

lasery

$$c = \lambda_0 f, \quad \omega = 2\pi f, \quad k = 2\pi n / \lambda_0$$

$$\delta = n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots, \quad \phi = \omega t - 2\pi \delta$$

$$\vec{k} = (k_x, k_y, k_z) := (0, 0, k_z)$$


$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} E_{0x}(k) \cdot \cos(\omega t - k_z z + \phi_{0x}) \\ E_{0y}(k) \cdot \cos(\omega t - k_z z + \phi_{0y}) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I = |\vec{E}_0|^2 = E_{0x}^2 + E_{0y}^2 \quad \vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{k} \perp \vec{E}, \quad \delta_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\gamma \sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi, \quad \mu = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

lasery

profil spektrální čáry
doba života excitovaného stavu

- *laser* 
 - metastabilní hladina
 - inverze stavu
 - stimulovaná emise
 - rezonátor

Vlastnosti spontánní emise

při přechodu elektronu mezi hladinami není vyzářena vlna o jediné frekvenci, ale vždy spektrální čára určité šířky – souvislost s dobou existence τ excitovaného stavu (cca 1 ns)

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_0^2}{4\pi\tau}$$

$\Delta\lambda$ je pološířka vyzářené čáry

jiný pohled na věc: při emisi dochází k postupnému zatlumení oscilace, které foton vysílá – výsledkem je příslušné *vlnové klubko*

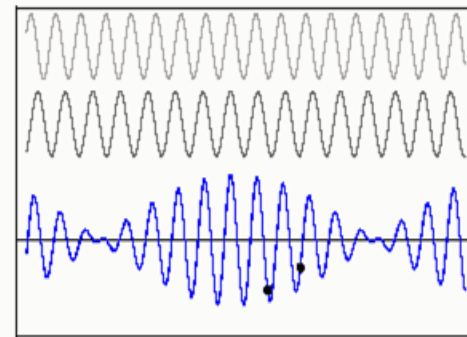
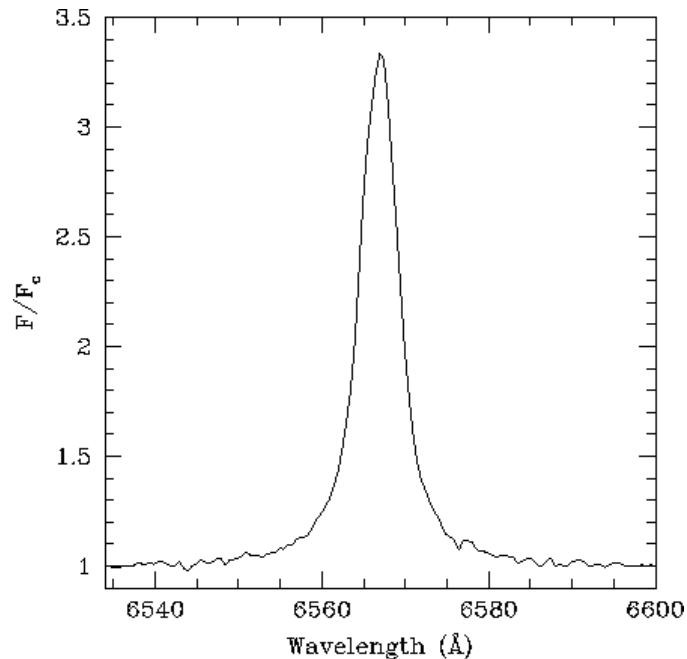
Vlnová klubka

Většinu reálných vln není možné popsat jako monochromatické, je ale možné popsat jako souhrn několika (mnoha) vln monochromatických. Příмым důsledkem je skutečnost, že vlna se již rozprostírá pouze v omezeném Intervalu prostoru.

