VRSTE LASERA

Podela lasera

Prema vrsti materijala od kojeg je napravljen izvor:

- Čvrstotelni laseri
- Gasni laseri
- Poluprovodnički laseri
- Tečni laseri

Prema načinu pumpanja aktivne (radne) sredine

- laseri sa optičkim pumpanjem (kristalni i tečni)
- laseri koji se pumpaju električnim pražnjenjem.
- Hemijski laseri

Prema režimu rada:

- Kontinualni
- Impulsni laser

Prema oblasti spektra u kojoj emituje svetlost:

- Laseri u vidljivom delu spektra
- Laseri u bliskoj infracrvenoj oblasti
- Laseri u dalekoj infracrvenoj oblasti
- X- laseri, zračenje u X- oblasti

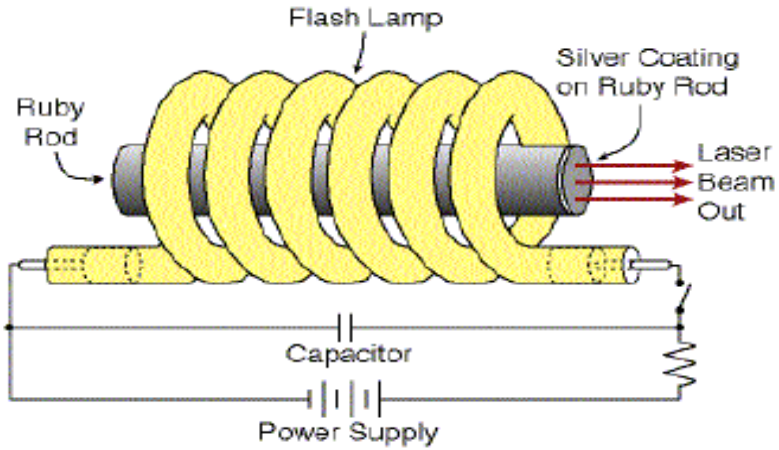
Čvrstotelni laseri

Uvod-Kratak istorijski osvrt

- 1952. godine predložen princip generisanja i pojačavanja elektromagnetskog zračenja ultravisokih frekvencija na bazi pojave indukovanog zračenja.
- Ovo otkriće je doprinelo tome da se ostvari generator zračenja, vrlo malih talasnih dužina.
- 1960. godine – Prvi optički kvantni generator- aktivni materijal sintetički rubin.
- LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
- Laser na bazi rubina, kao aktivnog materijala, radio je u impulsnom režimu rada, a njegovo zračenje je pripadalo crvenoj oblasti spektra elektromagnetskog zračenja. Sama pobuda lasera je ostvarivana snažnim svetlosnim izvorom .

Uvod-Kratak istorijski osvrt

- 1961. godine R. W. Hellwarth otkrio metod Q-switch za koncentrisanje izlaza lasera na bazi rubina u jedan impuls.
- Q-prekidač je optički zatvarač koji sprečava laserski niz akcija tokom impulsa blic lampi čime inverzna populacija može da dostigne veliku vrednost.
- Prvi čvrstotelni neodimijumski laser otkriven 1961. godine bio je na bazi kalcijum-tungstena (wolfram) dopiran jonima neodimijuma.
- Iste godine E. Snitzer demonstrirao je neodimijumski stakleni laser.
- Helijum-neonski laser



