



UNIVERSITY OF  
**OXFORD**

# 😊 Úžasný svět LASER-u 😊

**Kateřina Falk**

Astrotábor, Vlčková

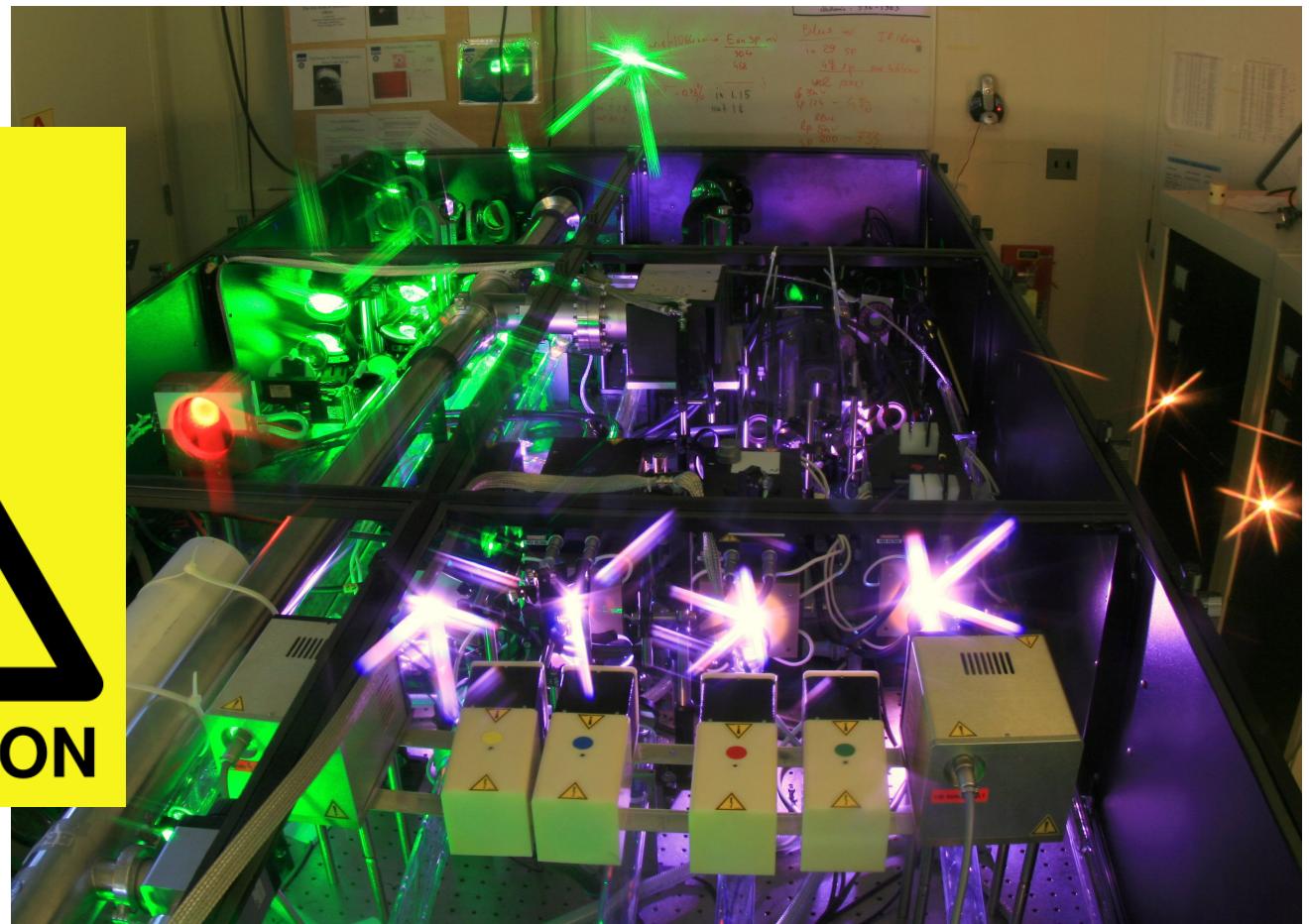
5. srpna 2010

# Obsah přednášky

- Úvod
- Základní principy atomové fyziky
- Základní prvky laseru
- Optika s lasery
- Nelinearní optika
- Technologie
- Prehled typu laseru
- Využití v průmyslu, medicíne a ve vědě
- Diskuze

# Úvod

- LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



# Záření z LASERU

- koherentní (podelne i napric)
- monochromaticke (kvazi-monochromaticke)
- muze mit velmi presnou/kontrolovatelnou polarizaci (pokud zrcadlový rezonator ma v sobe polarizacni prvek)
- velmi zamereny paprsek s nízkou divergencí
- muze mit vysokou svetelnou intenzitu/zarivost



# Koherentní světlo

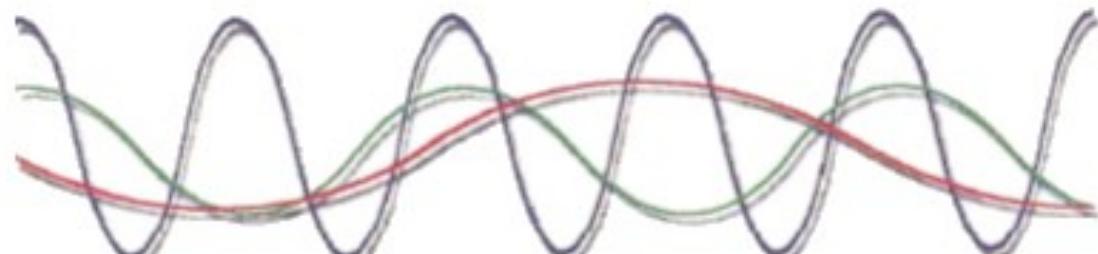
Koherentní světlo má konstantní relativní fázi.

- ⇒ stejná vlnová délka
- ⇒ vlny mají stejnou frekvenci
- ⇒ pohybují se prostorem současně

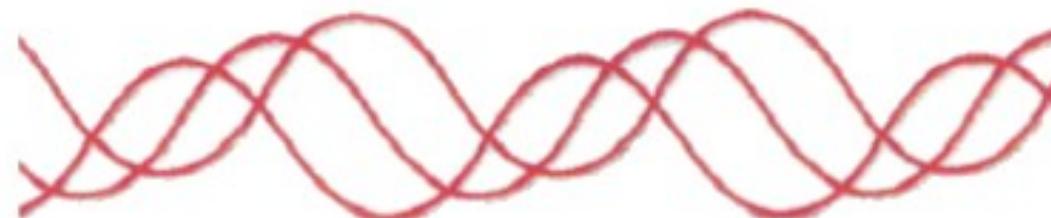
$$\underline{E}(x,t) = \underline{E}_0 \cdot e^{i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x}) + \phi}$$

$$\underline{E}(x,t) = \underline{E}_0 \cdot \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x} + \phi)$$

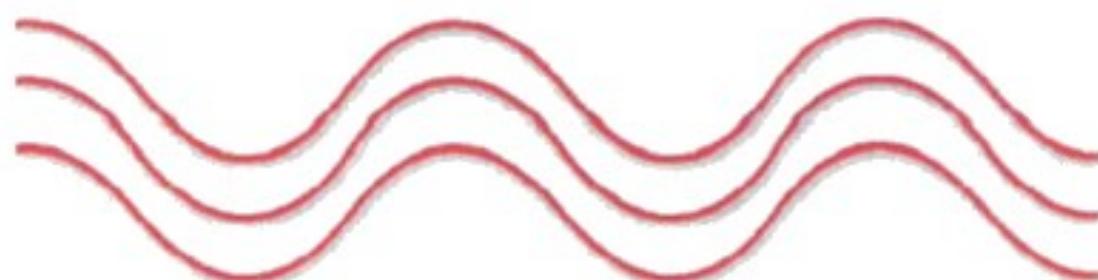
$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$



Sunlight (many different colors)



LED: one color (monochromatic) and waves not in phase (non-coherent)

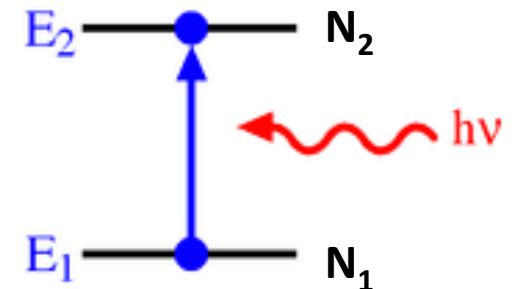


LASER: One color (monochromatic) and waves in phase (coherent)

# Einsteinovy koeficienty

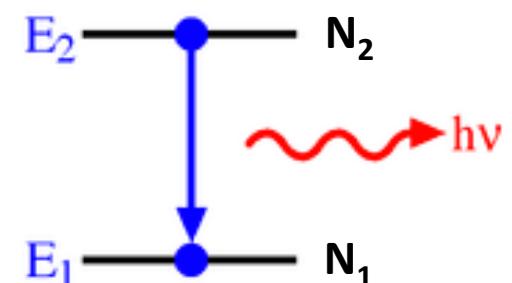
- **Absorbce:** koeficient  $B_{12}$  (pravdepodobnosť procesu)

- proces, pri ktorom atom absorbuje foton/energiu a elektron "vyskoci" z nízkej energetickej hladiny na vyššiu



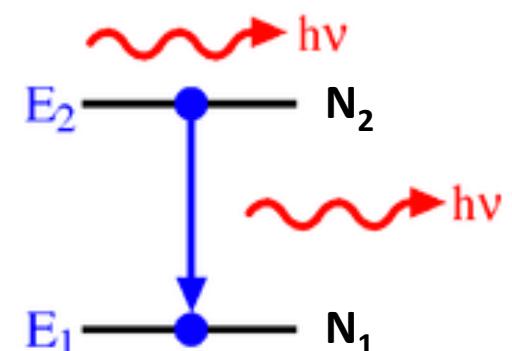
- **Spontalni emise:** koeficient  $A_{21}$

- elektron spontane (bez vnejsiho vlivu) spadne z vyšsi energetickej hladiny na nízku a pritom uvolni energiu v podobe fotonu



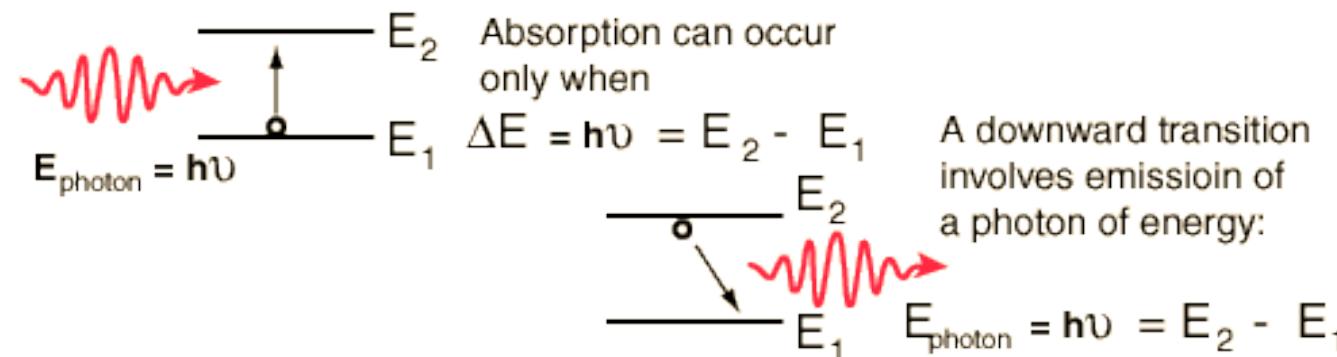
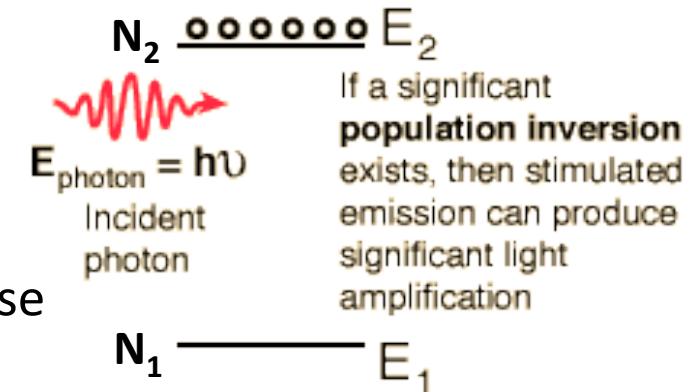
- **Stimulovana emise:** koeficient  $B_{21}$

- elektron je stimulovaný prichádzim fotonom/ elektromagnetickou vlnou spadnout z vyšsi energetickej hladiny na nízku a uvolni pri tom energiu v podobe druhého fotonu



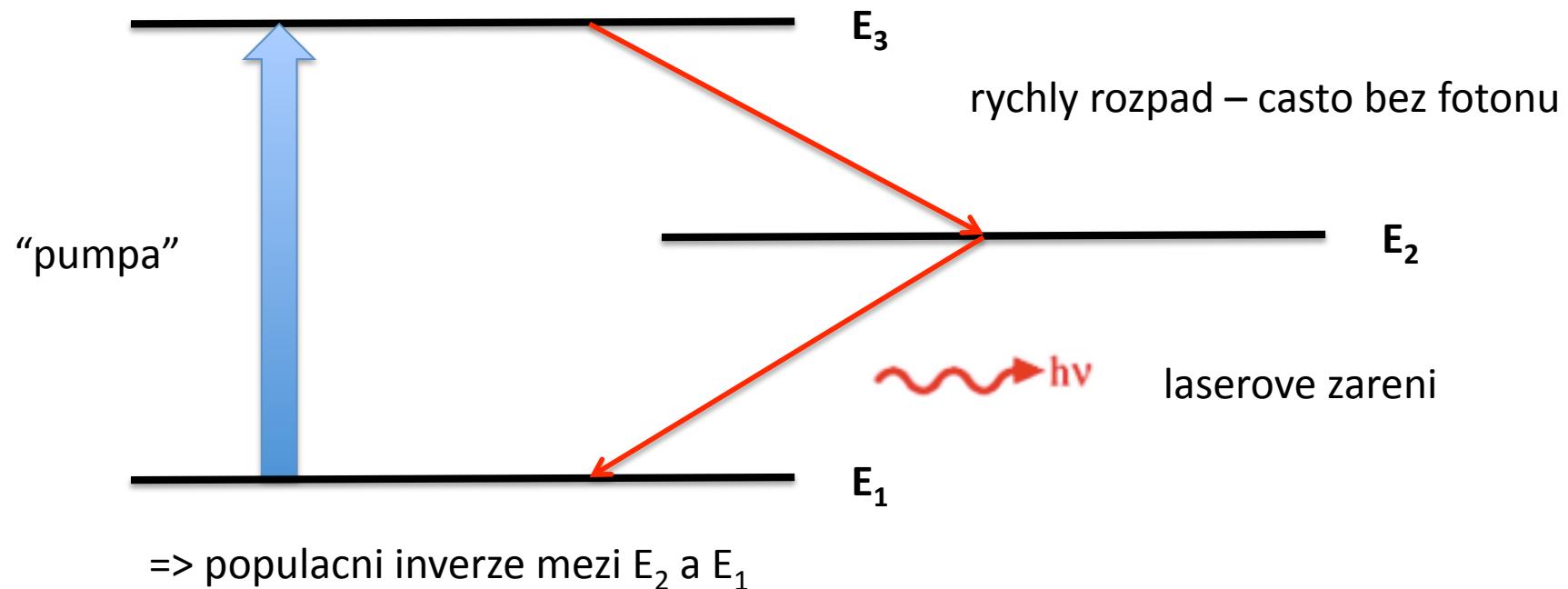
# Einsteinovy koeficienty

- LASER potrebuje tzv. **populacni inverzi** = vetsi mnozstvi elektronu na vyssi energetické urovni nez na nizsi ( $N_2 > N_1$ ) => svetelny vykon
- V roce 1917 Einstein predpovedel, ze na zaklade termodynamickych zakonu (Planckova vyzařovacího zákona) pravdepodobnost spontalni emise emise, A, se vztahuje k pravdepodobni stimulovane emise, B, rovnici:  $A/B = 8\pi h\nu^3/c^3$
- Na zaklade tohoto vztahu bylo dokazano, ze ve dvou urovnovem systemu prichazi zareni ma stejnou pravdepodobnot "pumpovat" elektrony z  $E_1$  do  $E_2$  jako stimulovat elektrony, ktere jiz jsou ve vyssi hladine  $E_2$  k padu na  $E_1$  => system neni schopen udrzet populacni inverzi (vetsi mnozstvi elektronu ve vyssi urovni), ktera je zapotreby, aby system (laser) mel positivni vykon (zareni)



# Atomove urovne laseru

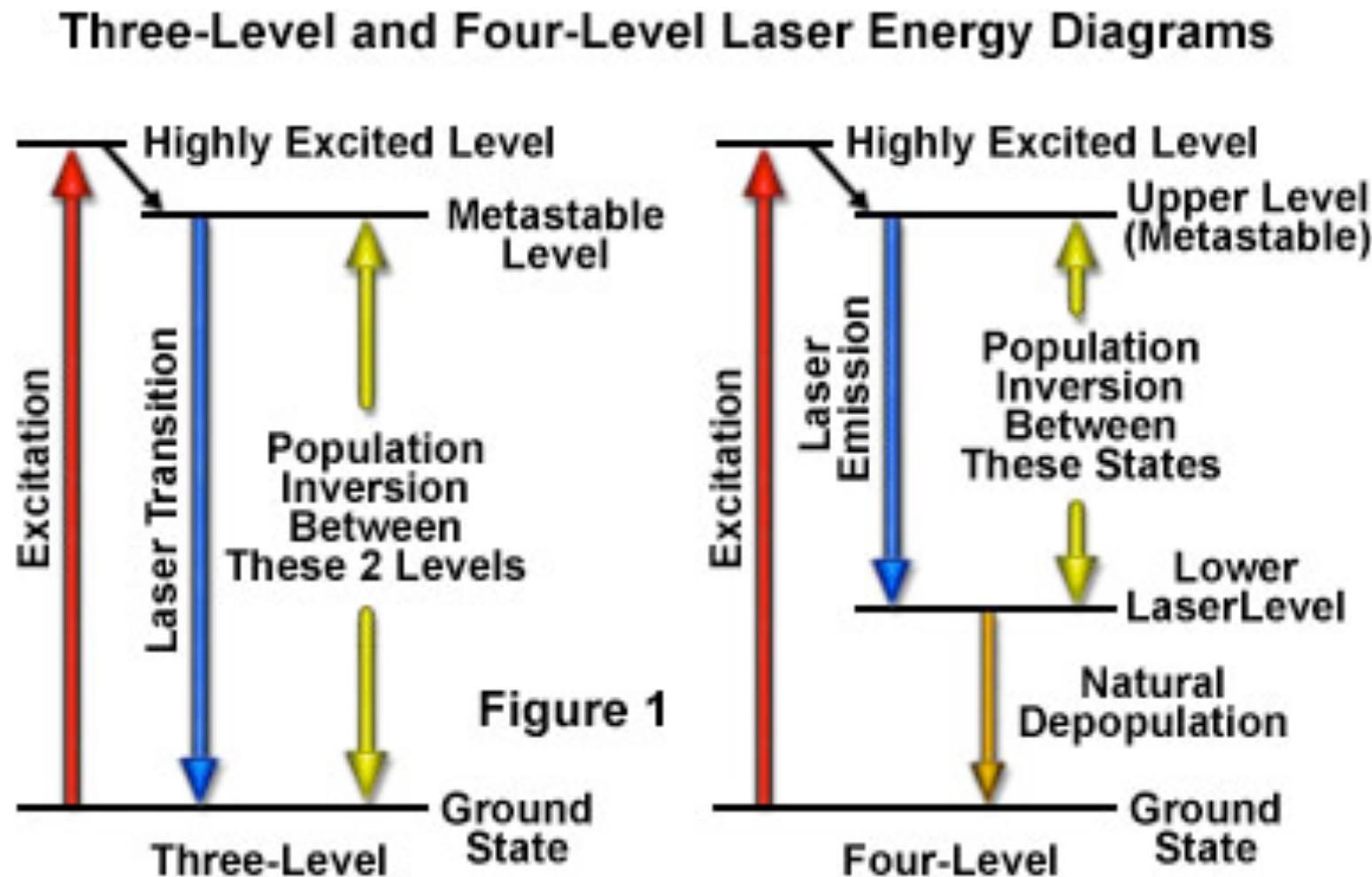
- Minimalne 3 atomove urovne jsou zapotrebi, aby se vytvorila populacni inverze a laser fungoval na zaklade stimulovane emise:



- "Pumpa" dodava dostatek energie, aby elektrony mohly excitovat z  $E_1$  na  $E_3$ , muze to byt dalsi laser, svetlo z lampy nebo elektricky proud (elektronove tranzice na zaklade ruznych mechanizmu)

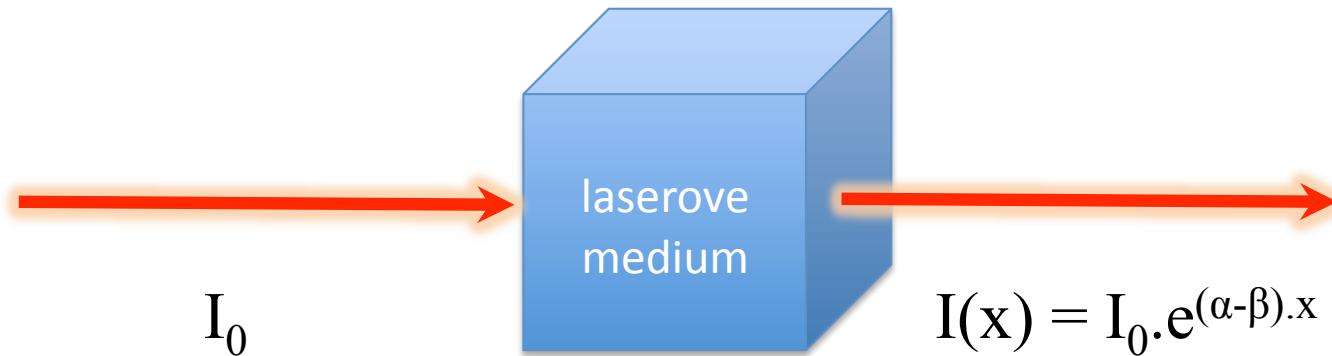
# Atomové úrovne laseru

- Typické laserové systémy využívají 3 az 4 atomové úrovne:



# Laserove medium

- Výkon laseru taky záleží na absorpcnich vlastnostech media, ktere se pouziva k amplifikaci elektromagnetickeho zareni
- $\alpha$  = koeficient narustu elektromagnetickeho pole/zareni
- $\beta$  = koeficient energetickych ztrat



Narust elektromagnetickeho zareni/pole (výkon) pokud  $\alpha > \beta$

- Tyto materialy byvají drahe, velké množství je neekonomicke, vic nez jeden pruchod mediem je potreba, aby energetické pole narustalo a laser začal sesilovat pricházejí zareni => výkon

