

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. ....

Název úlohy: .....

Jméno: ..... Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření: .....

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

1. Prostudujte teoretický popis sestavy a principu HeNe laseru u úlohy (text je v angličtině).
2. Popište princip stimulované emise.
3. Stanovte, pod jakým úhlem jsou umístěna koncová okénka laserové trubice vzhledem k ose rezonátoru a proč?
4. Vysvětlete vliv vzdálenosti zrcadel hemisférického rezonátoru a vliv polohy výbojové trubice v rezonátoru na výkon laseru (případně ověřte měřením).
5. Změřte relativní výkon laseru v závislosti na velikosti proudu procházejícího výbojovou trubicí (POZOR: MAXIMÁLNÍ hodnota proudu je 6,5 mA!!!).
6. Proměřte některé parametry laserového svazku (např. profil svazku, vlnová délka, divergence, stupeň polarizace).

## Teoretická část

Profil svazku budeme měřit šterbinovým detektorem s posuvným šroubem. Rozložení intenzity proložíme Gaussovou funkcí tvaru  $f(x) = A \cdot \exp(-(x - \mu)^2 / 2\sigma^2)$ .

Vlnovou délku budeme měřit pomocí difrakční mřížky. Pokud má difrakční mřížka mřížkovou konstantu  $a$ , stínítko umístíme do vzdálenosti  $L$  od mřížky a na stínítku naměříme vzdálenost nultého a prvního maxima  $S$ , potom vlnová délka laseru je

$$\lambda = \frac{a}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{S}\right)^2}}. \quad (1)$$

Rozbíhavost svazku charakterizujeme divergencí [2]

$$d = \frac{D - D_0}{s}, \quad (2)$$

kde  $D$  je průměr svazku ve vzdálenosti  $s$  a  $D_0$  je průměr svazku u výstupního otvoru laseru.

Stupeň polarizace definujeme vztahem

$$Q = \frac{|I_{max} - I_{min}|}{|I_{max} + I_{min}|}, \quad (3)$$

kde  $I_{max}$  je maximální intenzita po průchodu polarizátorem a  $I_{min}$  je minimální.

## HeNe laser

Stimulovaná emise je jev, při kterém foton dopadající na částici stimuluje přechod excitovaného elektronu do základního stavu, což má za následek vyzáření dalšího fotonu se stejnými vlastnostmi. Aby se stimulovaná emise dala využít k zesílení intenzity světla, je nutná *inverzní populace*, tedy aby více elektronů bylo v excitovaném stavu než v základním stavu. V HeNe laseru se k dosažení inverze využívá proud procházející výbojovou trubicí.

Z obou stran výbojové trubice jsou umístěny zrcadla rezonátoru, které zajišťují, aby fotony procházeli trubicí vícekrát a mohlo udržitelně docházet ke stimulované emisi.

Okénka na koncích laserové trubice jsou skloněná vzhledem k optické ose o Brewsterův úhel, aby docházelo k co možná nejmenšímu odrazu. To má za následek, že světlo vycházející z laseru je lineárně polarizované.

## Výsledky měření

Změřili jsme závislost relativního výkonu laseru na velikosti proudu procházejícím výbojovou trubicí. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 1 a grafu 1. Závislost je v měřeném rozsahu rostoucí. Standardní chybu měření proudu odhadujeme 0,01 mA a intenzity 1.

Změřili jsme profil svazku. Naměřená intenzita pro různé polohy šterbiny detektoru je uvedena v tabulce 2. Závislost jsme v programu *gnuplot* proložili Gaussovou funkcí a vykreslili do grafu 2. Náhodnou chybu určení souřadnice  $x$  odhadujeme na 0,01 mm. Výsledné parametry jsou

$$A = 85,5 \pm 2,0 \quad \mu = (16,16 \pm 0,01) \text{ mm} \quad \sigma = (0,44 \pm 0,02) \text{ mm}$$

