

Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

O. Skála

Gymnázium Ostrava – Zábřeh

18_skala_o@gyvolgova.cz

A. Šebek

SPŠ Chemická Brno

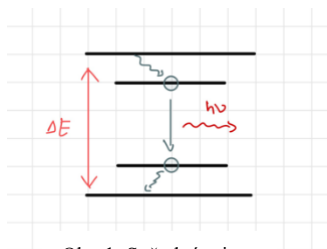
adamsebek.chem@gmail.com

Abstrakt

Práce představuje chování při narušení symetrie laserového rezonátoru. Cílem práce bylo seznámení s Nd:YAG laserem a sestavení vlastního laseru. Měřili jsme změnu příčného profilu intenzity laserového svazku v závislosti na natočení kulového zrcadla v rezonátoru.

1. Úvod

Laser, z anglického **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, je optický zdroj elektromagnetického záření. Je tvořen aktivním prostředím, rezonátorem a zdrojem energie. Aktivní prostředí může být pevnolátkové, plynné či kapalné. Při dodání energie aktivnímu prostředí dojde k excitaci elektronů, které “vyskočí” do vyšší energetické hladiny.



Obr. 1: Světelná mise

Elektrony pak přechází zpátky, za pomoci stimulované emise, do nižších energetických hladin, a během toho vyzářují energii ve formě fotonu. Vlnová délka vyzářeného fotonu potom bude nepřímo úměrná energetickému rozdílu kvantových hladin.

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Zdrojem energie pro vybuzení elektronů v aktivním prostředí může být elektrický proud, chemická reakce či optické záření. Zde záleží na typu aktivního prostředí laseru.

2. Rezonátor

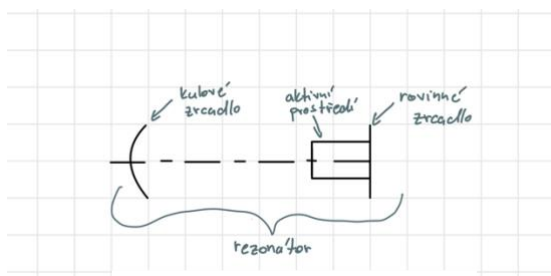
Rezonátor je nezbytnou součástí k zesílení záření, které vychází z aktivního prostředí. Jedná se o optickou dutinu vymezenou zrcadly, z nichž jedno je plně odrazné a druhé je polopropustné.

Zrcadla mohou být z pravidla kulová i rovinná a na jejich křivosti, spolu s délkou rezonátoru, závisí i stabilita rezonátoru. Pro její popis zavádíme dva bezrozměrné parametry $g(1)$ a $g(2)$.

$$g(1,2) = 1 - \frac{L}{r(1,2)},$$

kde r značíme poloměry křivosti zrcadel a L vzájemnou délku zrcadel. Pro stabilní rezonátor platí, že:

$$0 < g(1) \cdot g(2) < 1$$

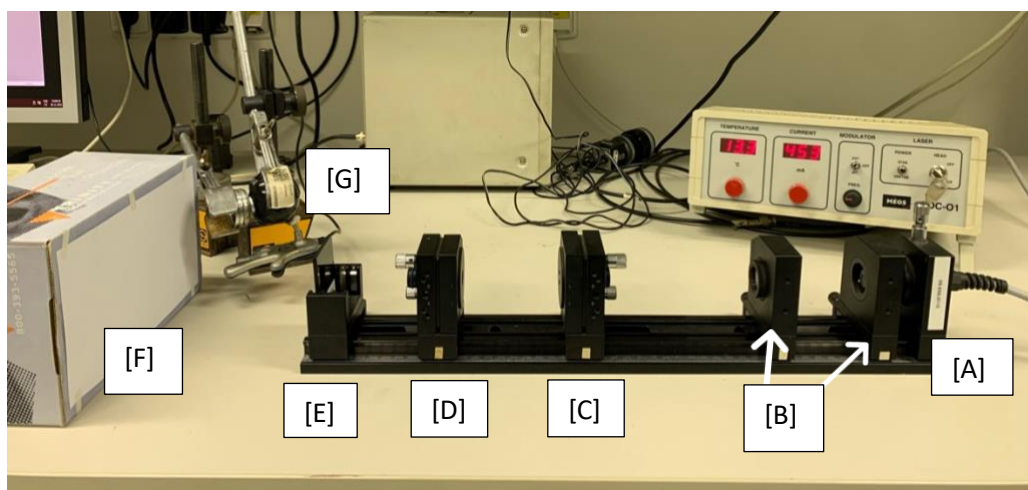


Obr. 2: Schéma optického rezonátoru

3. Měření

Aparatura pro naše měření se skládá z:

- A. laser, který září v IR oblasti (813nm)
- B. 2 spojné čočky
- C. optický upravitelný rezonátor s jedním kulovým a druhým rovinným zrcadlem
- D. krystal Nd:YAG - aktivní prostředí
- E. filtr RG – 1000
- F. stínítko
- G. kamera s CCD čipem pro záznam obrazu na stínítku.



