

L A S E R *1960

Light amplification by stimulated emission of radiation

Světelné zesílení pomocí stimulované emise záření

Definice: optický kvantový generátor

Zdroj koherentního záření v IČ, viditelné nebo UV oblasti spektra, využívající jevu **stimulované emise** elektromagnetického záření **aktivních částic** (atomů, molekul, iontů, elektronů) buzených **vnějším zdrojem energie**.

Historie:

Vše začalo v 50 letech, kdy **Arthur Schawlow** a **Charles H. Townes** pracovali na výzkumu, který se vyvíjel směrem k objevení laseru. Zpočátku pracovali na MASERu a pak si dali za cíl vynalézt přístroj, který, podobně jako je **MASER** generátor a zesilovač mikrovlnného záření, bude zesilovat světelné záření. Jejich první publikace z roku 1957 odstartovali mezinárodní závod k postavení prvního pracujícího laseru. To se povedlo v roce 1960 Theodoru **H. Maimanovi** v Malibu. A v roce 1964 byla udělena Nobelova cena za fyziku **N. G. Basovovi**, **A. M. Prochorovovi** a právě **C. H. Townesovi**.

Types of Light

Incandescent



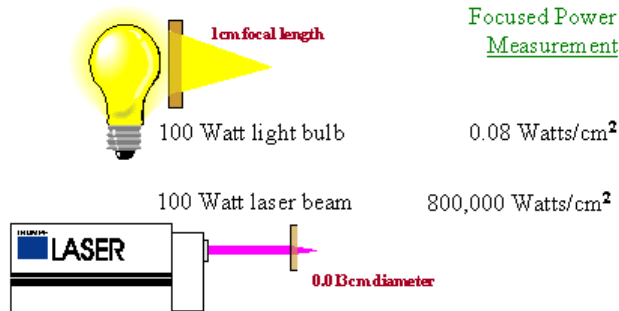
- Many different light frequencies
- Diffused in all directions

Laser Beam



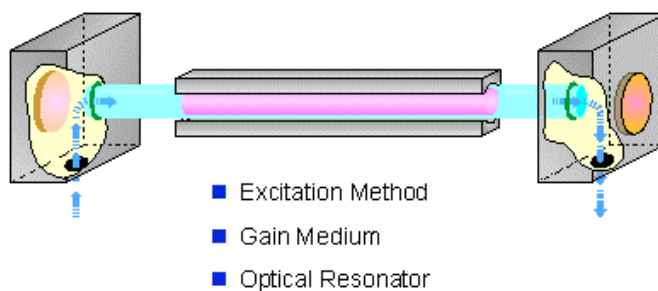
- Single light frequency
- In phase and same direction

Incandescent vs. Laser Light



Konstrukce laseru : pracovní látka, budící zařízení, optický rezonátor

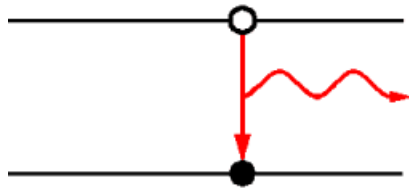
3 Basic Parts To Any Laser



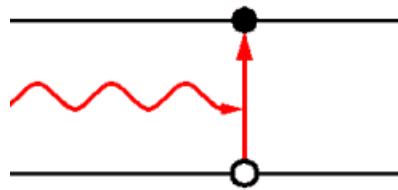
Fyzikální procesy v pracovní látce :

Dosažení inverzní populace energetických hladin aktivního prostředí buzením.

