

Měření charakteristik pevnolátkového infračerveného Er:Yag laseru

Ondřej Ticháček, PORG, ondrejtichacek@gmail.com

Abstrakt:

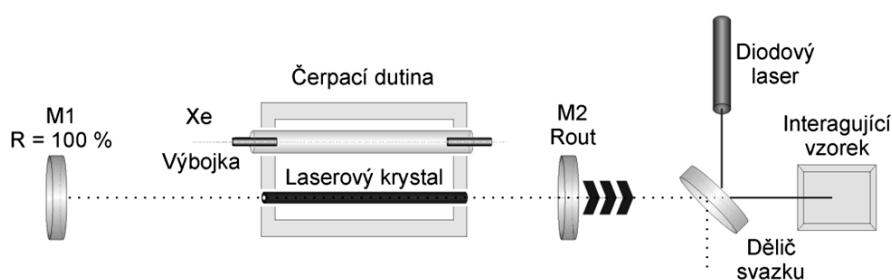
Úkolem bylo proměření základních charakteristik záření pevnolátkového infračerveného Er:YAG laseru. Mezi ně patří například délka pulzu, vstupní a výstupní energie, hustota výkonu a další. Práce zároveň spočívala v ověření vztahů mezi jednotlivými parametry.

1. Úvod

Když byl laser v šedesátých letech minulého století objeven, býval nazýván „řešením, hledajícím problém“. Dnes se ovšem lasery vyskytují ve všech možných oborech – od využití v optických záznamových zařízeních (CD, DVD, ...) přes různé technické aplikace (např. řezání a svaření), vojenské aplikace (naváděcí systémy), vědecké a výzkumné projekty, astronomii až po medicínu. Pro dosažení jejich maximálního potenciálu je ale nejprve potřeba tato zařízení důkladně prostudovat a pochopit, na jakém principu pracují. Dalším výzkumem je pak můžeme zdokonalit či dokonce objevit nová převratná využití.

2. Laser

Slovo laser je zkratkou pro *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, neboli zesilování světla stimulovanou emisí záření.



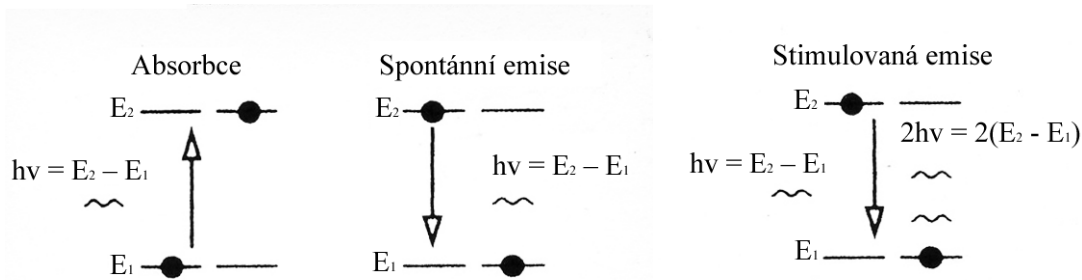
Obr. 1 Schematický náčrt pevnolátkového laseru

Princip

Každý laser se skládá z několika základních částí. Hlavní je aktivní prostředí (v našem případě Er:YAG krystal), do kterého je čerpána energie (například výbojkou nebo diodou). Výbojka a aktivní krystal jsou uzavřeny v čerpací dutině, která zvyšuje účinnost čerpání. Toho je docíleno eliptickým tvarem dutiny, v jejímž prvním ohnisku je právě aktivní prostředí a v druhém výbojka. Čerpání energie v aktivním prostředí excituje elektrony, které při náhodných přechodech na nižší energetickou hladinu vyzáří kvantum energie ve formě elektromagnetického záření. Tomu se říká spontánní emise. Při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší může kromě emise spontánní existovat také emise stimulovaná, která nastává tehdy, kdy spontánní foton způsobí přechod další kvantové soustavy z excitovaného na základní. Vyzá-

řený foton bude mít stejnou vlnovou délku, směr a fázi – záření bude monochromatické, směrové a koherentní.