Při měření vlnové délky jsme použili difrakční mřížku s mřížkovou konstantou  $a = 1 \mu\text{m}$  a stínítko jsme umístili do vzdálenosti  $L = (45,5 \pm 0,2) \text{ cm}$  od mřížky. Vzdálenost nultého a prvního maxima na stínítku jsme změřili  $S = (37,0 \pm 0,5) \text{ cm}$ . Předpokládáme, že chyba určení mřížkové konstanty je zanedbatelná oproti chybě měřených vzdáleností. Ze vztahu (1) a metodou přenosu chyb dostáváme vlnovou délku laseru

$$\lambda = (631 \pm 7) \text{ nm}.$$

Při měření divergence jsme pro měření průměru svazku použili měřič profilu svazku. Odečítali jsme hodnoty *beam width clip* a *gaussian diameter*. V největší měřené vzdálenosti již přístroj z nějakého důvodu nedokázal určit *beam width clip*, z toho důvodu jsme ve vzorci (2) jako průměr svazku  $D$  použili hodnotu *gaussian diameter* (tam, kde přístroj dokázal určit obě hodnoty, se tyto přibližně shodují). Vzhledem k oscilaci hodnot a jejich rozdílu ve směrech  $x$  a  $y$  odhadujeme chybu průměru svazku na  $50 \mu\text{m}$ . Naměřené hodnoty jsou v tabulce 3 a grafu 3. Divergenci jsme určili lineárním fitem v programu *gnuplot* jako

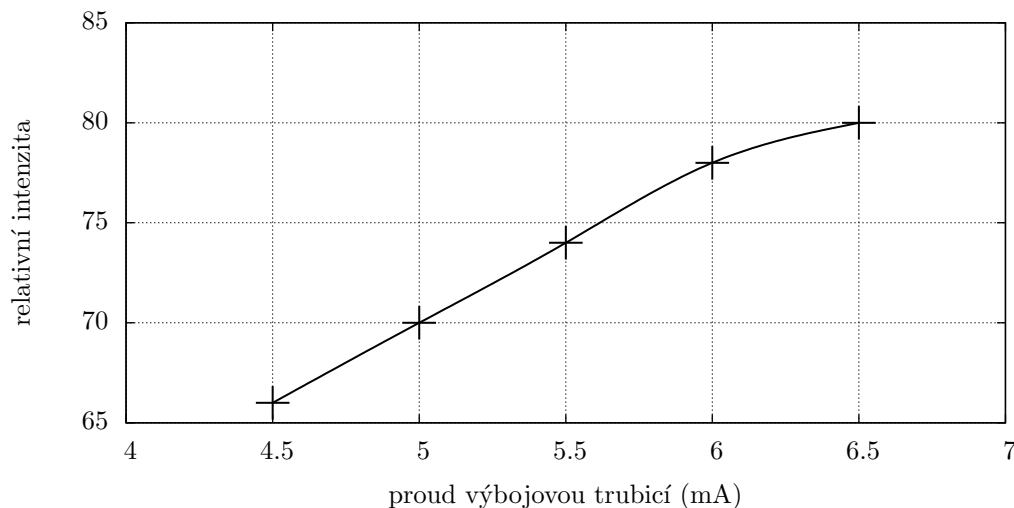
$$d = (1,25 \pm 0,10) \cdot 10^{-3}.$$

Při měření stupně polarizace jsme relativní intenzitu měřili digitálním wattmetrem. Naměřená minima a maxima intenzity odpovídající osmi polohám polarizátoru jsou uvedena v tabulce 4. Chybu relativní intenzity maxim odhadujeme na 20 a minim na 1. Stupeň polarizace jsme určili podle (3) jako

$$Q = (98,1 \pm 0,5) \%.$$

proud výbojovou trubicí (mA)	relativní intenzita
6,50	80
6,00	78
5,50	74
5,00	70
4,50	66