Uvod-Kratak istorijski osvrt

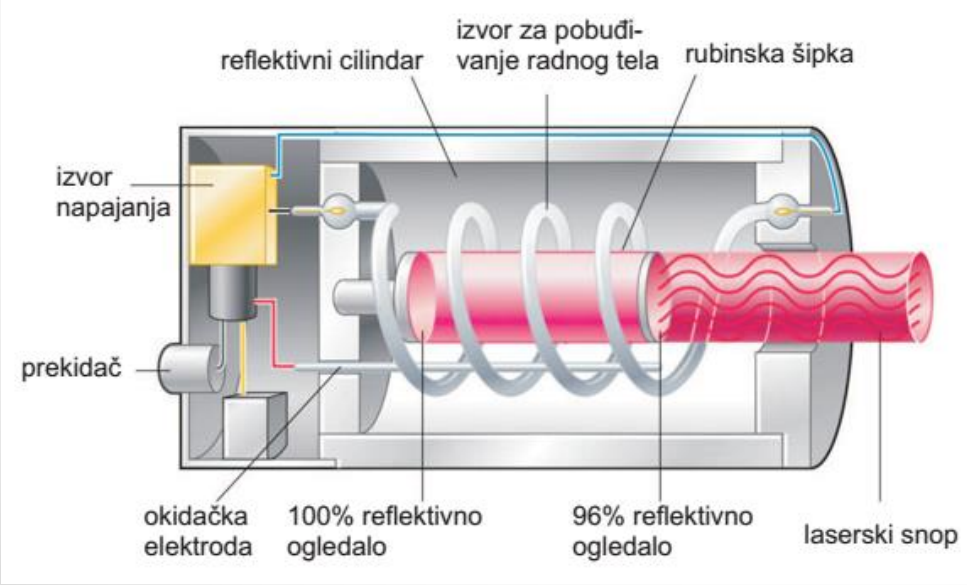
- 1962. godine dobijena su indukovana zračenja u poluprovodničkoj diodi, laserska dioda, što je omogućilo konstrukciju lasera na bazi čvrstotelnih materijala.
- Veliki broj aktivnih materijala.
- Generisanje posebnog zračenja na bazi kristala uz korišćenje jona retkih zemalja.
- Generisani laserski zrak poseduje niz svojstava, kakva se ne mogu naći u običnim izvorima zračenja.
- Lasersko zračenje je koherentno u prostoru i vremenu, monohromatsko, prostire se u vrlo uskom snopu velike gustine energije, koje je smatrano čak i nedostižnom.
- Ovo je omogućilo primenu laserskog zraka za ispitivanje različitih materijala, za objašnjenje strukture atoma i molekula, da se utvrdi priroda njihovog uzajamnog delovanja, ali i za utvrđivanje živih ćelija u čovekovom i drugim živim organizmima.

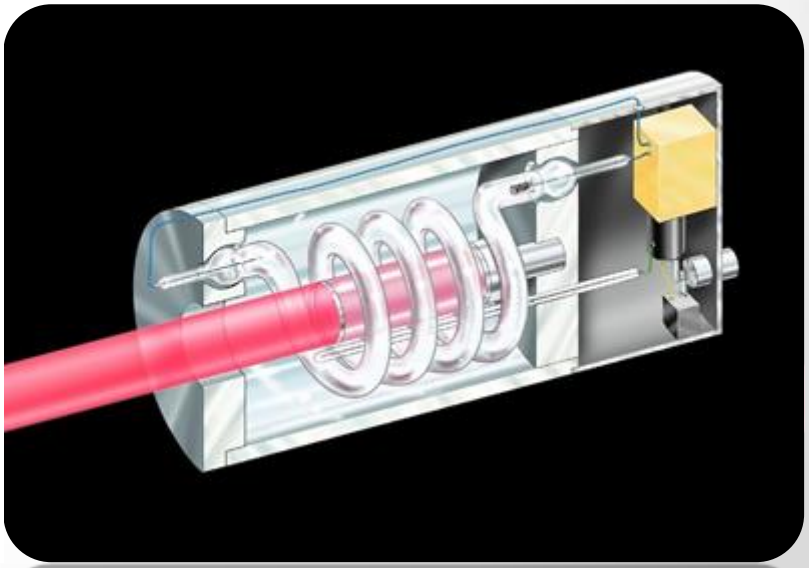
Uvod-Kratak istorijski osvrt

- Laserskim zrakom moguć je i prenos signala kao i realizovanje veza između dalekih objekata
- 1963. godine ispitivana površina meseca. Laserski zraci iz žiže teleskopa upućivani su u pravcu meseca u obliku snažnih impulsa. Odbijeni zrak je oslabljen 10 puta i bio je dovoljan da se odredi konfiguracija površine meseca.
- Snažan podstrek razvitku laserske tehnike dalo je otkriće nekih novih struktura materijala tzv. Heterostrukturnih slojeva što je omogućilo konstrukciju lasera sa zračenjem u vrlo širokom opsegu talasnih dužina.
- Sve ovo omogućilo je da se laseri sve više koriste u različitim oblastima.

Čvrstotelni Rubinski Laser

- Radno telo je kristal rubina ($A\ell_2O_3$) sa primesama hroma (Cr).
- Atomi (joni) hroma uzrokuju postojanje metastabilnih energijskih stanja u kristalu $A\ell_2O_3$, neophodnih za postizanje inverzne naseljenosti energijskih nivoa.
- Oni, prema tome, imaju ključnu ulogu u procesu dobijanja laserske svetlosti.