$$E = \sum_{i=1}^n E_{0i} \cos(\omega_i t - k_i x + \delta_i)$$

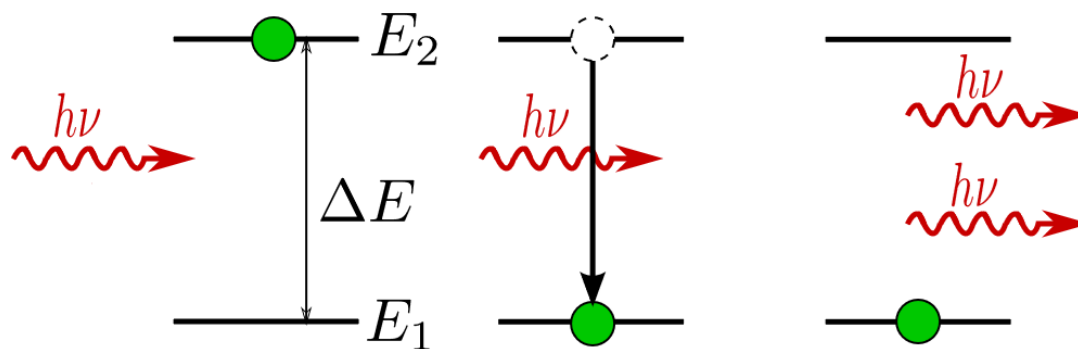
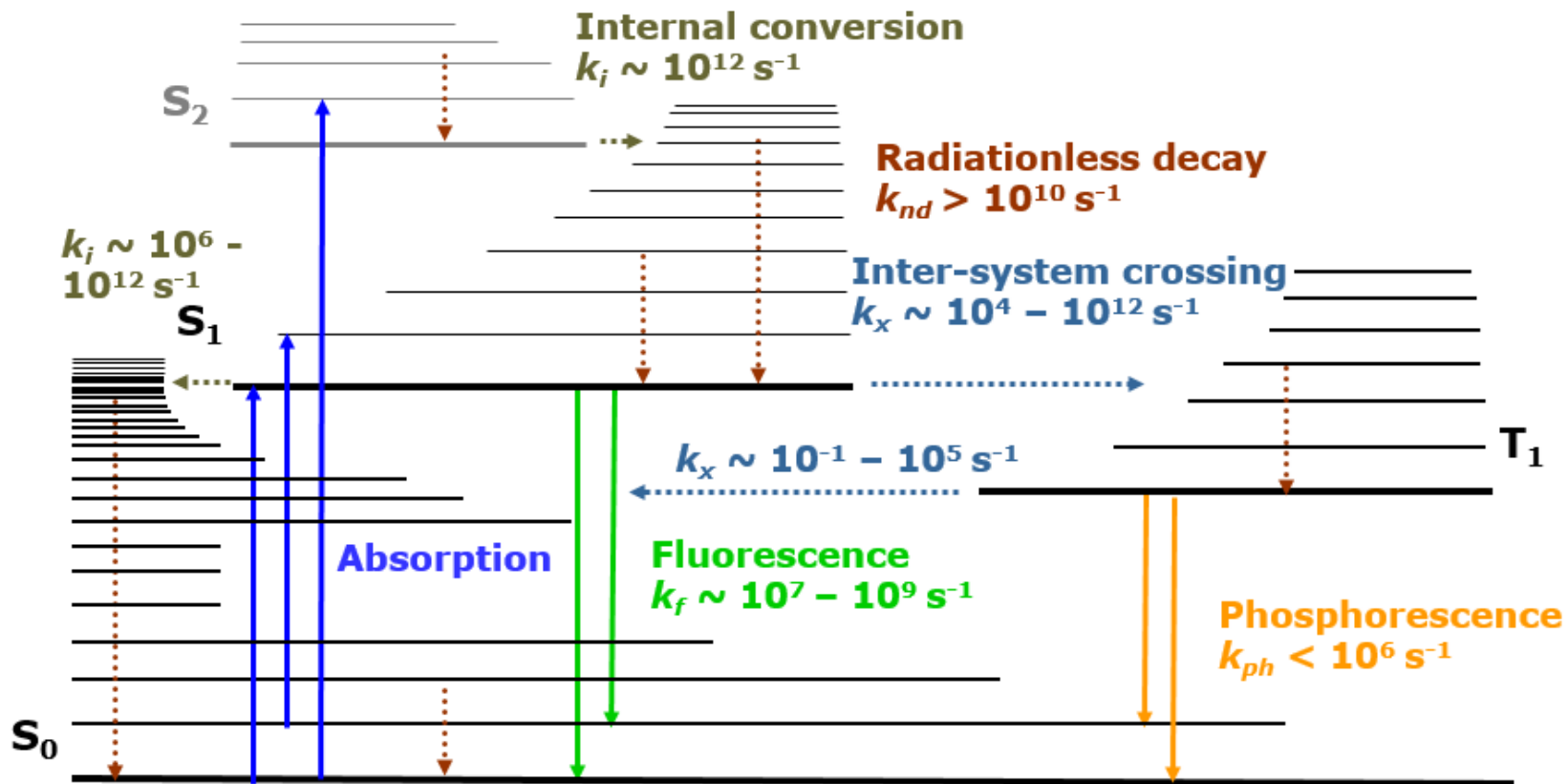
průběh intenzity má složitější vyjádření, pro klubko se definuje jeho koherenční délka jako

