

# Lasery a speciální optické jevy

O. Skála<sup>1</sup>, R. D. Maštovský<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gymnázium Ostrava-Zábřeh Volgogradská 6a,  
18\_skala\_o@gyvolgova.cz

<sup>2</sup> Gymnázium a Hudební škola hlavního města Prahy, ZUŠ;  
rdmastovsky@gmail.com

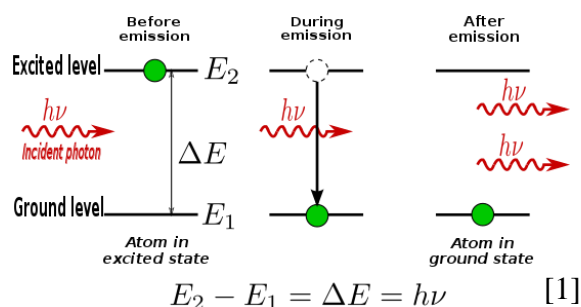
Michal Jelínek, ČVUT

## Abstrakt:

Laser je zařízení vyzařující velmi uspořádané světlo. Pomocí různých součástí se můžou měnit některé jeho vlastnosti. Cílem naší práce bylo sestavit pevný laser typu Nd:YAG a změřit jeho vlastnosti za různých podmínek.

## 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, otevřeným 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.



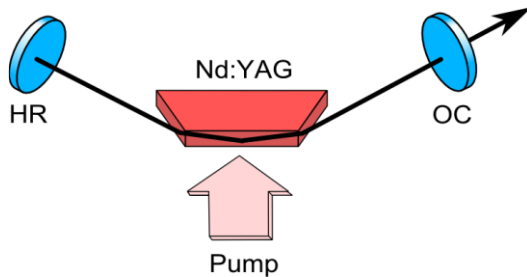
Obr. 1 – Stimulovaná emise, přechod z vyšší energetické hladiny do nižší, vyzáření totožného fotonu

Nejdříve dojde ke spontánní emisi, kdy elektron spadne do nižší energetické hladiny a vyzáří foton o energii, která se rovná rozdílu hladin. Pak dochází k stimulované emisi, kdy foton interaguje s elektronem ve vyšší energetické hladině. Elektron pak relaxuje na nižší energetickou hladinu a vyzáří foton se stejnými vlastnostmi. Vlnová délka vyzářeného fotonu potom bude nepřímo úměrná energetickému rozdílu hladin.

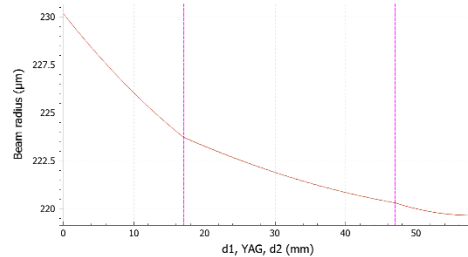
## 2 Návrh laseru

Náš laser se skládá z diodového čerpacího laseru (*Jenoptik JOLD-200-QPNN-1L* na frekvenci 5 Hz) a rezonátoru, který je vidět níže. Rezonátor se skládá z dvou zrcadel, *HR* a *OC*. *HR*

(highly reflective) zrcadlo je maximálně reflektivní a OC (optical coupler) je zrcadlo s menší reflektivitou, otestovali jsme reflektivity 50%, 70% a 83% na generované vlnové délce 1 mikrometru (zbylá procenta jsou propuštěna skrz). Značky d1 & d2 jsou vzdálenosti mezi zrcadly a aktivním prostředím, v našem případě byl aktivním prostředím krystal Nd:YAG (viz obrázek 2).