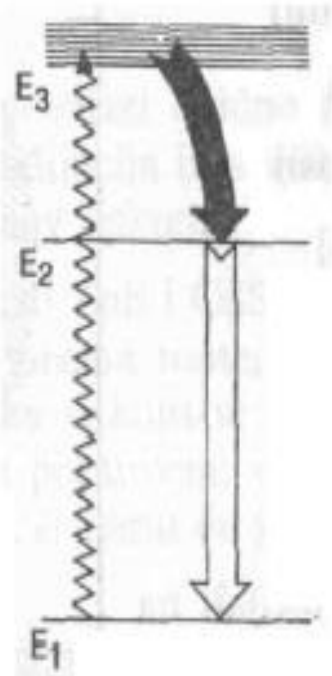


Čvrstotelni Rubinski Laser

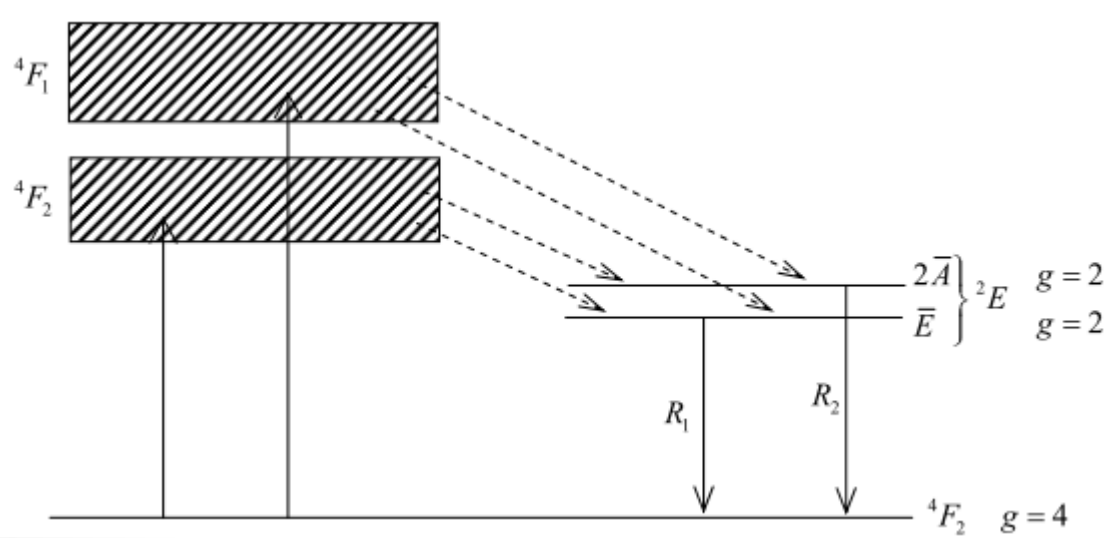
- Uslovi emisije fotona:
  - Borov uslov – laseriki medij mora sadržati energetske nivoe čija razlika odgovara energiji emitovanih fotona

$$E2 - E1 = \boldsymbol{h} * \upsilon$$

  - Većina atoma mora biti u pobuđenom stanju
- Rubinski laser je tronivoski laser
- Laserski medij je smešten između dva paralelna ogledala
- Pobuda se vrši uz pomoć Ksenonske sijalice
- Joni hroma (Cr^{3+}) se prevode iz osnovnog stanja 1 u pobuđeno stanje 3 čije je vreme života veoma kratko ($\sim 10^{-8}$s).
- Neki elektroni se vraćaju direktno u osnovno stanje, ali većina ih prelazi na metastabilno stanje 2 sa daleko dužim vremenom života ($\sim 10^{-3}$s).
- Na taj nalin se ostvaruje inverzna naseljenost
  - E3 → E2 – toplotna energija
  - E2 → E1 – fotoni



Energetski nivoi rubinskog lasera su nivoi jona Cr^{3+} u rešetki kristala Al_2O_3. Rubinski laser ima dve osnovne apsorpcione pruge $^4F_1$ i $^4F_2$, čiji centri su na talasnim dužinama 0,55μm (zelena) i 0,42 μm (ljubičasta).



Energetski nivoi rubinskog lasera.

Prelazi sa tih traka na gornje laserske nivoe ^{2} E (2 A i E) su neradijacioni i brzi.

Pošto su nivoi 2 A i E međusobno povezani brzom neradijacionom relaksacijom, njihova naseljenost se termalizuje (rastojanje nivoa 2 A i E je malo u poređenju sa k_BT, tako da su njihove naseljenosti uporedljive, iako je naseljenost nivoa E veća).

Laserska generacija se može dobiti na dva prelaza R_1 (λ_1=0,6943 μm) i R_2 (λ_2=0,6928 μm) sa nivoa E i 2 A na osnovni nivo $^4F_2$.