# Zrcadlový rezonátor

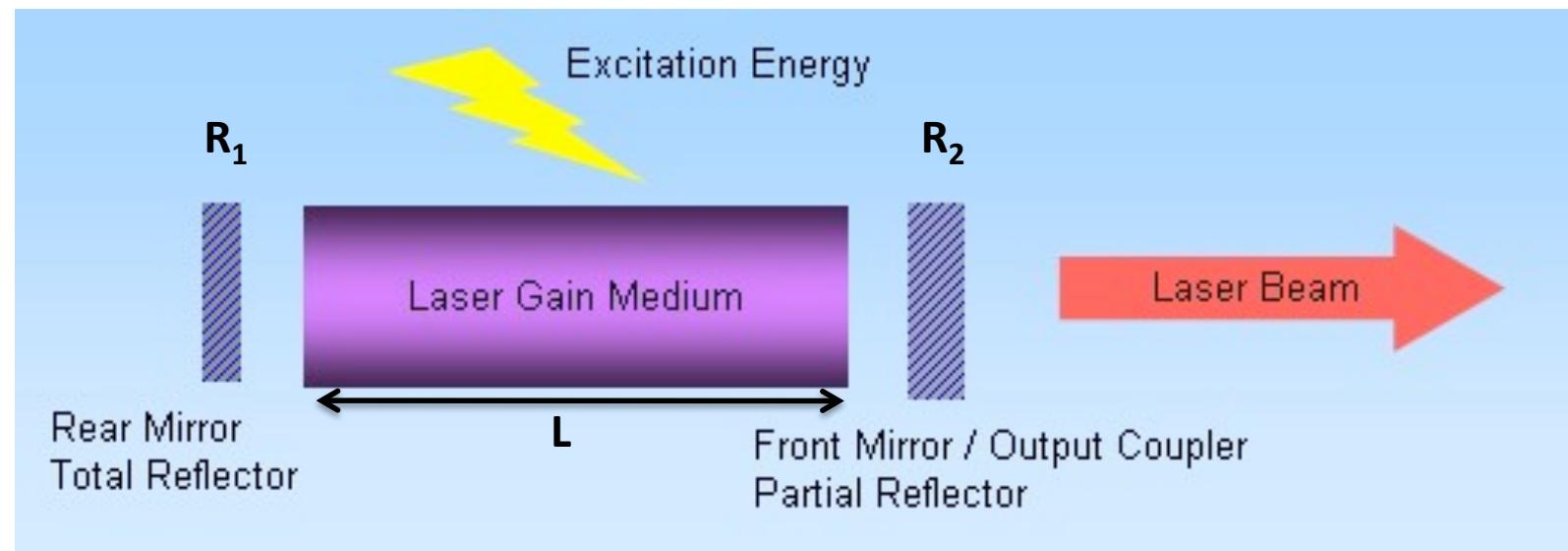
- Pro praktické použití se laserové medium dává do zrcadloveho rezonátoru, ve kterém se světlo mnohokrát odraží => mnohonásobné navýšení světelného výkonu
- Rezonátor se také používá na kontrolu frekvence a prostorových vlastností laserového paprsku

Po dvojím prochodu záření:

$$I(2L) = I_0 R_1 R_2 \cdot e^{(2\alpha - \beta)L}$$

Aktivace laseru:

$$R_1 R_2 \cdot e^{(2\alpha - \beta)L} > 1$$



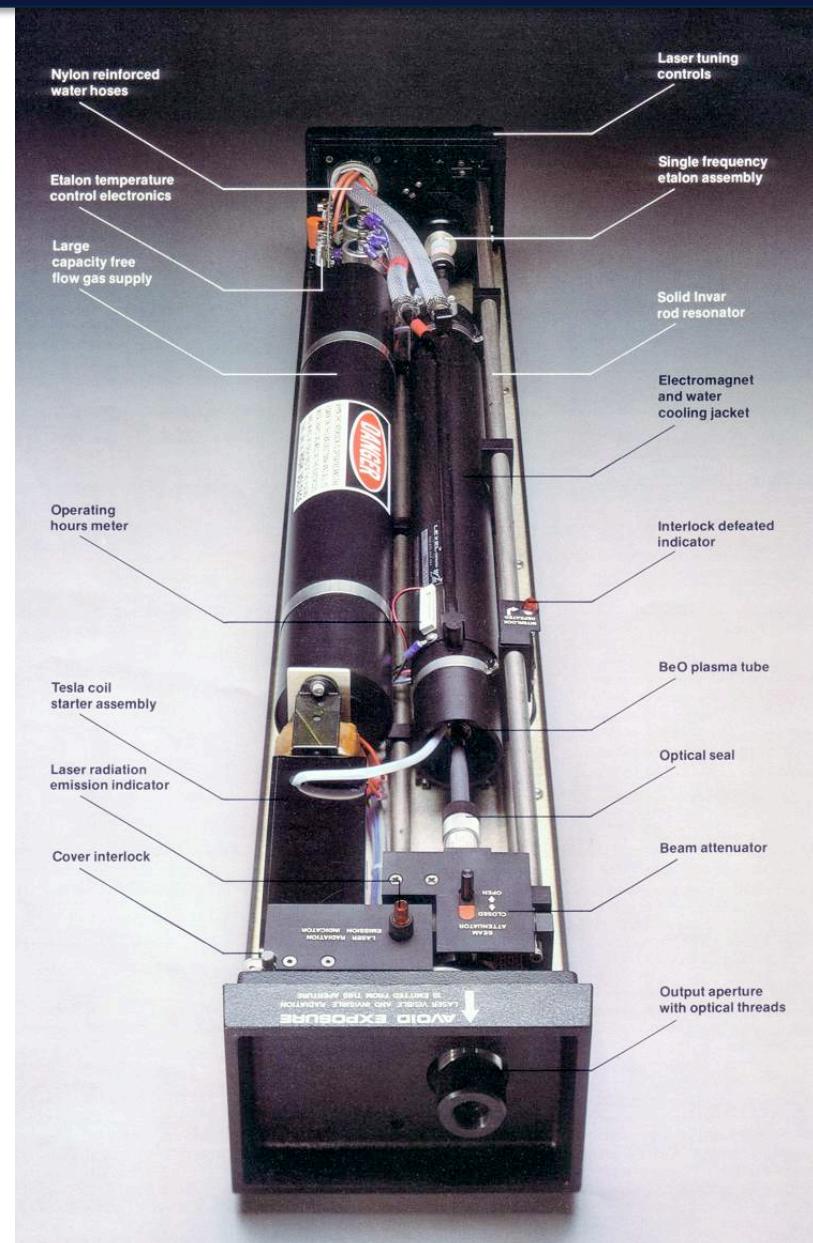
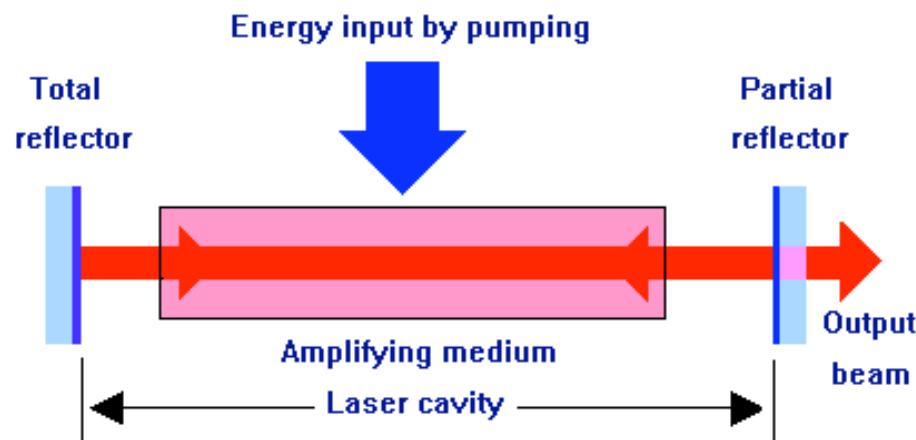
# Technologie laseru

## Zakladni prvky laseru:

- medium
- pumpa
- opticky rezonator

## Dalsi prvky:

- polarizator, Pockels cell, difrakcni prvky, iris



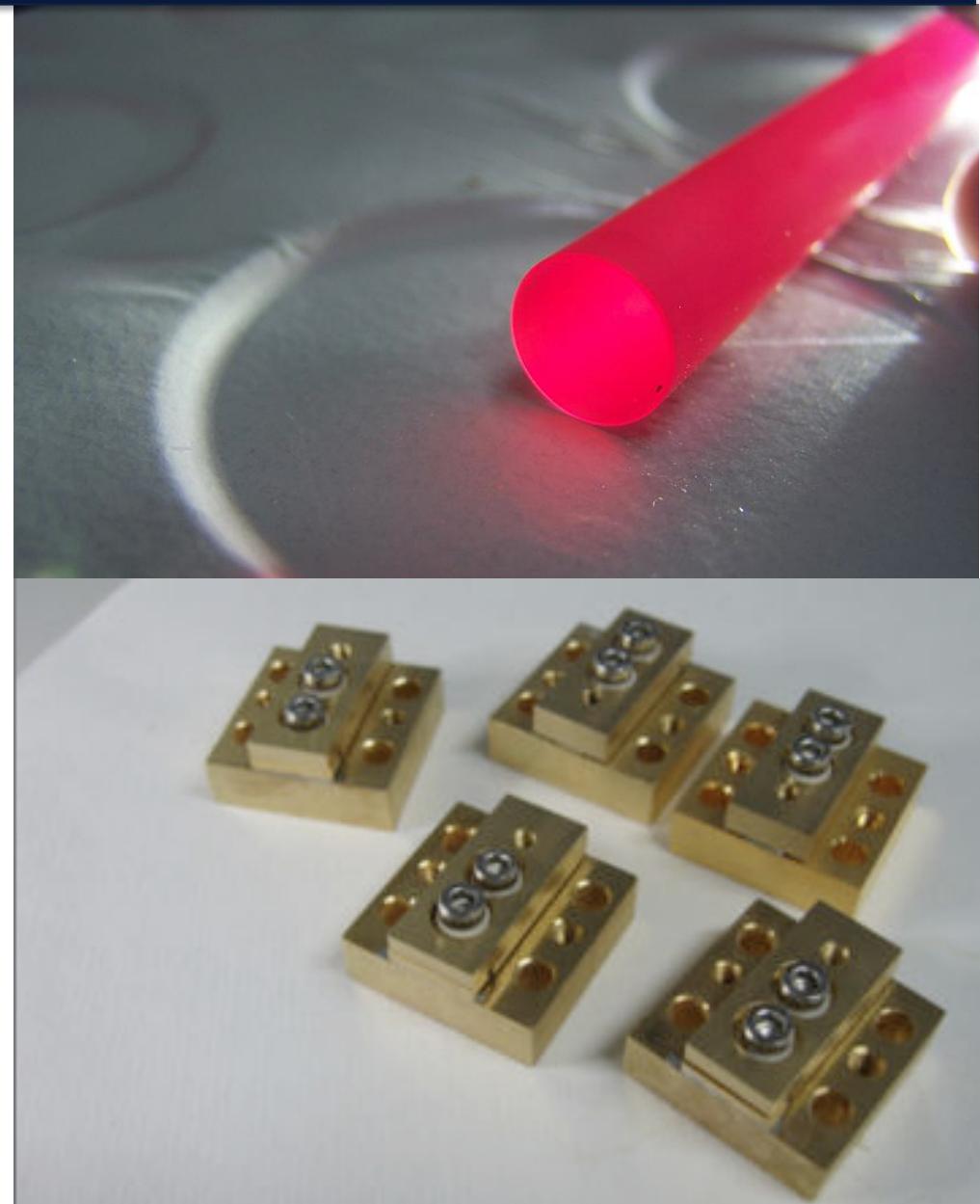
# Typy pump

- **Laser** – vlnova delka musi korespondovat presnemu energetickemu rozdilu mezi atomovymi hladinami
- **Lampa** – zari v sirokem optickem spektru s vysokym výkonem kolem vyzadovane enegeticke tranzice
- **Elektricky vyboj** – kolize elektronu z vyboje primo excituji elektrony z nizsi energeticke urovne laseroveho media



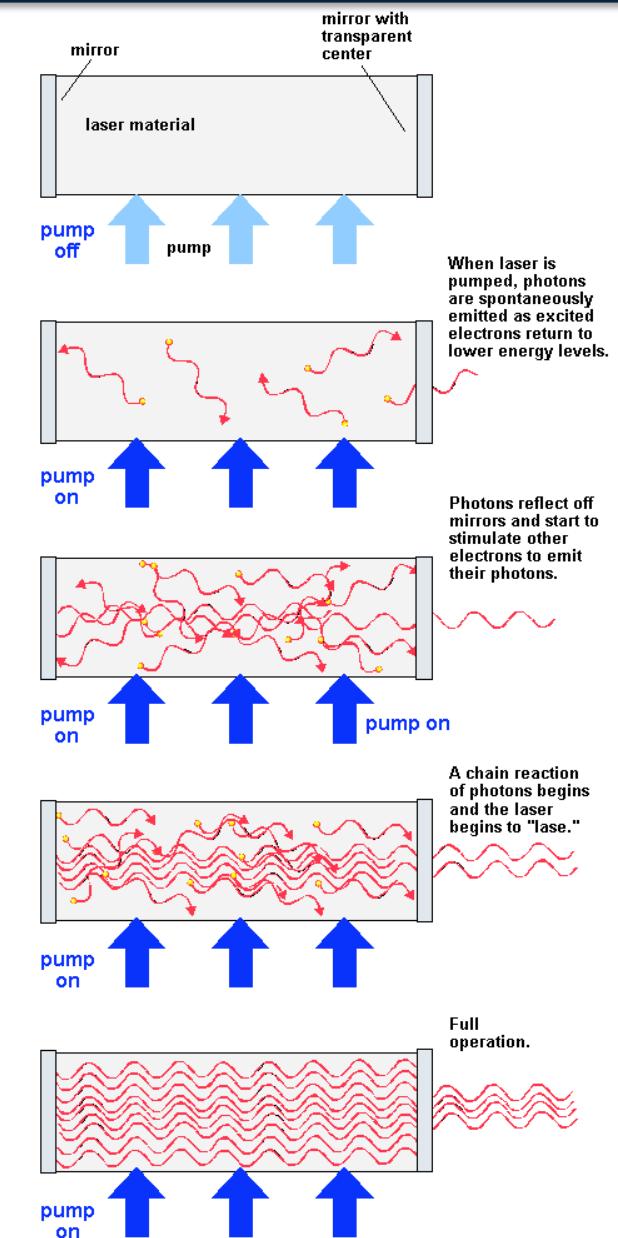
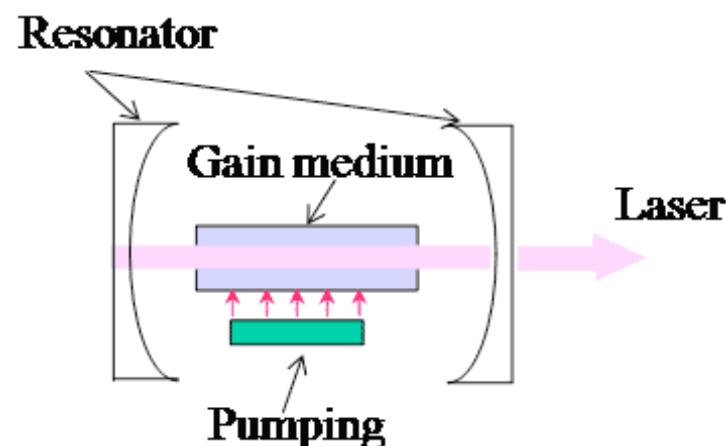
# Laserova media

- Mnoho ruznych laserovych medii se pouziva pro vsemozna vyuziti
- Medium ovlivnuje vlnovou delku laseru  $\lambda$  (elektronove tranzice v atomu, atd.)
- Vlastnosti media (vodivost, tepelne vlastnosti, skupenstvi) ovlivnuji aplikace laseru
- Priklady:
  - pevne latky/krystaly (rubín, Nd-YAG – IR -> optické)
  - tekutiny/barviva (excimer - UV)
  - plyny/plasma ( $\text{CO}_2$ , HeNe, Ar – IR -> Rentgen)
  - polovodice (diody) - optické



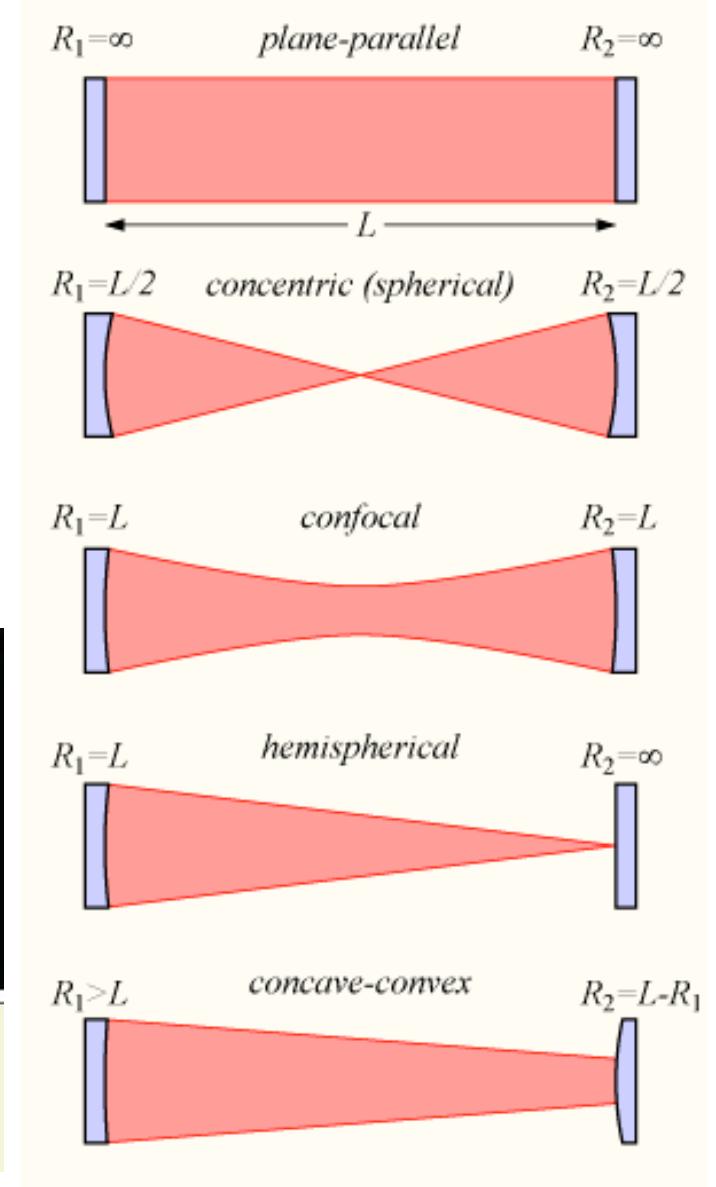
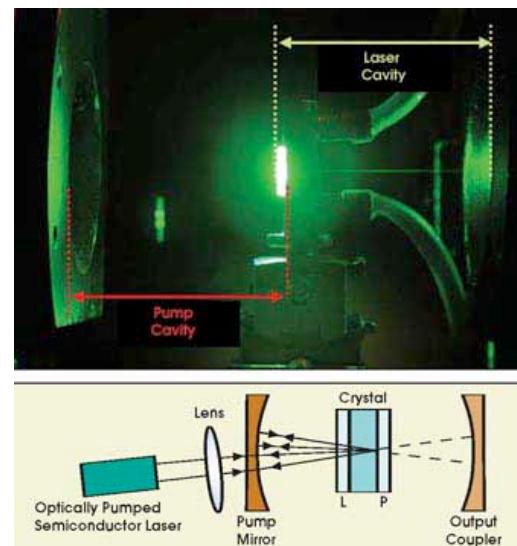
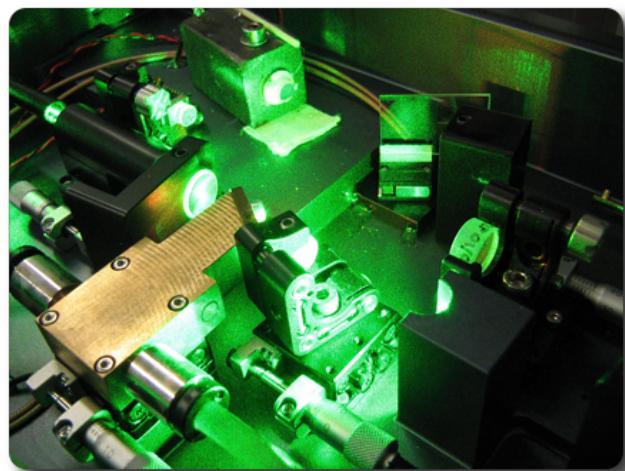
# Opticke rezonatory I

- Opticky rezonator se zklada ze dvou zrcadel, mezi kterymi se neustale odrazi paprsek
- Mezi zrcadly se nachazi laserove medium, ktere paprsek pri kazdem pruchodu zesili/amplifikuje
- Jedno zrcadlo je polo-propustne, takze kdyz je paprsek dostatecne silny a koherentni svetlo muze opustit resonator



# Opticke rezonatory II

- Ve svete se pouziva cela rada ruznych rezonatoru
- Tvary zrcadel se lisi podle aplikace, vlnove delky laseru, frekvence, typu operace, tvaru paprsku, atd. atd.
- Resonatory se daji ladit, tak ze ten samy laser muze pracovat v nekolika ruznych rezimech, vlnovych delkach a delkach laseroveho pulsu



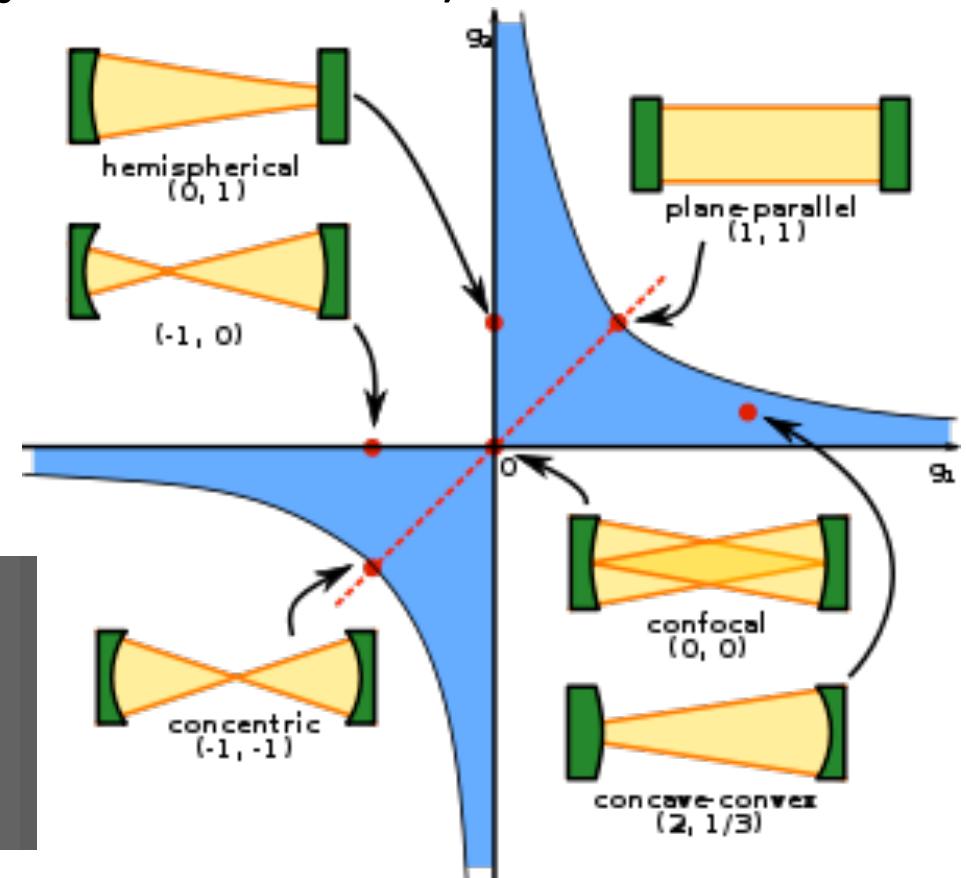
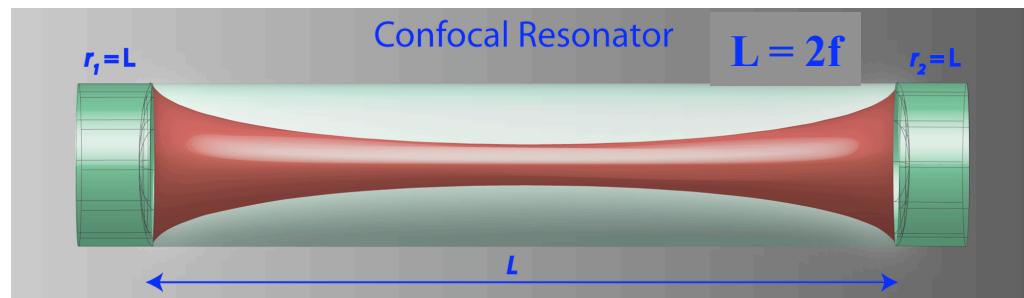
# Opticke rezonatory III

