

Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

Adam Janich, Dajana Kolářová, Karel Popovič
Gymnázium Špitálská, MSSCH, SPŠ Ostrov
adjanich@gmail.com, dajana.kolarova.16@mssch.cz,
kp.karel.popovic@gmail.com

Abstrakt

Projekt spočíval ve vychylování aktivního prostředí a zrcadel rezonátoru v pevnolátkovém laseru. Cílem bylo pozorovat vychýlení výstupního laserového svazku a měřit jeho rozbíhavost.

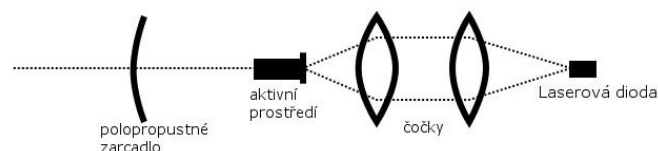
1 Úvod

Cílem tohoto projektu bylo seznámit se s principem laseru a pozorovat důsledky vychylování částí aparatury laseru o malé úhly. To znamená především pozorování změny rozložení intenzity záření napříč svazkem a pozorování obrazců, jež aparatura s vychýlenými částmi vytváří na stínítku. Dalším cílem bylo změřit rozbíhavost laserového svazku při ideálním rozložení aparatury a změřit rozbíhavost u vychýlené aparatury a přesvědčit se, jestli druhá zmíněná byla větší.

2 Aparatura



Obr. 1 Aparatura



Obr. 2 Schéma aparatury

Čerpání energie do aktivního prostředí zajišťovala laserová dioda vyzařující monochromatické světlo o vlnové délce 808 nm . Jeho svazek byl ovšem silně rozptýlen. Proto za diodu byla umístěna dvojice čoček o ohniskové vzdálenosti 6 mm , respektive 60 mm . Ty zajišťovaly fokusaci světelného svazku z laserové diody do aktivního prostředí.

Samotné aktivní prostředí bylo tvořeno izotropním monokrystalem ytrium-aluminium granátu dopovaného neodymem. (Jednalo se tedy o standardní laser typu Nd:YAG.)

Rezonátor byl tvořen jednak zadním zrcadlem, jednak předním. Zadní zrcadlo nebylo samostatnou součástí aparatury, nýbrž bylo napařeno za zadní stranu krystalu tvořícího aktivní prostředí. Bylo plně propustné pro vlnovou délku 808 nm , ovšem téměř dokonale odráželo vlastní záření laseru o vlnové délce 1064 nm . Přední část rezonátoru představovalo polopropustné konkávní zrcadlo o poloměru křivosti 100 mm . Jeho propustnost byla pouhé 1% . Délka rezonátoru byla 70 mm .

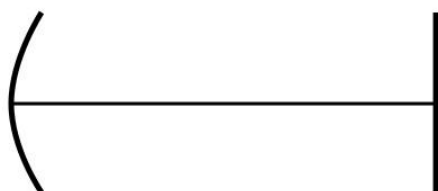
Vychylování aparatury bylo možné otáčením tzv. stavěcích šroubů. Dva byly umístěny u aktivního prostředí a dva u rezonátoru. Jak aktivní prostředí, tak rezonátor bylo tudíž možné vychylovat o malé úhly (řádově úhlové minuty) v obou osách.

Laser byl namířen na stínítko a stínítko bylo snímáno kamerou. I přesto, že lidské oko nedokáže pozorovat záření o výstupní vlnové délce, bylo možné využít standardní kameru s křemíkovým čipem na pozorování stínítka a zobrazení dopadu laserového svazku na obrazovce.

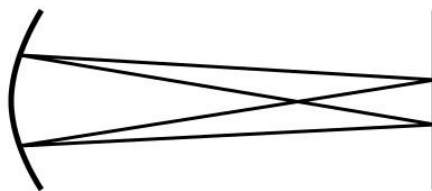
3 Pozorování vychýlení paprsku

Jak už bylo popsáno v předchozí kapitole, k dispozici byly 4 stupně volnosti narušení symetrie. Při vychylování jsme na obrazovce pozorovali výrazné změny v rozložení intenzity záření napříč svazkem. Na stínítku se při různých nastaveních šroubů objevoval různý počet skvrn. Pozorovali jsme následující korelaci: čím větší vychýlení aktivního prostředí, či polopropustného zrcadla, tím větší rozbíhavost svazku (velikost celkového obrazce na stínítku) a větší počet skvrn.