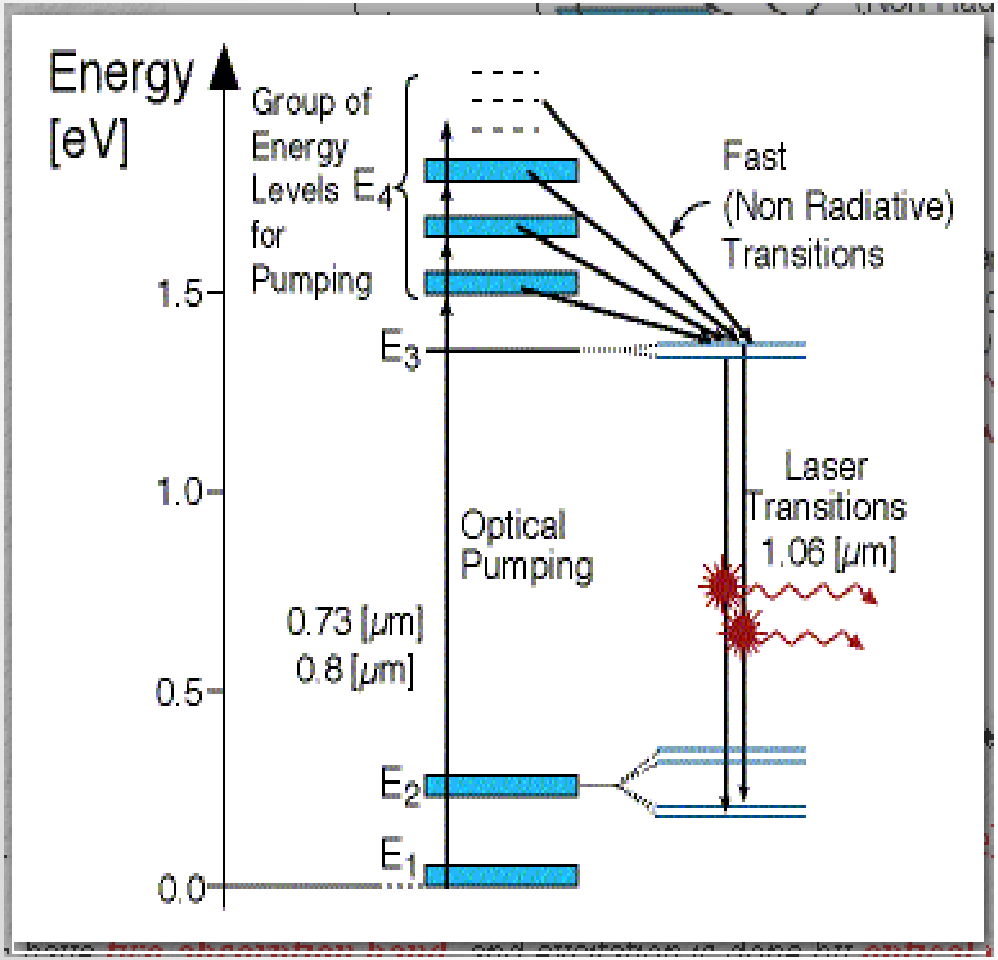
- Rubinski laser uglavnom radi u impulsnom režimu.
- Za pumpanje se koriste impulsne ksenonske lampe srednjeg pritiska $7 \cdot 10^4$ Pa.
- Prečnik laserskog štapića je obično 5−10 mm, a dužina 5−50 cm.
- U režimu modulacije dobrote snaga rubinskog lasera pri impulsu trajanja 10−20ns je 10−50 MW (snaga može biti i veća u režimu sinhronizacije modova, vreme trajanja impulsa 10 ps daje snagu reda veličine nekoliko GW).
- Pri pumpanju živinom lampom visokog pritiska rubinski laseri mogu raditi i u neprekidnom režimu (snaga je reda 100 mW).
- Laseri koji rade u neprekidnom režimu se obično hlade posebnim sistemom za hlađenje.
- Pošto rubinski laser obično radi po šemi tri nivoa njegova granična energija pumpanja je za red veličine veća nego kod lasera koji rade po šemi četiri nivoa (npr. Nd:YAG).
- I pored toga, rubinski laser se još uvijek primenjuje u nekim naučnim istraživanjima, npr. u impulsnoj holografiji i pri merenju rastojanja (uključujući i laserske daljinomere za vojne svrhe)