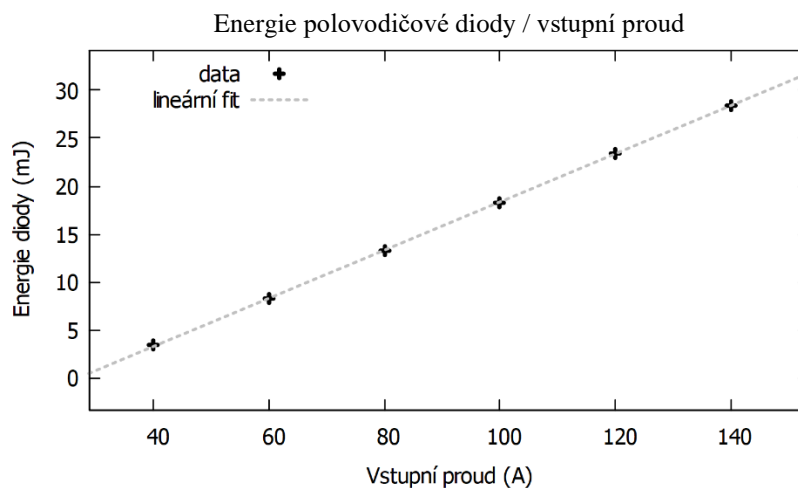
Obr. 2a – Schéma našeho laseru



Obr. 2b – Průběh základního modu v rezonátoru

## Měření laserové diody

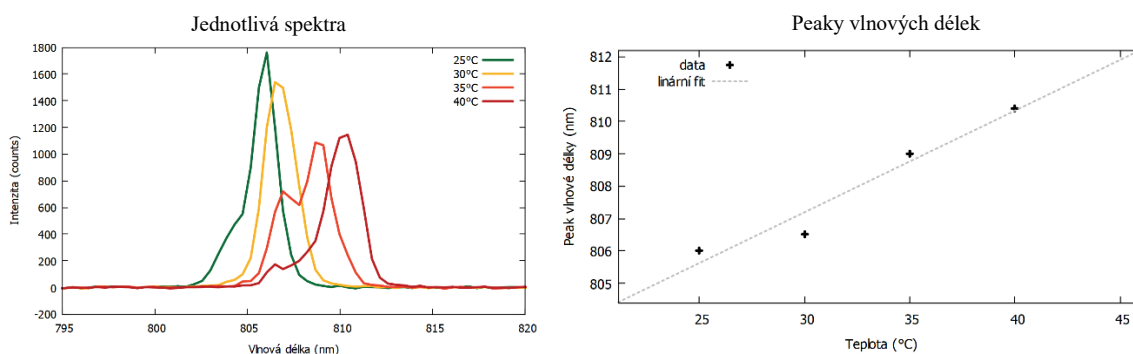
Nejprve jsme změřili výstupní energii čerpadla v závislosti na vstupním proudu, ověřili jsme lineární závislost, jak je zobrazeno na obrázku 3.



Obr. 3 – Závislost energie čerpacího laseru na vstupním proudu

Poté jsme změřili vlnovou délku čerpacího laseru v závislosti na teplotě při konstantním proudu 140 A. S rostoucí teplotou bude růst vlnová délka / klesat energie záření, protože se při zahřívání polovodiče zmenšuje rozdíl energetických hladin (viz obrázek 4).

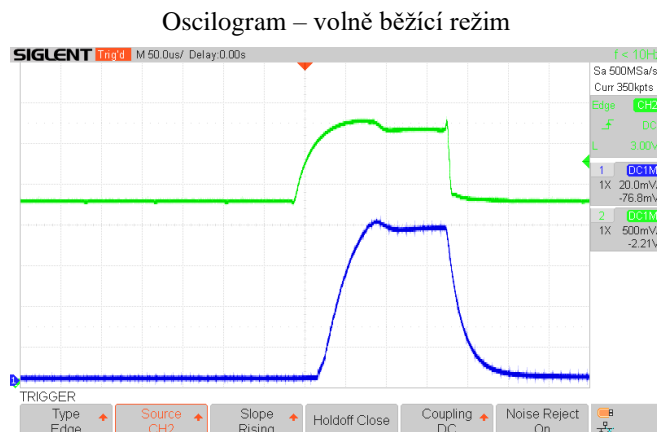
## Změna vlnové délky diody se změnou teploty



