

# Něco o laserech

Ústav fyzikální elektroniky

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity

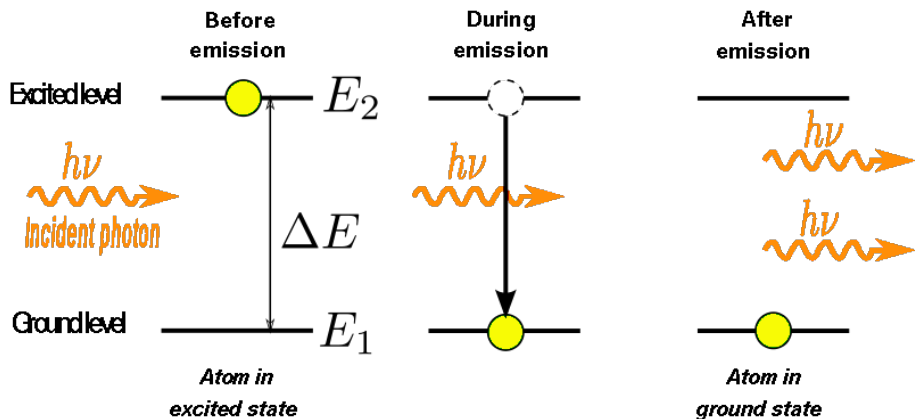
13. května 2010



## Pár neuspořádaných faktů

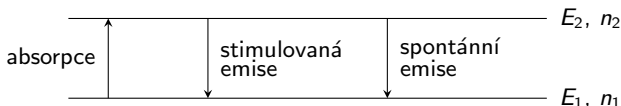
- LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zdroj dobře kolimovaného světla o mimořádné spektrální čistotě
- Provedení menší než špendlíková hlavička či velké jako dům
- Výkony od  $10^{-9}$  do  $10^{20}$  W
- Vlnové délky od mikrovln po měkké röntgenové záření

## Stimulovaná emise



$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

## Některé procesy v dvouhladinovém systému



- absorpce  $B_{12} I_{ph} n_1$
- spontánní emise  $A_{21} n_2$
- stimulovaná emise  $B_{21} I_{ph} n_2$

Aby docházelo k zesílení, musí určitě platit  $n_2 > \frac{B_{12}}{B_{21}} n_1$ , jinak je energie fotonů spotřebovávána k excitaci částic.

Pro zesílení světla pomocí stimulované emise musí být nejprve dosaženo **populační inverze**

# Rozdělení částic

## Tvrzení

Mějme systém v termodynamické rovnováze. Pravděpodobnost toho, že částice v takovém systému bude mít energii  $\varepsilon$  je dána jednou z těchto **monotónně klesajících** statistických rozdělovacích funkcí:

**Maxwellova-Boltzmannova** – klasická limita, předpokládá rozlišitelné částice

$$f_{M-B}(\varepsilon) = \frac{1}{Ae^{\varepsilon/kT}}$$

**Boseho-Einsteinova** – platí pro bosony, částice s celočíselným spinem

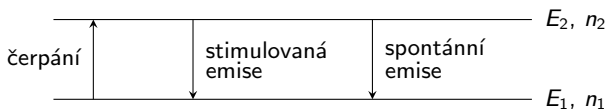
$$f_{B-E}(\varepsilon) = \frac{1}{Ae^{\varepsilon/kT} - 1}$$

**Fermiho-Diracova** – platí pro fermiony, částice s poloceločíselným spinem

$$f_{F-D}(\varepsilon) = \frac{1}{Ae^{\varepsilon/kT} + 1}$$

V termodynamické rovnováze **jsou stavy s vyšší  $\varepsilon$  populovány méně.**