$$\delta_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$



In the movie at left two waves with slightly different frequencies

metastabilní hladiny a stimulovaná luminiscence



stimulovaná emise

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

Stimulovaná emise – laser

existence metastabilního stavu (1000 ns)

atomy jsou do excitovaných poloh přepraveny čerpáním (vzniká inverze stavu)

při první spontánní emisi se elektrony lavinovitě deexcitují, ale všechny se stejnou fází a frekvencí

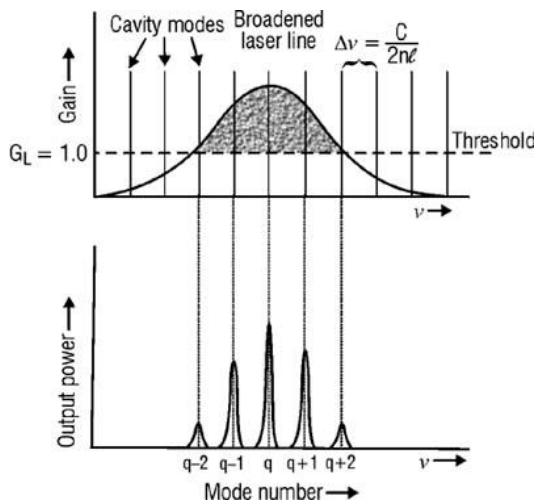
délka rezonátoru ovlivňuje frekvence, s nimiž se vlny v něm mohou šířit,

$$L = m \frac{\lambda}{2}$$

stejně jako šířku vyzařovaného spektra

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2(1 - R)}{4\pi L\sqrt{R}}$$

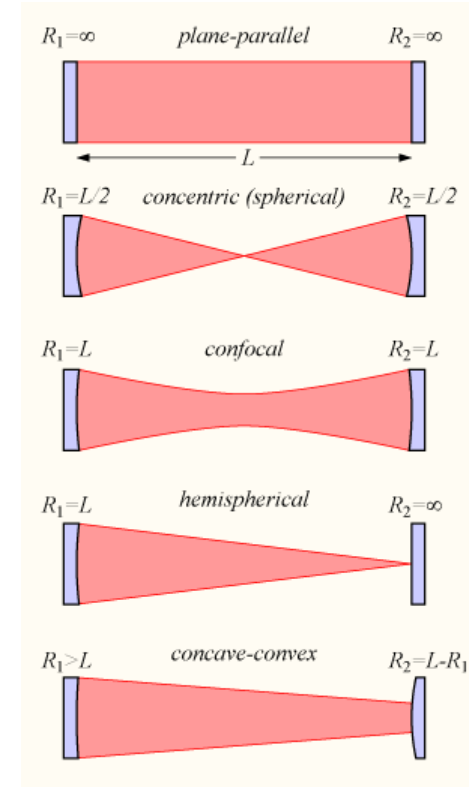
délka rezonátoru také ovlivňuje rozbíhavost svazku (jednotky stupňů), odkud pramení intenzita laserů



kombinací spektrální šířky přechodu a podélných módů rezonátoru vznikají úzké spektrální charakteristiky laserů

vhodným nastavením filtrů lze všechny kromě centrálního módu potlačit a laser se stává monochromatickým; nese si přitom s sebou koherenci způsobenou stimulovanou emisí

