

# Titan-safírový laser KFE

V. Kormoutová  
FJFI ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1  
verakormoutova@yahoo.com

## Abstrakt

Práce se zabývá základním principem generace laserového záření. Další téma pojednává o femtosekundovém titan-safírovém laseru pod KFE FJFI ČVUT. Závěrem představuji ukázkou měření profilu svazku laseru pomocí CCD kamery.

## 1 Úvod

Zkratka „laser“ vychází z anglického „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, tj. zesílení světla pomocí stimulované emise záření, a označuje zdroj monochromatického koherentního optického záření.

Už v roce 1917 dokázal Albert Einstein existenci jevu stimulovaná emise (jev vysvětlen níže). První laser byl však sestaven až v roce 1960 Theodorem Mainmanem. Od té doby bylo vyvinuto mnoho druhů laserů pro různá využití.

## 2 Základní principy generace laserového záření

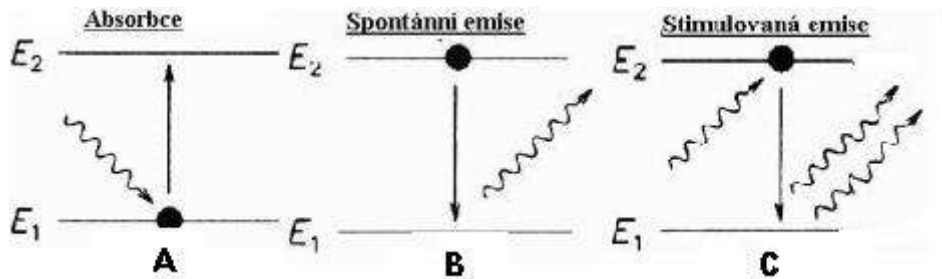
### 2.1 Interakce optického záření s látkou

Při generaci optického záření využíváme fyzikálních principů interakce mezi fotony a elektrony. Tyto interakce dělíme na absorpci, spontánní emisi a stimulovanou emisi.

Absorpce (obr. 1a) je jev, při kterém po srážce fotonu s elektronem dochází k anihilaci fotonu, předání jeho energie elektronu a následným přeskokem elektronu do vyšší energetické hladiny (elektron se dostane do excitovaného stavu). Energie kvantového skoku elektronu odpovídá energii fotonu. Opačným jevem je spontánní emise (obr. 1b). Elektron se z excitovaného stavu dostává na nižší energetickou hladinu a současně emituje foton.

Třetím možným procesem je stimulovaná emise (obr. 1c). Dojde-li ke srážce mezi fotonem a elektronem v excitovaném stavu, může elektron přejít na nižší energetickou hladinu se současným vyzářením fotonu. Takto vygenerovaný foton má stejnou vlnovou délku, směr šíření a fázi, jakou měl foton, který tuto generaci stimuloval. Tímto lze vygenerovat záření s požadovanými vlastnostmi charakteristických pro laser).

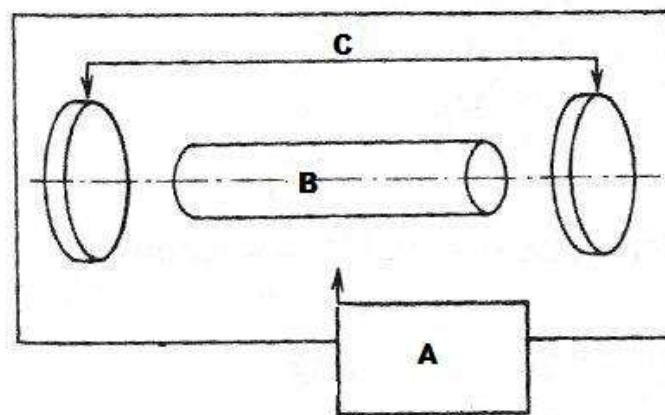
Z výše uvedené vlastnosti vyplývá, že je žádoucí, aby se co největší množství elektronů nacházelo v excitovaném stavu (snažíme se dosáhnout tzv. inverze populace hladin).



