

## 2 Nd:YAG laser buzený laserovou diodou

15. května 2011

Základní praktikum laserové techniky	
Zpracoval: Vojtěch Horný	Datum měření: 12. května 2011
Pracovní skupina: 1	Ročník: 3.
Naměřili: Vojtěch Horný, Jaroslav Zeman	Hodnocení:

### 1 Úvod

Cílem úlohy bylo naučit se pracovat s laserovou diodou jako čerpacím prvkem Nd:YAG laseru a seznámit se s absorpční závislostí krystalu Nd:YAG na vlnových délkách vyzařovaných laserovou diodou.

#### 1.1 Požadované výsledky

1. Do správně popsaného grafu vynést naměřené závislosti absorpce (v relativních jednotkách) Nd:YAG krystalu na teplotě laserové diody pro zvolený budící proud. Jednotlivým píčkům přiřadit absolutní vlnové délky.
2. Doba života na elektronové hladině  ${}^4F_{3/2}$  neodymu.
3. Graf závislosti teploty diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce.
4. Graf závislosti výstupního výkonu laserové diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce.
5. Graf závislosti výstupní energie Nd:YAG laseru v závislosti na energii buzení (ne na teplotě nebo proudu) s vyznačením prahu laserové generace.
6. Okomentovaný náčrt jemné struktury obálky časového průběhu generovaného laserového záření v blízkosti prahu.

### 2 Pracovní postup a výsledky měření

#### 2.1 Absorpční spektrum krystalu Nd:YAG

Sestavili jsme měřící aparaturu dle schématu 1 bez filtru s horní propustností 900 nm a bez dutého zrcadla. Pomocí dvojice čoček jsme nasměrovali světlo diody tak, aby se ohnisko nacházelo v krystalu Nd:YAG. Nastavili jsme budící proud na 755 mA a řídicí jednotkou jsme měnili teplotu laserové diody.

Na osciloskopu jsme měřili výkon zaznamenaný měřičem. Do grafu jsme vynesli závislost relativní absorpce na teplotě diody. Relativní absorpci jsme počítali podle vzorce