Laser je běžný typ (termo)emise, jen šikově uzpůsobený



LASERY emise spontánní x stimulovaná, rezonátor

<i>laser</i>	<i>buzení</i>	<i>režim</i>	<i>použití</i>
He-Ne (N - CO ₂)	srážky (výboj)	kontinuální, 632,8 nm (kontinuální, 1060 nm)	základní laser
rubínový laser: Al ₂ O ₃ - Cr	optické čerpání (ionizace)	pulzní, 694,3 nm	odstranění tetování velký výkon
lontové l. : argonový (kryptonový)		kontinuální, 488 nm, 514 nm kontinuální, viditelná oblast	koagulace sítnice
Nd:YAG	optické čerpání	pulzní, 1064 nm	iridotomie (výkon, velmi krátké pulzy)
polovodičové l. GaAs	průchod proudu	pulzní, 700-900 nm (podle koncentrace příměsi: Al)	běžné použití
eximerové l.: ArF KrF (XeF,...)	chemická reakce	pulzní, 193 nm pulzní, 248 nm (353 nm)	ablace, LASIK
dye lasery: rhodamin 6G, stilben	laserem	pulzní, 570-640 nm pulzní, 390-435 nm	laditelné lasery odstraňování m. znamének
laser s volným elektronem	jiný		

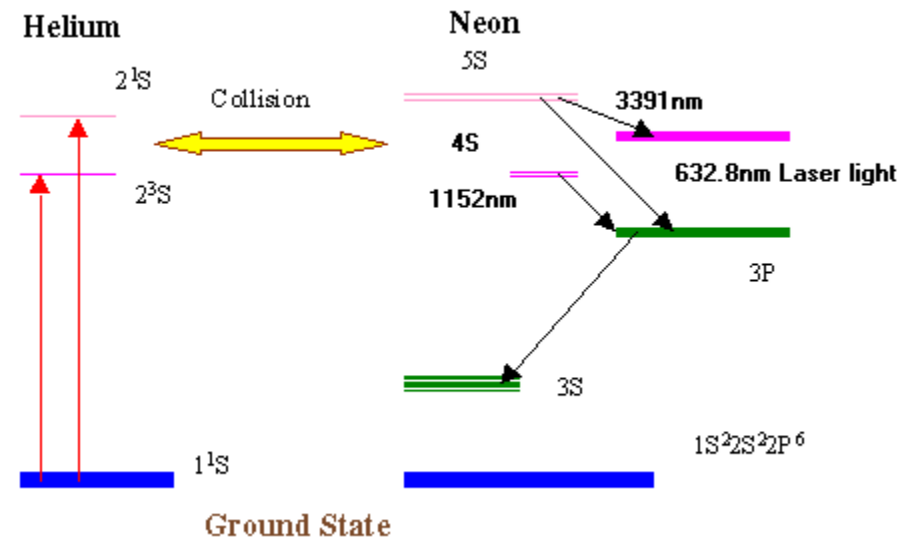
He-Ne laser

vlnová délka 632,8 nm, kontinuální,
výkon typicky do 50 mW

směs helia a neonu v evakuované trubici

buzení realizováno přiložením napětí a
zapálením výboje v trubici

čerpání ovlivňuje zejména He,
Ne získává energii srážkami



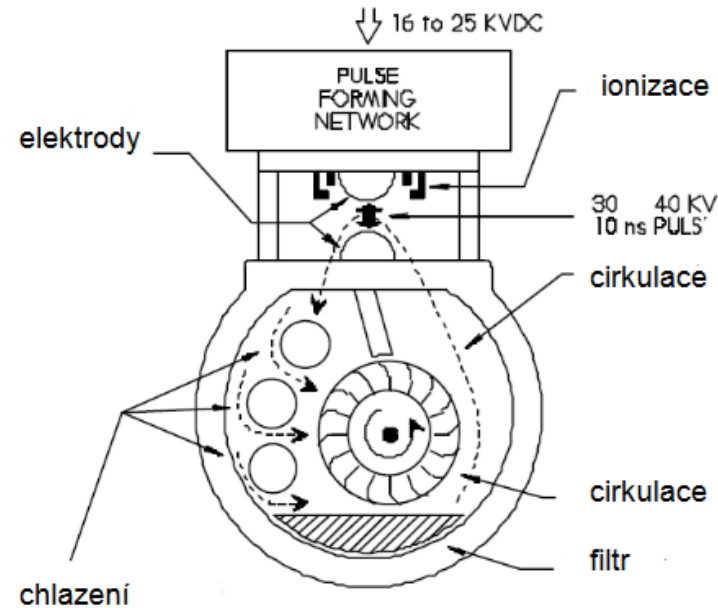
excimerový laser (excited dimer)

vlnová délka UV, nebo blízko UV
pulzní, výkony v řádu jednotek W

Ar/Kr/Xe F/Cl 1-9%, 0.1 %
v evakuované trubici + He/Ne

buzení realizováno příčnými výboji
zapálením výboje v trubici

je nutná cirkulace media,
molekuly typu ArF nejsou stabilní
He/Ne má funkci chladícího media
směs plynů je možné (a nutné) obnovovat



