

Parametry záření z laserové zubní vrtačky a její použití

**Úloha pro Fyzikální týden
na KFE, FJFI, ČVUT Praha**

Zodpovídá: Ing. Michal Němec

1. Úvod

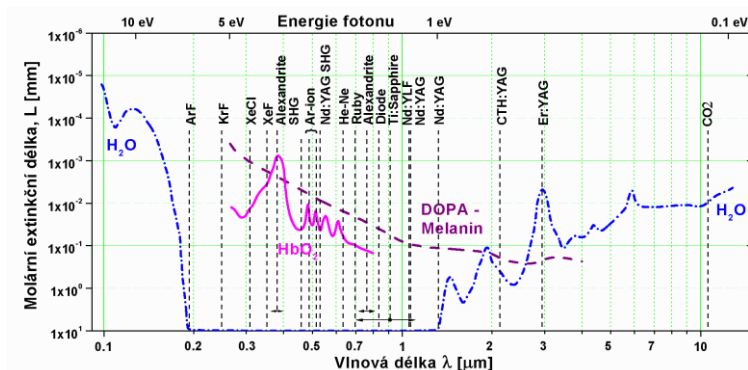
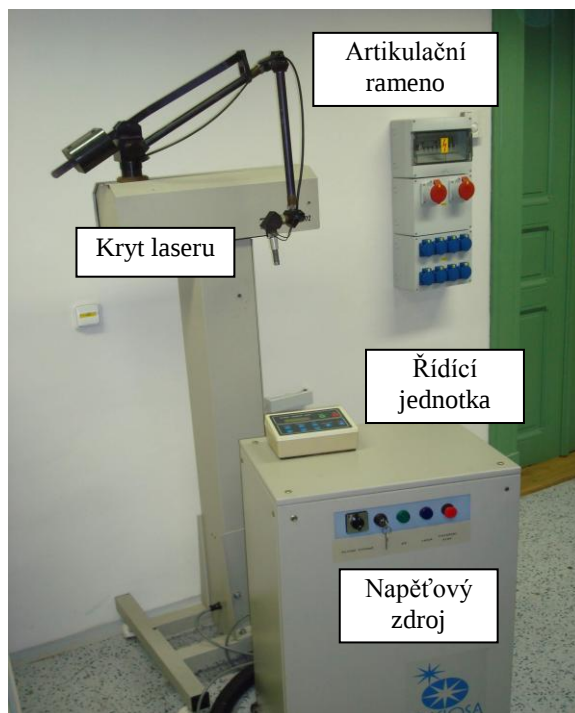
Úloha je realizována za použití v praxi používané laserové zubní vrtačky. Systém se skládá z napěťového zdroje, řídicí jednotky, stojanu s Er:YAG laserem a s artikulačním ramenem.

2. Er:YAG laserový systém – zubní vrtačka

Er:YAG (Erbium:Yttrium Aluminium Granát) laser patří do skupiny pevnolátkových laserů. Součástí těchto laserů je laserová hlavice, chlazení a zdroj dodávající budící energii. Laserová hlavice se skládá z **aktivního prostředí** (Er:YAG krystal), xenonové **výbojky** a **otevřeného rezonátoru**. Aktivní prostředí a výbojka jsou pro lepší účinnost přenosu budící energie uzavřeny v keramické difusní budící dutině. Otevřený rezonátor tvoří dvě vzhledem k sobě přesně nastavená zrcadla, z nichž jedno je totálně odrazné a druhé (výstupní) má reflektanci $< 100\%$ (konkrétně v našem případě pro Er:YAG laser je $R_{Er} = 75\%$).

Er:YAG krystal funguje jako dostatečně intenzivně buzené aktivní prostředí, ve kterém, díky kladné zpětné vazbě zrcadel otevřeného rezonátoru, dochází ke stimulované emisi a zesílení záření. Rezonátor určuje základní charakteristické rysy stimulovaného záření - spektrální čáru, časovou a prostorovou koherenci a směrovost záření.

Dominantními vlnovými délkami generovaného záření pro Er:YAG krystal jsou $2,94\ \mu\text{m}$ a $1,56\ \mu\text{m}$. Obě tyto vlnové délky jsou mimořádně zajímavé pro aplikace. Na vlnové délce $2,94\ \mu\text{m}$ je absorpční maximum vody (absorpční koeficient v tkáni je vyšší, než pro ostatní měřené vlnové délky - hloubka průniku je $2\ \mu\text{m}$ (Obr.1)), což je důležité především pro aplikace v medicíně. Vlnová délka $1,56\ \mu\text{m}$ spadá do tzv. „oku bezpečné oblasti“.



Obr.1. Závislosti absorpce záření ve vodě, hemoglobinu a melaninu na vlnové délce záření.