Obr. 4 – Růst vlnové délky s rostoucí teplotou polovodiče

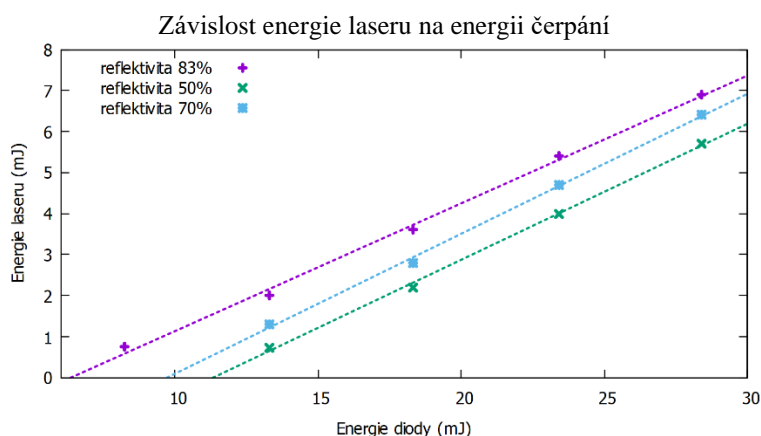
### 3 Nd:YAG ve volně běžících režimech

Volně běžící režim je režim, kdy máme laser pouze zapnutý a nijak do něho nezasahujeme. Vlastnosti laseru, tedy odpovídají vlastnostem čerpání. Čerpací laser pracuje na frekvenci 5 Hz o délce pulsu 200 $\mu$ s.



Obr. 5 – Oscilogram, zelená(horní) – puls čerpacího svazku, modrá(spodní) - puls laseru

Změřili jsme výstupní energii stranově čerpaného Nd:YAG laseru s OC o reflektivitách 50%, 70% a 83% při konstantní teplotě 35°C.

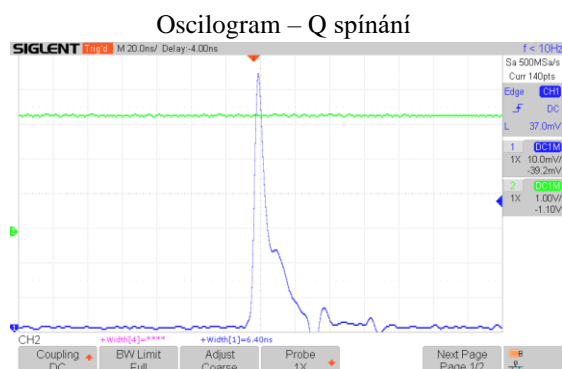


Obr. 6 – Sklon funkce odpovídá účinnosti systému s daným zrcadlem, nejvyšší účinnosti dosahuje zrcadlo s reflektivitou 70% s účinností 34%, nejmenší práh laserové generace má zrcadlo s reflektivitou 83% - 1,9 mJ