$$A(T) = 1 - \frac{P(T)}{\max P},$$

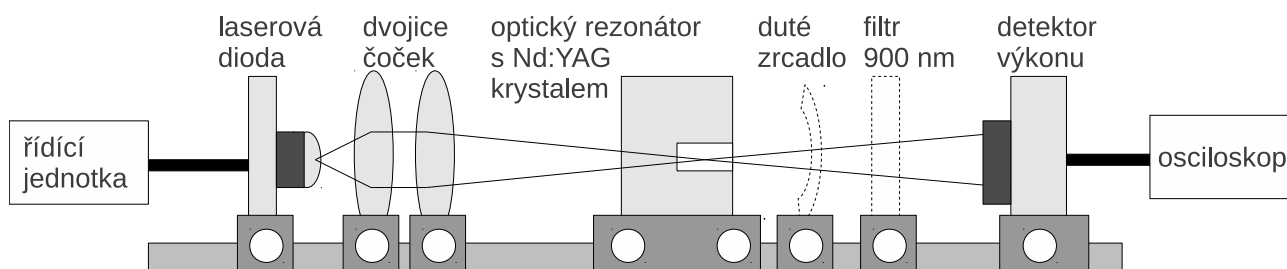
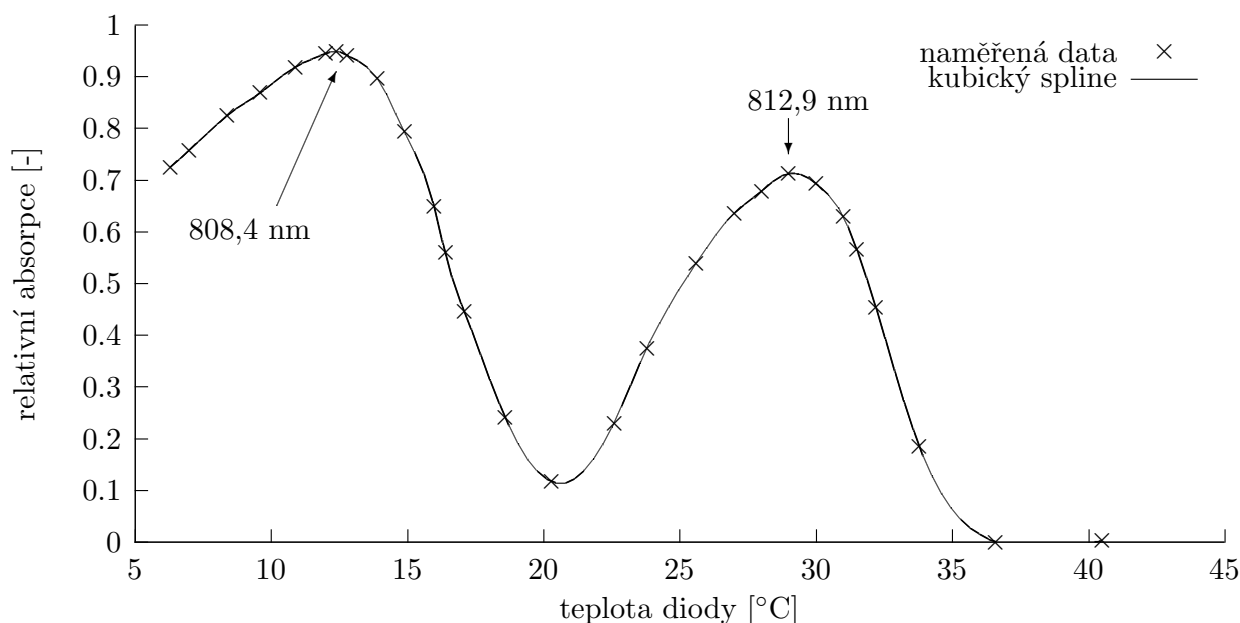


Schéma 1: Schématický náčrt experimentální aparatury. Filtr s horní propustností 900 nm byl vložen do aparatury v průběhu měření. Optický rezonátor obsahuje samotný krystal Nd:YAG a na něm napařenou plně odrazivou vrstvu. Duté zrcadlo je znázorněno samostatně. Ve většině úkolů však nebylo použito, nedocházelo tedy k laserové akci. Laserová dioda je ovládána řídicí jednotkou regulující budící proud tekoucí diodou, proud tekoucí termoelektrickým chladičem diody a monitorující její teplotu.

kde  $\max P$  je největší naměřený výkon. S absorpční tedy veličina  $A(T)$  má společný pouze tvar, nikoli hodnoty. Pro naše účely ale stačí pouze znát tvar křivky a její maxima.

Samotná závislost je vykreslena v grafu 1. Pozorujeme dva absorpční peaky náležející vlnovým délkám 808,4 nm a 812,9 nm.



Graf 1: Závislost relativní absorpce Nd:YAG krystalu na teplotě diody pro neměnný proud 755 mA.