Tabulka 1: Závislost relativní intenzity na proudu výbojovou trubicí



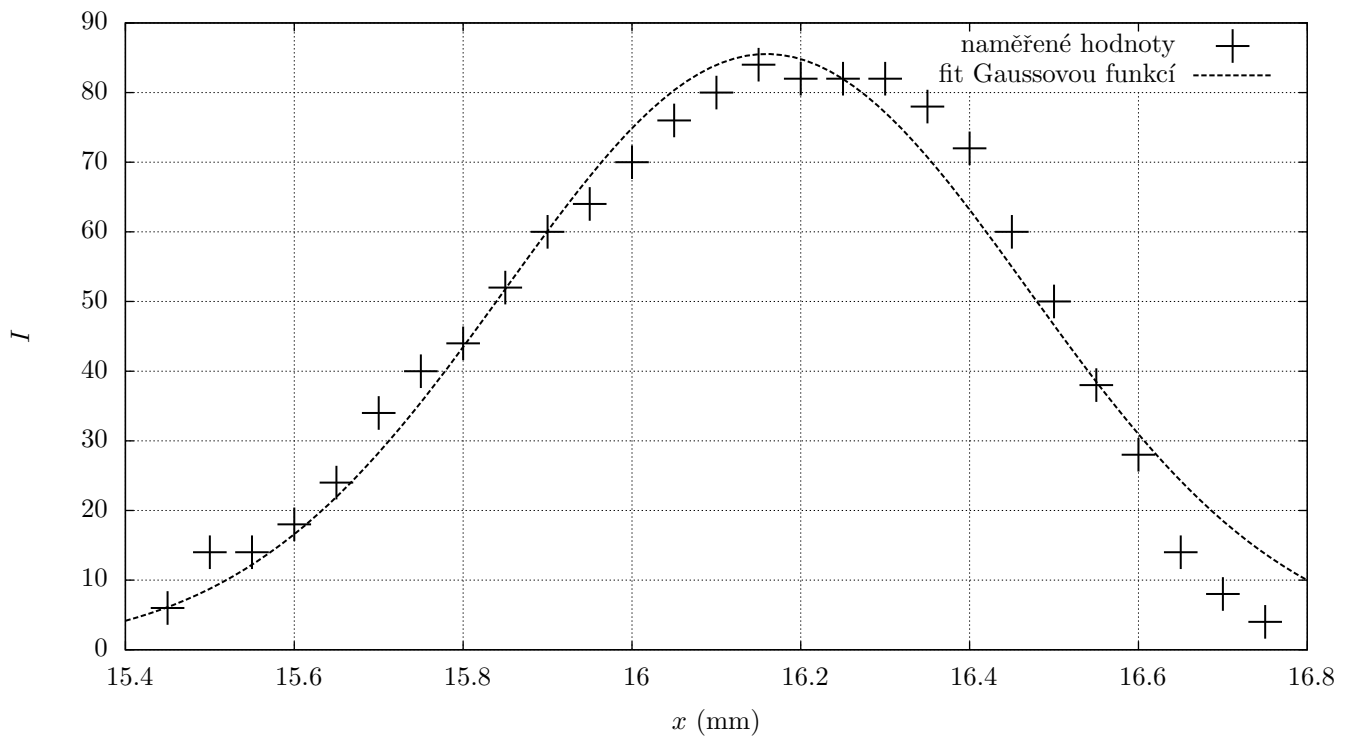
Graf 1: Závislost relativní intenzity na proudu výbojovou trubicí

## Diskuze

Při měření profilu svazku jsme zjistili, že mikrometrický šroub použitý k posunu štěrbinového detektoru, měl poměrně vysokou vůli, což mohlo ovlivnit přesnost měření, i když jsme se její vliv snažili eliminovat posunem pouze v jednom směru. Profil svazku vyšel podle očekávání přibližně dobře gaussovský.