- Pokud je rezonator nestabilni, zacne se z neho po nekolika odrazech paprsku ztracet svetlo
- Stabilita modu v rezonatoru zalezi na tvaru a umistení zrcadel
- Definice parametru stability (pro jakekoliv zrcadlo):

$$s = 1 - L/2f = 1 - L/R$$

- Stabilni rezonator:

$$0 < s_1 \cdot s_2 < 1$$



# Opticke rezonatory IV

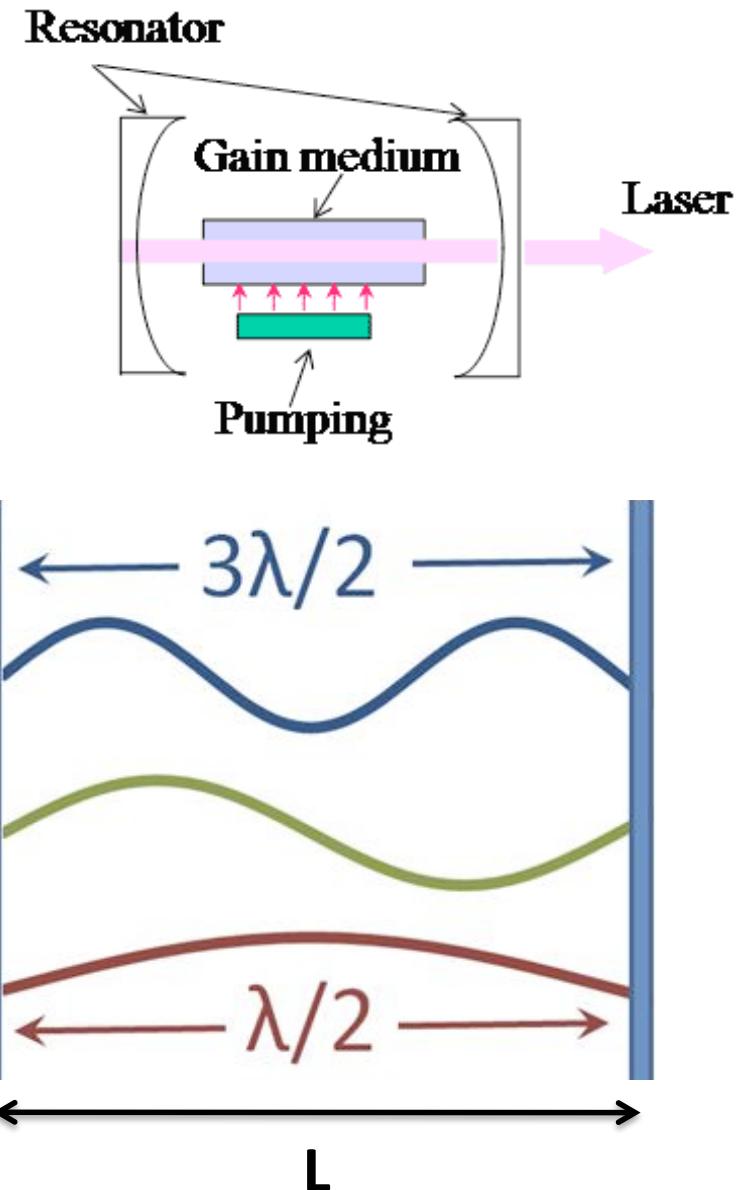
- Elektromagneticke vlny uzavrene v rezonatoru se odrazeji od zrcadel, tak ze jejich uzly konci na povrchu zrcadel  
=> povolene vlnove delky zavisi na delce rezonatoru:

$$n = 2L / \lambda \quad => \text{mnozstvi } \lambda/2 \text{ v rezonatoru}$$

$$\omega = nc / 2L \quad => \text{frekvence zareni v rezonatoru}$$

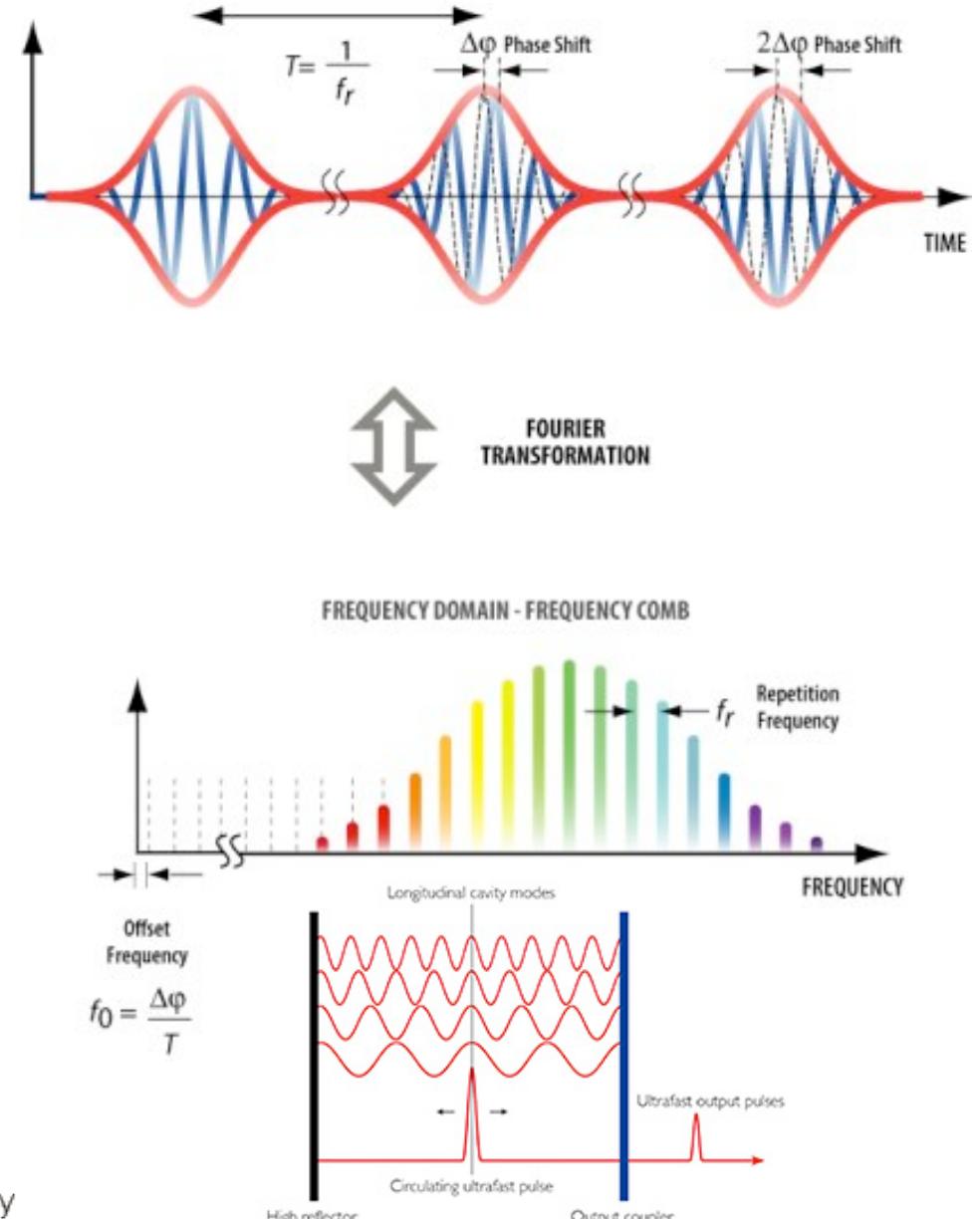
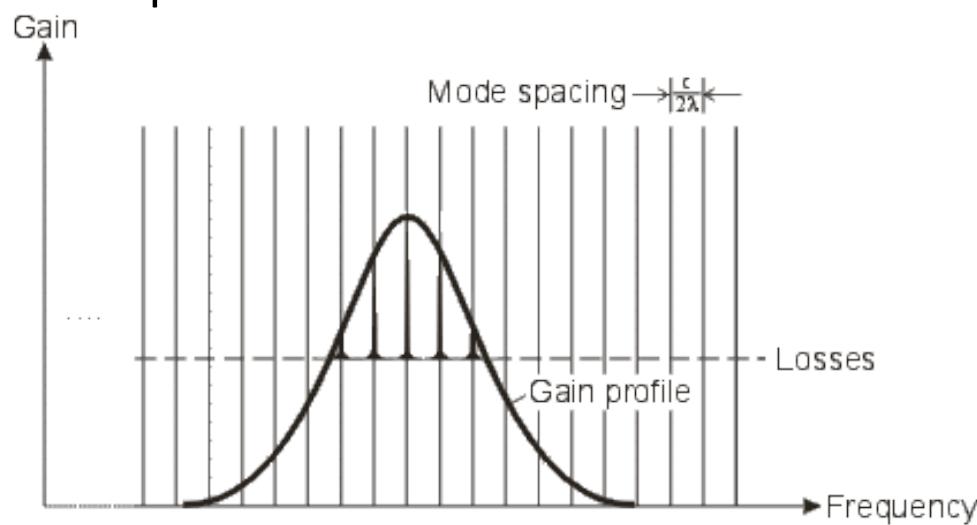
$$\Delta\omega = c / 2L \quad => \text{oddeleni jednotlivych frekvenci}$$

- Vlny pak navzajem interferuji kontruktivne a destruktivne



# Frekvenční mody

- Lasing pro každý rezonátor je omezen na několik povolených podélných (frekvenčních) modů => rada specifických frekvencí
- Tyto mody vznikají na základě konstruktivní interference vln uvnitř optického rezonátoru
- Každý mod se vztahuje k určité vlnové délce, ve které dany laser může operovat



# Prostorove mody

- Transversni mody paprsku zalezi na tvaru resonatoru
- Maji na svedomi profil intenzity paprsku (tvar v prostoru)
- Zakladni prvni/symetricky mod ma profil Gaussovy krivky:

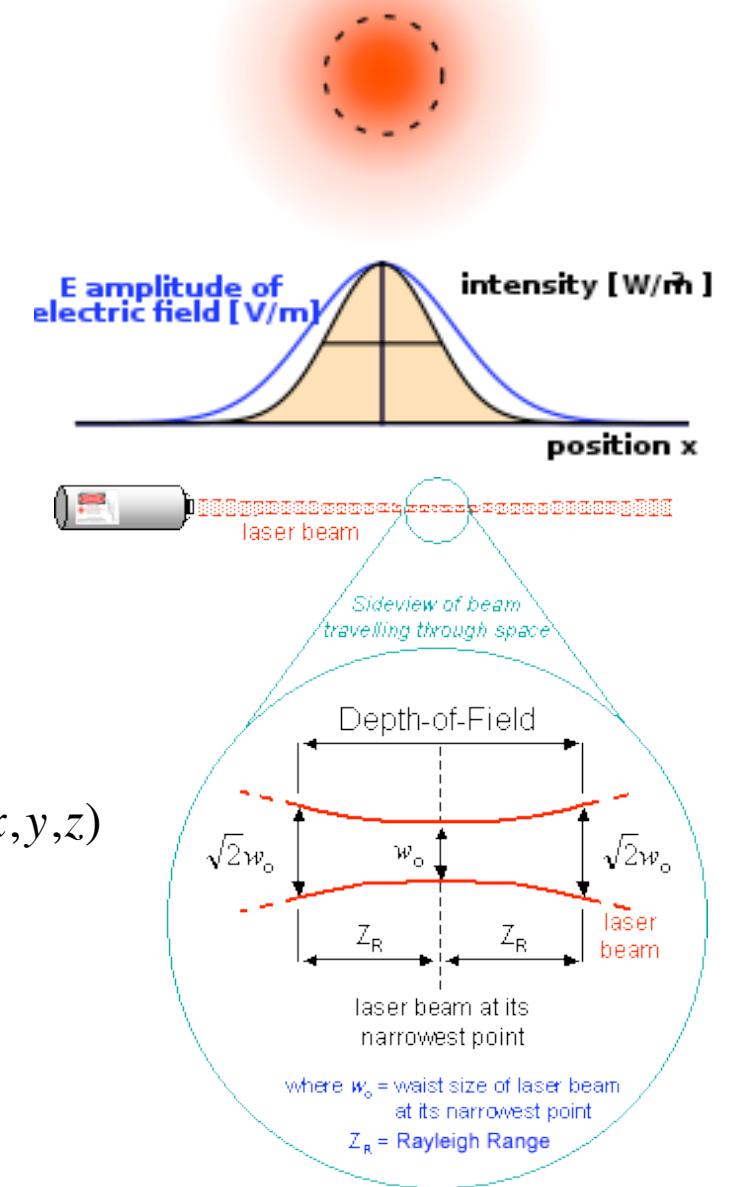
$$I = I_0 \exp - \left[ \frac{r}{\omega(z)} \right]^2$$

- Vyssi mody maji komplikovany tvar, ktery zavisi na Hermitove-Gaussove funkci:

$$U_{mn} = U_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} H_m \left( \frac{2x}{\omega(z)} \right) H_n \left( \frac{2y}{\omega(z)} \right) \exp - \left[ \frac{x^2 + y^2}{\omega^2(z)} \right] \exp i\phi(x, y, z)$$

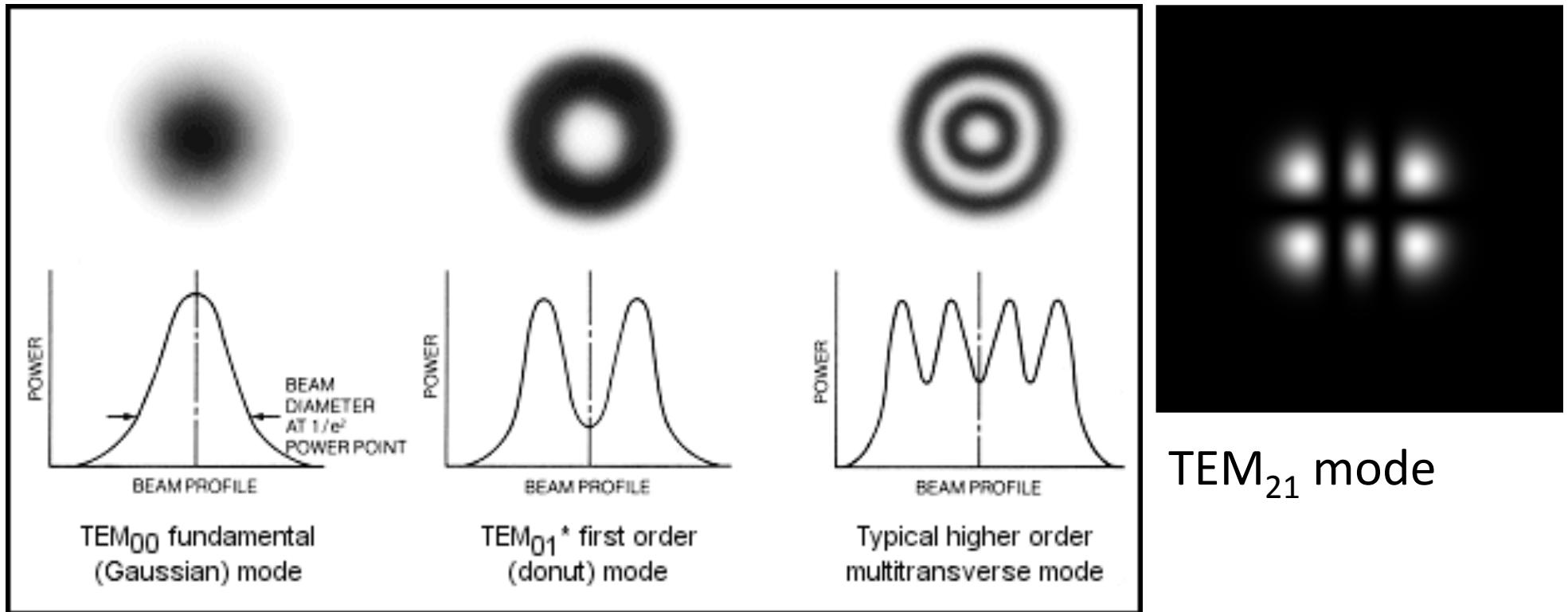
- Prumer paprsku:  $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left( \frac{z}{z_R} \right)^2}$ .

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

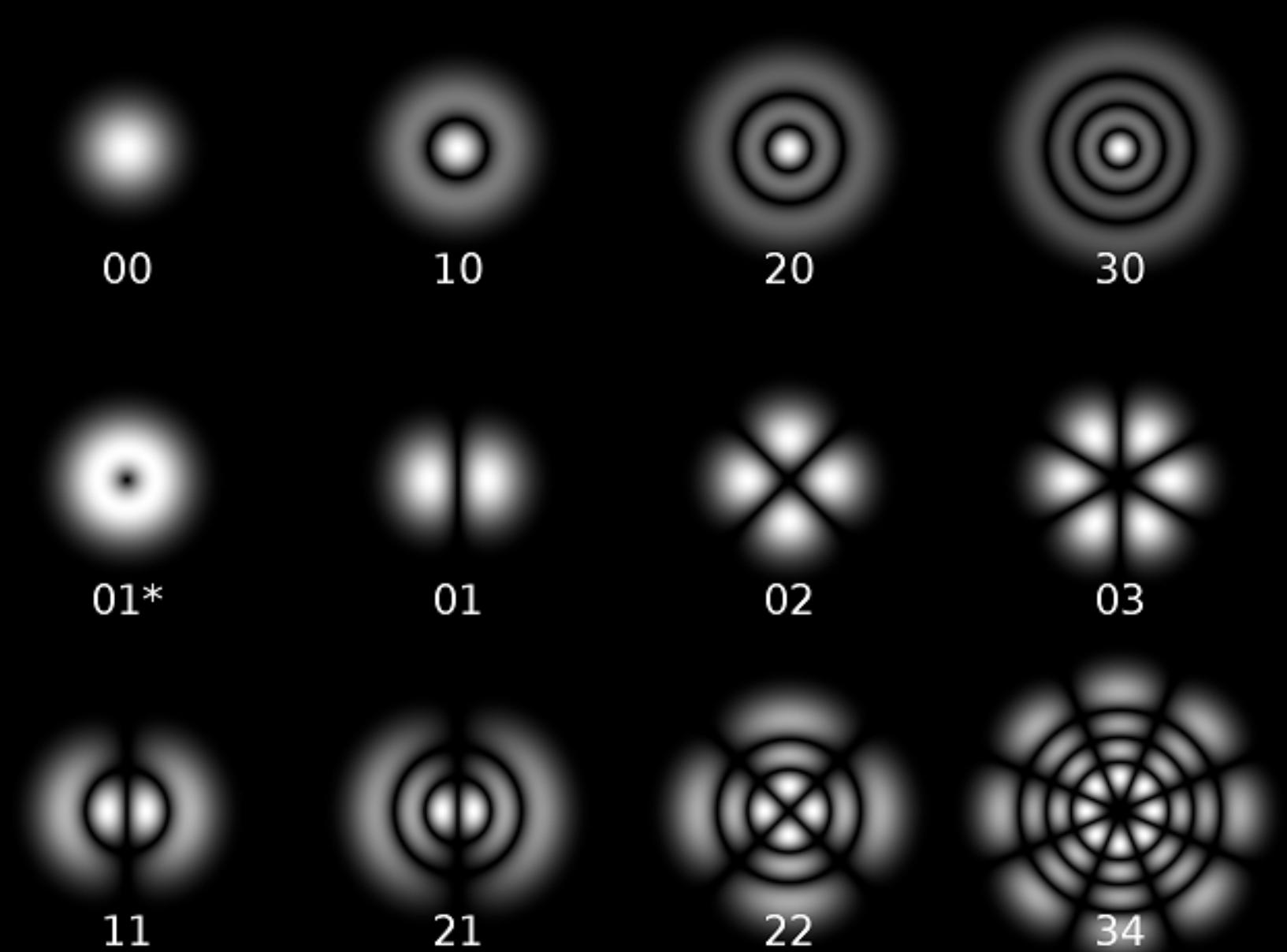


# Prostorove mody

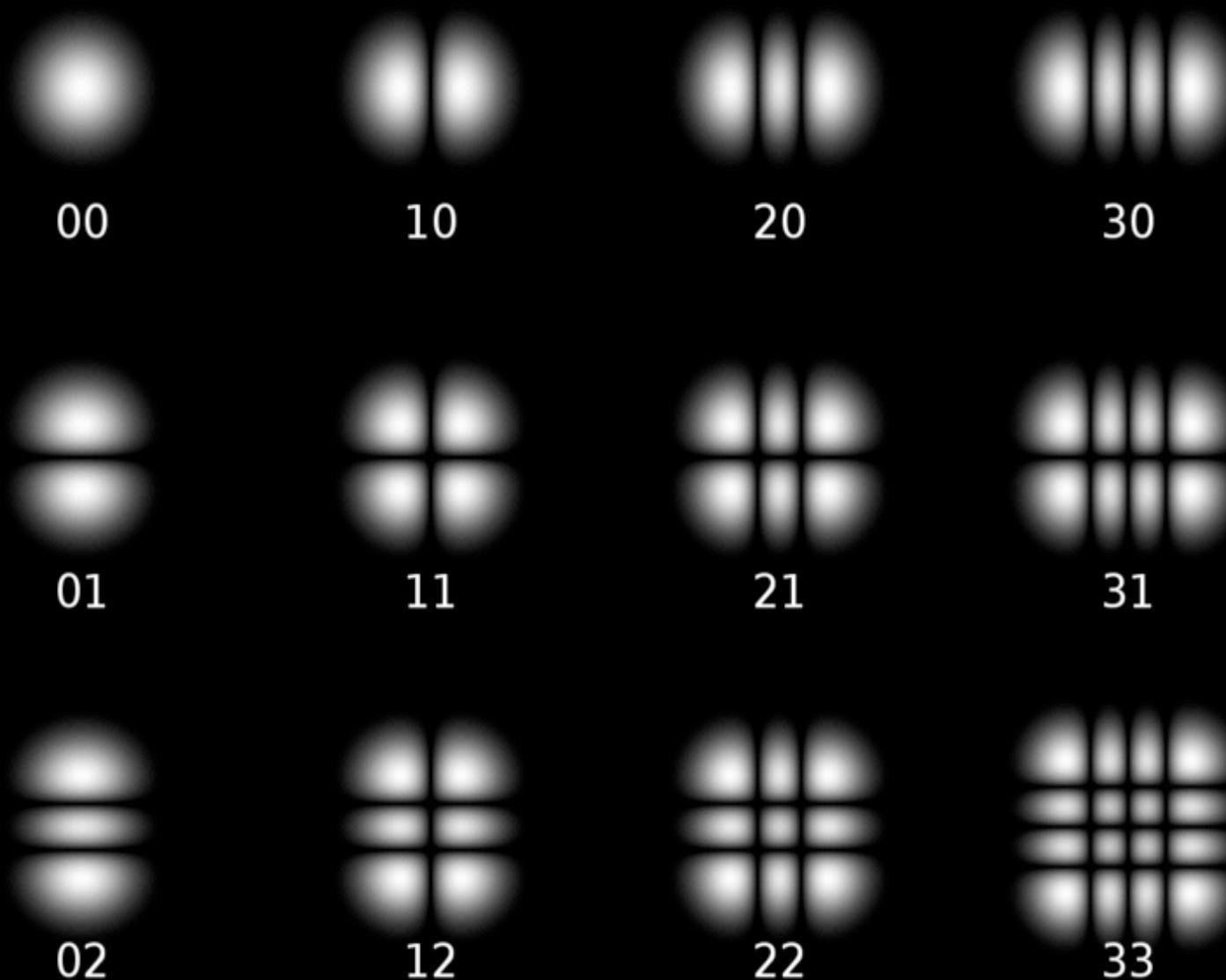
- Jednotlive mody maji ruzna pouziti
- Vetsina laseru pouziva jednoduchy Gaussuv profil
- Vysokoenergeticke lasery maji komplikovanejsi strukturu modu, díky ktere se do paprsku da vtesnat vic energie, napr. vyzkum jaderne fuze, laboratorni astrofyzika



# Prostorové mody



# Prostorové mody



# Optika s lasery

Gaussuv laserovy profil:

- Prumer paprsku:  $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$ .