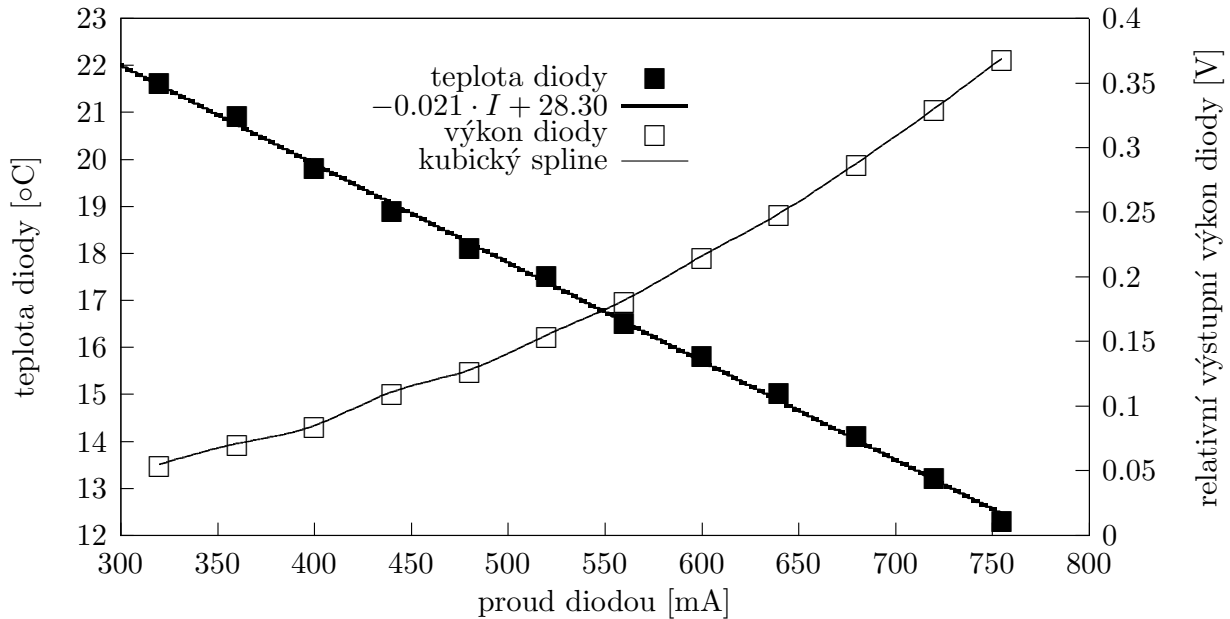
## 2.2 Doba života na elektronové hladině ${}^4F_{3/2}$ neodymu

Do aparatury jsme přidali filtr (viz schéma 1), nikoli však duté zrcadlo. Dobou života elektronu na určité hladině nazýváme čas, za který poklesne množství elektronů na této energetické hladině na  $1/e$  maximální hodnoty v důsledku spontánní emise. Doba života na elektronové hladině  ${}^4F_{3/2}$  neodymu vyšla  $(270 \pm 10) \mu\text{s}$ . Je to asi o  $20 \mu\text{s}$  delší doba, než tvrdil asistent, nicméně měřili jsme poctivě a opakovaně a tuto hodnotu jsme naměřili.

## 2.3 Závislost teploty a výstupního výkonu diody na proudu diodou při konstantní vlnové délce

Z aparatury jsme odstranili filtr. Nastavili jsme hodnotu teploty tak, abychom při proudu 755 mA měli nejvyšší absorpční maximum, tedy v našem případě 12,4°C. Snižovali jsme proud vždy o 40 mA a poté nastavovali teplotu tak, aby dostali absorpční maximum. Tím byla zajištěna konstantní vlnová délka. Zaznamenávali jsme vždy budící proud, teplotu diody a prošlý výkon.

Závislosti teploty diody a výstupního výkonu diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce 808,4 nm jsou zobrazeny v grafu 2. Při zvýšení proudu diodou se prodlouží vlnová délka vyzařovaného světla. Je proto nutné snížit teplotu diody.



Graf 2: Závislost teploty (levá osa) a relativního výstupního výkonu (pravá osa) laserové diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce 808,4 nm. Závislost teploty na proudu proložena přímkou, závislost relativního výstupního výkonu na proudu proložena metodou kubického splajnu.