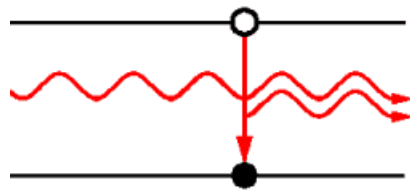
Stimulovaná emise záření



Spontánní emise



absorpce

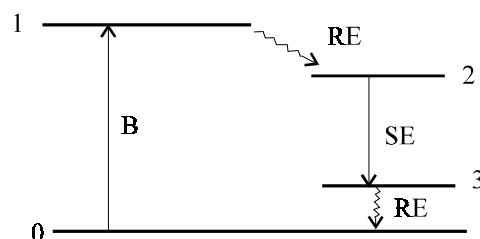
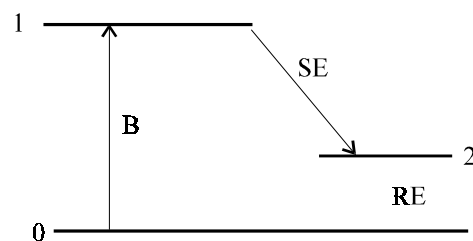
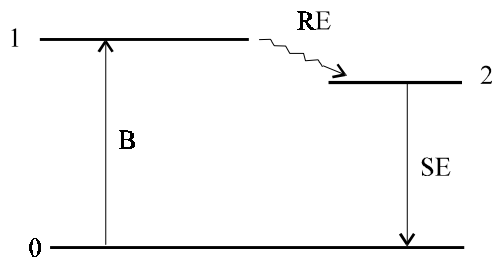


Stimulovaná emise

1916 Einstein

$$h\nu + A(E2) \longrightarrow A(E1) + 2h\nu, \quad h\nu = E2 - E1, \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$$

Hladinové modely:



1, 2, 3, 4 - energetické hladiny, B-buzení, SE- stimulovaná emise, RE-relaxace.

a) Energetické schéma tříhladinového systému, kde hladina 2 metastabilní.

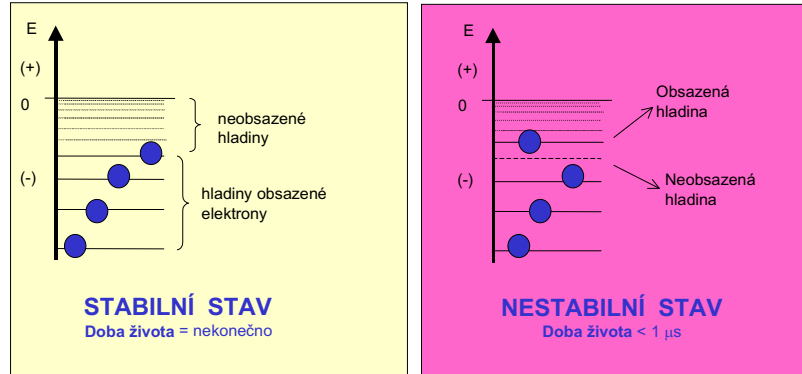
b) Energetické schéma tříhladinového systému s přímým buzením horní hladiny.

c) Energetické schéma čtyřhladinového systému, kde hladiny 2, 3 jsou metastabilní

Princip činnosti laserů (1)

Laser = aktivní prostředí + optický rezonátor

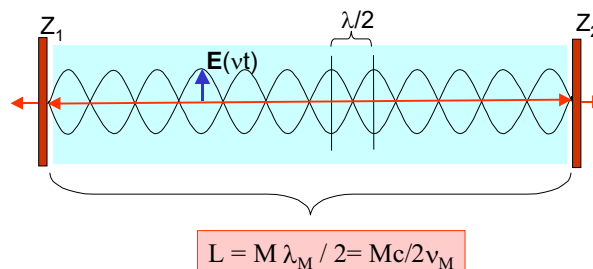
Schéma potenciální energie elektronů v atomu



Funkce optického rezonátoru : zesílení a filtrace

Princip činnosti laserů (3)

Optický rezonátor



- Z₁ a Z₂ jsou rovnoběžná zrcadla s odrazivostí větší než 99%.
- Délka rezonátoru L je M násobkem půlvlny (M je celé číslo). Délce L odpovídají vlastní frekvence rezonátoru ν_M (podélné módy laseru).
- Uvnitř rezonátoru je stojaté vlnění elektrického pole E o frekvenci $\nu_M = c/\lambda_M$

Definován poloměrem křivosti zrcadel R_i a jejich vzdáleností L, které určují parametr stability q_i:
 $q_i = 1 - L/R_i$ (R₁...výstupní zrcadlo)