### 4 Q spínač, generace 2. harmonické frekvence

#### Q spínač

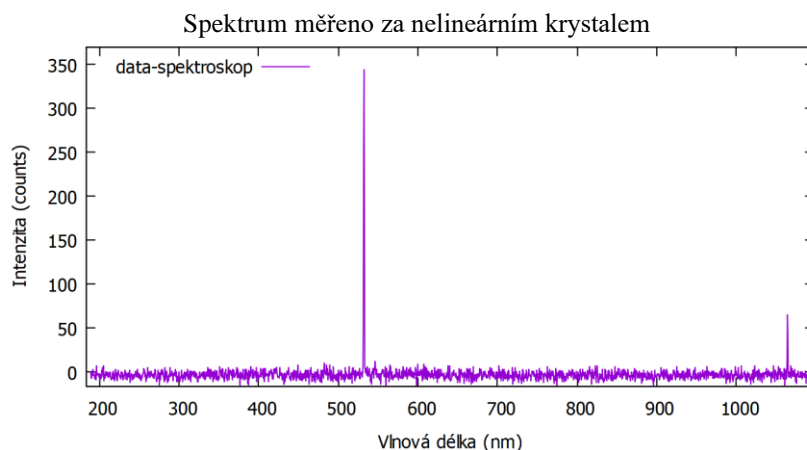
V našem experimentu jsme používali pasivní Q-spínání pomocí saturačního absorbéru Cr:YAG, který dokáže produkovat krátké pulsy. Q-spínač je zjednodušeně krystal, který při nízkých intenzitách nepropouští záření. Aby záření propustil, musí se nabít pump laserem a po nějaké době světlo propustí. Po průchodu světla v Q spínači intenzita zase klesne a stává se nepropustným. Díky tomuto procesu jsme dosáhli délky pulsu až 6.4 ns (viz obrázek 7)



Obr. 7 – záznam 6,4 ns pulsu s Q spínáním

## Generace 2. harmonické frekvence

Pomocí nelineárního krystalu jsme schopni vygenerovat druhou harmonickou frekvenci vstupního laseru. Z  $1064\text{ nm}$  tedy uděláme  $532\text{ nm}$  (z neviditelného IR, viditelnou zelenou). Nelineární krystal  $\text{LiIO}_3$  potřebuje pro tento jev poměrně vysoký špičkový výkon. Špičkový výkon je podíl energie laseru a délky pulsu. V našem setupu jsme dosáhli špičkového výkonu  $234\text{ kW}$  a špičkovou intenzitu jsme vypočítali jako  $20,6\text{ GW/cm}^2$ . Důkazem druhé harmonické frekvence je měření spektrometrem na obrázku 8.



Obr. 8 – Měření ze spektrometru,  $532\text{ nm}$  – druhá harmonická,  $1064\text{ nm}$  – zbytek, který prošel nelineárním krystalem

## 5 Závěr

Optimální teplota pro použité laserové diodové čerpadlo je  $35^\circ\text{C}$ , při této teplotě čerpací svazek září na  $808\text{ nm}$ , což se shoduje s absorpčním pásmem použitého aktivního prostředí Nd:YAG. Pro předání energie z čerpacího laseru bylo nejlepší zrcadlo s reflektivitou 83 %, protože jsme dosahovali nejvyšších výstupních energií z laseru.

Při přidání saturačního absorbéru Cr:YAG mezi HR a aktivním prostředím, laser produkuje pulsy o délce  $6,4\text{ ns}$  a energii  $1,5\text{ mJ}$ .

Při přidání čočky s ohniskem  $25\text{ mm}$  bylo vypočteno pomocí programu PSST, že se poloměr paprsku zmenší z  $220\text{ }\mu\text{m}$  na  $19\text{ }\mu\text{m}$ , a tím zvýší špičková intenzita na  $20,6\text{ GW/cm}^2$ .

Nakonec přidáním nelineárního krystalu  $\text{LiIO}_3$  (a výměnou čočky na ohniskovou vzdálenost  $50\text{ mm}$  aby nedošlo k poškození krystalu) se utvoří druhá harmonická frekvence laserového paprsku vlnové délky  $532\text{ nm}$ , čímž je infračervený paprsek se stane viditelně zeleným.

## Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali našemu garantu Ing. Michalovi Jelínkovi za skvělé vedení, pomoc a vysvětlení. Také děkujeme Organizátorům Týdne vědy na Jaderce (obzvláště Vojtěchu Svobodovi a Karlu Kolářovi), že si každý rok dají tu práci a zorganizují tuto akci.

## Reference

[1] Stimulated emission. (2008).

<https://en.wikipedia.org/>. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Stimulated\\_Emission.svg/1200px-Stimulated\\_Emission.svg.png?20230129001137](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Stimulated_Emission.svg/1200px-Stimulated_Emission.svg.png?20230129001137)