Pro vysvětlení tohoto efektu je třeba představit pojem rezonanční módy. Termín mód označuje nějakou uzavřenou trajektorii paprsku. (tj. trajektorii, která se po jednom až několika odrazech v rezonátoru „napojí“ sama na sebe.)



Obr. 3 Základní mód



Obr. 4 Příklad vyššího módu

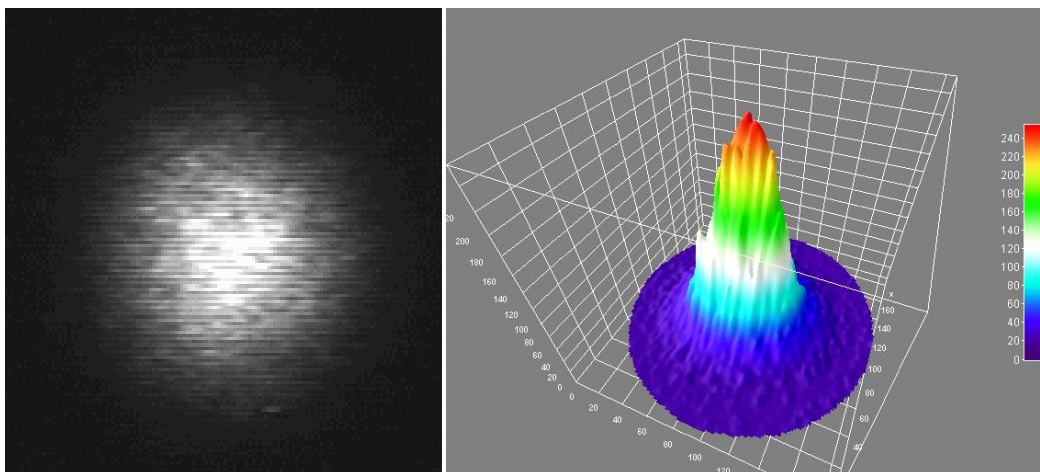
Základní mód (Obr. 3) odpovídá paprsku jdoucímu po optické ose. V tom případě hovoříme o *gaussovském svazku*^[1].

Při vychylování polopropustného zrcadla se trajektorie paprsků v jednotlivých módech v prostoru mění. Při natáčení aktivního prostředí se poloha paprsků v prostoru nemění, ale aktivní prostředí se natáčí oproti nim. V obou případech tedy dochází k tomu, že jednotlivé módy pak procházejí jinými částmi aktivního prostředí než při nevychýleném stavu.

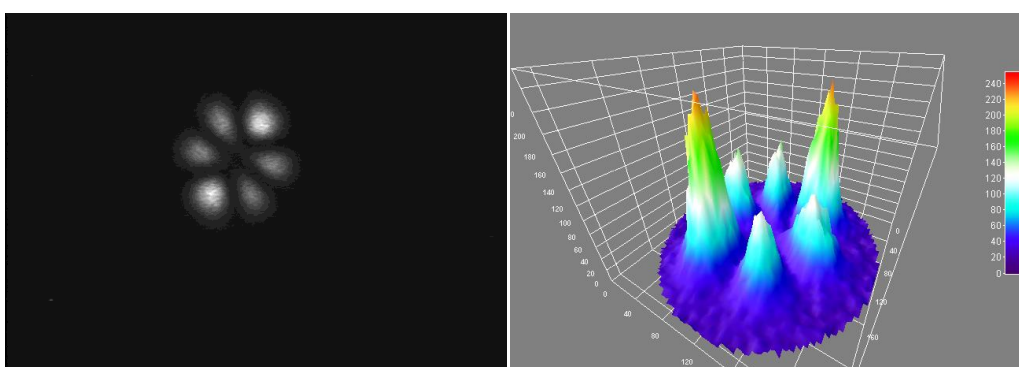
Dále je třeba připomenout, že aktivní prostředí je buzeno laserem, který do něj vstupuje zezadu po optické ose a navíc kvůli čočkám jde o sbíhavý svazek. Jednotlivé části aktivního krystalu jsou tedy buzeny nerovnoměrně. Vzniká nehomogenita excitace v aktivním prostředí.

