

# Měření příčného profilu gaussovského svazku metodou ostré hrany

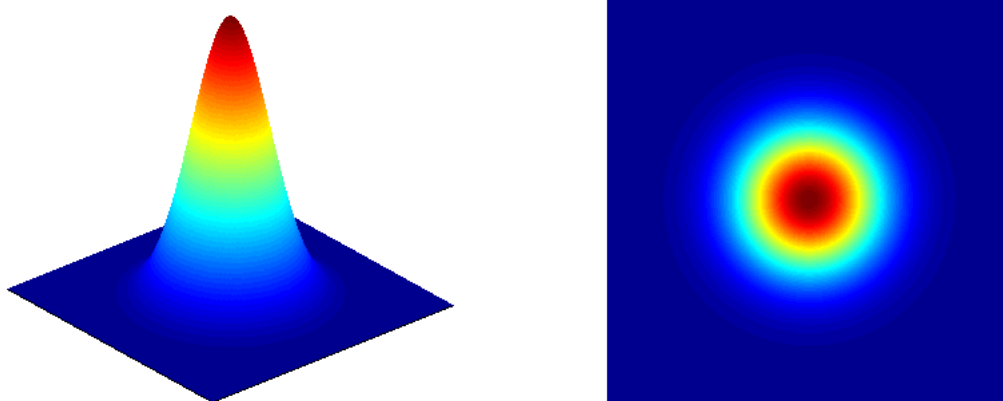
## 1. Teoretický základ

### 1.1 Gaussovský svazek a jeho šíření

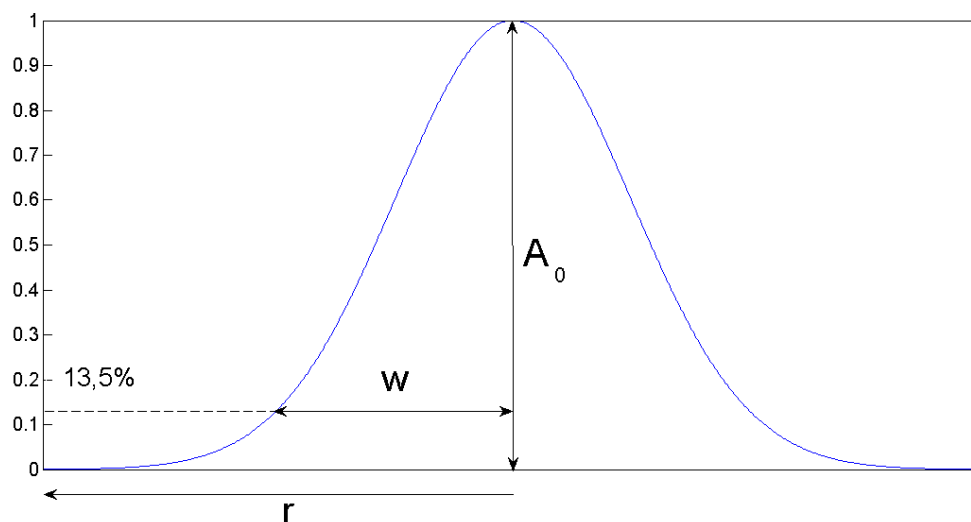
Gaussovský svazek je základním řešením rozložení elektromagnetického pole pro dané uspořádání laserového rezonátoru a označuje se jako mód  $TEM_{00}$ . Intenzitu  $I$  tohoto módu lze napsat s využitím gaussovy funkce jako:

$$I \approx A_0 \exp\left(\frac{-2(x^2+y^2)}{w^2}\right) = A_0 \exp\left(\frac{-2r^2}{w^2}\right) \quad (1)$$

kde  $A_0$  představuje amplitudu,  $x$  a  $y$  souřadnice,  $r$  radiální rozměr a  $w$  poloměr gaussovského svazku. V případě, kdy se radiální souřadnice vyrovná poloměru svazku, dochází k poklesu intenzity na 13,5 % maximální hodnoty. Proto je poloměr svazku definován právě jako vzdálenost od osy, na které dochází k poklesu na hodnotu 13,5% (viz obr.2).