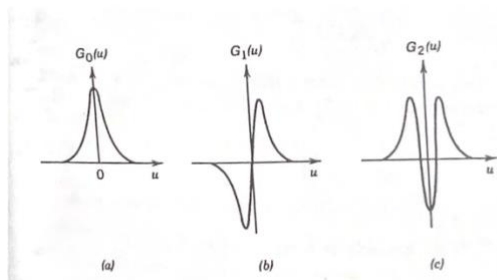
Obr. 3: Aparatura

Celá aparatura se skládá ze dvou laserů. Jeden laser je čerpacím laserem - pouze dodává energii do aktivního prostředí v rezonátoru. Druhý laser je výstup záření z rezonátoru.

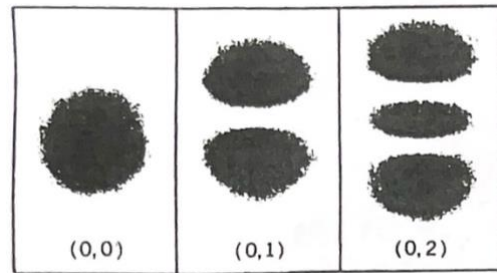
Zrcadla rezonátoru v čerpacím laseru nijak nemůžeme měnit, ale v hlavním rezonátoru je můžeme naklánět. U čerpacího laseru regulujeme teplotu a elektrický proud. Teplotu máme

nastavenou, aby odpovídala maximální absorpenci krystalu. Elektrickým proudem měníme intenzitu záření.

Pomocí dvou spojek můžeme ohnisko laseru přesně namířit do aktivního prostředí. Na krystalu v rezonátoru je napařena tenká vrstva rovinného zrcadla. Rovinné zrcadlo nám propustí záření pouze z čerpacího laseru. Záření, které se v rezonátoru odráží (vlnová délka 1064 nm – Nd:YAG krystal) skrz toto zrcadlo neprojde. Záření může opustit rezonátor přes kulové zrcadlo, které má poloměr křivosti 100 mm a propustnost $0,02\%$. Když budeme naklánět se zrcadlem, narušíme symetrii k optické ose, můžeme tak dosáhnout různých modů rezonátoru. Mody se dají popsat Hermiteovo-Gaussovou funkcí^[1], které nám v absolutní hodnotě reprezentují měření.