Přitom to, jak moc je aktivní prostředí excitováno na trajektorii určitého módu, jistě ovlivňuje intenzitu výstupního záření ve směru odpovídajícím příslušnému módu. Natáčení aktivního prostředí, nebo polopropustného zrcadla tudíž posiluje některé módy a oslabuje jiné. Proto je možné na stínítku pozorovat příslušné obrazce.

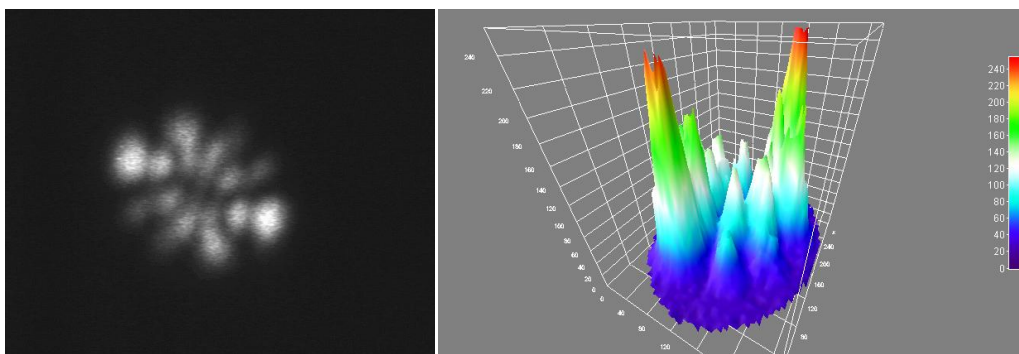
Na Obr. 5, 6 a 7 je možné pozorovat vždy na levé straně obraz na stínítku, zatímco na pravé straně 3D graf intenzity dopadajícího záření vytvořený v programu ImageJ.



Obr. 5 Základní mód



Obr. 6 Příklad vyššího módu



Obr. 7 Příklad vyššího módu

4 Měření rozbíhavosti

Rozbíhavost jsme změřili pro základní mód a pro jeden z nejvyšších módů, který byl ještě dobře viditelný. Protože průměr svazku při výstupu z rezonátoru nebyl nulový, bylo třeba změřit průměr svazku dvakrát, ve dvou různých vzdálenostech. Průměr svazku jsme ovšem nemohli měřit přímo v délkových jednotkách. Na počítači jsme ale zjistili průměr obrázku průřezu svazku v pixelech. Navíc jsme vypočítavě stejnou kamerou při stejném přiblížení vyfotili před stínítkem část svinovacího metru. Odtud jsme věděli, že 1 mm vzdálenosti v reálném světě odpovídá asi $14,3\text{ px}$ na snímku.

Obecný vzorec je: $\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta d}{2 \cdot \Delta l \cdot 14.3 \frac{px}{mm}}$, kde Δd je rozdíl průměrů svazků v pixelech a Δl je rozdíl vzdáleností stínítek od laseru.

Pro základní mód vychází: $\alpha = \tan^{-1} \frac{46,4 px - 16,5 px}{2(1010 mm - 235 mm) 14.3 \frac{px}{mm}} = 0^\circ 4' 38''$.

Pro vyšší mód dostáváme: $\alpha = \tan^{-1} \frac{340 px - 122 px}{2(1010 mm - 312 mm) 14.3 \frac{px}{mm}} = 0^\circ 37' 32''$.

5 Závěr

Při práci na tomto projektu jsme se přesvědčili, že laser (byť se to na první pohled nemusí zdát) je přesné a citlivé zařízení. Seznámili jsme se s principem laserů a pak jsme měli možnost s jedním pracovat. Ověřili jsme si, že při vychýlení jednotlivých částí aparatury jsou posilovány i jiné módy v rezonátoru kromě toho základního. Pozorovali jsme strhující obrazce na stínítku a vygenerovali jsme z nich na počítači 3D grafy rozložení intensity záření napříč svazkem. V neposlední řadě jsme měřením potvrdili, že rozbíhavost svazku se zvětšuje s rostoucí mírou vychýlení částí laserové aparatury.

Poděkování

Děkujeme doc. Ing. Josefu Blažejovi, Ph.D. za odborné vedení při práci na projektu i cenné připomínky během zpracovávání tohoto příspěvku.

Reference:

[1] SALEH B. *Základy fotoniky* John Wiley & Sons. 1991 str. 109