Pomocné parametry: $s = 1/2 (q_1 \cdot q_2)$ $p = q_1 \cdot q_2$

Oblast stability : $0 < p < 1$

Dobrá mechanická stabilita: $R_i < 5L$

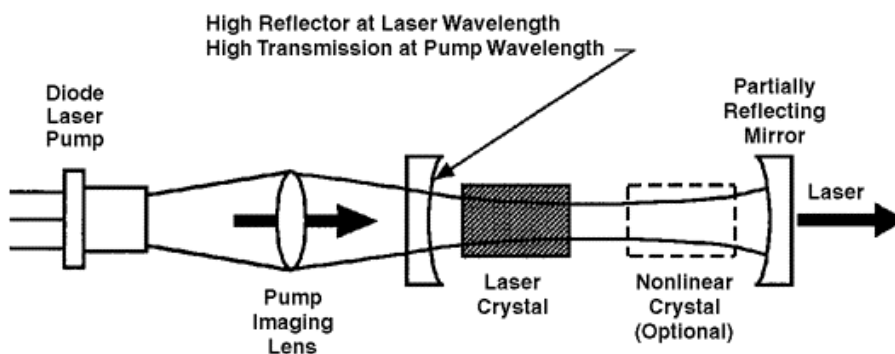
Příklady : planární , fokální, konfokální, koncentrický (q₁ = q₂)

Semi – fokální, semi –konfokální, semi - koncentrický

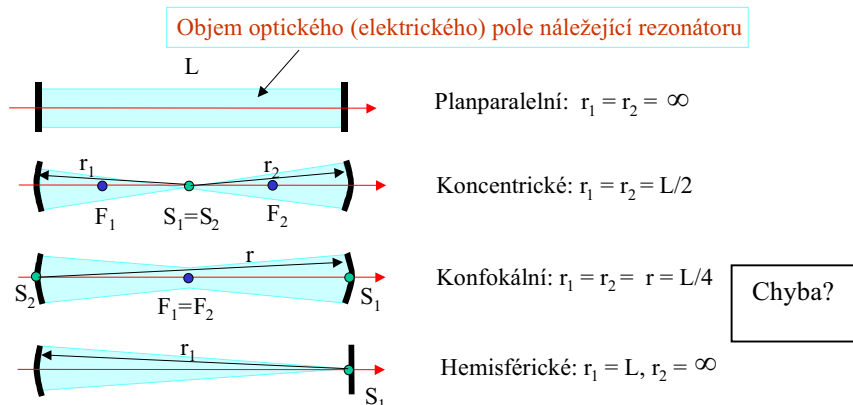
Procvičit na grafu !

Stabilní a nestabilní rezonátor – rozdíl.

Tvar svazku uvnitř rezonátoru s kulovými zrcadly :



Optické rezonátory



Kvalita rezonátoru je určována především odrazivostí zrcadel. Uvedené 4 typy patří mezi tzv. stabilní rezonátory.

Poloměr pasu svazku TEM00 :

$$w_0 = \sqrt{\lambda \cdot L / \pi} \cdot \sqrt{(p(1-p)/2(s-p))}$$

Příklad pro Nd:YAG : mody vyšších řádů se násobí koeficientem M

$$R_1 = R_2 = \text{infinity}, p = 1, s = 1, L = 456,2 \text{ mm}, w_0 = 0,393 \text{ mm} \quad M = 8 \quad w_{\text{oreal}} = 6,2 \text{ mm}$$