OBR. 1 INTERAKCE ZÁŘENÍ S LÁTKOU: A) ABSORBCE B) SPONTÁNNÍ EMISE C) STIMULOVANÁ EMISE

## 2.2 Schéma laseru

Základními prvky laseru jsou zdroj, aktivní prostředí a rezonátor (viz obr. 2)

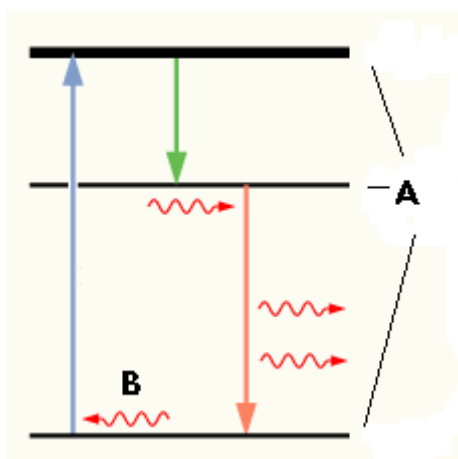


OBR. 2 ZÁKLDNÍ SCHÉMA LASERU. A) ZDROJ B) AKTIVNÍ PROSTŘEDÍ C) REZONÁTOR

### 2.2.1 Aktivní prostředí a zdroj

Aktivním prostředím laseru myslíme soubor kvantových soustav (energetické hladiny, na kterých se mohou vyskytovat elektrony). Pro naše účely bude aktivním prostředím krystal (konkrétně titan-safír). Takovým laserům říkáme pevnolátkové, ale existují i lasery plynové, kapalinové, plazmové nebo polovodičové.

Obr. 3 znázorňuje děje, ke kterým v aktivním prostředí dochází. V první fázi dojde k inverzi populace hladin pomocí záření zdroje. Zdroj dodává do systému energii ve formě fotonů, která je využita na přečerpání elektronů do excitovaného stavu, dochází k absorpci. Následně elektrony sníží svou energii, přejdou nezářivým přechodem na nižší hladinu (z obr. 2 na hladinu  $E_2$ ) a přebytečnou energii odevzdají krystalové mřížce. V dalším kroku přejde elektron z hladiny  $E_2$  na hladinu  $E_1$  spontánní emisí. Vygeneruje se foton, který vyletí z aktivního prostředí a odrazí se od zařízení zvané rezonátor. Pokud má foton správný směr, odrazí se zpátky do aktivního prostředí, kde spustí stimulovanou emisi (přechod elektronů z  $E_2$  na  $E_1$ ). Tímto je spuštěna řetězová reakce a dochází k zesilování záření.



OBR. 3 AKTIVNÍ PROSTŘEDÍ NA ÚROVNI ENERGETICKÝCH HLADIN: A) ENERGETICKÉ HLADINY B) FOTON

### 2.2.2 Rezonátor

Rezonátor je soustava zrcadel, mezi kterými je umístěno aktivní prostředí. Zajišťuje odraz elektronu zpátky do aktivního prostředí a spuštění další stimulované emise. Zrcadla nejsou stoprocentně odrazivá, jedno zpravidla bývá polopropustné. Skrz toto zrcadlo prochází záření, které má požadované vlastnosti (koherentní, monochromatické).

## 3 Femtosekundový titan-safírový laser KFE ČVUT

Tab. 1 udává základní parametry laseru.

Aktivní prostředí	Titan-safír
Vlnová délka	800 nm
Délka pulsu	60 fs
Frekvence	10 Hz
Energie pulzu	10 mJ

TAB. 1 PARAMETRY TI-SAF. LASERU

Laser střílí s frekvencí 10 Hz pulsy o délce 60 fs a energii cca 10mJ. Pracuje v okolí vlnové délky 800nm. Na tomto zařízení jsem prováděla následující měření.

## 4 Měření profilu laserového svazku

Měřením jsem se snažila zjistit, jak vypadá profil výstupního záření.

