

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.
6. Proměřte některé parametry laserového svazku (např. profil svazku, vlnová délka, divergence, stupeň polarizace).

Teoretická část

Elektrony v atomu mohou být umístěny v různých energetických hladinách. Platí, že čím dále jsou od jádra, tím vyšší mají energii. Nejstabilnější jsou stavy s nejnižší energií. Vyšší energetická hladina, než je hladina základní, se nazývá excitovaný stav. Stimulovanou emisi nazýváme kvantový jev, při kterém dopadající světlo stimuluje přechod excitovaného elektronu do základního stavu. V laseru se využívá vyboje v plynu a také část světla, které se vyzářilo stimulovanou emisí.

Správná funkce plynového laseru vyžaduje vyloučení drazu polarizovaného světla a proto je trubice uzavřena planoparalelními okénky skloněnými pod Brewsterovým úhlem. To zaručuje, že v trubici zůstane jen světlo s polarizací kolmou na rovinu dopadu, což redukuje pokles výkonu.

Divergence laserového svazku *div* je rozbíhavost, tedy zvětšení průměru svazku s rostoucí vzdáleností. Spočteme ji podle vzorce:

$$div = \frac{D_2 - D_1}{s_1 - s_2} \quad (1)$$

kde D_1 je průměr svazku ve vzdálenosti s_1 , D_2 - ve vzdálenosti s_2 . Divergenci měříme v radiánech.

Měření vlnové délky

Ze známého vztahu z optiky vyjádříme vlnovou délku svazku

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin(\phi)}{N} \quad (2)$$

kde d je mřížkový parametr, N je řád hlavního maxima, ϕ je úhel, o který se svazek odchýlí.

Chybu určení λ spočteme metodou přenosu chyb podle [1]

$$\sqrt{\frac{d^2 \cos^2\left(\frac{a}{L}\right) (a^2 \sigma_L^2 + L^2 \sigma_a^2)}{L^4 n^2}} \quad (3)$$

kde L je vzdálenost od mřížky do stínítka, n je řada pozorovaného hlavního maxima, a je vzdálenost mezi nultým a prvním maximem.

Výsledky měření

Nejistoty měření

Chyba měření proudu je $\sigma_I = 0,01$ mA, detektoru intenzity světla $\sigma_U = 0,1$ mV, mikrometru $\sigma_{\Delta x} = 10$ μm , chyba měření vzdálenosti $\sigma_L = \sigma_a = 0,2$ cm. Chyby nepřímý měření se počítali metodou přenosu chyb podle [1].

Měření relativního výkonu laseru

Laser byl sestaven podle návodu ze studijního textu [2].

Experiment jsme uspořádali tak, aby svazek po průchodu štěrbinou dopadal na detektor, který ukazoval napětí. Ze vzorce $P = IU$ jsme spočetli výkon laseru a následně vyjádřili ho v jednotkách výkonu při nejmenším proudu. Výslední veličina je zapsána v následující tabulce.

Tabulka 1: Relativní výkon laseru v závislosti na proudu procházejícího výbojovou trubicí

I [mA]	P_r s štěrbinou	P_r bez štěrbin
4,5	1,1	1,9
5	1,4	2,3
5,5	1,5	2,6
6	1,8	3
6,5	2	3,4
6,5	2	3,4

Vliv polohy zrcadel a výbojové trubice na výkon laseru

Posouvali jsme jedno z zrcadel a měřili napětí na detektoru.

Tabulka 2: Vliv vzájemné polohy zrcadel rezonátoru na výkon laseru

L [cm]	U_r
49	14
50	12
51	11
52	10

Měření profilu svazku

Ve vchozí poloze byl svazek odchýlen od detektoru. Postupným posouváním svazku podél vodorovné osy jsme zaznamenávali detekované napětí jako funkci posunutí. Osa byla zvolena tak, aby protínala střed svazku.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty napětí k určení profilu svazku