Čerpací komora je umístěna mezi dvě zrcadla, která výstupní záření odráží částečně zpět do aktivního prostředí. Jedná se o tzv. rezonátor. V něm opakovaně spouští stimulovanou emisi (všechny excitované elektrony sestoupí na nižší hladiny) a tím dojde k velkému zvýšení intenzity záření. Jedno ze zrcadel je polopropustné – tím prochází laserový svazek ven z rezonátoru. Rezonátor určuje základní charakteristické rysy stimulovaného záření - spektrální čáru, časovou a prostorovou koherenci a směrovost záření.



Obr. 2 Znáznornění dějů probíhajících při interakci elektromagnetického záření s kvantovou soustavou

Experiment

V našem experimentu jsme používali Er:YAG (Erbium:Yttrium Aluminium Granát) laser čerpaný xenonovou výbojkou s otevřeným rezonátorem. Výstupní zrcadlo mělo reflektanci (odrazivost) 85%. Dominantními vlnovými délkami generovaného záření pro Er:YAG krystal jsou 2,94 μm a 1,56 μm . Obě tyto vlnové délky jsou mimořádně zajímavé pro aplikace. Na vlnové délce 2,94 μm je absorpční maximum vody (absorpční koeficient v tkáni je vyšší, než pro ostatní měřené vlnové délky - hloubka průniku je 2 μm), což je důležité především pro aplikace v medicíně. Vlnová délka 1,56 μm spadá do tzv. „oku bezpečné oblasti“.

Laser pracuje v režimu volné generace, což znamená, že budící energie je dodávána po dlouhou dobu ve srovnání s dobou vyzáření a kvantový systém aktivního prostředí je vybuzován opakovaně. Generovaná délka pulzu je obvykle v rozmezí desítek až stovek mikrosekund, čímž je i špičkový výkon nízký. Dalším významným parametrem je celková výstupní energie a opakovací frekvence.

Nastavení výstupního zrcadla rezonátoru:

Aby laser dosahoval maximální možné účinnosti, musí být správně nastavená zrcadla rezonátoru. Seřízení zrcadel se dělá pomocí externího He-Ne laseru. Cílem je, aby odražené záření směřovalo přesně zpět do aktivního prostředí a stimulovalo další emisi.

Jemné doladění se pak dělá za pomoci sondy, měřící intenzitu záření. Ve chvíli, kdy je intenzita nejvyšší jsou zrcadla nastavená správně.

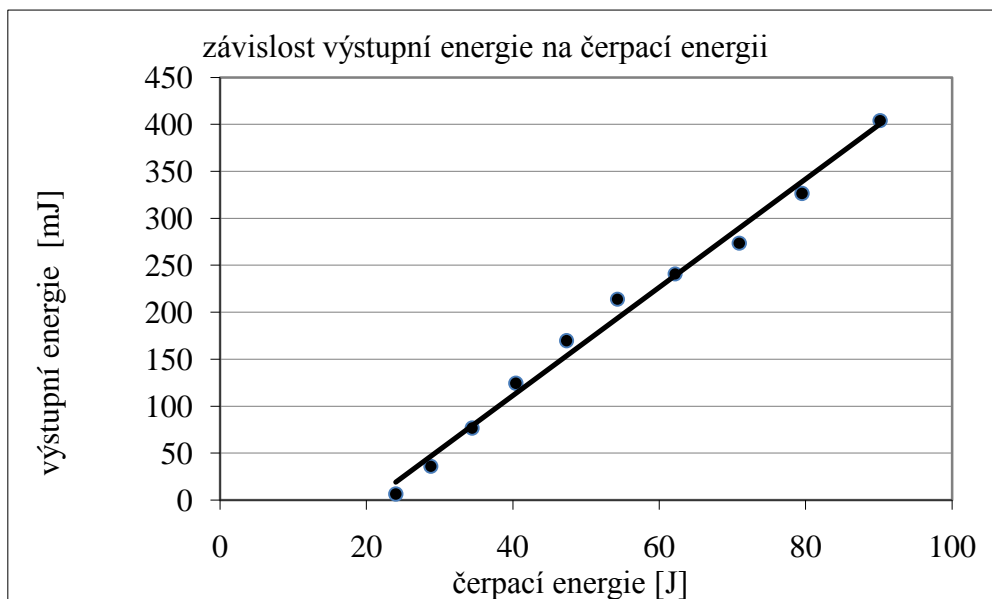
Prahová budící energie:

Aby docházelo k stimulované emisi elektromagnetického záření, musí se aktivní prostředí vybudit určitou minimální energií. Ta je pro každý laser jiná a závisí na jeho konstrukci a režimu, ve kterém pracuje. Nazývá se prahová energie buzení. Ta při naší konfiguraci byla 22 J. Měření jsme prováděli s budící energií v rozsahu 22 až 90 J. Při kapacitě kondenzátorů ve

zdroji $C = 100 \mu\text{F}$ jí podle vzorce $E=1/2 \cdot C \cdot u^2$ odpovídalo napětí 662 až 1343 V. Regulace intenzity laseru spočívala v regulování vstupního napětí ze zdroje.

Závislost budící energie na energii výstupní:

Při rostoucí budící energii by měla růst i výstupní energie záření – jeho intenzita. Tato závislost by podle teorie měla být lineární. Výstupní energie se měří sondou, na kterou dopadá laserový svazek. Díky pyroelektrickému jevu se na ní indukuje napětí, z jehož hodnoty po přepočtu dostaneme energii. Námi naměřená závislost je na obrázku 3.



Obr. 3 Graf závislosti výstupní energie na energii čerpací

Hustota energie a výkonu:

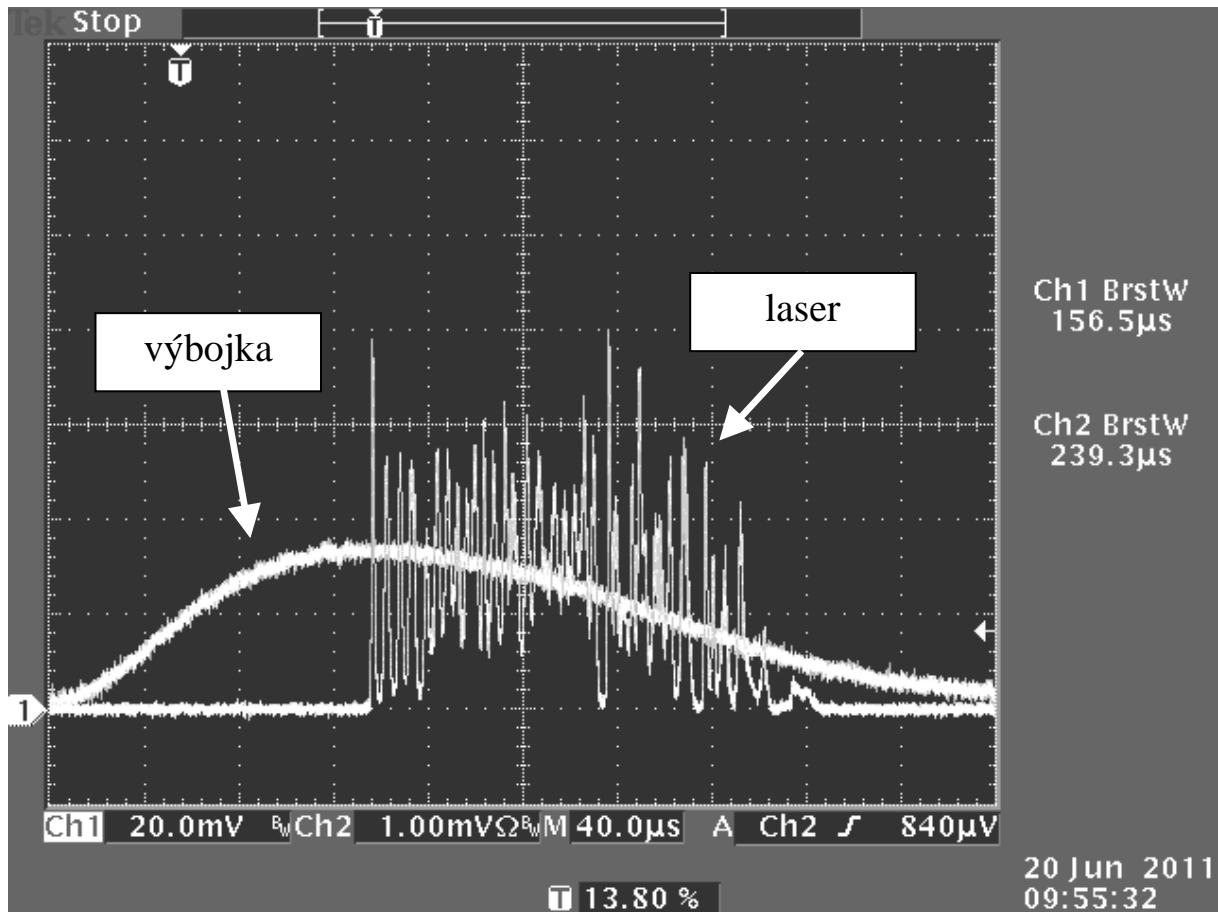
Pomocí fotografického papíru, na který se zaznamená stopa výstupního záření, je možné přibližně určit hustotu energie při jednotlivých pulzech. Pokud známe dobu trvání jednoho takového pulzu, jsme schopni spočítat i hustotu pulzního výkonu. Na fotografickém papíru změříme obsah stopy svazku záření. Další potřebné hodnoty zaznamenává osciloskop připojený k energetické sondě. Změří délku pulzu a pomocí integrace i celkovou energii pulzu. Viz tabulka 1.