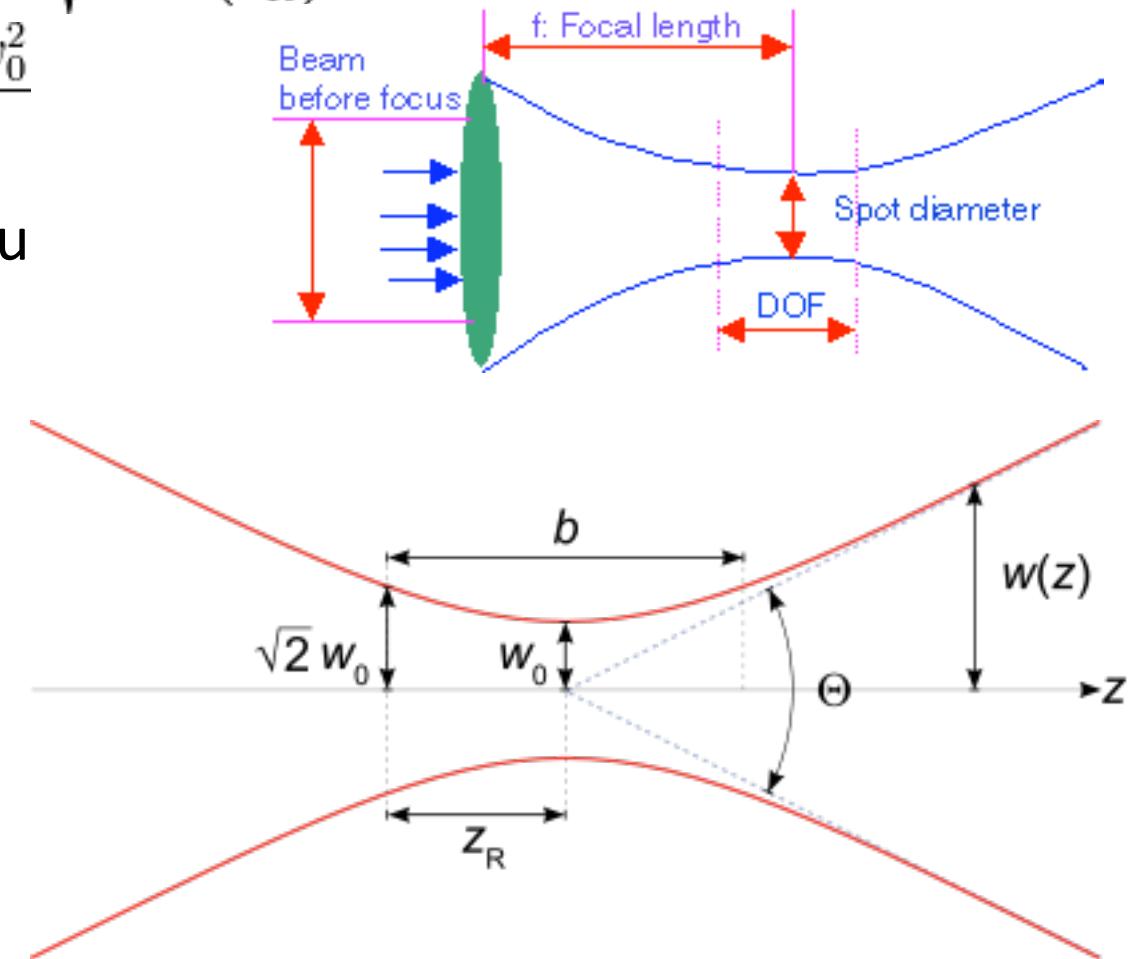
- Raileighova delka:  $z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$

- Pri zamereni paprsku cockou ohnisko neni perfektni bod, paprsek se v ohnisku cocky akorat zuzi na minimalni sirku:

$$2w_0 = \left( \frac{4\lambda}{\pi} \right) \left( \frac{F}{D} \right)$$

- Uhel rozptylu paprsku:

$$\theta \simeq \frac{\lambda}{\pi w_0}$$



# Nelinearní optika

- Polarizační expanze:

$$P(t) = \varepsilon_0 (\chi_1 E(t) + \chi_2 E^2(t) + \chi_3 E^3(t) + \dots) \quad (1)$$

- Rovnice elektromagnetické vlny:

$$E(t) = E_0 \cos(\omega t) \quad \text{wavy line} \rightarrow h\nu$$

- Po vložení  $E(t)$  do rovnice 1:

$$P(t) = \varepsilon_0 \chi_1 E_0 \cos(\omega t) + \varepsilon_0 \chi_2 E_0^2 \cos^2(\omega t) + \varepsilon_0 \chi_3 E_0^3 \cos^3(\omega t) + \dots$$

$$P(t) = \varepsilon_0 \chi_1 E_0 \cos(\omega t) + \frac{1}{2} \varepsilon_0 \chi_2 E_0^2 (1 + \cos(2\omega t)) + \frac{1}{4} \varepsilon_0 \chi_3 E_0^3 (6\cos(\omega t) + \cos(3\omega t)) + \dots$$

po použití trigonometrických identit jako:  $\cos^2 \theta = \frac{(1 + \cos \theta)}{2}$

=> tato rovnice má na nesvedomí celou radu exotických jevů, když světlo prochází určitými krystaly, např. KDP

# Pockel cell & Q-switching

- DC komponent polarizacni expanze:

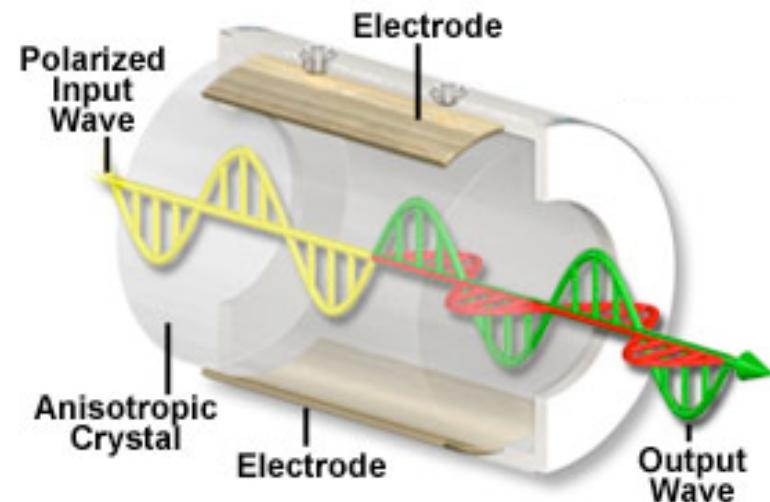
$$P = \frac{1}{4} \epsilon_0 \chi_3 E_0^3$$

=> prima umernost mezi elektrickym polem a polarizaci!

- Vyuziti v laserove technologii:
  - optoelektricke modulatory
  - Q-switching/spinani optickych rezonatoru

(staci pouzit externi elektricke pole)

Anatomy of the Pockels Cell



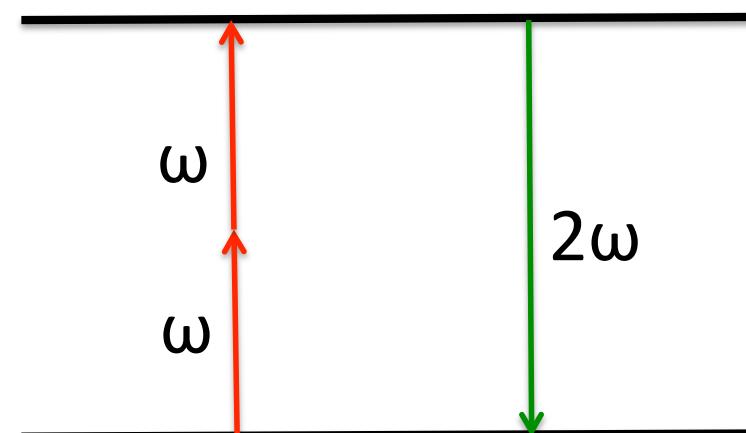
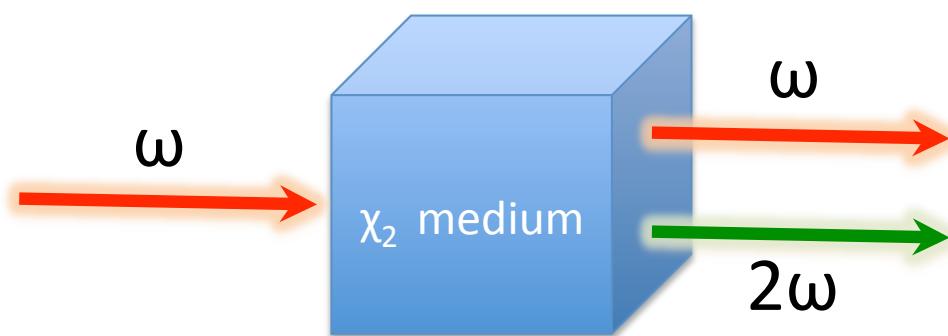
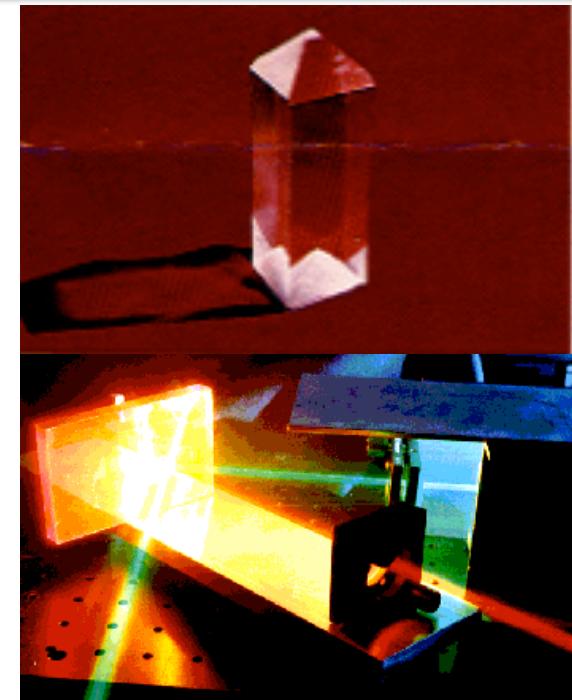
# Laser Tech – $2\omega$ , $3\omega$

- Komponenty:  $\frac{1}{2}\epsilon_0\chi_2E_0^2\cos(2\omega t)$

$$\frac{1}{4}\epsilon_0\chi_3E_0^3\cos(3\omega t)$$

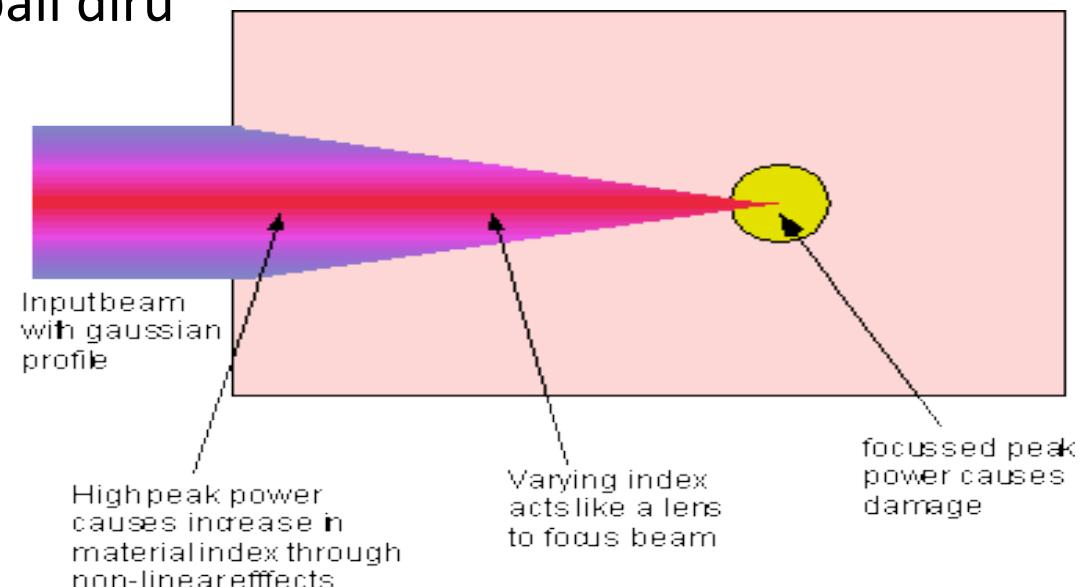
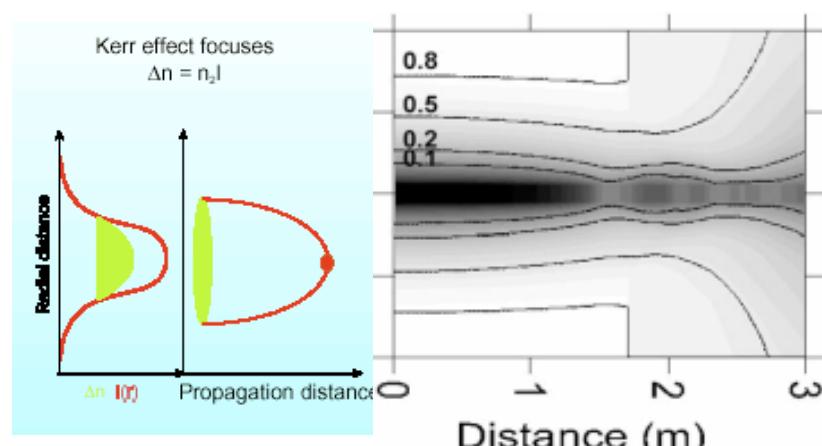
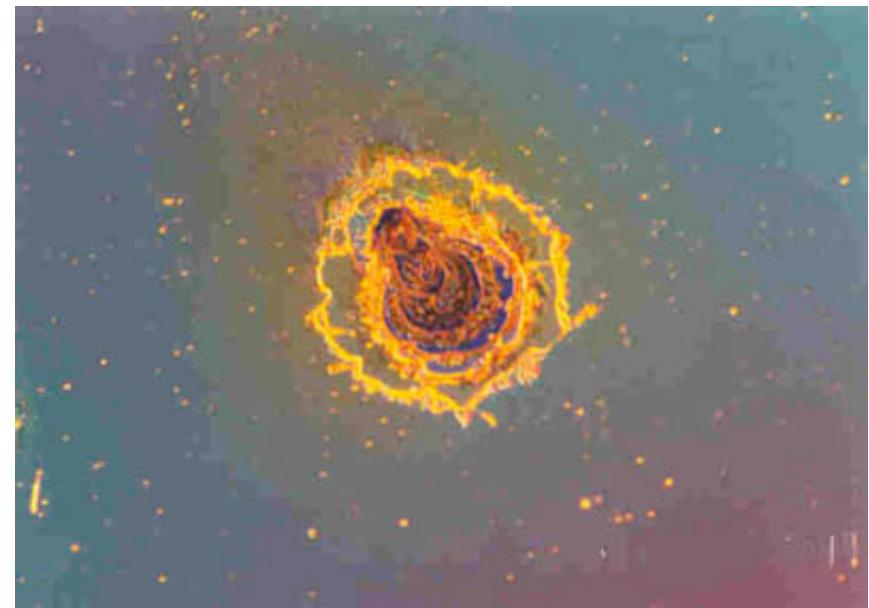
- Nektere krystaly jsou schopne zdvoj nebo ztrojnásobit původní frekvenci laseru (změnit vlnovou délku), napr. IR laser (1064 nm) -> zelený laser (532 nm)

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ , KDP  
LiN<sub>NO</sub>  
BBO



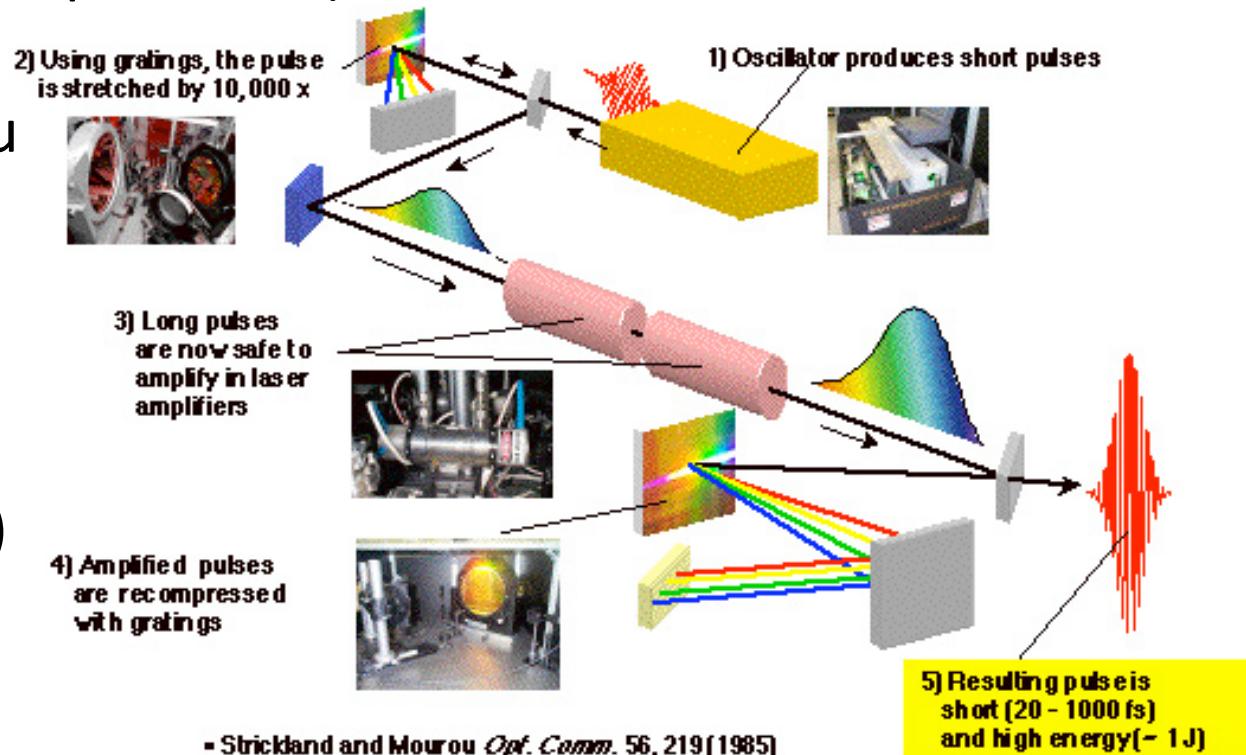
# Kerruv efekt aneb jak vypalit drahou optiku

- Komponent:  $\frac{3}{2}\epsilon_0\chi_3E_0^3\cos(\omega t)$
- Refrakcni index zalezi na intenzite:  $n(\omega) = n_0(\omega) + n_2(\omega)I$
- Vykonne lasery mohou zpusobit hodne skody kvuli "samo-zamerovani" (self-focusing)
- Kerruv efekt imituje chovani cocky, ktera zameri paprsek do extremni zarivosti => plazma doslova vypali diru v optickem elementu!

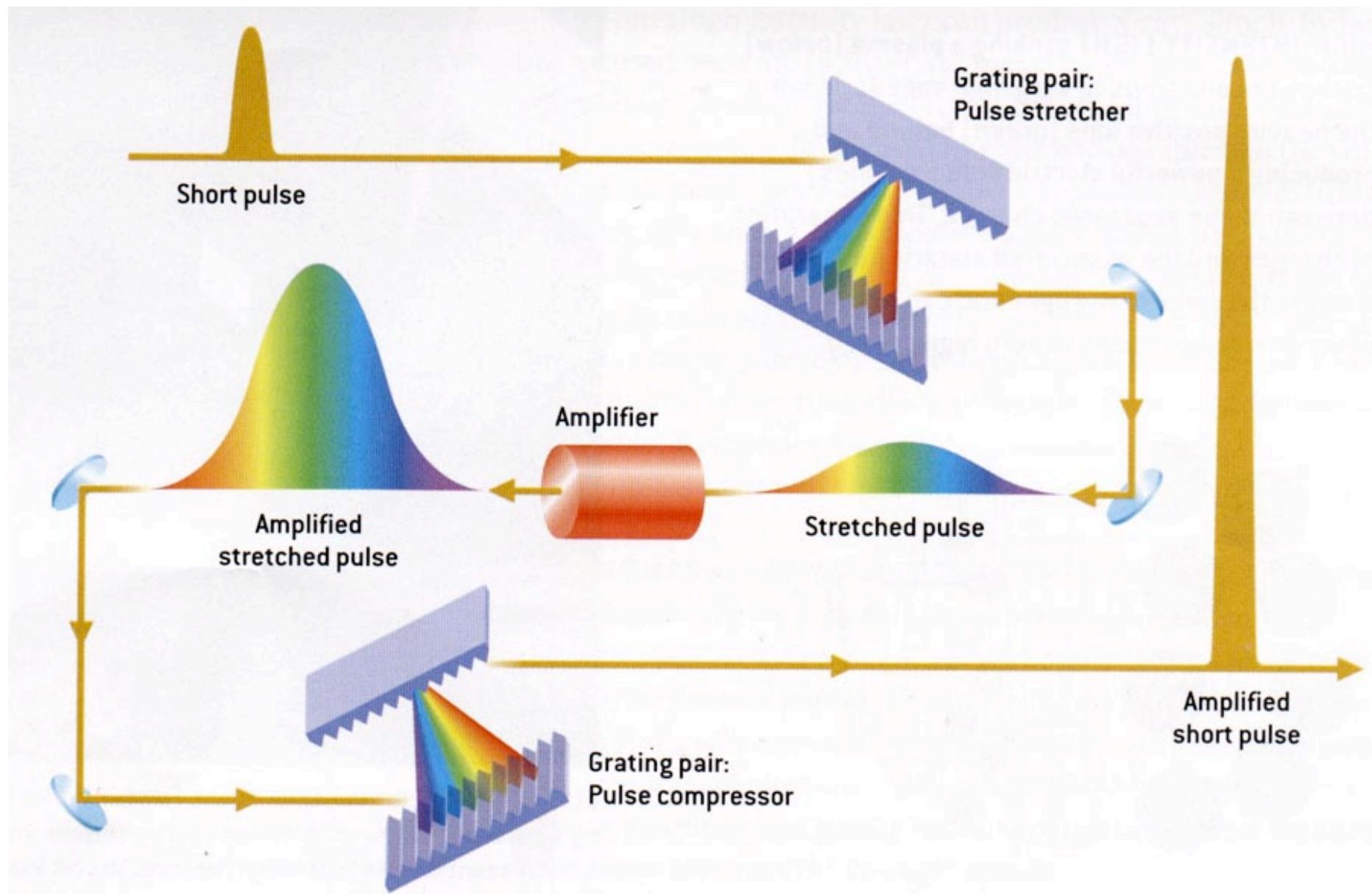


# Laser Tech – CPA

- Kerruv efekt silne omezuje maximalni dosazitelnou intensitu pri amplifikaci laseroveho paprsku, nez svetlo samo osobe zacne nict laserove medium.
- Ve vykonnych laserovych systemech se toto resi expansi paprsku (velke lasery maji prumer pres metr), ale i toto reseni ma sva omezeni.
- Reseni tohoto problemu s sebou prineslo revoluci v laserove technologii => ultrarychle lasery (fs) s vysokym vykonem (PW)
- CPA = Chirped Pulse Amplification