## Populační inverze – dvouhladinový systém



$$\dot{n}_1 = -B_{12}I_{pump}n_1 + B_{21}I_{pump}n_2 + A_{21}n_2$$

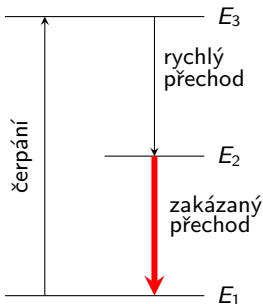
$$\dot{n}_2 = +B_{12}I_{pump}n_1 - B_{21}I_{pump}n_2 - A_{21}n_2$$

$$\dot{n}_1 = -I_{pump}(B_{12}n_1 - B_{21}n_2) + A_{21}n_2$$

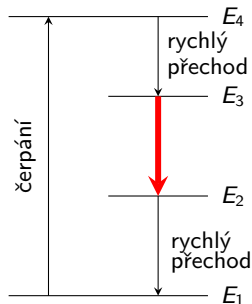
$$\dot{n}_2 = +I_{pump}(B_{12}n_1 - B_{21}n_2) - A_{21}n_2$$

Vidíme, že pro  $n_2 \rightarrow (B_{12}/B_{21})n_1$  se stav s vyšší energií přestává populovat  $\Rightarrow$  dosažení potřebné inverze touto cestou není možné.

## Populační inverze – tří- a čtyřhladinový systém



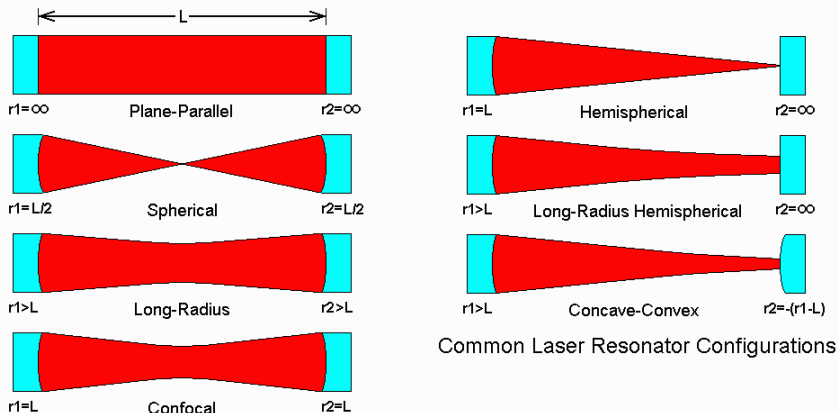
rubínový laser  $\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$



neodymiové lasery, např.  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$

Vzhledem k energetické výhodnosti pracuje převážná většina dnes používaných laserů na čtyřhladinovém systému.

## Efektivní délka média a laserový rezonátor



Necháme-li projít světlo krátkým médiem jen jednou, nedosáhneme moc velkého zesílení. Můžeme však médium efektivně „prodloužit“ tím, že ho umístíme do optického rezonátoru.





## Využití laseru

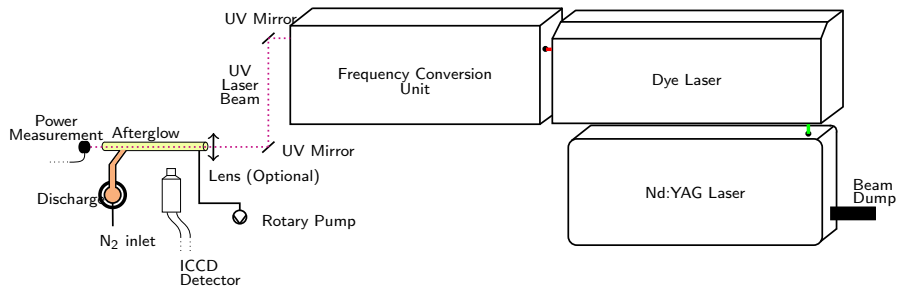
- ukazovátka, čtečky čárových kódů, detektory pohybu...
- laserové řezání (nejčastěji kontinuální CO<sub>2</sub> lasery do 15 kW)
- armáda (např. výkonné TEA lasery založené na výboji při atmosférickém tlaku, např. v CO<sub>2</sub>, pulsní výkon v řádu MW, na odpalování min)
- medicína (operace očí...)
- fyzioterapie (500–900 nm, výkon do 500 mW, pomáhá uvolnit bariéry v buněčných stěnách, přispívá k rovnoměrnému rozložení zásob energie – přebytek ATP se nemění v teplo, ale ve světlo, které se dostane k buňkám s deficitem ATP, usnadňuje se tak hojení ran, jizev...)
- diagnostika plazmatu
- a mnohé další