maximální výstupní energie E	0,404 J
délka generovaného impulzu τ	203 μs
špičkový pulzní výkon P	1991,5 W
příčný průřez svazku S	0,07544 cm^2
hustota energie F	5,356 J/cm^2
hustota výkonu W	26 399 W

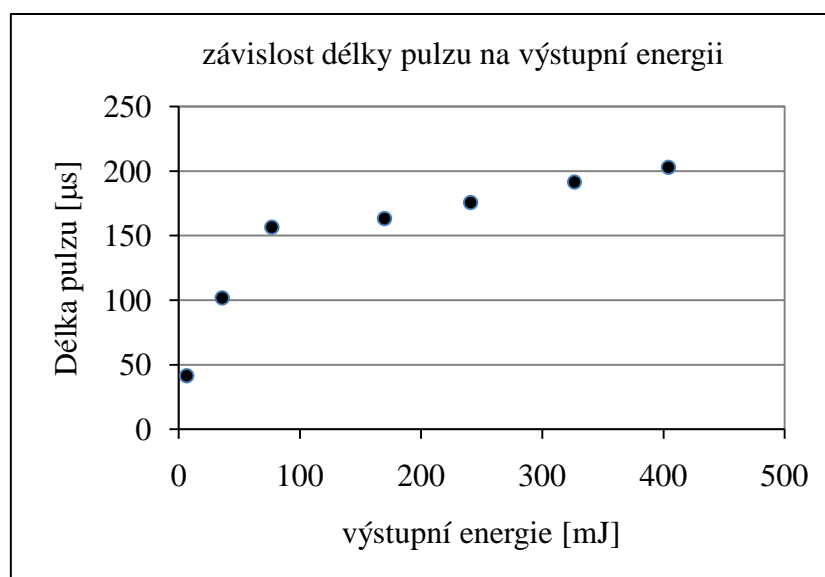
Tab. 1 Naměřené charakteristiky záření Er:YAG laseru pro maximální čerpací energii.

Délka pulzu:

Délka pulzu by se podle teorie měla s rostoucí hodnotou čerpací energie růst. Již ovšem ne lineárně. Křivku závislosti můžeme vidět na grafu (Obr. 5).