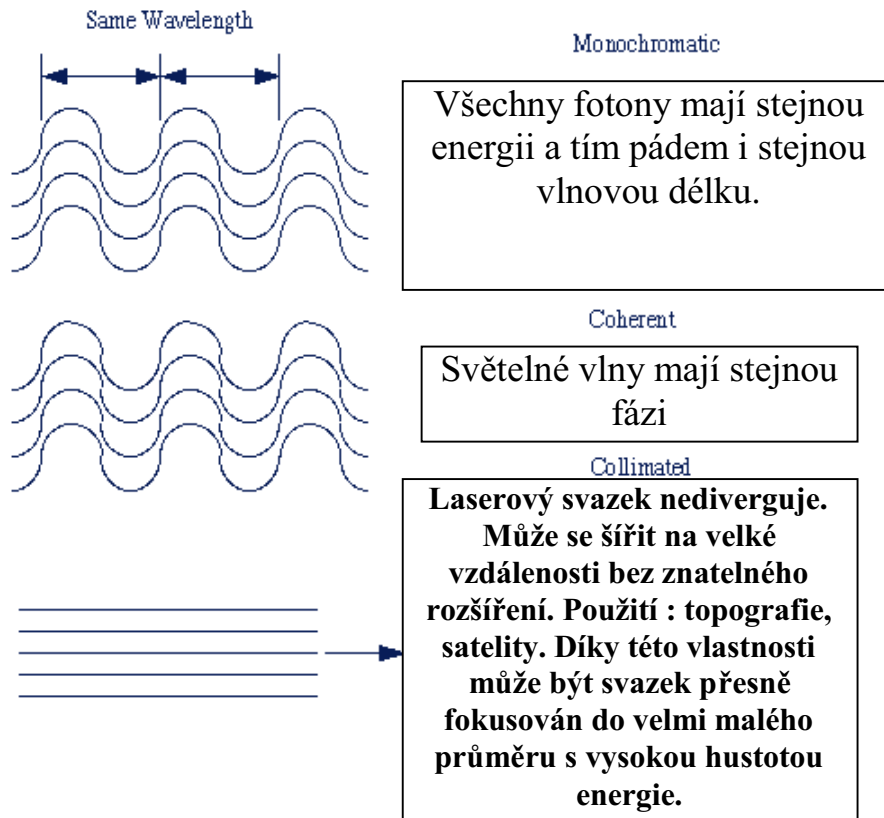
$$R_1 = \text{inf}, R_2 = 2L, L = 566,2 \text{ mm}, p = 1/2, s = 3/4 \quad w_0 = 0,438 \quad M = 2,4 \quad w_{\text{oreal}} = 1,1 \text{ mm}$$

Parametry q_1, q_2 slouží k výpočtu polohy pasu svazku uvnitř rezonátoru, jeho velikosti na zrcadlech.

Vlastnosti laserového záření :

Monochromaticnost (UV, viditelná, IČ), koherence, směrovost

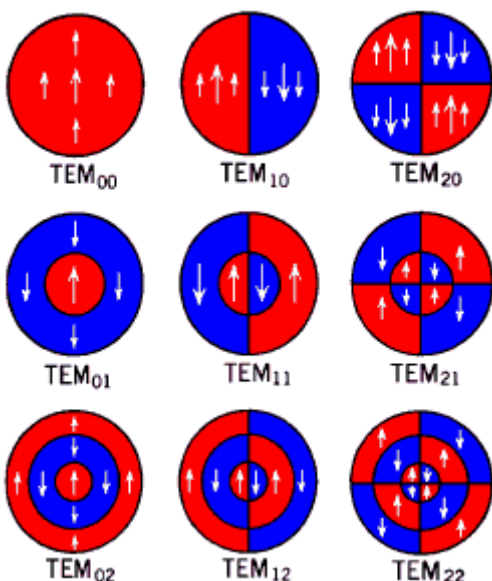
CHARACTERISTICS OF THE LASER BEAM



Tvar laserového svazku

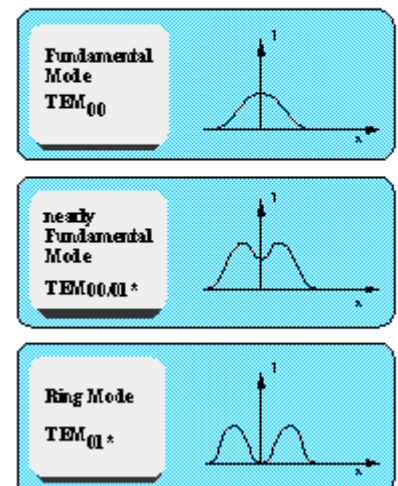
$$I(r,z) = I_0(z) \cdot \exp \{-2 \cdot [r^2/w^2(z)]\}$$