## 2.4 Výstupní výkon laseru v závislosti na budícím výkonu

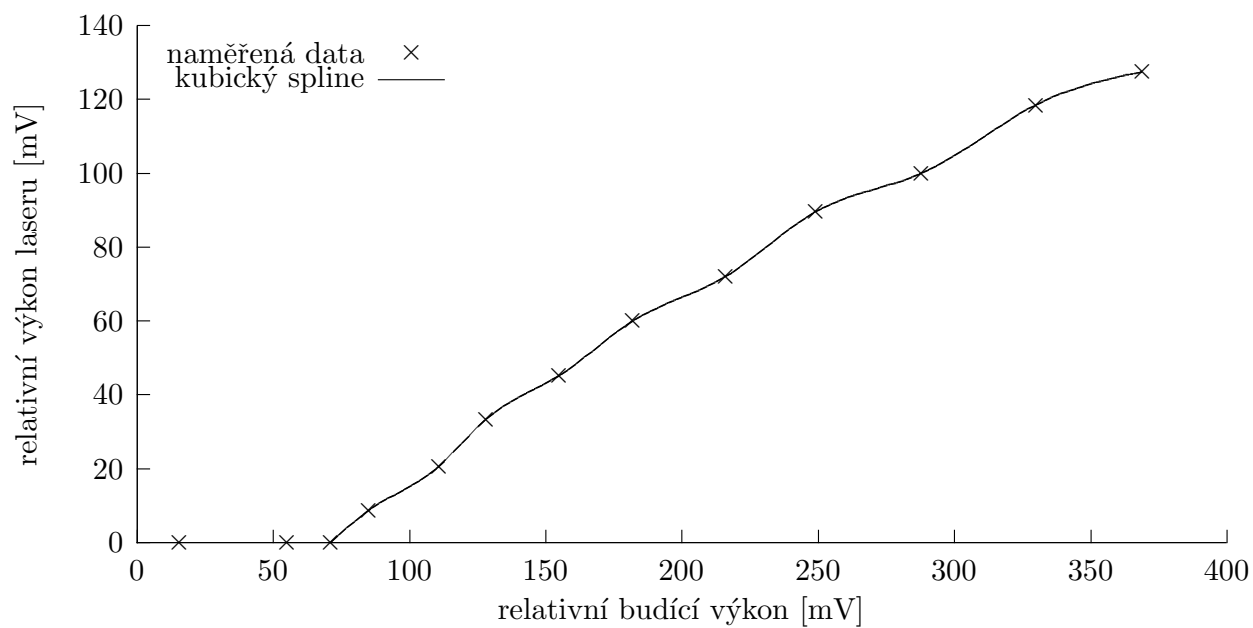
Do aparatury jsme dodali filtr a zrcadlo rezonátoru, aby docházelo k laserování. Vypočítali jsme interval stability (0 - 10 cm) a zrcadlo umístili přibližně 5 cm za krystal. Nastavili jsme zrcadla rezonátoru tak, aby výstupní výkon laseru byl co největší. Tento výkon jsme odečítali na osciloskopu. Na řídicí jednotce jsme nastavovali hodnoty budícího proudu a teploty stejně jako v úlohách 2 a 3.

Získali jsme tak závislost výkonu laseru na budícím výkonu. Tuto závislost ukazuje graf 3. Oba výkony jsou pouze relativní.