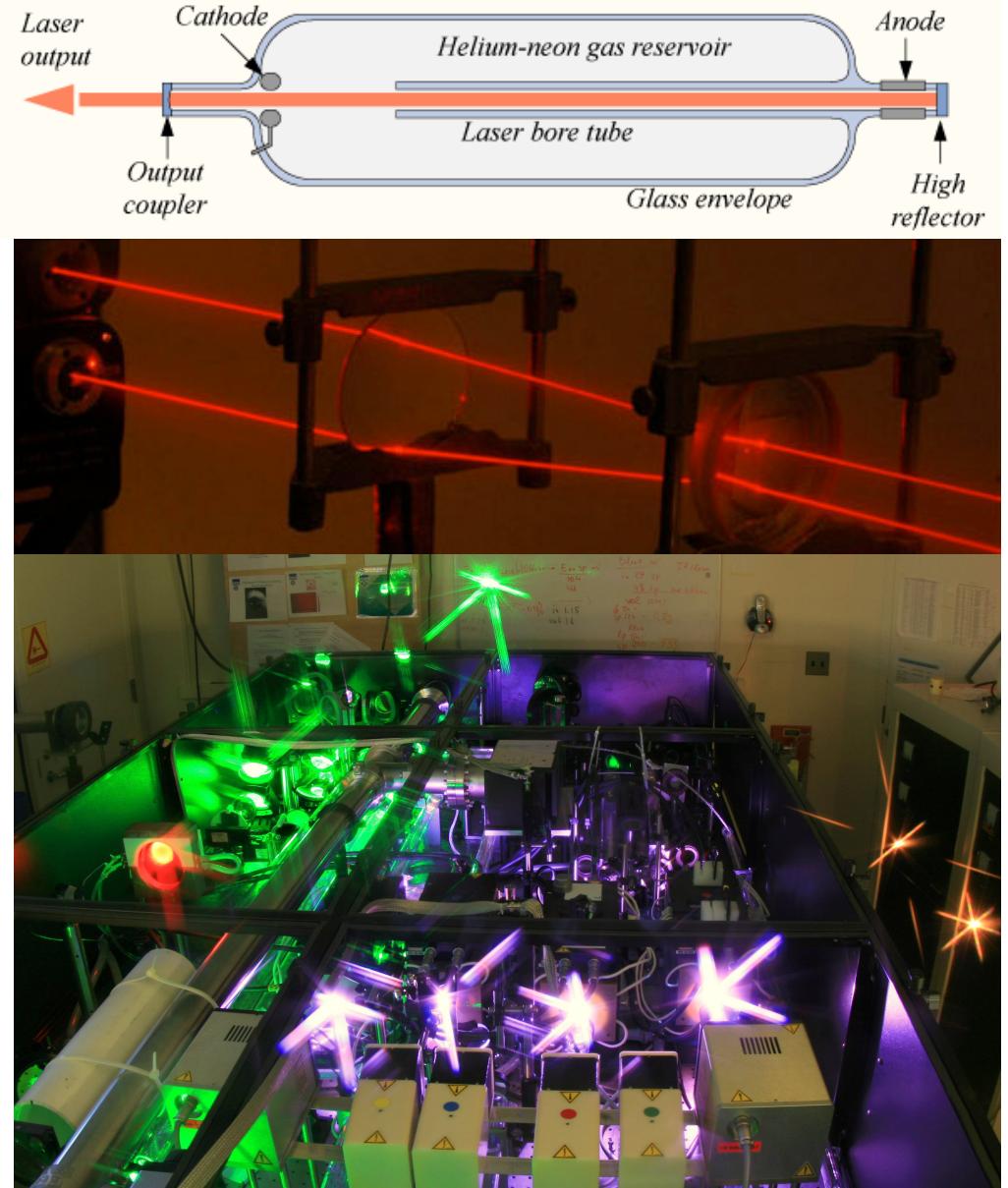


# Laser Tech – CPA

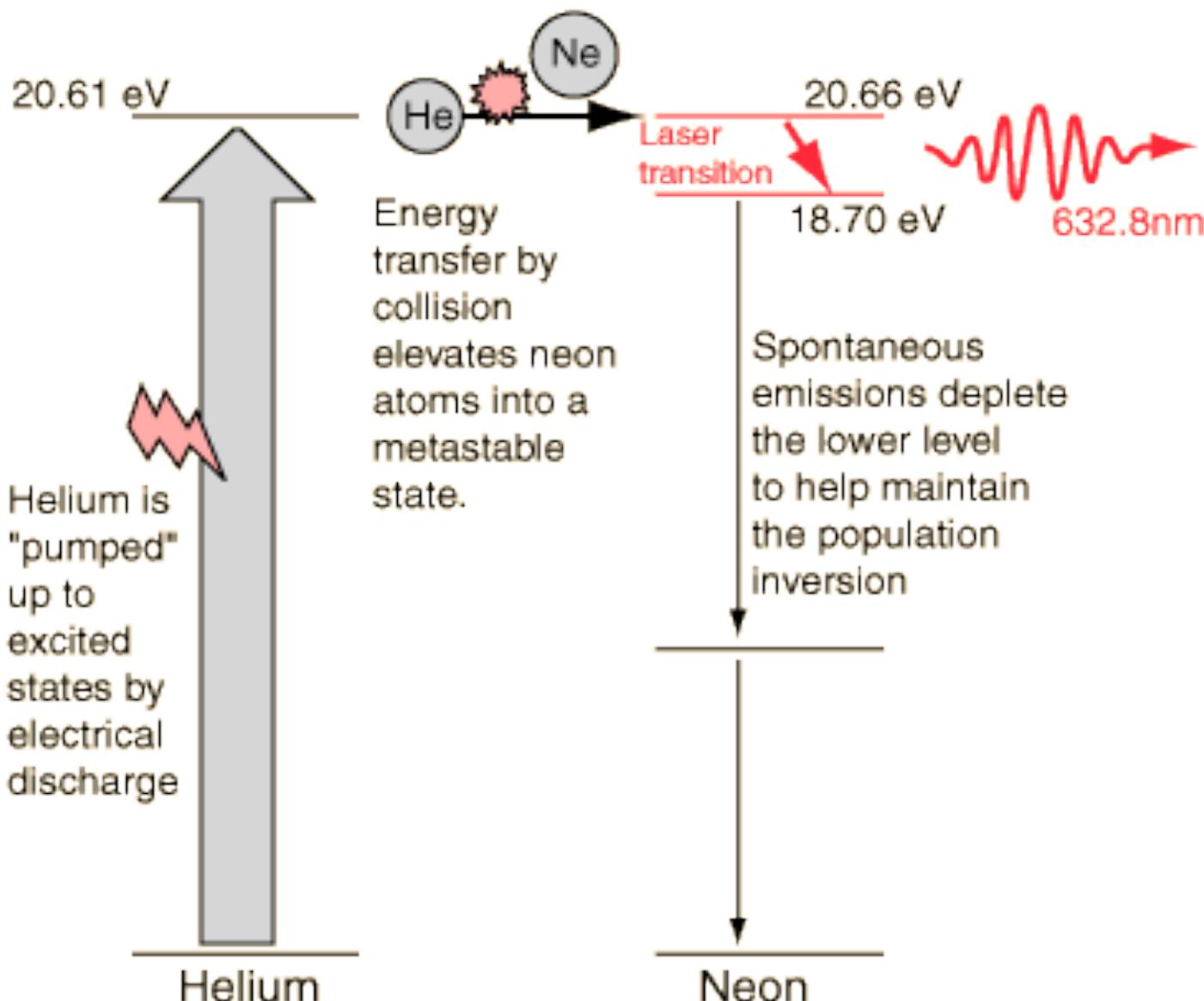


# Typy laseru

- Lasery nabiraji vsemozne podoby, tvaru, nebo mechanizmu
- Hlavni dulezite vlastnosti, ktere rozlisuji jejich vyuuziti:
  - vykon/energie
  - vlnova delka  $\lambda$
  - spektralni sirka  $\Delta\lambda$
  - kvalita paprsku ( $TEM_{00}$ , ...)
  - delka pulsu (cw,  $\Delta t$ )

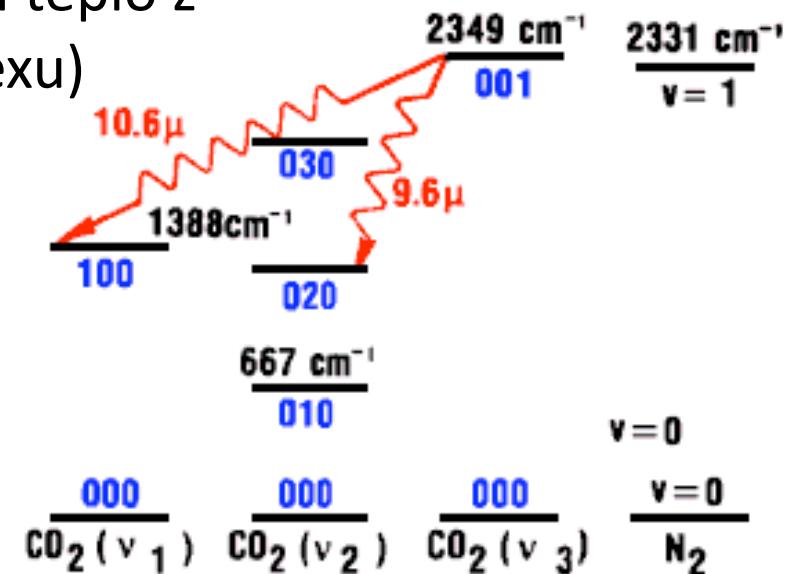
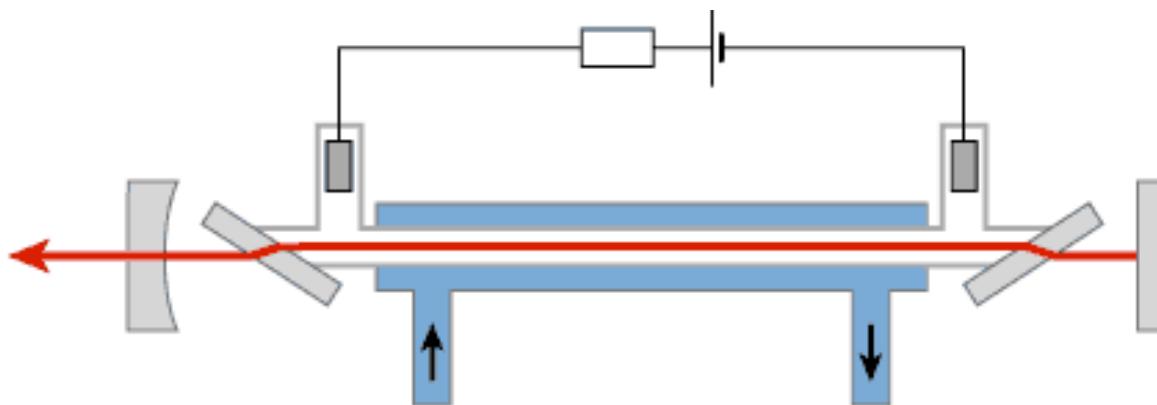
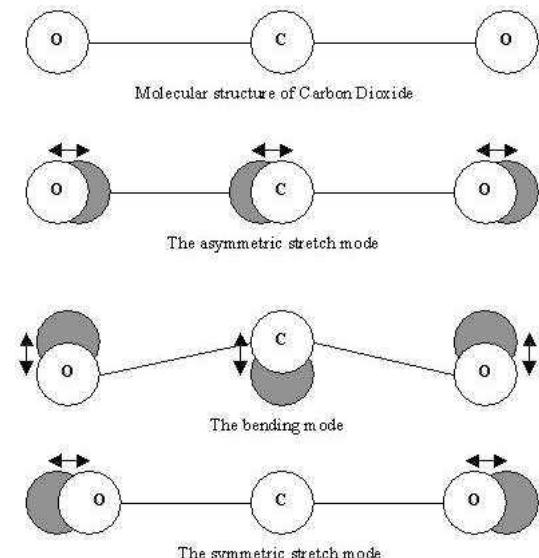


# HeNe laser



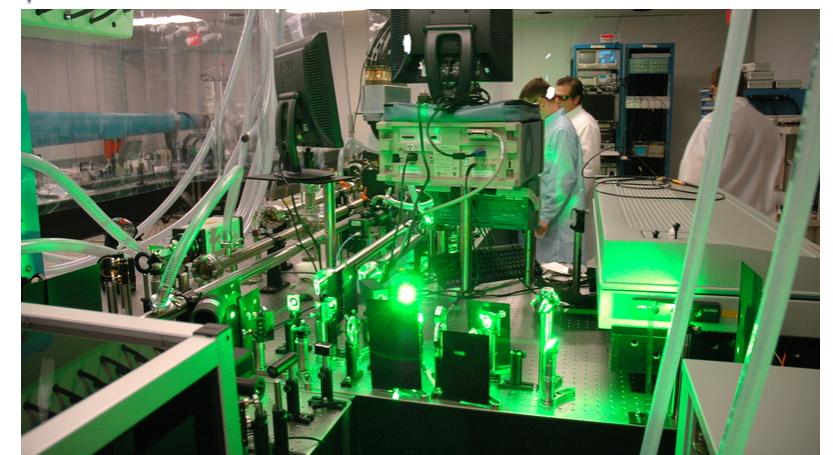
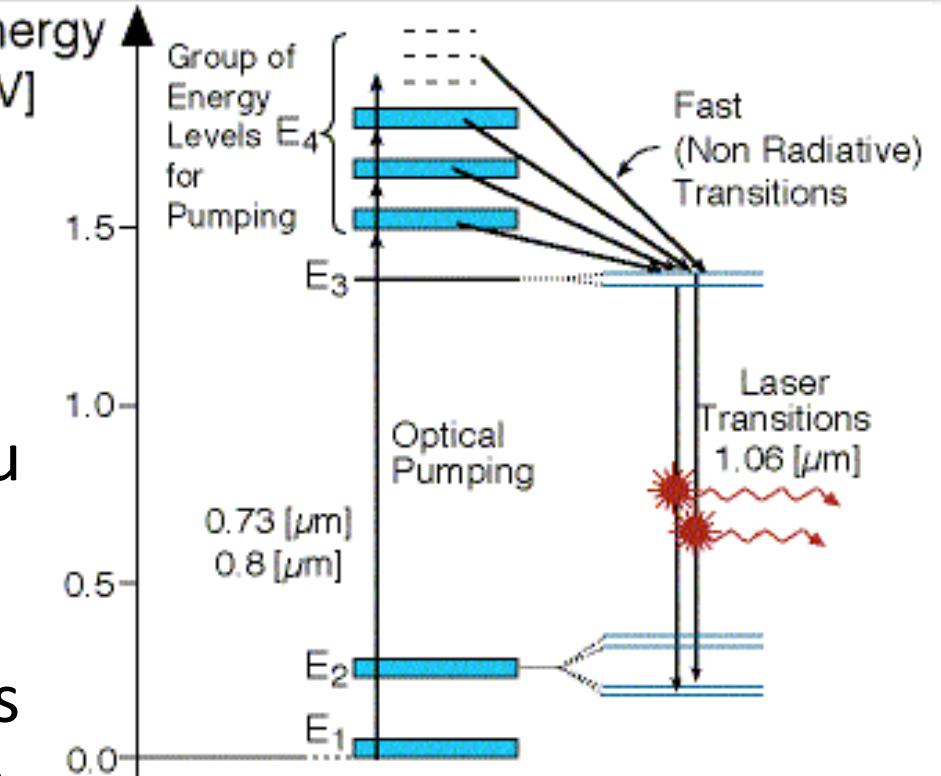
# CO<sub>2</sub> laser

- IR laser:  $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$
- Pumpa: elektricky vyboj
- Vysoky výkon: kW – 100 kW
- Elektronove tranzice mezi ruznymi vybracnimi urovnemi/energiemi v CO<sub>2</sub> molekulach
- Plynove primesi: N<sub>2</sub> zvysuje efektivitu kolizniho trasferu excitaci ze stabilni vyssi urovne, He recykluje nizsi energeticke urovne a odvadi teplo z laseru (zvysuje vodivost plynoveho komplexu)



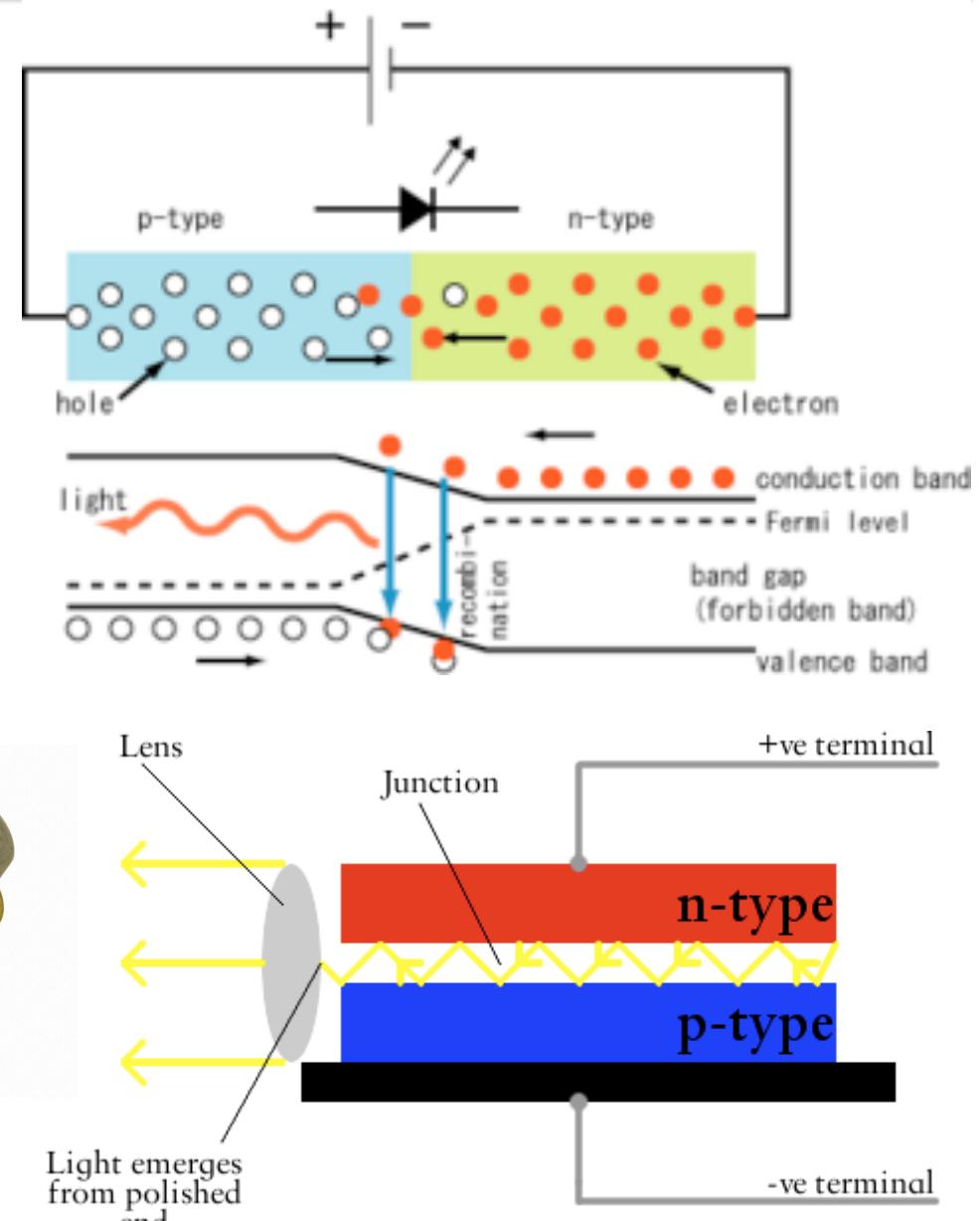
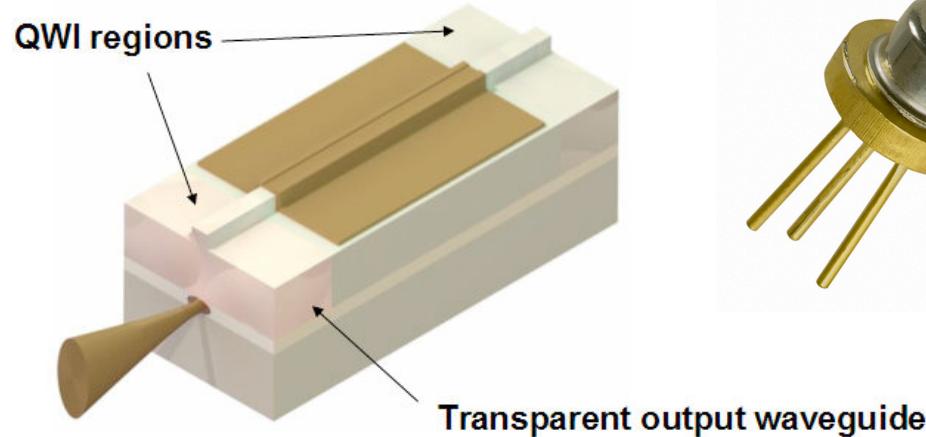
# Solid state – Nd:YAG

- $\lambda = 1064 \text{ nm}$
- $2\omega: \lambda = 532 \text{ nm}$
- Pumpa: diodovy laser nebo sirokospektralni lampa
- Mechanism: Nd<sup>3+</sup> ionty zaberou mista nekterych Y3+ v krystalicke mrizce, Nd je vetsi atom a v mrizce se buduje stres a polocas rozpadu vyssi urovne se zkracuje => lasing
- Vyhody: velmi dobre mechanicke a tepelne vlastnosti => vysoke energie



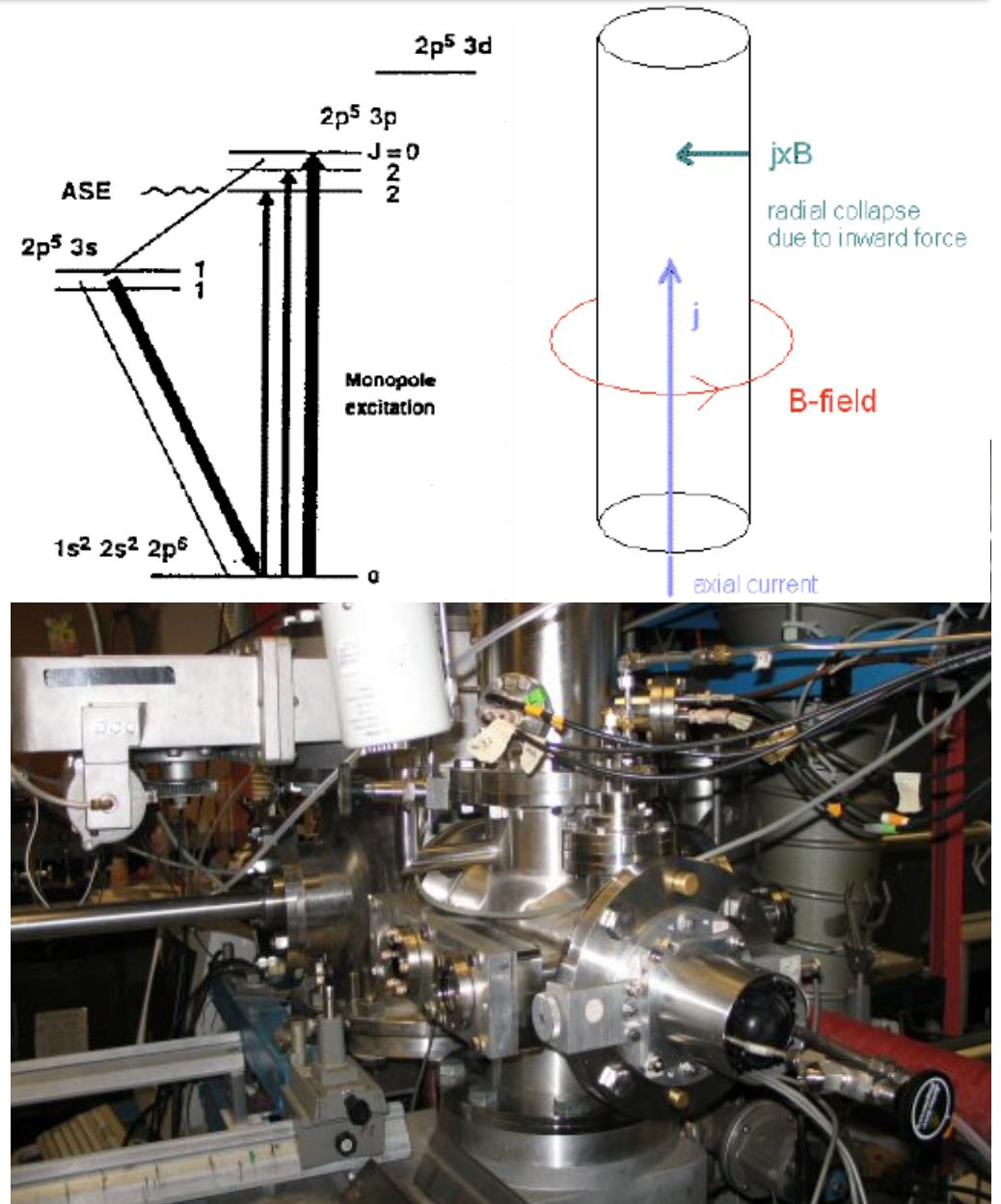
# Diodove lasery

- Funguji na stejnem principu jako LED-ky
- Populacni inverze mezi valencnim a vodivym pasem polovodice
- Opticky rezonator mezi dvemi materialy s rozdilnym refrakcnim indexem => kriticky uhel odrazu
- Vyhody: male (vlezou se do miniaturni elektroniky), usporne (staci nizky proud jako pumpa), levne, daji se przpusobit ruznym vlnovym delkam