Obr. 1. Model gaussovského svazku

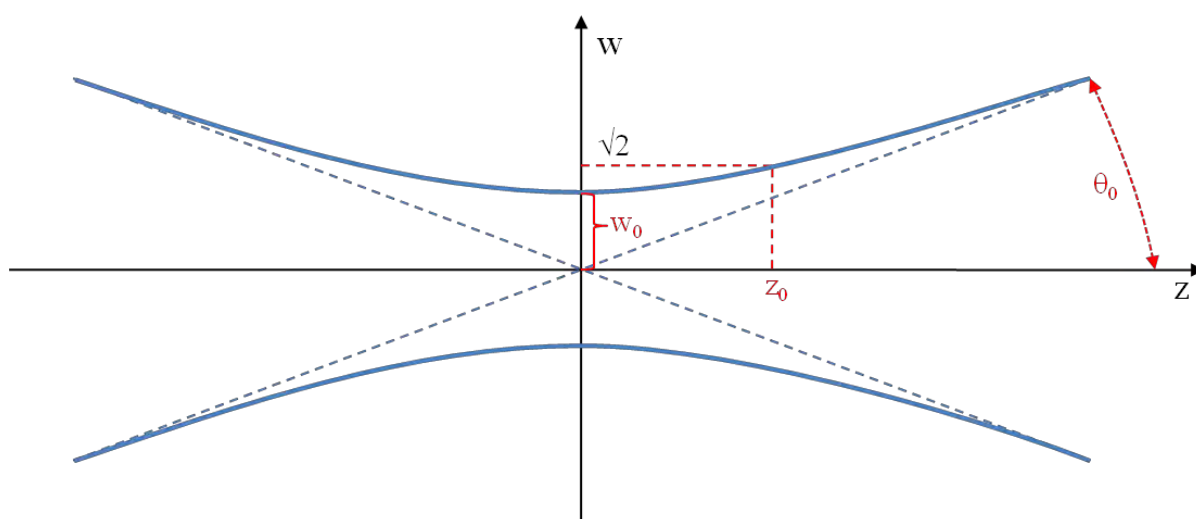


Obr. 2. Gaussovský svazek a jeho základní parametry

Při šíření gaussovského svazku není poloměr svazku konstantní. Místo s nejmenším poloměrem se nazývá krčkem svazku (kaustikou) a značí obvykle jako  $w_0$ . Vlivem divergence se poloměr svazku s vzrůstající vzdáleností zvětšuje. Vzdálenost, na které je plocha svazku dvakrát větší než v místě krčku, se nazývá Rayleighovou vzdáleností neboli konfokálním parametrem a značí se  $z_0$ . Závislost poloměru svazku  $w$  na vzdálenosti  $z$  od místa krčku  $z_1$  se dá vyjádřit pomocí vzorce:

$$w = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z - z_1}{z_0}\right)^2} \quad (2)$$

Průběh šíření gaussovského svazku lze vidět na obr. 3.



Obr. 3. Průběh šíření gaussovského svazku

Pro šíření svazku platí invariantní vztah:

$$w_0 \theta_0 = \frac{w_0^2}{z_0} = \theta_0^2 z_0 = M^2 \frac{\lambda}{\pi} \quad (3)$$

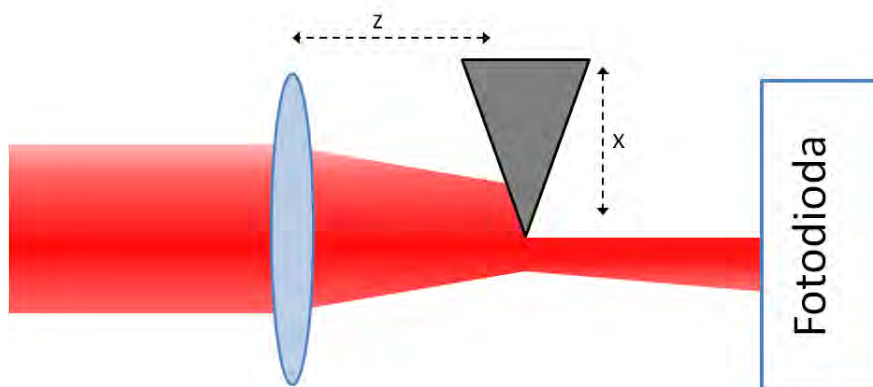
$\lambda = 633 \text{ nm (He-Ne)}$

kde  $\theta_0$  je divergence svazku,  $\lambda$  vlnová délka optického záření a  $M^2$  [čti *M-square*] je parametr vyjadřující kvalitu laserového záření. Součin na levé straně rovnice (3) se nazývá *BPP* parametrem (*beam product parameter*) a jeho minimální hodnota je dána difrakčním limitem. V ideálním případě je  $M^2$  roven 1 a představuje právě gaussovský svazek. Díky nehomogenitám, difrakčním ztrátám, typu laseru, vlivem výkonu je  $M^2$  vždy větší než 1. Vyšší hodnota parametru  $M^2$  vypovídá obecně o horší kvalitě svazku, který již není přísně gaussovský.

## 1.2 Metoda ostré hrany

Pro mnoho laserových aplikací je kvalita svazku stěžejní, protože nám udává plochu, na jakou jsme schopni laserový svazek fokusovat. Určení parametru  $M^2$  je tak jedním ze základních měření pro charakterizaci svazku.