Laser pracuje v režimu volné generace, což znamená, že budící energie je dodávána po dlouhou dobu ve srovnání s dobou vyzáření a systém aktivního prostředí je vybuzován opakovaně. Generovaná délka pulsu je obvykle v rozmezí desítek až stovek mikrosekund,

čímž je i špičkový výkon nízký. Dalším významným parametrem je celková výstupní energie a opakovací frekvence.

Pro přenos záření od laseru k objektu interakce, čímž může být tkáň (v medicíně), hmota (v materiálových interakčních procesech) nebo zkoumané vzorky v laboratorním výzkumu, lze využít různých druhů optických vláken (lišících se většinou materiálem, ze kterých jsou vyrobeny) nebo standardních naváděcích prvků, jako jsou zrcadla nebo hranoly. Tyto prvky pak tvoří odrazné plochy artikulačních ramen. V našem případě je navíc artikulační rameno zakončeno koncovkou s fokusující čočkou.

3. Popis zubní tkáně

Zub se skládá z korunky pokryté sklovinou, krčku a kořene. Sklovina je vysoce mineralizována, obsahuje jen 2–5 % organických látek. Její základní složkou jsou soli fosforečnanu a uhličitanu vápenatého. Přestože je sklovina nejtvrďší tkáň v našem těle, může být její povrch narušen. Kořen je zanořen do čelistní kosti kryté okosticí. S kořeny jsou spojena pojivová vlákna (ozubice), tvořící pevný a pružný závěs zubu v čelisti. Hlavní hmotou zubu je porézní dentin a zubovina s jemnými nervovými zakončeními. Dutina je vyplněna dřeví, což je citlivá, bohatě prokrvená a inervovaná tkáň. Zubním kanálem v kořenu procházejí nervy a cévy. Struktura lidského zubu je na obr. 2.



Obr. 2 – Struktura lidského zubu.

4. Obecné principy interakce záření s biologickou tkání

Účinky záření při interakci s biologickou tkání závisí na několika faktorech:

- vlnová délka
- doba ozáření
- absorpce, reflexe a transmise tkáně
- hustota energie, resp. výkonu záření.

Upozornění:

1. Při práci používejte předepsané ochranné brýle.
2. Laserový svazek nesledujte pouhým okem, ale používejte například vizualizační černý fotopapír.
3. Optická dráha laserového paprsku musí být ukončena černou deskou nebo detektorem.
4. **Nikdy** se nedívejte přímo proti laserovému svazku (ani v případě, že máte na očích předepsané brýle).
5. Laser spusťte pouze tehdy, když je v místnosti přítomný pedagog zodpovídající za provoz laboratoře.

5. Postup měření

Úkol: charakterizace záření z Er:YAG laserové zubní vrtačky a její použití

1. Proměřte energii laserového záření na výstupu z artikulačního ramene pro jednotlivé úrovně čerpací energie (E1 – E4) při opakovací frekvenci 1 a 3 Hz.
2. Pomocí diody a osciloskopu naměřte délku výstupního impulsu (τ) pro jednotlivé úrovně čerpací energie při opakovací frekvenci 1 Hz.
3. Na fotografickém papíru zaznamenejte stopu svazku záření v ohnisku čočky pro třetí úroveň čerpací energie (E3) a pro opakovací frekvenci 1 Hz.
4. Do svazku záření umístěte vzorek zubní tkáně. Interakci provádějte při třetí úrovni čerpací energie (interakční energie změřena v části 2.1. - 2) při opakovací frekvenci 1 Hz.
5. Proveďte interakční experiment záření – perforace plátku zubní tkáně. Sledujte počet pulsů potřebných pro vytvoření kanálku pro určitou šířku vzorku.
6. Pomocí mikroskopu spojeného s počítačem zdokumentujte výsledky interakcí.

6. Zpracování výsledků

1. Z naměřených hodnot vypracujte graf závislosti energie vystupující z artikulačního ramene na čerpací vstupní energii.

Úroveň čerpání	$E_{\text{čerp}}$ [J]
E1	49
E2	65
E3	84
E4	105

2. Vyplňte následující tabulku výstupních charakteristických hodnot Er:YAG laserového záření pro zubní vrtačku.

Maximální výstupní energie E [J]	
Délka generovaného impulsu τ [sec]	
Špičkový pulsní výkon P [W]	
Průměr stopy svazku v ohnisku (E3, f=1 Hz) S [cm ²]	
Hustota energie v ohnisku (E3, f=1 Hz) F [J/cm ²]	
Hustota výkonu (E3, f=1 Hz) W [W/cm ²]	

Literatura: Vrbová M, Jelínková H., Gavrilov P., Úvod do laserové techniky