Obr. 4: Hermiteova-Gaussova funkce

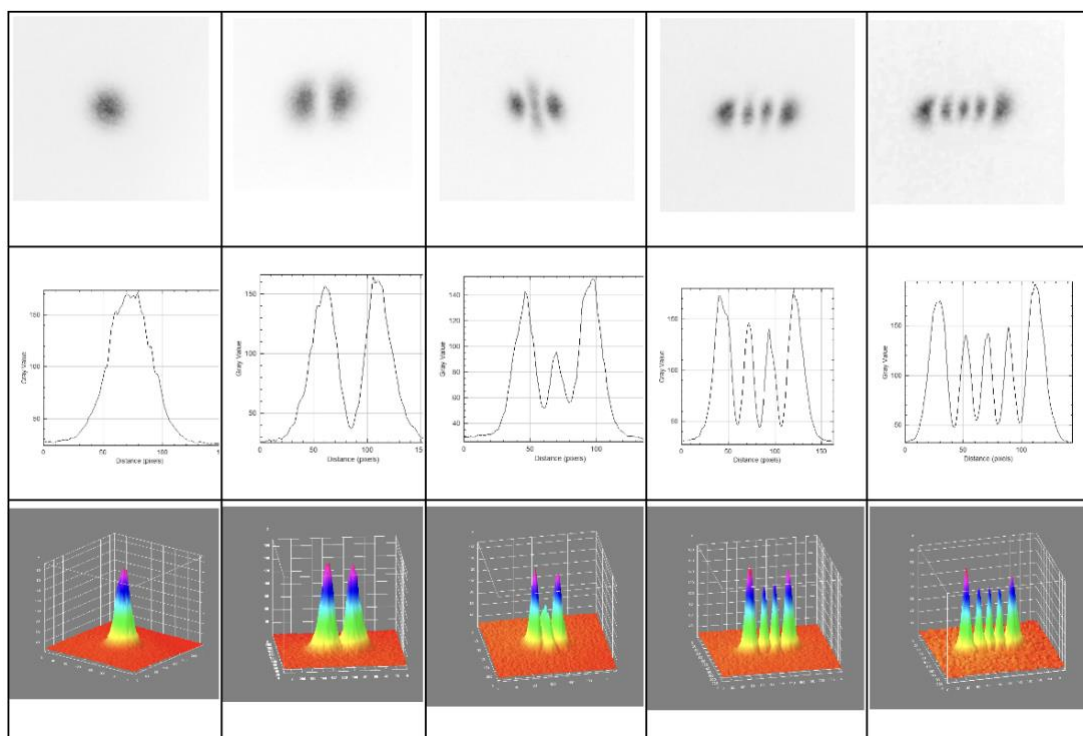


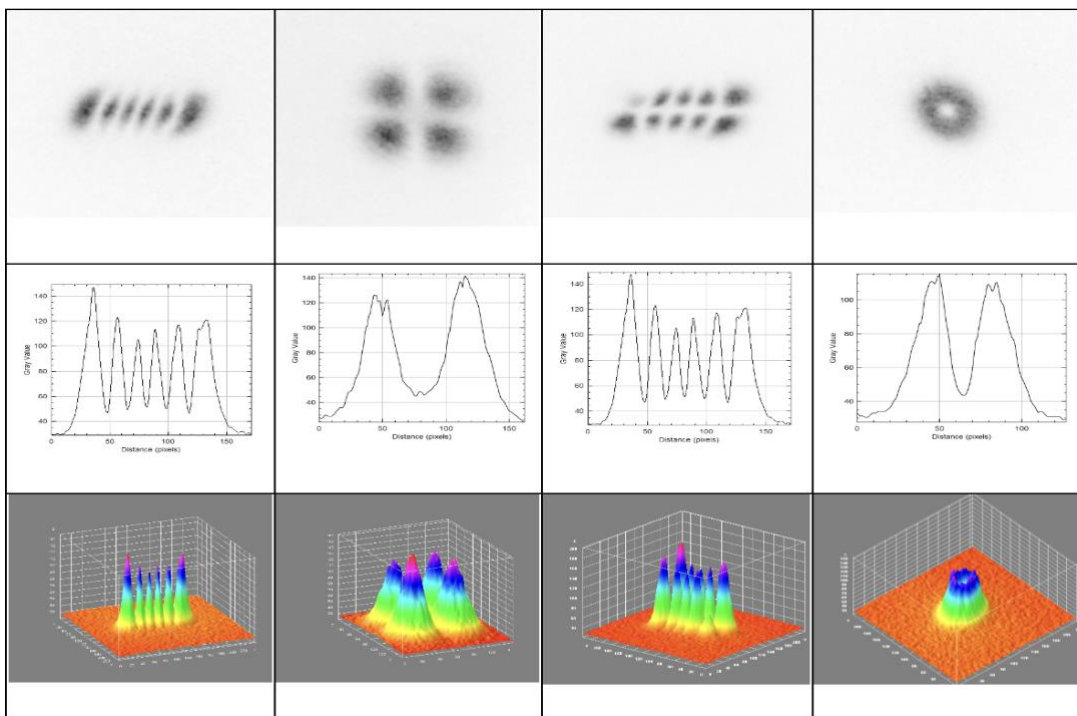
Obr. 5: Rozložení intenzity měřeného světla na stínítku

Pro měření jsme používali kameru s CCD čipem. Svazek z rezonátoru jsme nejdříve nechali projít přes filtr RG1000, který propustí světlo pouze s vlnovou délkou $> 1000\text{ nm}$, takže nám skrz něj neprojdou zbytky z čerpacího laseru. Zároveň před samotnou kamerou máme neutrální filtr, přes který projde jen světlo s vyšší intenzitou.

4. Vyhodnocení

Po provedení měření jsme ověřili teoretické rozložení intenzity měřeného světla. Zde jsou naměřená data:





Obr. 6: Naměřená data

Na naměřených datech můžeme vidět různé mody rezonátoru. Fotky v prvním řádku jsou snímky z kamery, na které jsme invertovali barvy pro lepší zobrazení. Fotky v druhém řádku jsou příčné řezy grafů intenzity^[2] (3 řádek). Můžeme si všimnout, že grafy s určitým šumem odpovídají Hermitovým-Gausovým funkcím. Prvních 6 obrázků jsou funkce na jedné ose, ostatní jsou komplexnější. Nejzvláštnější je poslední snímek – *koblížek*. Tento tvar se skládá z funkcí, které se projevují kolem celého otočení kolem osy procházejícím středem *koblížku*.

5. Závěr a diskuze

V naší teoretické části jsme se zaměřili na popsání laseru a samotného rezonátoru. Díky Hermiteovým-Gausovým funkcím jsme schopni předpovědět tvar pozorovaného tvaru na stínítku. V experimentální části jsme díky aparatury s optickým rezonátorem a CCD kamery pozorovali různé tvary na stínítku.

Porovnat teorii s experimentem nelze úplně snadno. Sice jsme schopni vidět předpovězené tvary, ale nemáme rovnici, která nám přesně řekne, jak bude útvar na stínítku vypadat pro určité naklonění zrcadla. Sférické zrcadlo otáčíme pomocí dvou šroubů, takže se jeho naklonění mění ve třech dimenzích. Kvůli jeho tvaru a 3D otočení v prostoru je tento stav složité kvantitativně popsat, ale jedno otočení šroubu řádově odpovídá úhlové vzdálenosti mezi peaky grafu intenzity (miliradiány).

6. Poděkování

Chceme zde poděkovat především vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Josefu Blažejovi PhD. za veškerou spolupráci a odborný přístup. Dále děkujeme menze ČVUT za exotické obědy a Vojtěchu Svobodovi za pořádání TV@J.

7. Reference

- [1] SALEH, Bahaa E. A. a Malvin Carl TEICH. Základy fotoniky: Fundamentals of photonics. Praha: Matfyzpress, 1996. ISBN 80-85863-01-4.
 [2] Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2023.