# Laserem indukovaná fluorescence

- umožňuje měřit hustotu částic v základním stavu
- má poměrně dobré prostorové rozlišení
- pomocí dobré synchronizace a kvalitního detektoru je možné měřit doby života excitovaných stavů apod.

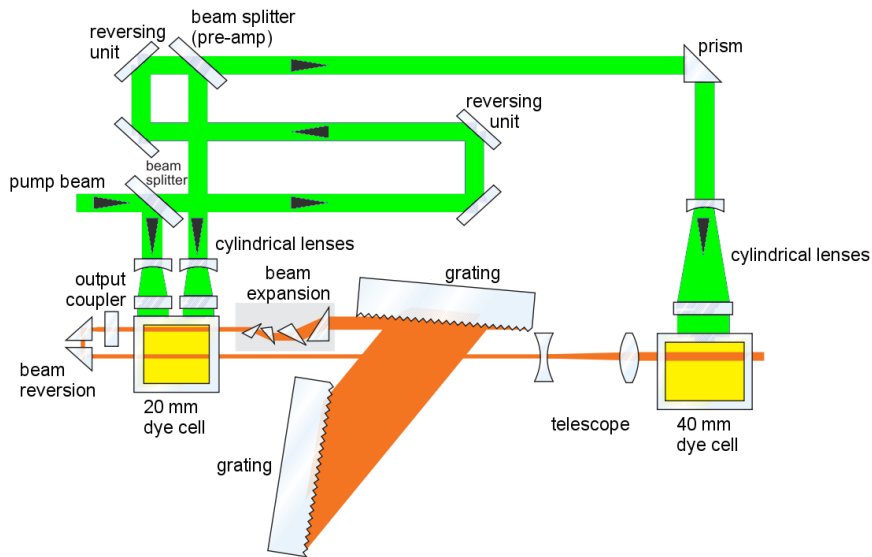
Princip: laserem o vhodně zvolené vlnové délce se excitují vybrané částice ve výboji do přesně definovaného stavu. Z následných zářivých přechodů (fluorescence) je možné určit, jaká byla hustota částic, které jsme excitovali.

## Co že to tady u nás máme?



Neodymiíovými ionty dopovaný Yttrium-Aluminium-Granát je médiem prvního (čerpacího laseru). Ten dává cca 10ns pulsy o výkonu v řádu MW 30× za sekundu. Procházejí nelineárním krystalem pro zdvojení frekvence, čímž dostaneme svazek fotonů o vlnové délce 535 nm. Ten se využije k čerpání barvivového laseru (cca 620 nm). Svazek barvivového laseru pak prochází nelineárními krystaly, kde dojde např. ke ztrojnásobení frekvence. Různými nastaveními lze plynule měnit konečnou vlnovou délku v rozmezí 200–710 nm.

# Barvivový laser Precision Scan



## O čem to bylo

- LASER stojí na stimulované emisi
- K zesílení dojde jen mimo termodynamickou rovnováhu při dostatečné populační inverzi ( $n_2 - n_1$ )
- Populační inverze nelze dosáhnout v dvouhladinovém systému, využívá se tří- a zejména čtyřhladinových
- Výkonný laser s cílem provádět diagnostiku plazmatu zakoupil i náš ústav. Je to spíš celá řada laserů umožňující plynulé přeladování frekvence