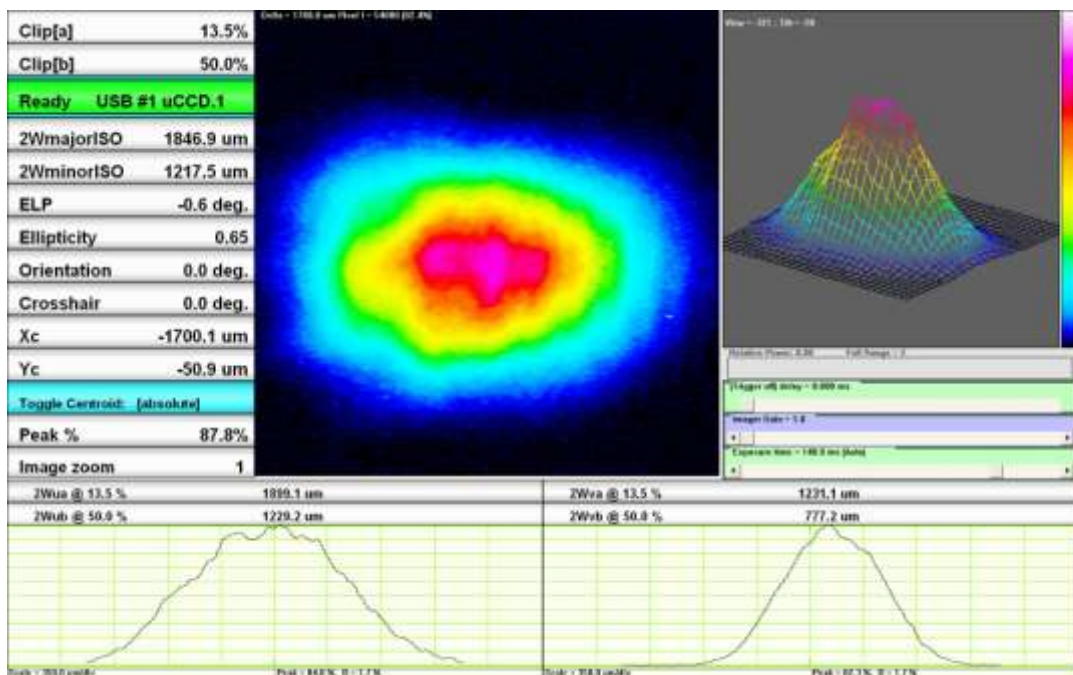
### 4.1 Příprava a měření

Laserový svazek jsem měřila CCD kamerou. Jelikož je ale kamera velmi citlivá, bylo ji nutné ochránit filtry. Nejdříve jsem změřila výkon výstupního svazku:  $P = 70mW$ . Přepočítala jsem ho na energii:  $E = Pt$ . Pro kontinuální záření, které nám z rezonátoru vycházelo, může počítat  $t = 1s$  (je to dostatečně dlouhá doba), takže výsledně dostaneme  $E_{laser} = 70 mWs$ . Maximální energie, při které je kamera schopna snímat bez poškození, je  $E_{max} = 4 \cdot 10^{-4}mWs$ . Podle vzorce pro sílu filtru  $f = \frac{E_{laser}}{E_{max}}$  dostaneme, že  $f = \frac{7}{4} \cdot 10^5$ . Prakticky je pro nás důležitý řád výsledné hodnoty, takže jsem nakonec ochránila kameru filtrem o síle 5.

Potom už jsem mohla spustit laser a nechat kameru snímat.

## 4.2 Výsledky a analýza

Software v počítači, ke kterému byla kamera připojena, vyhodnotil data a výstup z měření vidíte na obr. 4.



OBR. 4 PROFIL LASEROVÉHO SVAZKU

Jak je vidět, intenzita záření není na celém profilu stejná, ale ve středu má maximum.

## 5 Závěr

Tato práce vysvětluje jen základní princip generace laserového záření. Celá problematika je daleko složitější, ale v téhle práci pro ni není místo.

## Reference

- [1] M. Vrbová, H. Jelínková, P. Gavrilov, *Úvod do laserové techniky*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1998, kap. 4, 7, 9
- [2] Kol. autorů, *Laser*, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>