu na nią. Natomiast po kliknięciu prawym klawiszem myszki w okolice przecięcia się obu linii można przejść w tryb obracania linii (znaczy to, że linie x i y nie muszą być poziome i pionowe). Wyjście z trybu obracania odbywa się także przez kliknięcie prawym klawiszem myszki.

Dane pomiarowe $I(x)$ i $I(y)$ otrzymane ze skanowania wzdłuż obu linii mogą być także zapisane w pliku.

Menu programu przedstawiono na Rys. 6, a wyjaśnienie jego poszczególnych funkcji – na Rys. 7, 8 i 9.





Rys. 6. Menu programu

	Czyszczenie bufora danych
	Otwórz plik tekstowy z danymi
	Zapisz dane w pliku tekstowym
	Drukuj
	Kopiuj wykres, wyniki analizy lub informację testową
	Ciągła praca analizatora danych
	Zamrożenie analizatora danych
	Tryb Video na żywo
	Analiza danych On/Off
	Statystyka On/Off
	Wykres konturowy
	Wykres 3D
	Wykres biegunowy (niewidoczny w trybie Video na żywo)
	Powiększenie
	Paleta kolorów wyświetlania wykresu

Rys. 7. Podstawowe funkcje menu

	Kursor krzyżowy On/Off
	Apertura On/Off
	Profile On/Off
	Ustawienia linii profili
	Pozycja odniesienia On/Off

Rys. 8. Dodatkowe funkcje menu

[Left Mouse Button]	Przesuwanie linii profili
	Przesunięcie linii profili na wyważony środek wiązki
	Przesunięcie linii profili na pik natężenia

Rys. 9. Menu przesuwania linii profili

Gdy włączony jest przycisk menu \overline{fx} , w prawej części okna programu widoczne są wyniki analizy obrazu wiązki laserowej (Rys. 10).

1	Peak (X,Y)R [μm]	(4763.7, 3396.9) 5850.8
2	Centroid (X,Y)R [μm]	(4755.2, 3460.5) 5881.0
3	Peak % Resp. [%]	90.9
4	Total Rel. Power [mW]	16.390
5	Eff. Area [mm^2]	1.461
6	Pk Pwr Density [W/ cm^2]	1.122
7	Eff. Diameter 86.500% [mm]	1.920
8	Aper. Diameter 86.5% [mm]	1.995
9	d4 Sigma Width [mm]	1.956, 2.082
10	d4 Sigma Diam [mm]	2.020
11	Divergence 86.5% [mrad]	1.995
12	Knife Edge 84.0% [mm]	1.840, 2.046
13	Slit Diameter 86.5% [mm]	1.847, 2.044
14	Gaussian Fit 86.5%	
15	Coefficient	0.985, 0.988
16	Centroid [mm]	4.765, 3.458
17	Peak Intensity [digital]	57934.8, 59812.6
18	Diameter [mm]	1.818, 2.043
19	Roughness of Fit [%]	4.0, 2.5
20	Peak To Avg.	2.339
21	Aperture Uniformity	
22	Min, Mean, Max [digital]	5464.0, 23302.0, 59555.0
23	Sigma, RMS [digital]	14543.8, 27468.5
24	% Power in Aper. [%]	63.7
25	Image Uniformity	
26	Min, Mean, Max [digital]	0.0, 5949.2, 59555.0

Rys. 10. Obszar analizy

Przebieg doświadczenia

1. Upewnić się, że przewidywany przebieg wiązki laserowej nie obejmuje oczu uczestników (nikt nie siedzi). Włączyć zasilacz lasera He-Ne. Upewnić się, że kamera jest podłączona do wejścia USB komputera a następnie uruchomić program Beam View.
2. Za pomocą lustra nakierować wiązkę światła laserowego na kamerę. Skontrolować obraz wiązki laserowej w programie, czy nie jest przesterowany (biały kolor w centrum obrazu) i ewentualnie odpowiednio ustawić czułość lub zastosować filtr optyczny.
3. Zmierzyć odległość z_1 kamery od lasera.
Wyłączyć aktualizację danych za pomocą przycisku menu (czerwony kwadracik).
4. W obszarze wizualizacji przesunąć przecięcie linii profili na środek wiązki (ręcznie albo za pomocą przycisku menu z Rys. 9) oraz ewentualnie obrócić linie tak, aby jedna biegła wzdłuż największej rozpiętości obrazu wiązki a druga wzdłuż najmniejszej.
5. Upewnić się, że w menu naciśnięty jest przycisk \boxed{fx} analizy danych. W obszarze wyników analizy wybrać spośród poniższych parametrów najlepiej obrazujący średnicę wiązki (razem z niepewnością pomiaru) i odczytać jego wartość:
 - położenie maksimum natężenia i środka natężenia (poz. 1 i 2 na Rys. 10)
środek natężenia jest „środkiem ciężkości” obrazu z wagami równymi natężeniom poszczególnych pikseli
 - całkowitą moc (poz. 4)
 - maksymalne natężenie światła (poz. 6)
 - efektywną średnicę na poziomie 86.5% maks. natężenia (poz. 7 na Rys. 10)
jest to średnica koła o powierzchni równej sumie powierzchni wszystkich pikseli kamery oświetlonych światłem o natężeniu większym niż ustalony procent (86.5%) maksymalnego natężenia
 - średnicę apertury czyli efektywną średnicę na poziomie 86.5% całkowitej mocy (poz. 8)
jest to średnica koła, w którym zawiera się ustalony procent (86.5%) całkowitej mocy
 - parametry dopasowanych krzywych Gaussa wzdłuż osi x i y, w tym gaussowską średnicę (poz. 18) w obu kierunkach x i y.
 - eliptyczność wiązki, w tym: długości dużej i małej osi elipsy, orientacja kątowa osi, kołowość (stosunek długości dużej i małej osi elipsy).
6. Zapisać obraz wiązki światła laserowego
7. Pomiar powtórzyć dla innej, znacząco różniącej się odległości z_2 .
8. Zanotować niepewności pomiarów.

Opracowanie wyników pomiarów polega na wyciągnięciu wniosków z zapisanego obrazu i wyników jego analizy (głównie średnicy wiązki laserowej w miejscu umieszczenia kamery). Celem jest obliczenie kąta rozbieżności wiązki laserowej i jego niepewności. Niepewność tę należy obliczyć metodą propagacji niepewności.

Literatura:

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