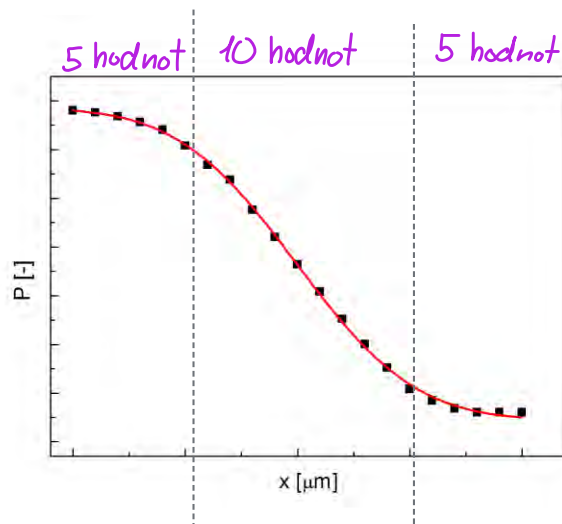
Existuje několik metod, jak určit  $M^2$  parametr. V praxi nejpoužívanější metodu je metoda ostré hrany (*Knife Edge*), kdy je svazek nejprve zaostřen (fokusován) čočkou tak, abychom dostali v ohnisku krček svazku. Poté v různých vzdálenostech  $z$  od krčku postupně zacloňujeme svazek a měříme prošlý výkon.



Obr. 4 Princip metody ostré hrany

Pokud ostrá hrana nezakrývá svazek, naměřený výkon  $P$  je maximální, pokud je zakryt zcela, je prošlý výkon nulový. Postupným zakrytím svazku dostáváme závislost, jejíž charakter lze vidět na obr. 5.

graf  
 $\rightarrow w_0, z_0$   
 $\rightarrow M^2, \theta$



Obr. 5. Typická křivka měření metodou ostré hrany

Proložení naměřených hodnot v místě z funkcí dle relace

$$P = P_0 + \frac{P_{max}}{2} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{\sqrt{2}(x-x_0)}{w} \right) \right) \quad (4)$$

kde  $P_0$  představuje výkon náležející pozadí,  $P_{max}$  je maximální výkon,  $x_0$  je hodnota posuvu, kde je skutečný výkon poloviční a funkce  $\operatorname{erf}$  značí tzv. chybovou funkci; dostáváme hodnotu poloměru svazku  $w$ . Tento postup opakujeme i v dalších vzdálenostech  $z$  tak, abychom dostali body odpovídající závislosti jako na obr. 3. Získané body pak lze proložit křivkou (2) a stanovit tak krček, konfokální parametr, divergenci a dopočíst podle vztahu (3) i parametr  $M^2$ .

*Pozn. Měření velikosti svazku v závislosti na vzdálenosti od krčku lze provádět i přímo pomocí speciálních kamer. Ty mají však tu nevýhodu, že je nelze použít pro případ vyšších výkonů.*

## 2. Pokyny k měření

1. Čepel nože posuňte do takové polohy, kde nezakrývá svazek He-Ne laseru.
2. Opatrně odšroubujte šedé filtry z fotodiody a zkontrolujte, že svazek He-Ne laseru dopadá na aktivní plochu fotodiody o rozměrech 10 x 10 mm. Následně filtry zašroubujte zpět.
3. Zapněte osciloskop.
4. Zapněte fotodiodu- vypínač je umístěn na spodní straně fotodiody. Zkontrolujte připojení fotodiody prostřednictvím BNC kabelu ke kanálu 1 osciloskopu.

5. Osciloskop nastavte tak, aby zobrazoval aktuální napětí na kanálu 1 bez ohledu na nastavení spouštěcí úrovně (tedy „triggeru“). Nastavení lze provést v nabídce „Trigger“ nastavením položky „Mode“ na „Auto“ nebo „Untriggered roll“.
6. Čepel posuňte tak, aby zcela zakrývala měřený laserový svazek. Na osciloskopu zkontrolujte „nulovou“ úroveň, která by se měla pohybovat na úrovni do 50mV. Tato nulová úroveň by měla být stabilní bez větších zámkutů. V případě výskytu oscilací zkuste trochu ztlumit zářivkové osvětlení v místnosti.
7. Čepel posuňte tak, aby měřen laserový svazek zcela dopadal na fotodiodu. Zkontrolujte maximální měřenou úroveň napětí, která by se měla pohybovat v rozsahu 300 až 1000 mV. Pokud by byla hodnota vyšší nebo nižší, konzultujte situaci s vyučujícím.
8. Zjistěte rozsah posunu v ose z a navrhnete takový krok měření, abyste v této ose provedli přibližně 10 měření profilu (příčného řezu) zaostřeného svazku.
9. Měření v každém bodě na ose z proveďte následujícím způsobem:

Zjistěte jak velký posun čepele v ose x je zapotřebí k tomu, abys čepel zcela zakryla svazek dopadající na fotodiodu. Následně určete krok měření tak, abyste provedli přibližně 20 měření od místa, kde svazek zcela dopadá na fotodiodu, až do místa, kde je svazek zcela blokován čepelí. Proveďte měření změny napětí na fotodiodě s vypočteným krokem (posunem čepele). Změřený příčný průřez by měl být svým průběhem podobný průřezu, který je znázorněn na obr.5. Dbejte, abyste správně určili maximální a minimální hodnotu na tomto grafu měření obou hodnot proveďte ve více bodech, což pomůže při prokládání příslušnou křivkou (4). Po provedení každého měření a posunu v ose z zkontrolujte rozsah a krok v ose x. Protože je měřený svazek zaostřen, bude zapotřebí měnit krok měření v ose x tak, abyste vždy získali takové body, které bude možno přesně proložit křivkou.

### 3. Pokyny k zpracování

1. Zpracování grafu proveďte v programu, který umožňuje definici vlastních funkcí k prokládání zadaných dat. Vhodným programem je SciDAVis. Na webových stránkách <http://scidavis.sourceforge.net> lze stáhnout zdrojové soubory a program zkompileovat, nebo můžete stáhnout přímo instalační soubor *scidavis-0.2.4-win32-setup.exe* například na stránkách <http://ftp.jaist.ac.jp/pub/sourceforge/s/project/sc/scidavis/SciDAVis/0.2.4/> nebo <http://download2.polytechnic.edu.na/pub4/sourceforge/s/sc/scidavis/SciDAVis/0.2.4/>. Dalšími možnostmi jsou programy Origin, MatLab a další. Postup bude dále popsán pro program SciDAVis.
2. Do nové tabulky zadejte data z jednoho měřeného profilu (příčného řezu) svazku, tedy průběhu změny napětí na fotodiodě (sloupec Y) v závislosti na poloze čepele (sloupec X).
3. Vykreslete bodový graf ze zadaných dat.
4. V nabídce *Rozbor* zvolte položku *Průvodce umístěním křivek* (Ctrl+Y).

5. Zvolte novou funkci ve skupině *Stanovené uživatelem* a do formuláře ve spodní části okna zadejte funkci (4) ve tvaru výrazu, tedy pouze pravou část rovnice. V políčku *Parametry* definujte názvy svých proměnných a celé zadání funkce uložte.
6. Stisknutím tlačítka *Umístit>>* zobrazíte dialogové okno, ve kterém lze zadat výchozí hodnoty jednotlivých proměnných k proložení dat zvolenou funkcí.
7. Po zadání výchozích hodnot zahajte prokládání stisknutím tlačítka *Umístit*.
8. Pokud se programu podaří nalézt hodnoty proměnných, bude v grafu znázorněno proložení červenou křivkou. Zhodnoťte, zda toto proložení optimálně odpovídá zadaným hodnotám. Pokud by proložení neodpovídalo, prokládání opakujte.
9. Nalezené hodnoty jednotlivých proměnných budou znázorněny v horním okně. Vyhledejte hodnotu pro poloměr svazku  $w$  a poznamenejte si ji do nové tabulky, nejlépe v novém dokumentu.
10. Postup opakujte pro všechny změřené průběhy příčných řezů svazku (pro různé hodnoty  $z$  )
11. Hodnoty závislosti poloměru svazku  $w$  na vzdálenosti  $z$  proložte křivkou (2) a stanovte krček svazku  $w_0$  a Rayleighovu vzdálenost  $z_0$ .
12. Pomocí stanovených parametrů vypočítejte z rovnice (3)  $M^2$  parametr a divergenci  $\theta_0$ , víte-li, že vlnová délka záření odpovídá 632,8 nm.

## 4. Požadované výsledky

1. Do protokolu uveďte alespoň 5 křivek z měření průřezu svazku s optimálním proložením.
2. Uveďte také graf závislosti poloměru svazku na vzdálenosti se stanovenými parametry- krček svazku, Rayleighova vzdálenost, divergence svazku a  $M^2$  parametr.  
•  $w_0, z_0, M^2, \theta$
3. Zamyslete se, proč Vámi stanovená hodnota  $M^2$  parametru je větší než 1.

optické aberace při průchodu kulimaforem

▽ Pokud  $M^2 < 1$ : nastavit  $w_0, z_0$  na pevnou

## 5. Literatura

- [1] Koechner, W. *Solid-State Laser Engineering*. New York, USA : Springer, 2006. 742 s. ISBN 0-387-29094-X.
- [2] Vrbová, M., Jelínková, H., Gavrilov, P. *Úvod do laserové techniky*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 209 s.