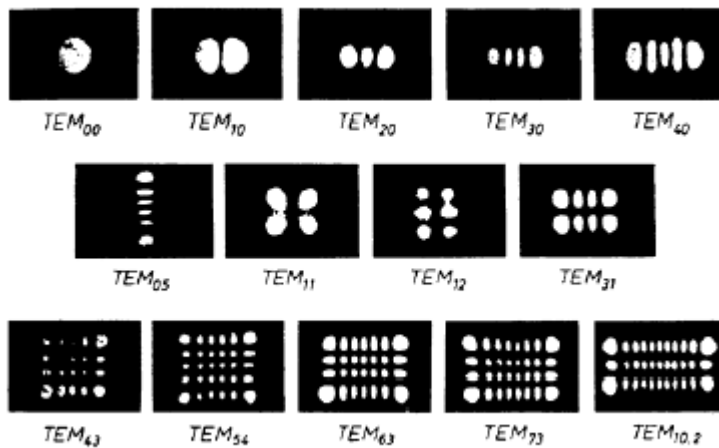
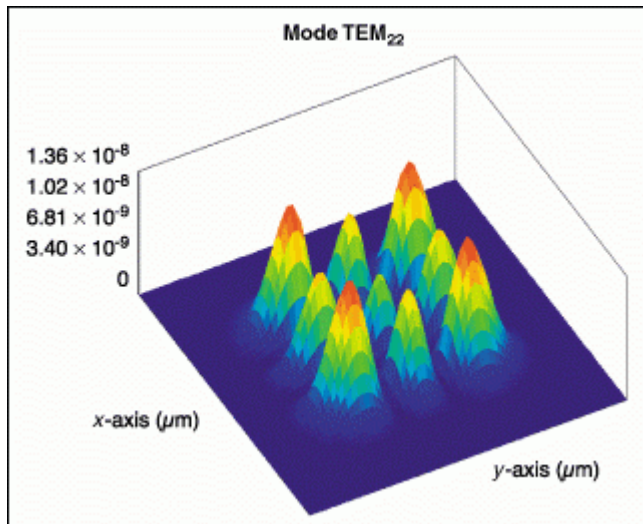
Pro zjednodušení se často příčné mody vysvětlují jako průmět intenzity elmg. pole v rezonátoru do roviny kolmé k ose rezonátoru. Mody se pak značí jako $TEM_{l,m,n}$. Z důvodu velkého počtu možných podélných modů se užívá označení pouze s příčnými mody $TEM_{m,n}$. (viz obr.2. 2) Základní mod je $TEM_{0,0}$, který se nazývá jako gaussovský, neboť intenzita elektromagnetického pole měřená kolmo k optické ose má gaussovský průběh.



Beam Quality

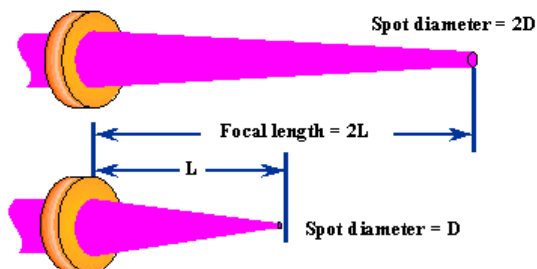
- The beam quality influences the cutting performance
- Thin and medium thick material cut best with a TEM_{00} mode (Gaussian distribution) and narrow focussing
- For thick plate (above 0.75") a TEM_{01} mode (ring mode) is the optimum beam for best cut quality





Zpracování laserového svazku po výstupu z rezonátoru

Focal Length Definition



V každém bodě je svazek charakterizován BPP :

$$w * \theta = \text{konst.}$$

Fokuse čoučkou :

$$D_{\text{foc}} = f * \text{BPP} / D_{\text{in}}$$

$$D_{\text{foc}} = (4\lambda/\pi) * (f/D_{\text{in}}) \cdot M^2$$

Příklad : $D_{\text{in}} = 12\text{mm}$, $f = 100\text{ mm}$, $\text{BPP} = 88$
 $D_{\text{in}} = 12\text{mm}$, $f = 50\text{ mm}$, $\text{BPP} = 88$

$D_{\text{foc}} = 0,70\text{ mm}$ $M2 =$
 $D_{\text{foc}} = 0,35\text{ mm}$ $M2 = 60$

CO2 : $D_{\text{in}} = 30\text{mm}$, $f = 125\text{ mm}$, $D_{\text{foc}} = 0,3\text{ mm}$

$\text{BPP} = 72$ $M2 = 5,33$