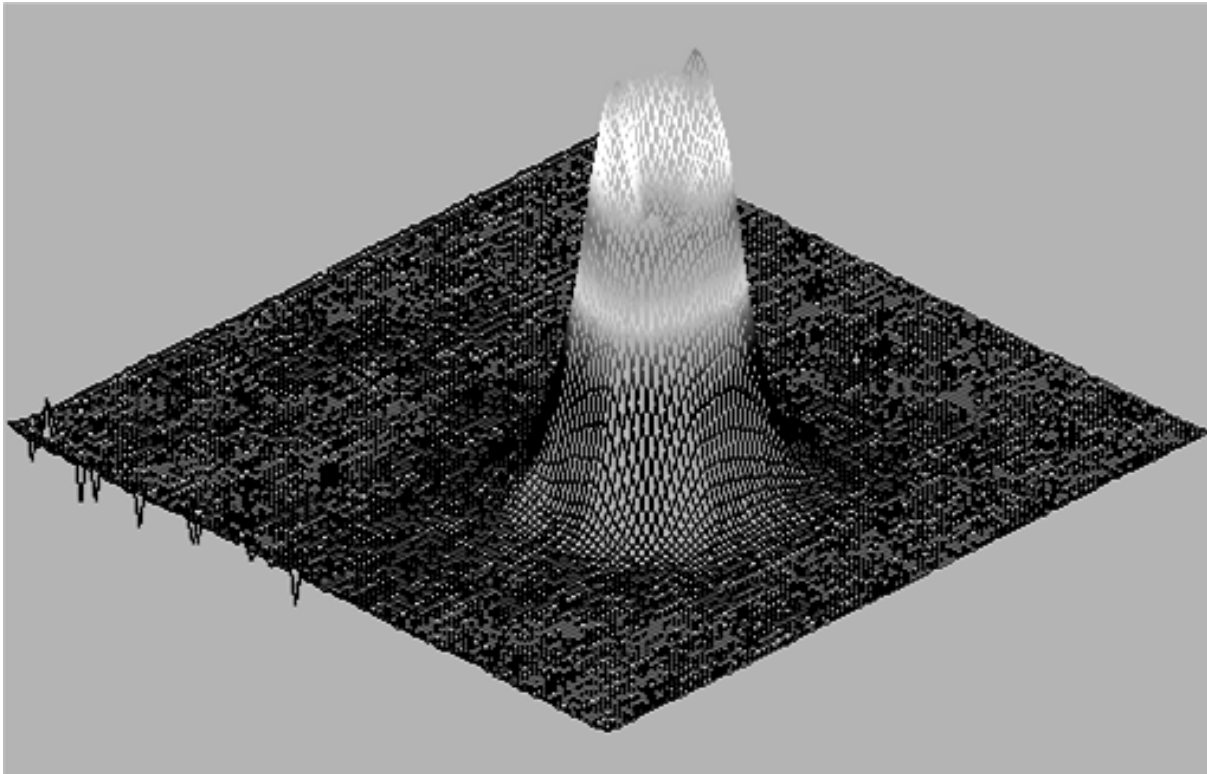
Obr. 4 Záznam z osciloskopu ukazující délku pulzu laseru a dobu svitu výbojky.



Obr. 5 Graf závislosti délky pulzu na výstupní energii

Profil svazku:

Profil svazku záření není, jak by se mohlo na první pohled zdát, homogenní. Intenzita záření se v jednotlivých částech jeho průřezu liší. Rozložení se s měnící se generovanou energií mění také. Za ideální se považuje, má-li svazek jádro s nejvyšší intenzitou záření, které je obaleno vrstvami s intenzitou postupně se snižující. Při určitých čerpacích energiích nebo při určitém nastavení optiky může profil svazku záření vypadat dosti jinak. Nemusí mít např. kruhový tvar, může mít více oblastí s maximální intenzitou.



Obr. 6 3D zobrazení profilu svazku záření. Vertikální osa zobrazuje intenzitu.

3. Shrnutí

Výsledkem naší práce je v první řadě tabulka 1, která ukazuje základní charakteristiky záření pevnolátkového infračerveného Er:YAG laseru. Dále pak grafy (obr. 3 a obr 5) popisující vzájemné závislosti jednotlivých parametrů záření a obrázek 6, který zaznamenává profil svazku záření.

Poděkování

Poděkování patří především supervizorovi projektu, Ing. Michalu Němcovi, dále také organizátorům Týdne vědy na FJFI.

Reference:

- [1] VRBOVÁ, M.; JELÍNKOVÁ, H.; GAVRILOV, P.: *Úvod do laserové techniky*. Nakladatelství ČVUT, 1998