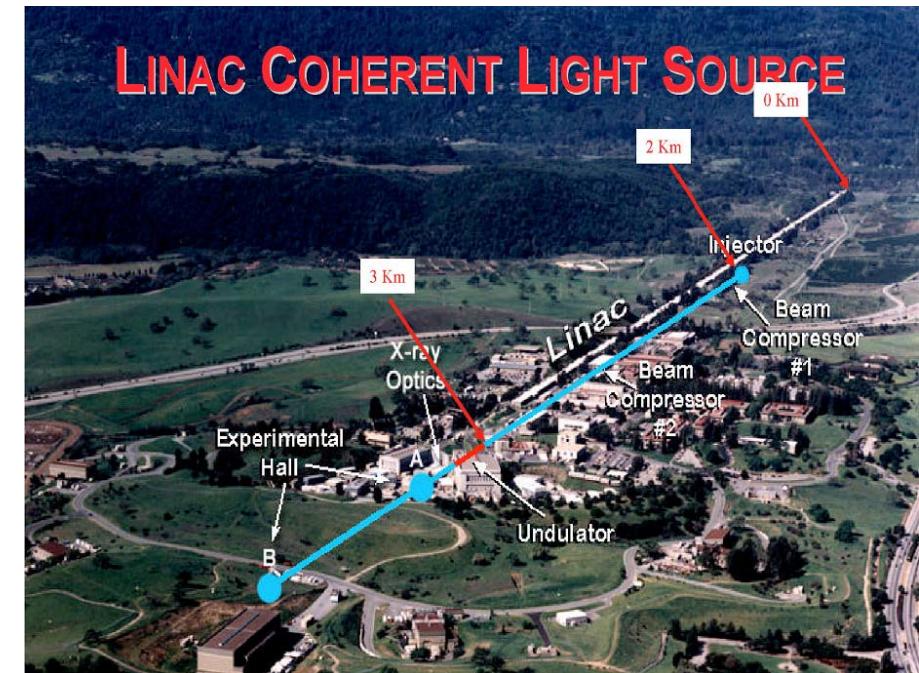
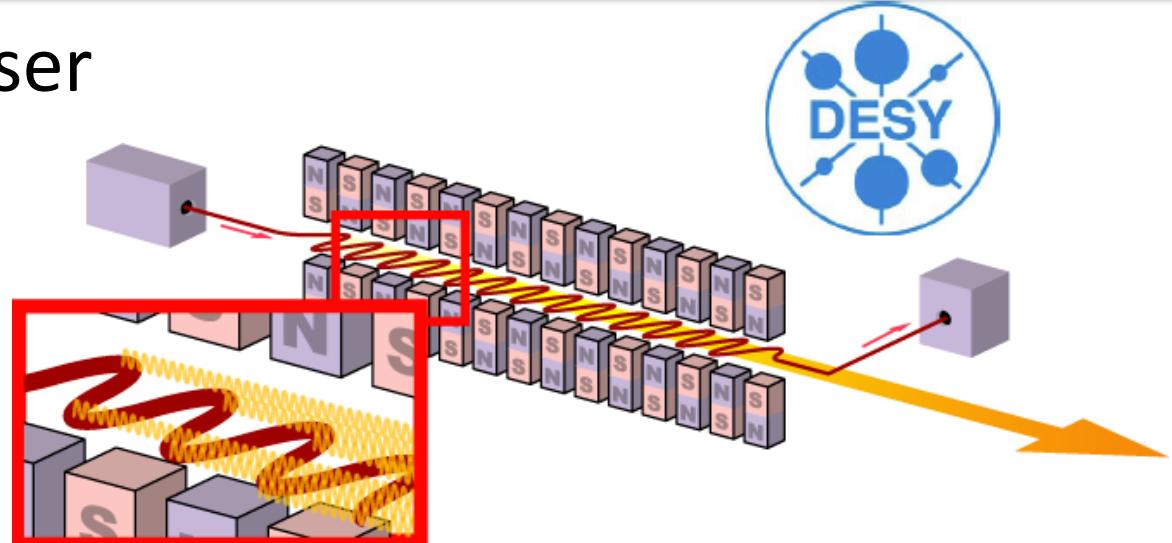
# Rentgenove lasery

- Lasery v Rentgenovem oboru jsou velmi obtizne na konstrukci, jelikoz je zapotrebi postoupit hloubeji do nitra atomu
- Atomy musi byt silne ionizovane – plazma
- Profesor Rocca z Coloradske univerzity sestrojil Rentgenovy laser, ktery funguje na principu Z-pinche



# Rentgenove lasery

- FEL = free electron laser
- Zalozene na jinem principu
- Urychlovac vytvari vysokoenergeticke elektrony
- Serie magnetu pak ohne trajektorii techto elektronu, ktere vyzari svou energii v podobe koherentniho Rentgenoveho zareni s vlnovou delkou danou frekvenci magnetu

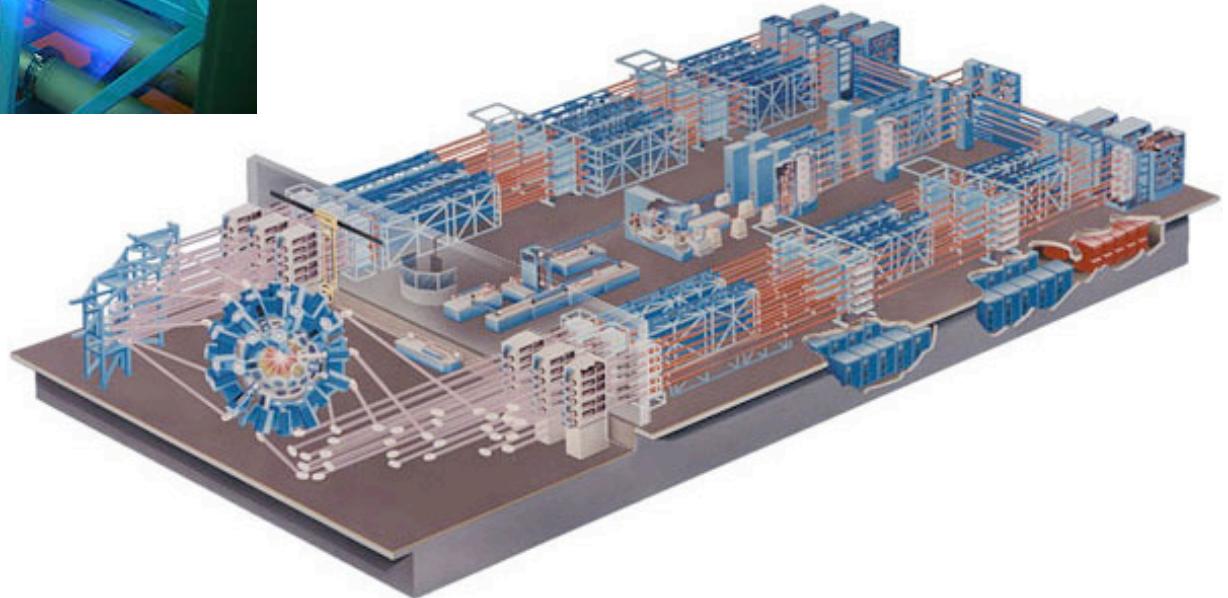
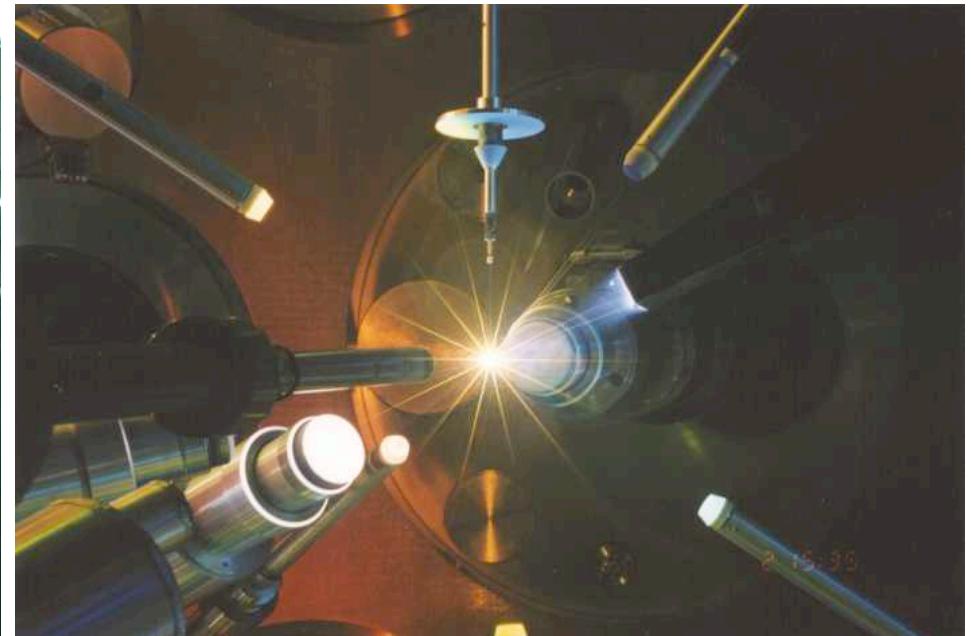


# Obrovské lasery

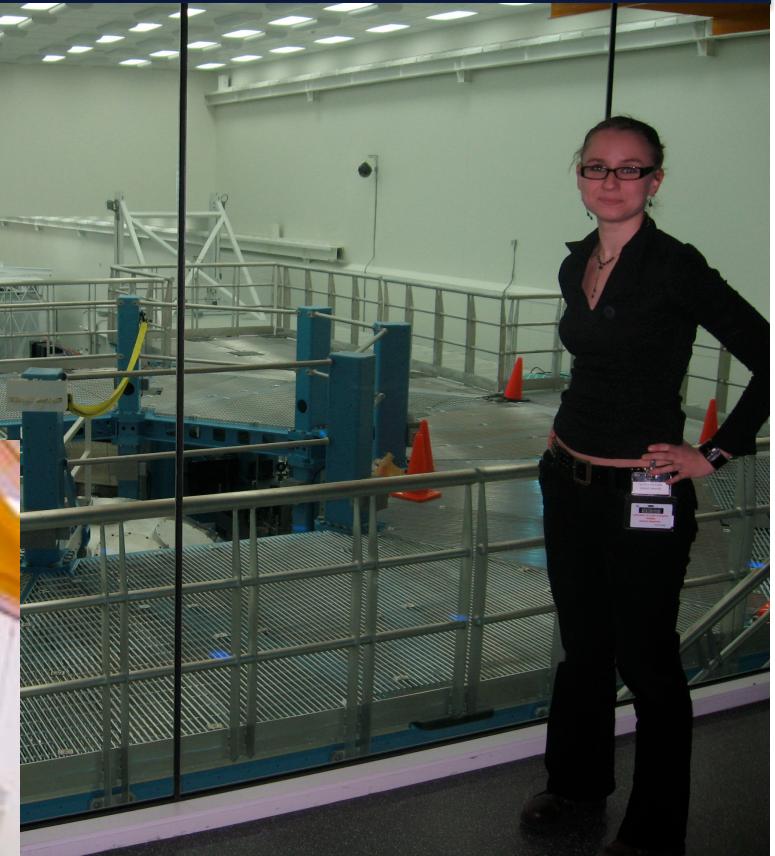
- Vyskoenergetické lasery  
(kazdy paprsek ma 200 – 1000 J)
- Pomerne dlouhe pulsy  
nekolik nanosekund =>  
vykon:  $10^{12}$  W = TW !!!
- Tyto parametry jsou  
velmi dulezite pro  
výzkum inercialní fuze a  
laboratorní astrofyziky



# Omega laser



# Omega laser



60 paprsku s max. energii  
40 000 J, nanosekundove  
pulsy & Omega EP – ps  
laser - druhý největší laser  
na světě!

# Gekko laser

Nd:glass laser, 12 paprsku  
celkovy výkon: 10-20 TW  
+ ultra rychly laser FIREX-1  
(10 kJ, 10 ps) => “fast ignition”



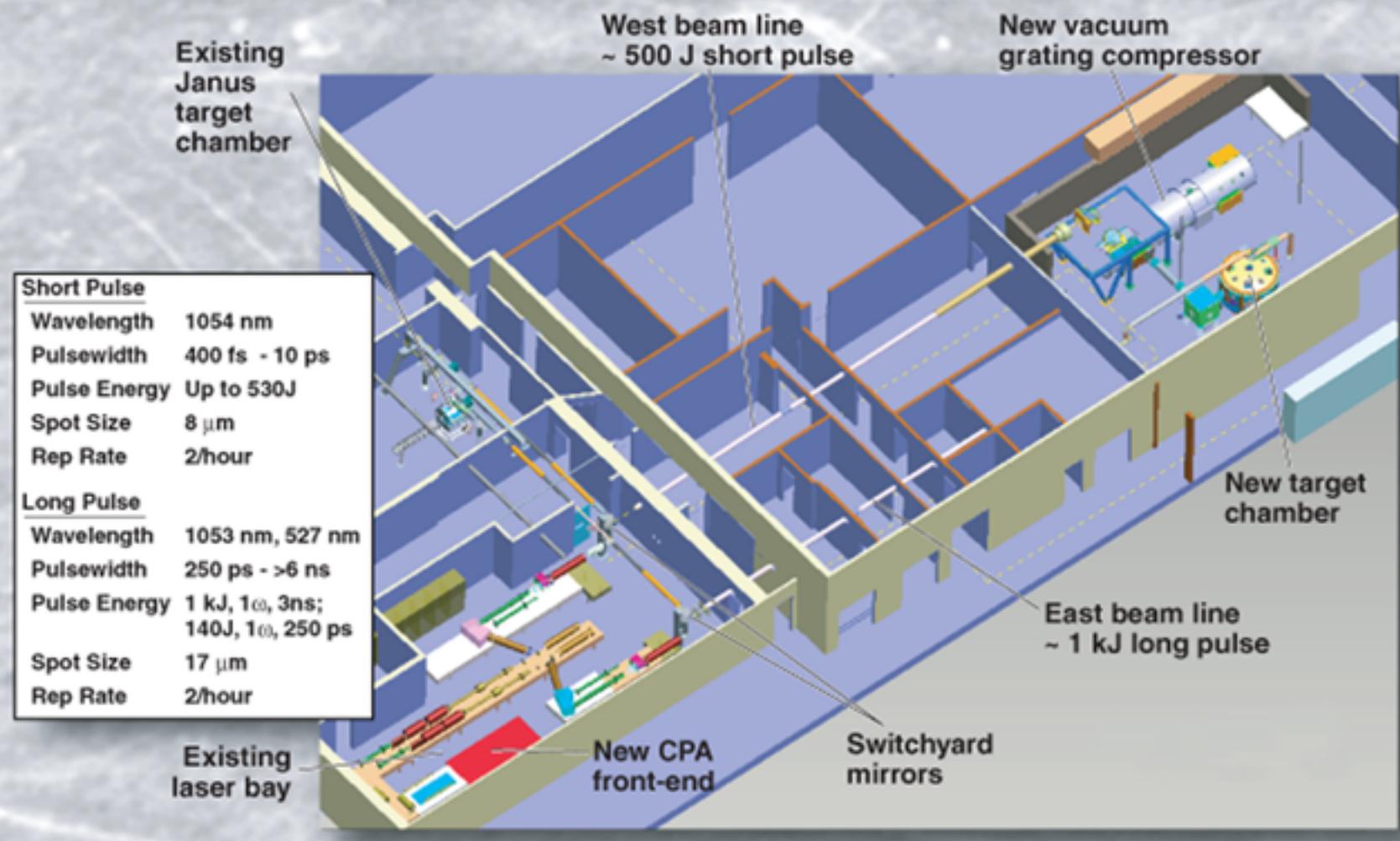
## Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) California, USA



Images from [http://msnbcmedia3.msn.com/j/msnbc/Components/Photo\\_StoryLevel/080603/080603\\_llnl-hmed-12p.hmedium.jpg](http://msnbcmedia3.msn.com/j/msnbc/Components/Photo_StoryLevel/080603/080603_llnl-hmed-12p.hmedium.jpg), <http://commons.wikimedia.org/wiki/index.html?curid=137731>

# Jupiter laser facility

Titan will enable experiments combining short-pulse petawatt-class, and long-pulse kJ beams