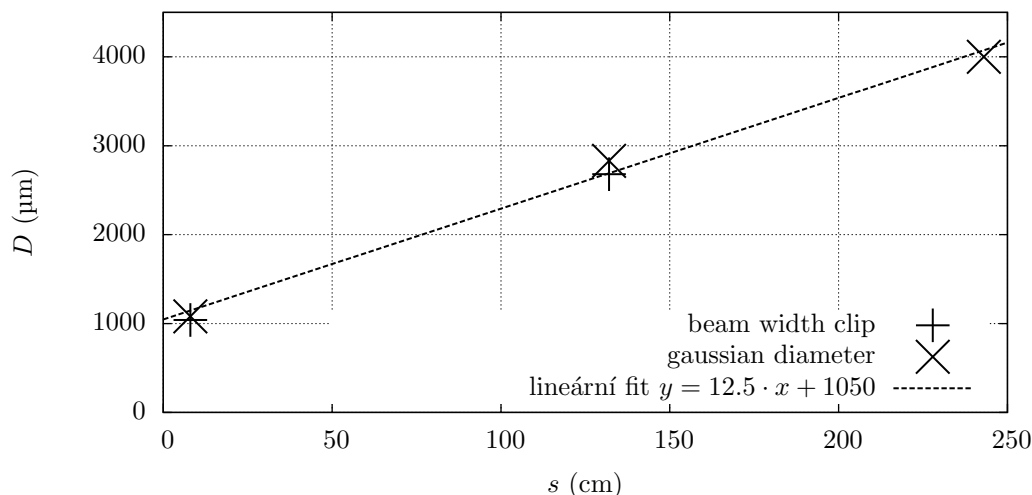
Při měření stupně polarizace jsme používali plastový polarizátor. S lepším polarizátorem bychom možná naměřili vyšší stupeň polarizace, proto naměřenou hodnotu chápeme spíše jako dolní mez. Minimální intenzitu jsme měřili na nejmenším rozsahu na jednu platnou číslici, a proto je určena s poměrně vysokou relativní chybou.

$x$ (mm)	$I$	$x$ (mm)	$I$	$x$ (mm)	$I$
15,45	6	15,90	60	16,35	78
15,50	14	15,95	64	16,40	72
15,55	14	16,00	70	16,45	60
15,60	18	16,05	76	16,50	50
15,65	24	16,10	80	16,55	38
15,70	34	16,15	84	16,60	28
15,75	40	16,20	82	16,65	14
15,80	44	16,25	82	16,70	8
15,85	52	16,30	82	16,75	4

Tabulka 2: Měření profilu svazku,  $I$  je intenzita v relativních jednotkáchGraf 2: Měření profilu svazku,  $I$  je intenzita v relativních jednotkách

$s$ (cm)	beam width clip ( $\mu\text{m}$ )	gaussian diameter ( $\mu\text{m}$ )
$8 \pm 1$	1040	1080
$132 \pm 3$	2680	2830
$243 \pm 5$	—	4000

Tabulka 3: Průměr svazku v různých vzdálenostech od výstupu laseru



Graf 3: Průměr svazku v různých vzdálenostech od výstupu laseru

maximální	610	630	680	680
minimální	6	6	6	6

Tabulka 4: Maximální a minimální naměřená relativní intenzita při různých orientacích polarizátoru

Body v grafu 3 (divergence) leží poměrně dobře na přímce a má smysl uvažovat pouze jednu hodnotu divergence.

Vlnová délka vyšla podle očekávání.

Relativní jednotky intenzity jsou v každé tabulce jiné, tzn. nelze porovnávat hodnoty v různých tabulkách.

## Závěr

Výkon laseru v měřeném rozsahu roste s rostoucím proudem procházejícím výbojovou trubicí.

Profil svazku je přibližně dán Gaussovým rozdělením se směrodatnou odchylkou  $\sigma = (0,44 \pm 0,02)$  mm.

Vlnovou délku laseru jsme změřili  $\lambda = (631 \pm 7)$  nm.

Divergenci svazku jsme změřili  $d = (1,25 \pm 0,10) \cdot 10^{-3}$ .

Stupeň polarizace jsme změřili  $Q = (98,1 \pm 0,5)$  %.

## Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum — Helium-Neonový laser* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupný z WWW: [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_328.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_328.pdf).
2. *Základní fyzikální praktikum — Stavba Michelsonova interferometru a ověření jeho funkce* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupný z WWW: [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_320.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_320.pdf).