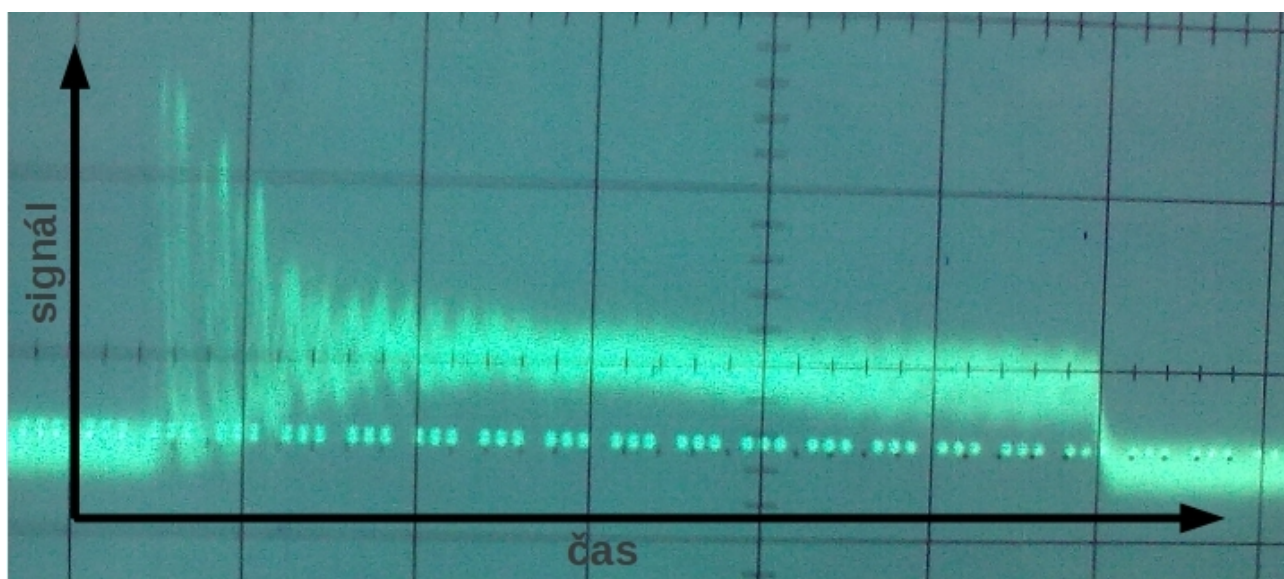
## 2.5 Generace záření v blízkosti prahu

Pozorovali jsme jev v anglické literatuře nazývaný spiking, jemnou strukturu časového průběhu výstupního záření v podobě krátkých nepravidelných impulsů navzdory čerpání prakticky konstantním proudem. Průběh časové závislosti laserového pulsu je zachycen na fotografii 1.

Vidíme závislost podobnou tlumenému kmitání. Slabé čerpání způsobuje inverzi populace. Po krátké chvíli dojde k laserovému pulsu. Mezitím však stále funguje buzení. Laser začal pracovat opožděně oproti buzení, protože budící výkon je nízký a chvíli trvá, než je dosaženo dostatečné kvality rezonátoru, tedy že energie buzení je vyšší než ztráty v důsledku spontánní emise. Tyto dva procesy působí proti sobě, po čase nastane ekvilibrium, kdy čerpání plně pokrývá vyzařovaný výkon.



Graf 3: Závislost relativního výkonu laseru na relativním budícím výkonu. Je patrný práh laserové generace na hodnotě budícího výkonu (napětí) 73 mV.



Fotografie 1: Fotografie osciloskopu znázorňující spiking.

Obálka časového průběhu generovaného laserového záření v blízkosti prahu potom vykazuje exponenciální pokles vlivem teplotních změn uvnitř krystalu.

### 3 Závěr

Stanovili jsme závislosti absorpce Nd:YAG krystalu na vlnových délkách emisního spektra laserové diody. Na základě znalosti absorpčních čar Nd:YAG krystalu jsme stanovili emisní čáry laserové diody, pro které je absorpce krystalu maximální. Maxima vyšly na 808,4 nm a 812,9 nm.

Stanovili jsme doby života elektronů na hladině  ${}^4F_{3/2}$  na  $(270 \pm 10) \mu\text{s}$ .

Změřili jsme závislosti teploty a výkonu laserové diody při provozování v podmínkách, kdy vyzařuje na konstantní vlnové délce.

Nastavili a provozovali jsme diodovým laserem čerpaný Nd:YAG laser v režimu volné generace. Provedli jsme pozorování a měření energetických a časových charakteristik výstupního záření.

Všechny požadované úkoly byly splněny.

### Literatura

- [1] *Návod k úloze 2* [online],  
[cit. 14. května 2011], <http://people.fjfi.cvut.cz/blazejos/public/ul2.pdf>