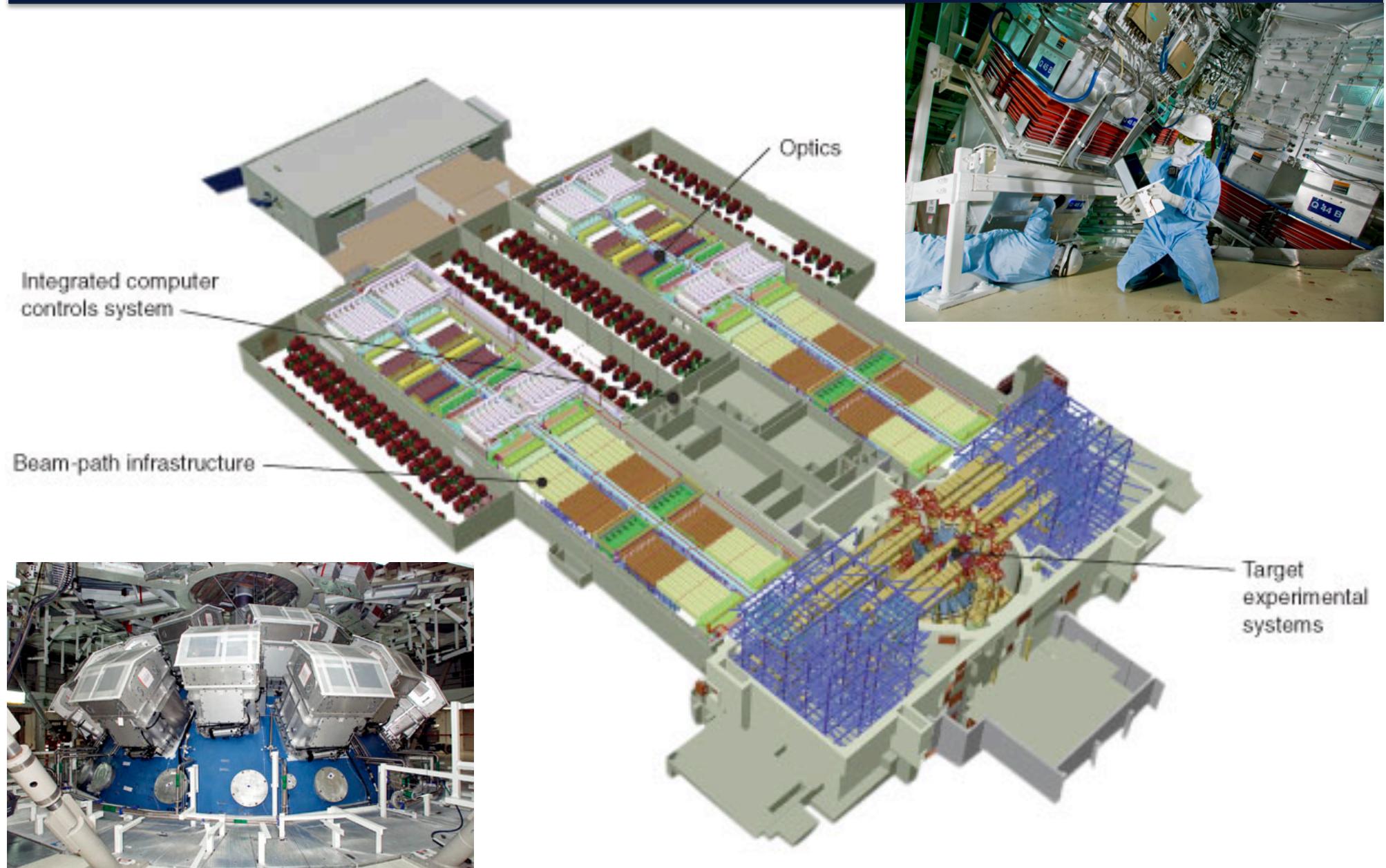


# NIF

192 jednotlivych paprsku  
celkovy vykon jednoho ~ 500 TW



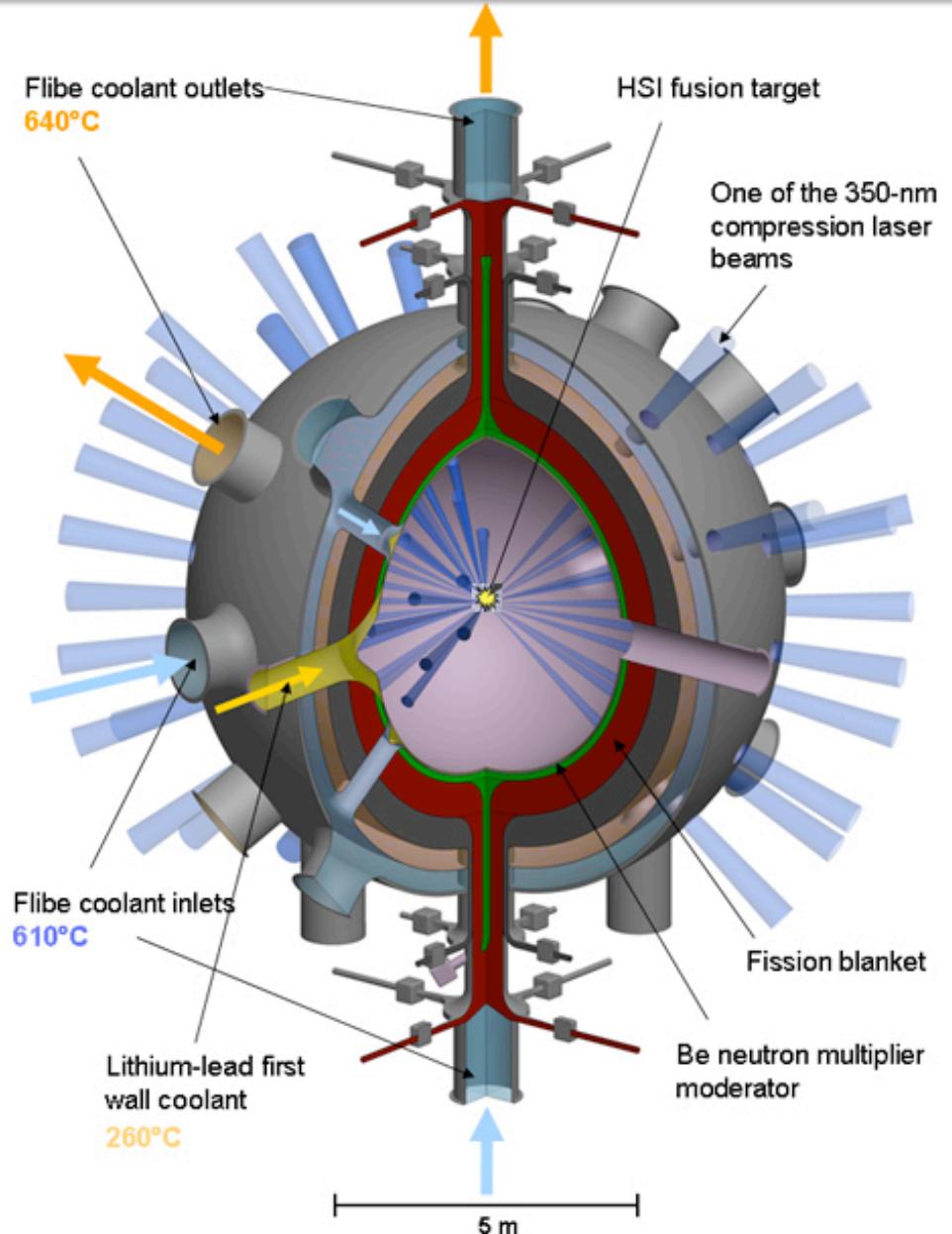
# NIF



Kateřina Falk, Astrotábor 2010

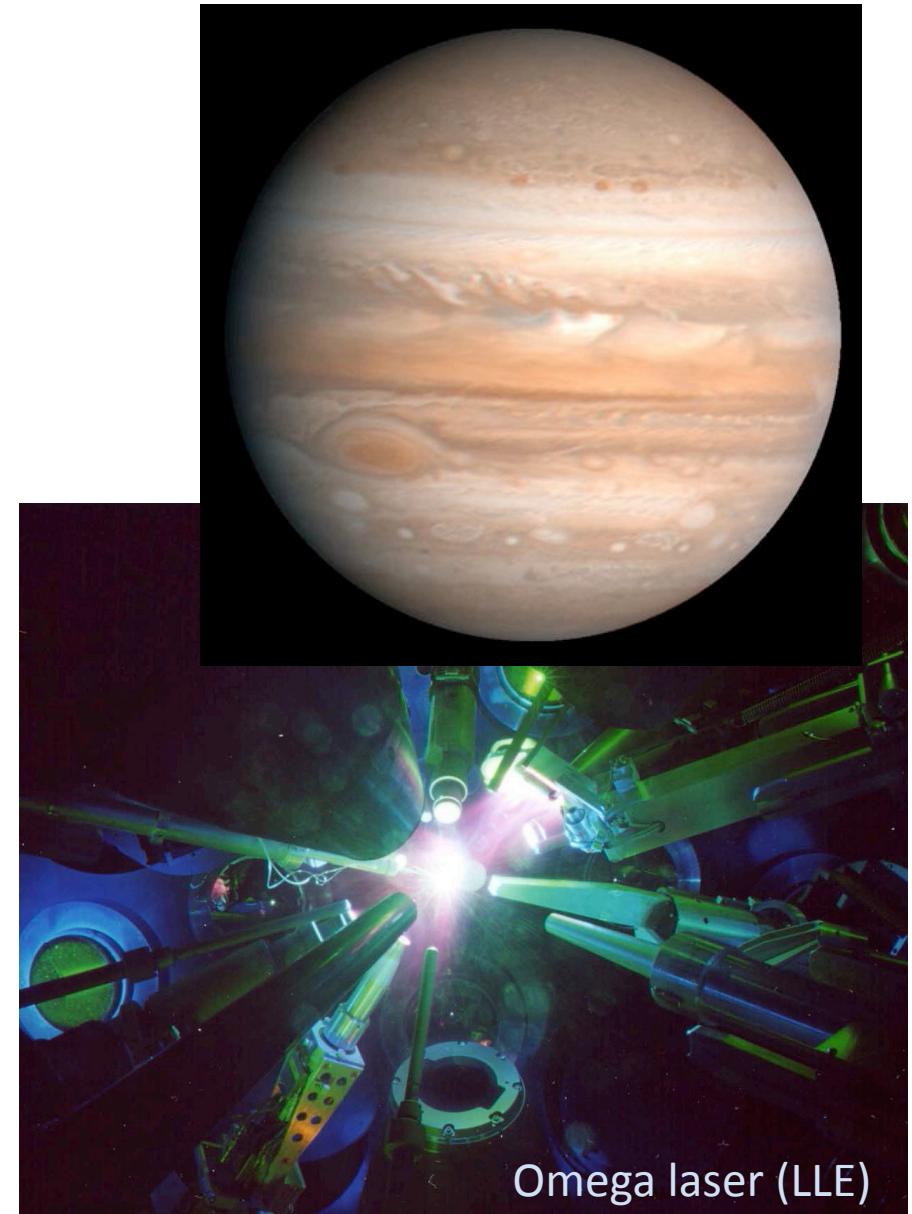
# Gigantické lasery a fuze

Vedle velmi zname  
magneticke fuze, kterou  
si fyzikove procvicuji na  
tokamacich JET a brzo  
snad i v ITERu, existuje  
nemala skupinka vedcu,  
kteri se pokouseji o  
“zazech” na nejvetsich  
laserovych systemech  
sveta jako NIF, Omega  
nebo Gekko.



# Fakt velke lasery!

- Tyto laserove systemy maji desitky az stovky jednotlivych paprsku, ktere se vsechny soustredi do jednoho bodu => rovnemerne ozareni fuzni "kulicky"
- Tyto lasery jsou schopne vytvorit podminky panujici v nitrech velkych planet a hvezd



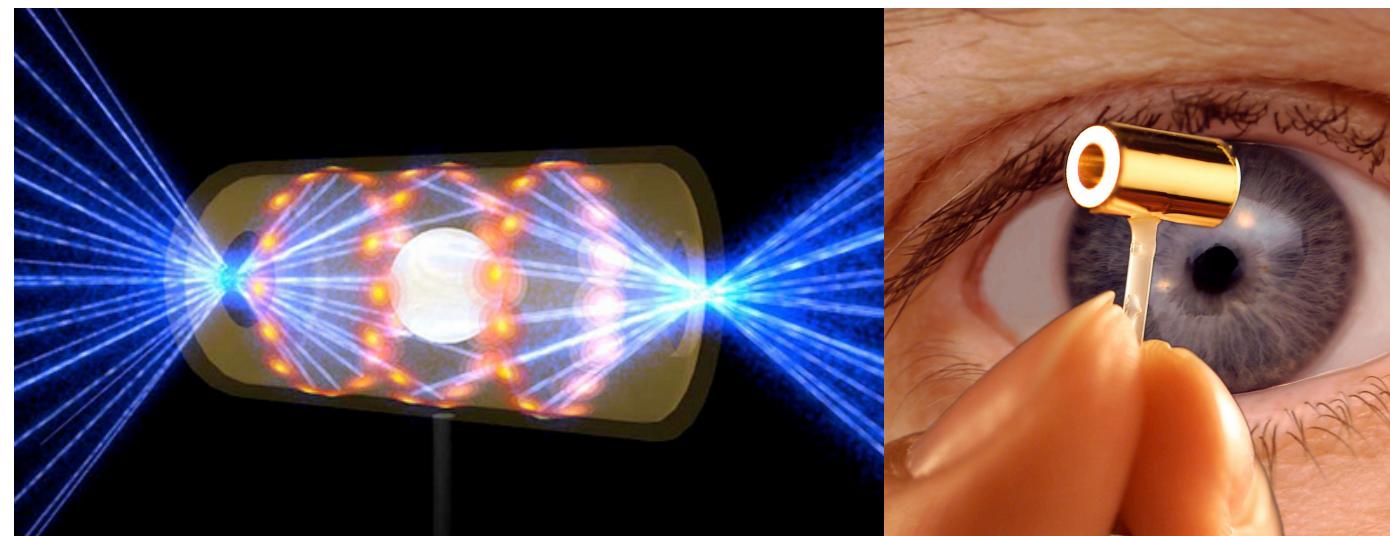
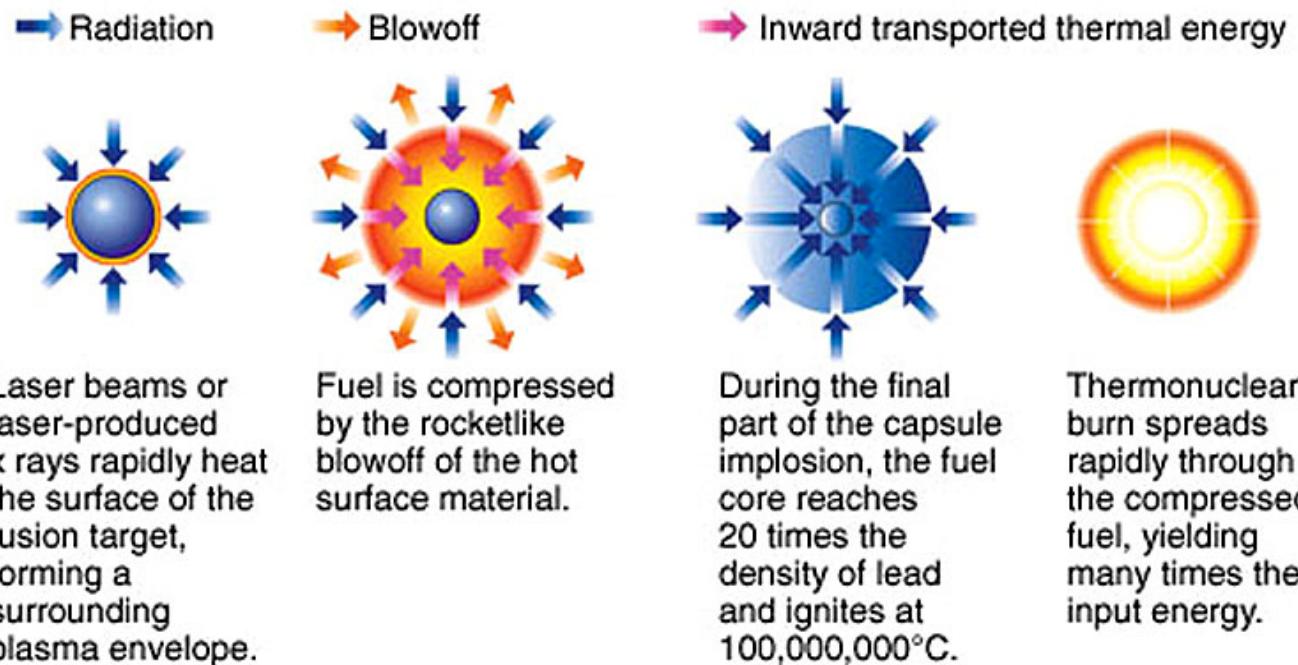
# Inercialni fuze

- Direct drive:

Lasery uniforme ozari povrch zmrazene kulicky deuteria tritia (D-T). Hmota z povrchu se rychle zahreje a zacne expandovat jako raketa. Silne sokova vlna pak padi smarem do centra, pricemz stlakuje a zahriva vodik uvnitr, ve kterem se nakonec zazehne termonuklearni reakce.

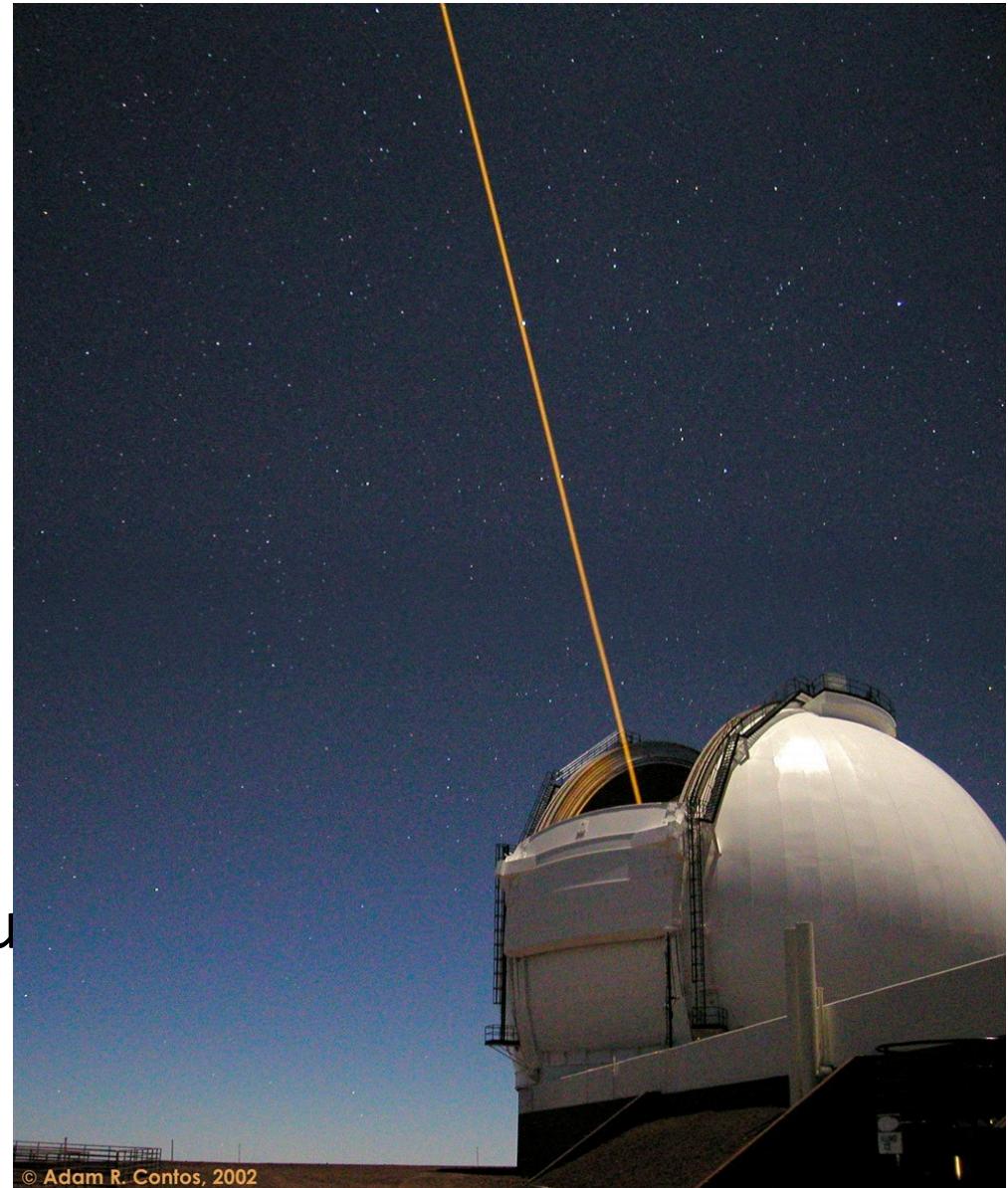
- Indirect drive:

Lasery zari na vnitri povrchu zlateho hohlraumu, ktery vyzaruje silne a rovnomerne Rentgenove zareni, ktere pohani sokovou vlnu v D-T.



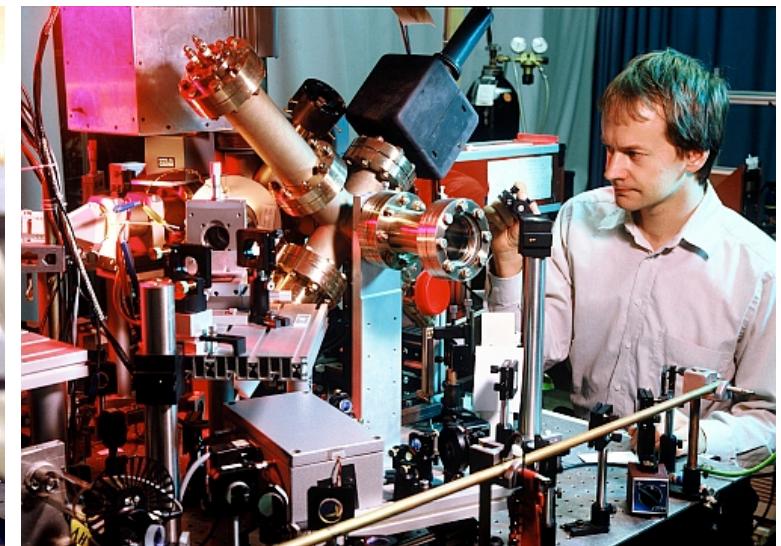
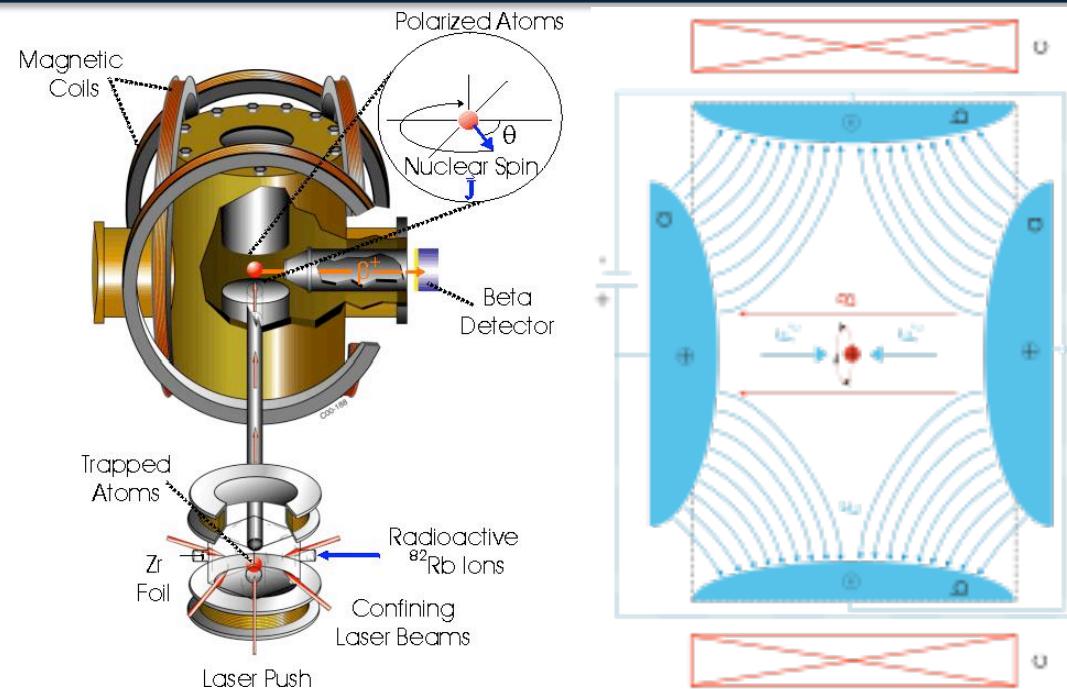
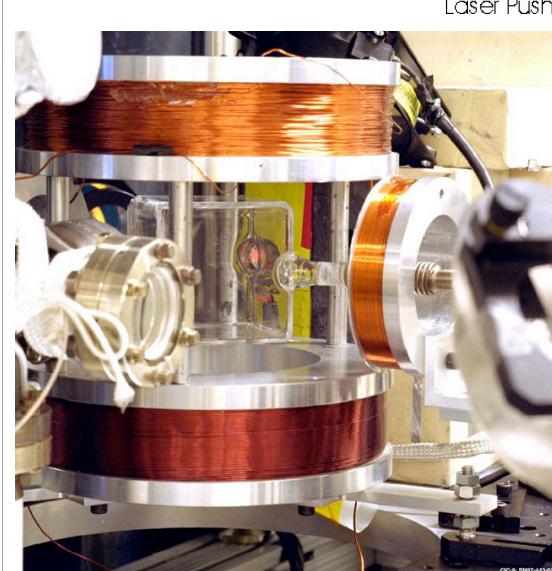
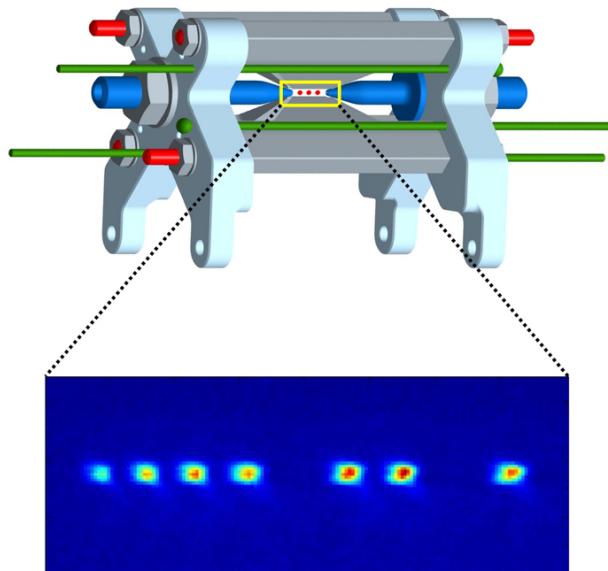
# Lasery v astronomii

- Monitorovani fluktuaci magnitudy hvezd pri astronomickej pozorovani
- Astronomove si mohou na obloze vytvorit "umelou" hvezdu vykonnym laserem a timto merit zmeny v jej zarivosti a poloze zpusobene vzdušnymi proudy v atmosfere  
=> normalizace astronomickych pozorovani vzdalenych objektu z povrchu Zeme
- Taky to jsou docela super ukazovatka! ☺



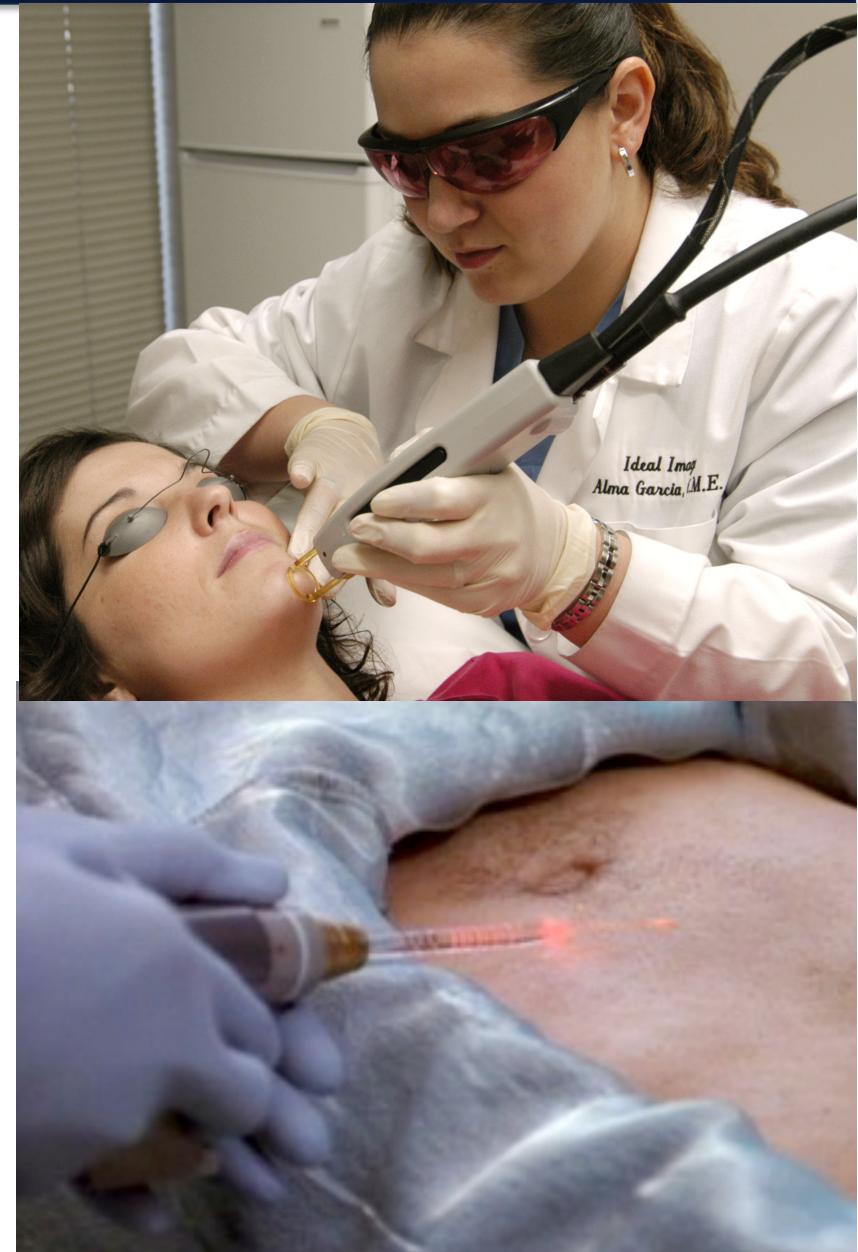
# Výzkum kvantove/atomove fyziky

- Laser cooling
- Ion trapping
- Quantum computing
- Atomové hodiny
- Bose-Einsteinuv kondenzat