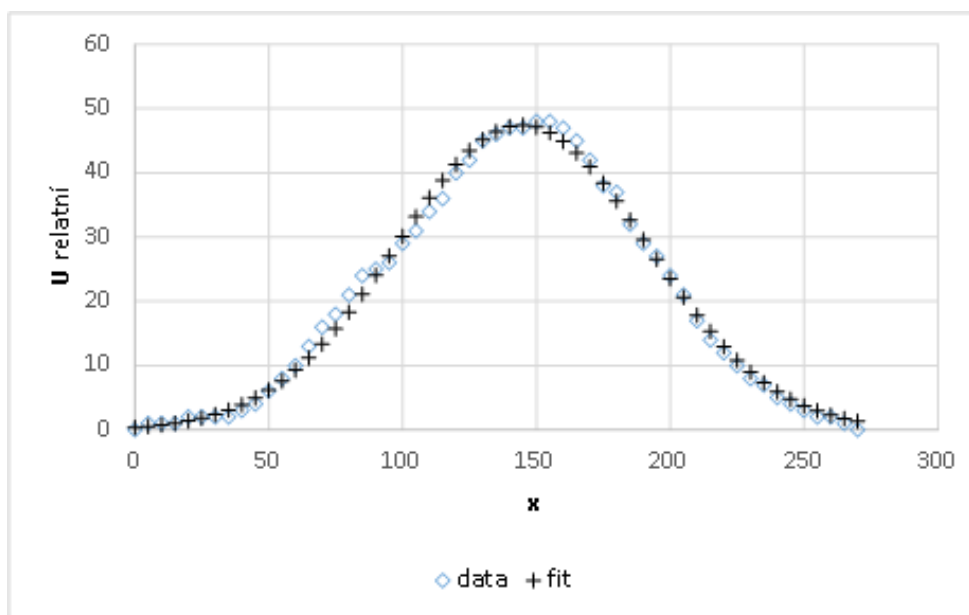
Δx_r	U_r	Δx_r	U_r
0	0	140	47
5	1	145	47
10	1	150	48
15	1	155	48
20	2	160	47
25	2	165	45
30	2	170	42
35	2	175	38
40	3	180	37
45	4	185	32
50	6	190	29
55	8	195	27
60	10	200	24
65	13	205	21
70	16	210	17
75	18	215	14
80	21	220	12
85	24	225	10
90	25	230	8
95	26	235	7
100	29	240	5
105	31	245	4
110	34	250	3
115	36	255	2
120	40	260	2
125	42	265	1
130	45	270	0

Naměřená data jsme fitovali Gaussovou funkcí $f(x) = a \cdot \exp(-0.5(\frac{x-b}{c})^2)$, kde a je výška piku, b je poloha maxima a c je šířka křivky v půlce piku. Po aproximaci jsme získali následující hodnoty parametrů:

$$a = 47,4$$

$$b = 144,6$$

$$c = 46,8$$



Graf 1: Naměřený průběh svazku a aproximace gaussovou funkcí

Divergence svazku

Abychom zvětšili přesnost měření průměru svazku zvětšíme dráhu paprsku pomocí zrcátka. Průměr skvrny měříme pomocí milimetrového papíru.

$$D_1 = 2 \pm 1 \text{ mm}$$

$$D_2 = 6 \pm 1 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 181,5 \pm 1 \text{ cm}$$

Spočteme podle vzorce 1

$$div = 2,2 \text{ mR}$$

Měření vlnové délky

Vlnovou délku jsme měřili dvěma metodami - pomocí difrakce a spektrometrem.

Difrakce. Pozorovali jsme ohyb na difrakční mřížce a poznamenali jsme vzdálenosti mezi hlavními maximy. Vlnovou délku spočteme ze vzorce 2.

$$\lambda = 615 \pm 9 \text{ nm}$$

Spektrometr Aby se svazek dostal do spektrometru jsme použili optické vlákno. Museli jsme snížit intenzitu dopadajícího světla aby spektrometr ukázal správnou hodnotu. Výsledek měření byl znázorněn na obrazovce počítače jako pik. Délka vlny je poloha maxima piků.

$$\lambda = 632 \pm 1 \text{ nm}$$

Diskuze výsledků

Jelikož ve většině pracovních úloh je účelem kvalitativní studium závislosti často uvádíme relativní veličiny s dolním indexem r a neuvádíme jednotky, není-li v popisku řečeno jinak.

Největší příspěvek k chybě měření napětí detektorem vnáší odečtení polohy ručičky na deketoru, kterou jsem odhadla jako 1 dílek.

Vliv délky rezonátoru na výkon V manuálu byla uvedena optimální (fokusní) vzdálenost mezi zrcadly, takže se očekávalo, že bude závislost mít jedno maximum. Naměřili jsme jen pokles výkonu, což svědčí o tom, že měli jsme rozšířit měření o ještě kratší vzdálenost mezi zrcadly.

Vlnová délka naměřená spektrometrem se velice přesně shoduje s uvedenou výrobcem [2]. Faktická odchylka naměřené vlnové délky pomocí difrakce je dvakrát vyšší než teoreticky spočtená. Na to má vliv apoximace ideální mřížkou, teda považování mřížkové konstanty d za absolutně přesnou. Nejistota měření vzádností je naším odhadem, který může být menší, než opravdová hodnota chyby měření.

Naměřený *profil svazku* se bezvadně aproximuje Gaussovou funkcí (viz graf 1).

Závěr

Bylo naměřeno, že při zvětšení délky rezonátoru vzájemným posouváním polo-propustných zrcadel intenzita laseru klesá.

Při zvětšení proudu prochazejícího výbojovou trubicí se výkon laseru zvětšuje do určité hodnoty a pak klesá. Extrémum se nachází mezi 8 a 9 mA.

Profil svazku byl aproximován gausiánem s koeficienty

$$a = 47,4$$

$$b = 144,6$$

$$c = 46,8$$

Divergence svazku $div = 2,2$ mR Vlnová délka, naměřená pomocí difrakce je $\lambda_d = 615 \pm 9$ nm a pomocí spektrometru $\lambda_s = 632 \pm 1$ nm.

Seznam použité literatury

1. ENGLISH, J. *Úvod do praktické fyziky I*. Praha: MATFYZPRESS, 2006.
2. *Studijní text k úloze* [online] [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_328.pdf.