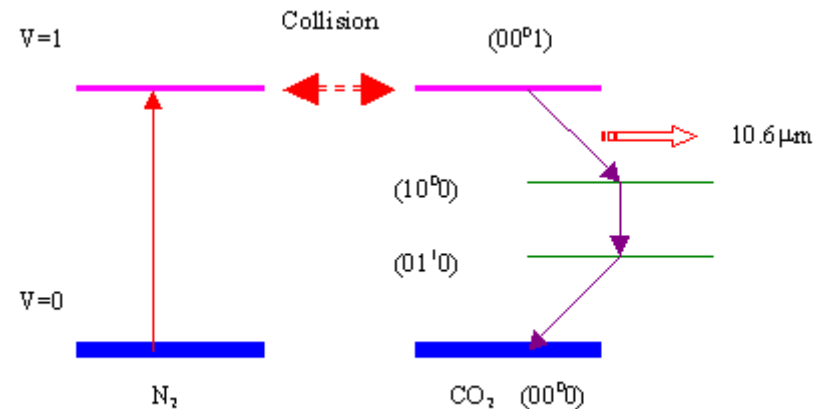
CO₂ laser

vlnová délka 1060nm nebo 960 nm
kontinuální, výkony v řádu desítek kW

směs CO₂, N a He v poměru 0,7:1:7
v evakuované trubici

buzení realizováno přiložením napětí a
zapálením výboje v trubici

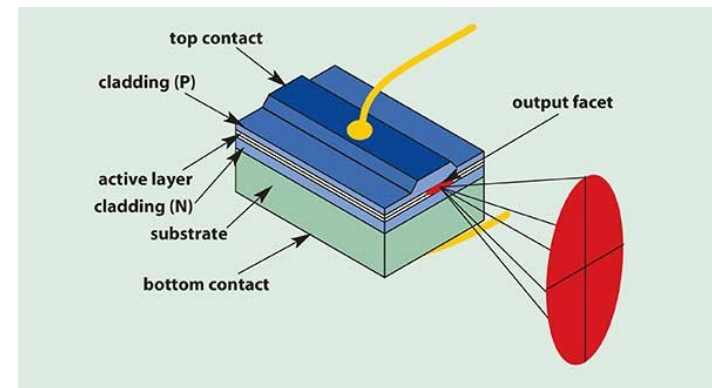
čerpání ovlivní zejména N,
CO₂ získává energii srážkami
He má funkci chladícího media



Polovodičové lasery

GaAs, dopování Al
vlnové délky zpravidla v IČ

čerpání průchodem el. proudu
nižší intenzita
nižší monochromaticita



www.photonics.com

v dnešní době se využívá nelinearity optických materiálů ke generování viditelných a UV laserů z laserů IR

pulzní lasery – Kerova cela

k tomu, aby laser místo kontinuálního výkonu poskytoval energii v oddělených pulzech (které díky tomu obsahují vysoký výkon), je potřeba střídavě přerušovat činnost rezonátoru, a tím i přítomnost stimulované emise

jednou z možností, jak toho dosáhnout, je **Kerova cela**, využívající získanou anizotropii kapaliny

Kerova cela je průhledná nádoba s tekutinou, vybavená bočními deskovými elektrickými kontakty a obklopená zkříženými polarizátory.

Přiložením vnějšího napětí U na kontakty dochází přeorientováním molekul kapaliny ke vzniku anizotropie, úměrné velikosti přiloženého napětí:

$$\phi(n_e - n_o) = \frac{2\pi k}{\lambda d} U^2$$

je-li přikládáno pole střídavé (frekvence až MHz), dochází k periodickému otevírání a zavírání rezonátoru a vznikají pulzy laseru:

v okamžiku, kdy má pole nulovou velikost, není anizotropie přítomna – světlo zůstává **lineárně polarizované** a neprojde tudíž přes soustavu dvou zkřížených polarizátorů – **rezonátor je otevřen**, laser nesvítí

v okamžiku, kdy má pole maximální výchylku, je anizotropie největší – světlo se stává elipticky polarizovaným a projde (částečně) přes soustavu dvou zkřížených polarizátorů – **rezonátor je uzavřen**, laser svítí