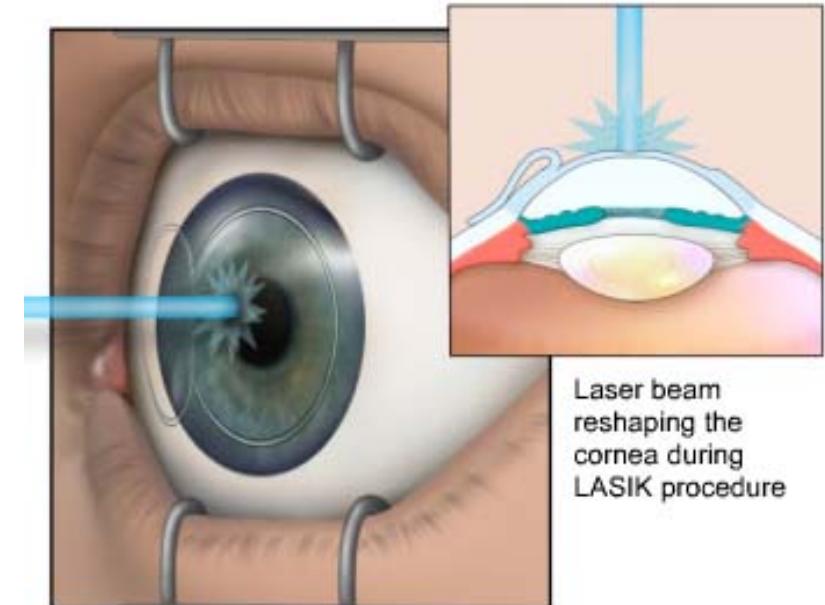
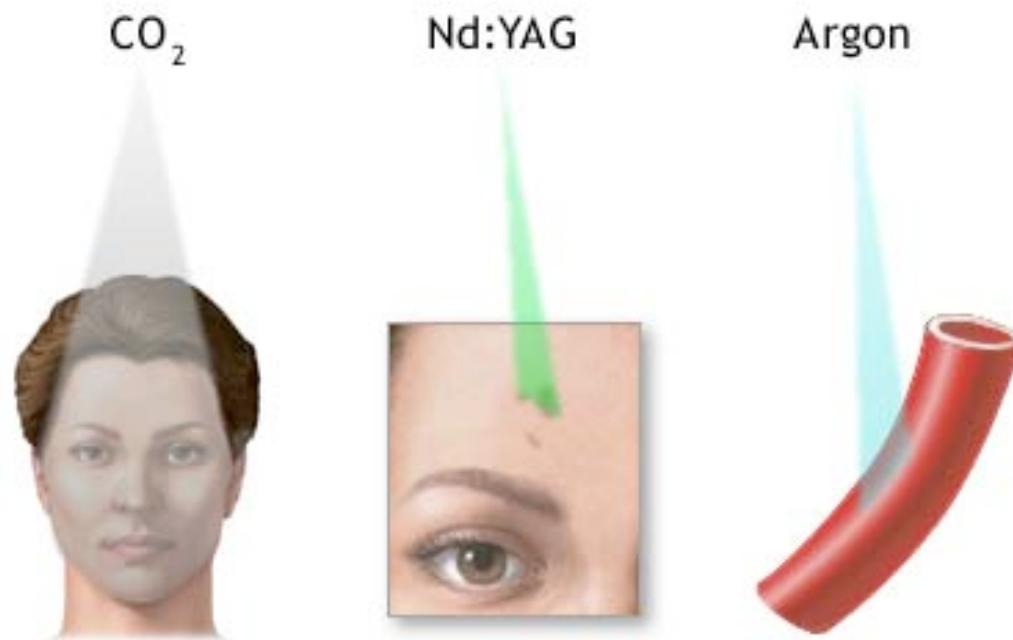
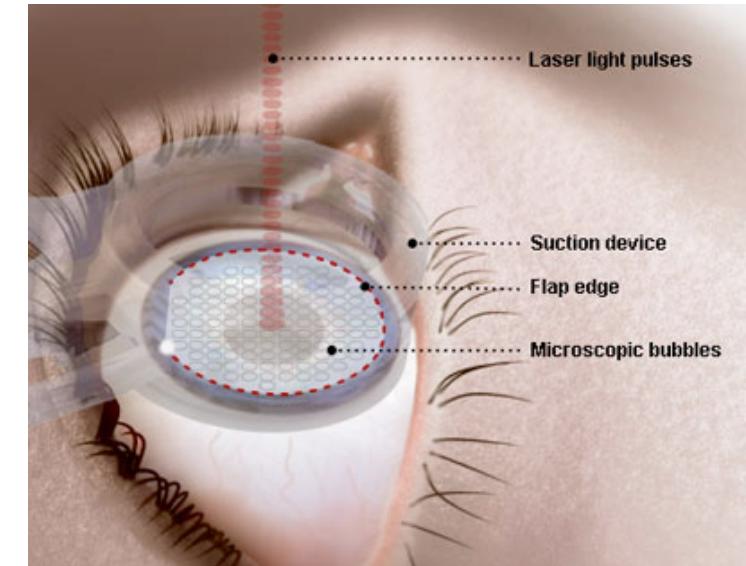
# Lasery v medicíně

- Laserovy skalpel:
  - preciznost, mensi krvaceni, bez kontaktu, rychlejsi hojeni
- Endoskopie:
  - opticka vlakna, zjednoduseni komplikovanych operaci
- Lecba rakoviny:
  - PDT (fotodynamicka terapie)
- Anginoplastika:
  - odebrani povlaku cholesterolu z tepen
- Srdecni chirurgie: TMR



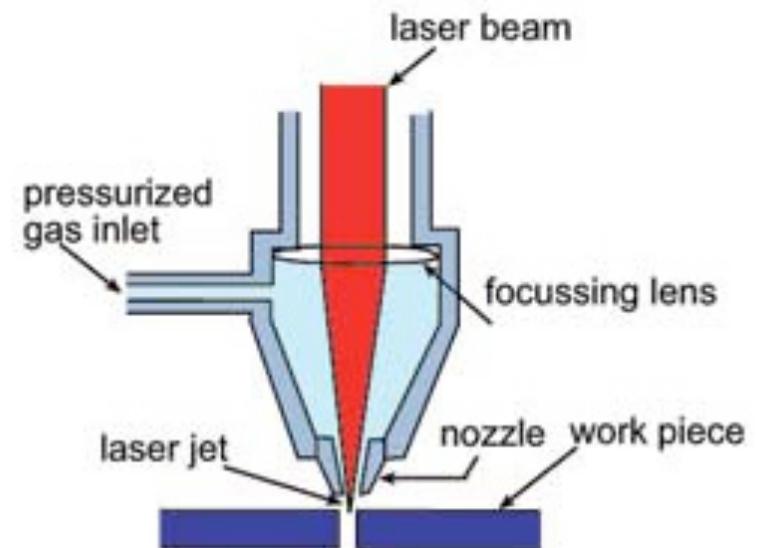
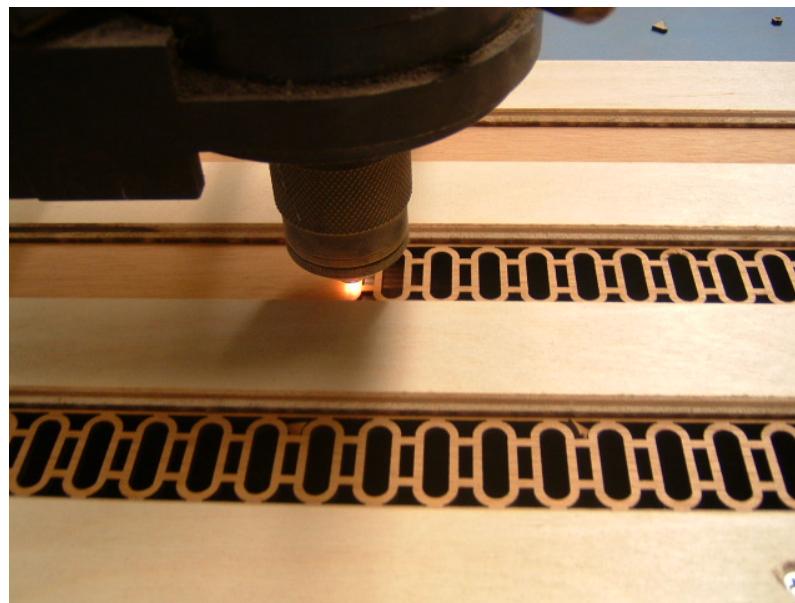
# Lasery v medicíně

- Ocni chirurgie:
  - tvarovani rohovky (ArF @ 193 nm)
  - oprava sitnice (Ar @ 514 nm, 2ω Nd:laser @ 532 nm)
- Zubrstvi (Er:YAG @ 3 μm)



# Prumyslove lasery

- Obrabeni, svarovani, vrtani, atd.: CO<sub>2</sub>, Nd:YAG, Nd:YVO<sub>4</sub>
- fotolitografie: Excimer



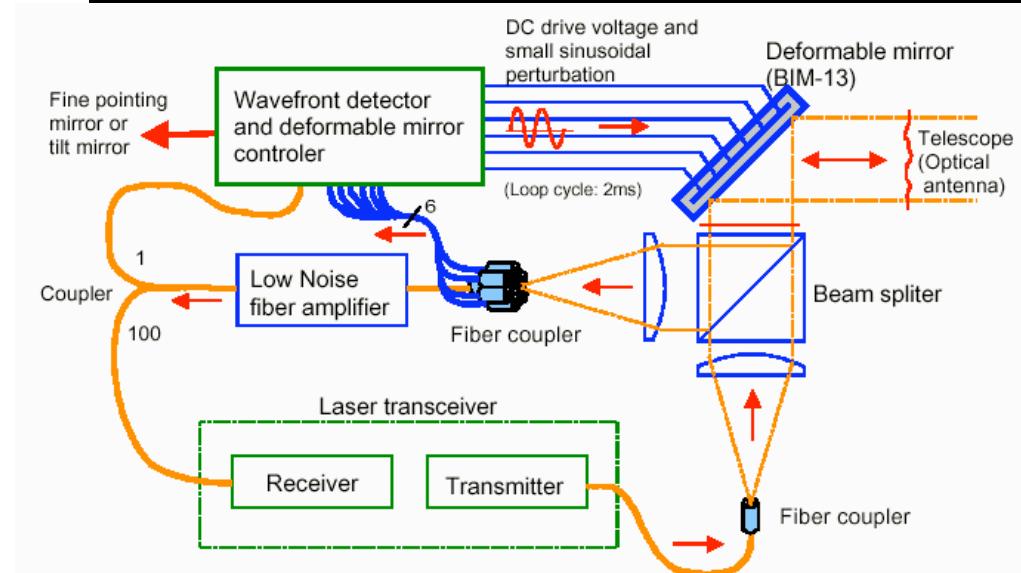
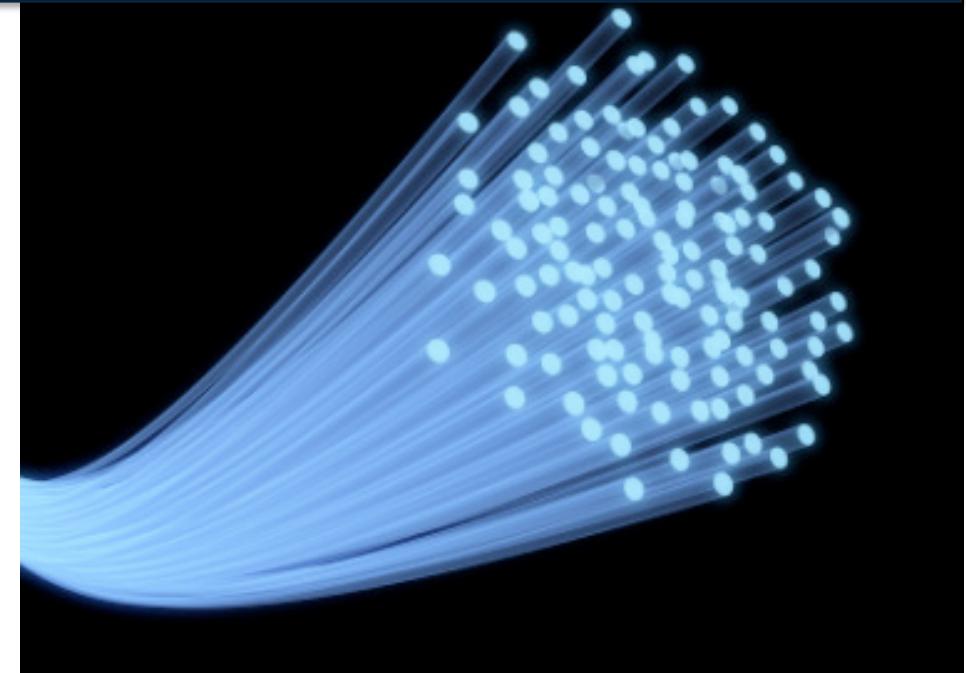
# Prumyslove lasery



CNC Laser Cutting Machine, Capacity upto 28 mm Thickness.

# Opticke komunikace

- Diodove lasery: InGaAdP  
 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}, 1.3 \mu\text{m}$
- Vyssi tok dat & lepsi kvalita nez radiove komunikace
- Komunikace pomocí optickych vlaken
- Vyuzivaji technik nelinearni optiky k samoamplifikaci signalu => kvalitni dalkove komunikace (EDFA)



# Opticke komunikace - budoucnost

- Opticke komunikace s družicemi?
- Vyhody nad radiokomunikacemi:  
kratší vlnova délka = prenos  
většího množství dat, menší rozptyl  
lasérovoeho paprsku = stále menší  
vykon vysilace, vyšší efektivita

— Advertisement —

09/4/09 02:42 PM ET

## U.S. Laser Telecomm Demo Could Support Operations

By Turner Brinton

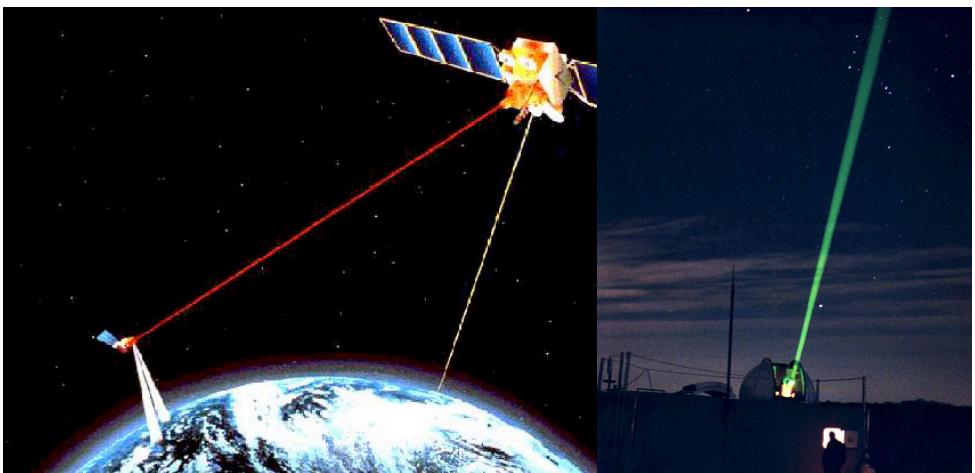
[Email](#) [Facebook](#) [Twitter](#) [ShareThis](#)

WASHINGTON — A new laser communications demonstration satellite that the U.S. Air Force may pursue would pick up one of the primary missions that was abandoned when the service's Transformational Satellite (T-Sat) program was terminated earlier this year.

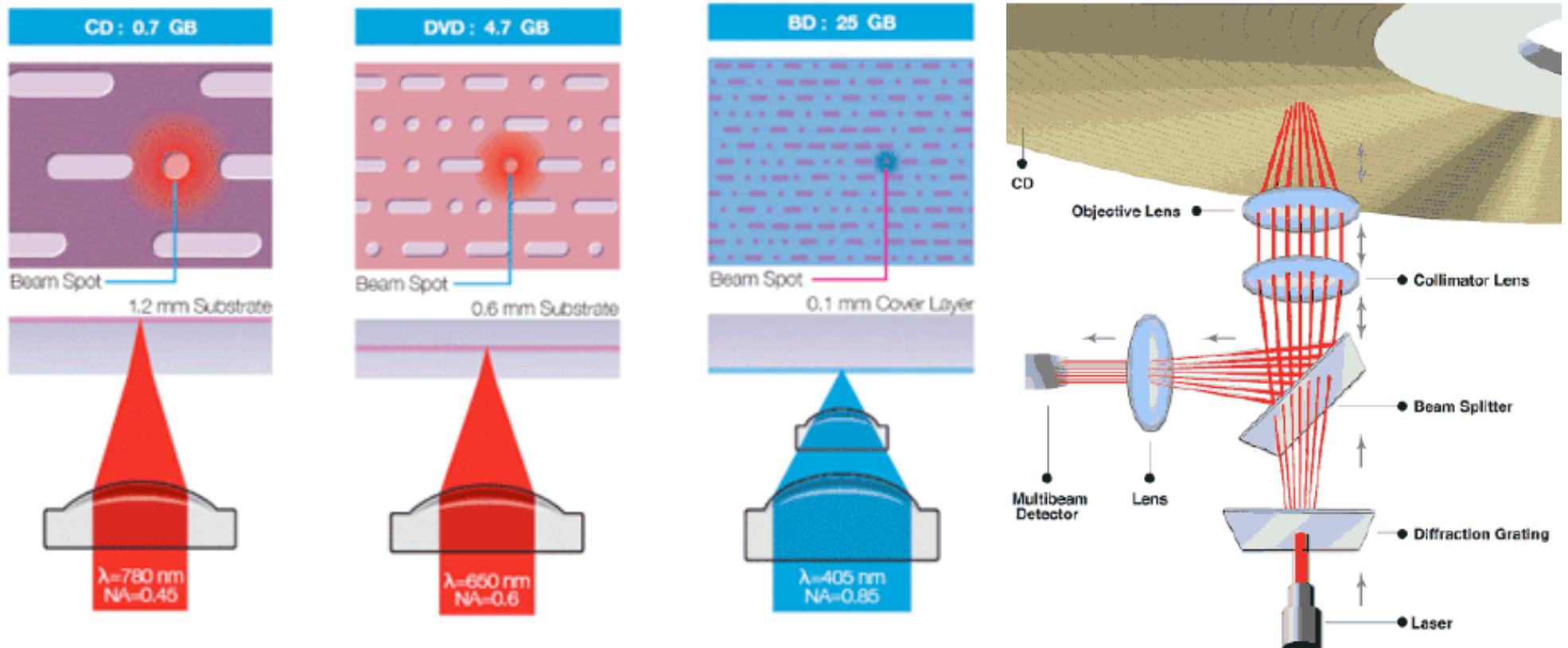
An advanced programs group at the Air Force Space and Missile Systems Center has requested information from industry by Oct. 2 for a geostationary communications satellite that would use lasers to transmit data at high speeds to aerial platforms. If the Air Force moves forward with the program, it will be directly enabled by the \$2.5 billion the service invested in developing T-Sat, government and industry officials say.

Other nations have experience with laser-based satellite communications such as the European Space Agency's Artemis laser relay demonstration satellite. Credit: ESA artist's concept [Enlarge Image](#)



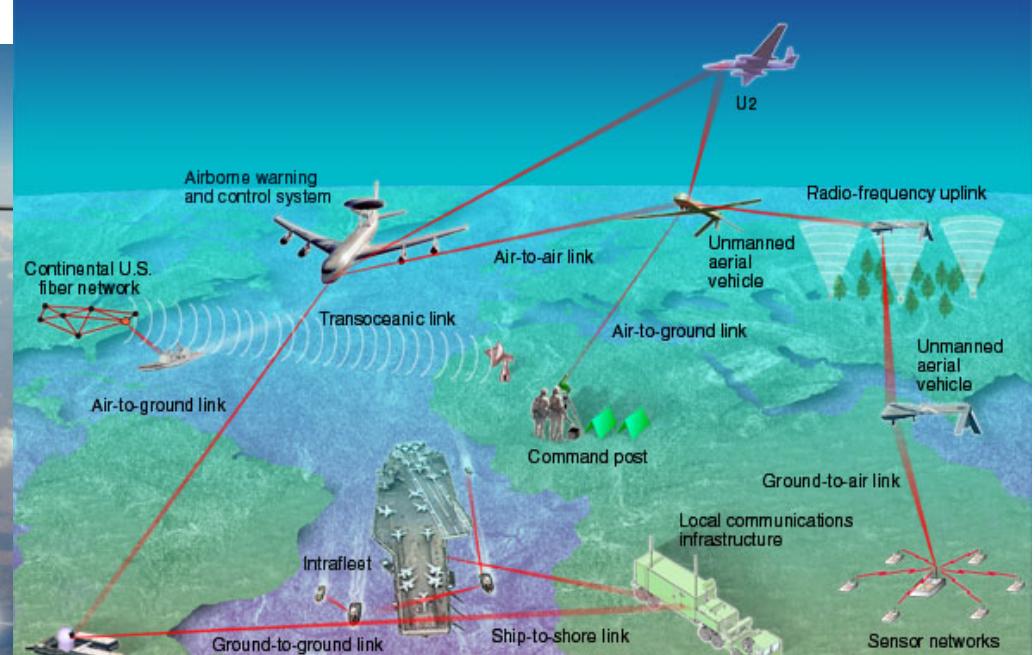
# Opticky zaznam dat



- CD – 650 MB –  $\lambda = 780 \text{ nm}$  (AlGaAs),  $P = 1-30 \text{ mW}$
- DVD – 4.7 GB –  $\lambda = 650 \text{ nm}$  (AlGaNnP),  $P = 1-30 \text{ mW}$
- HD-DVD – 25 GB –  $\lambda = 405 \text{ nm}$  (GaN),  $P = 1-30 \text{ mW}$

# Vojenske aplikace

- Kominukace
- Zamerovani zbranovych systemu
- Radarove technologie
- Laserove zbrane
- Odposlouchavani
- Jaderne zbrane



# Lasery a zabava

- Laserove show se v poslednich letech staly popularnim zdrojem zabavy



# Dalsi aplikace

- Holografie
- Laserove sensory, scanery
- Monitorovani znečistení ovzduší/ počasí
- Mapovani prirodního terenu
- Detekce nebezpečnich chemikalií



# Na závěr

- LASER letos oslavuje sve 50 narozeniny !!!
- Finance ve vede se po krizi znatelne snizily, na coz odpovedely proslule britske noviny The Guardian clankem, kde prohlasili laser nejdulezitejsim vynalezem 20. stoleti ...
- Laserova technologie ma jedno z nejsirsich uplatneni v ruznych odvetvich lidske cinnosti, pricemz jeho vynalez byl produktem cire zvedavosti teoretickeho fyzika ☺

Lasers would never have shone if Mandelson had been in charge

The laser – first built 50 years ago – is used for everything from the internet to barcodes. Yet science funding allocation today would stop such visionary projects in their tracks



John Naughton

The Observer, Sunday 17 January 2010

[Article history](#)



A laser beam over Paris. This year is the 50th anniversary of the first laser beam.  
Photograph: Jacques Demarthon/AFP/Getty Images

<http://www.guardian.co.uk/technology/2010/jan/17/lasers-government-funding-peter-mandelson>

# A pohadky je konec ... ☺



No nejsou lasery proste super sexy ???!!! ☺

FunnyJunk.com

# Trigonometricke identity

## Sum and Difference Identities:

$$\sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$$

$$\sin(x-y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$$

$$\cos(x+y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$$

$$\cos(x-y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$$

$$\tan(x+y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y}$$

$$\tan(x-y) = \frac{\tan x - \tan y}{1 + \tan x \tan y}$$

## Double Angle Identities:

$$\sin 2x = 2 \sin x \cos x$$

$$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x = 2 \cos^2 x - 1 = 1 - 2 \sin^2 x$$

$$\tan 2x = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x} = \frac{2 \cot x}{\cot^2 x - 1} = \frac{2}{\cot x - \tan x}$$

## Product-Sum Identities:

$$\sin x \cos y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)]$$

$$\cos x \sin y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) - \sin(x-y)]$$

$$\sin x \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)]$$

$$\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$$

## Sum-Product Identities:

$$\sin x + \sin y = 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

$$\sin x - \sin y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}$$

$$\cos x + \cos y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

$$\cos x - \cos y = -2 \sin \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}$$