YAG laser

- Itrijum Aluminijum Garnet (**YAG**, sa hemijskom formulom $Y_3Al_5O_{12}$) se ustalio kao najproizvođeniji laser i od skoro uživa popularnost kao zamena materijala za optičke komponente.
- YAG je stabilna komponenta, mahanički čvrst, fizički jak, optički izotrpan i transparentan od ispod 300 nm do iznad 4 mikrona.
- Prvi objavljeni YAG materijal sa jonom Neodijuma (Nd^{3+}) bio je u Bell Telephone Laboratory 1964 godine.
- YAG sistemi mogu da rade na višim prijemnim režimima, višim izlaznim energijama, i da rade sigurnije od prve generacije rubinskih sistema, prvenstveno zbog termičke stabilnosti i robusne prirode Nd:YAG materijala.
- Dodatne primene, od kojih mnoge koriste kablovske prenosne sisteme, proširene su da bi uključile sečenje, zavarivanje i bušenje metala u automobilskoj industriji, obeležavanje i popravku poluprovodničkih materijala, kao i za medicinu i zubarstvo.
- Ovo je implementirano uz pomoć lasera koji rade u opsegu od ultravioletnog do blisko-infracrvenog zračenja, koristeći Holmijum (Ho^{3+}), Tulijum (Tm^{3+}), Erbijum (Er^{3+}), Iterbijum (Yb^{3+}), Hrom (Cr^{3+}).

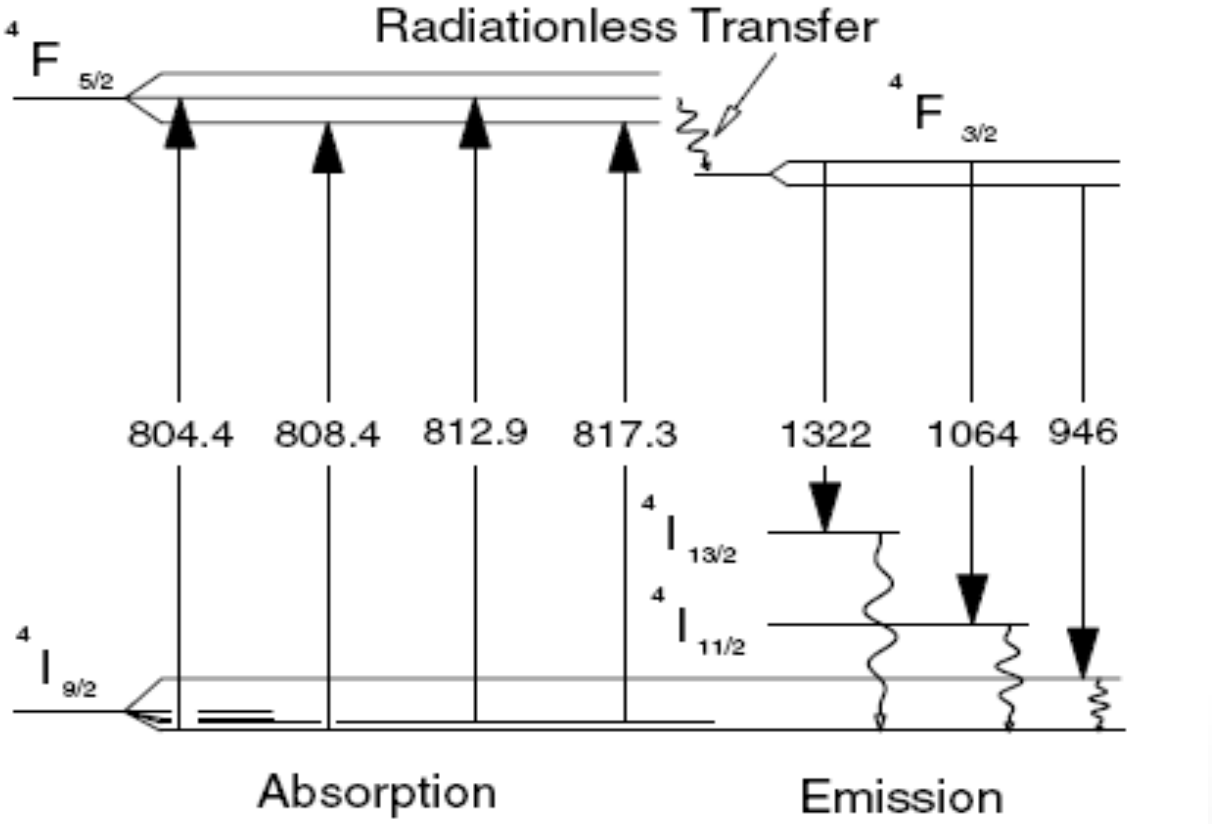
Nd : YAG Neodimijumski laser

- Najčešće korišćeni čvrstotelni laser
- Tipičan predstavnik lasera sa 4 energetska nivoa

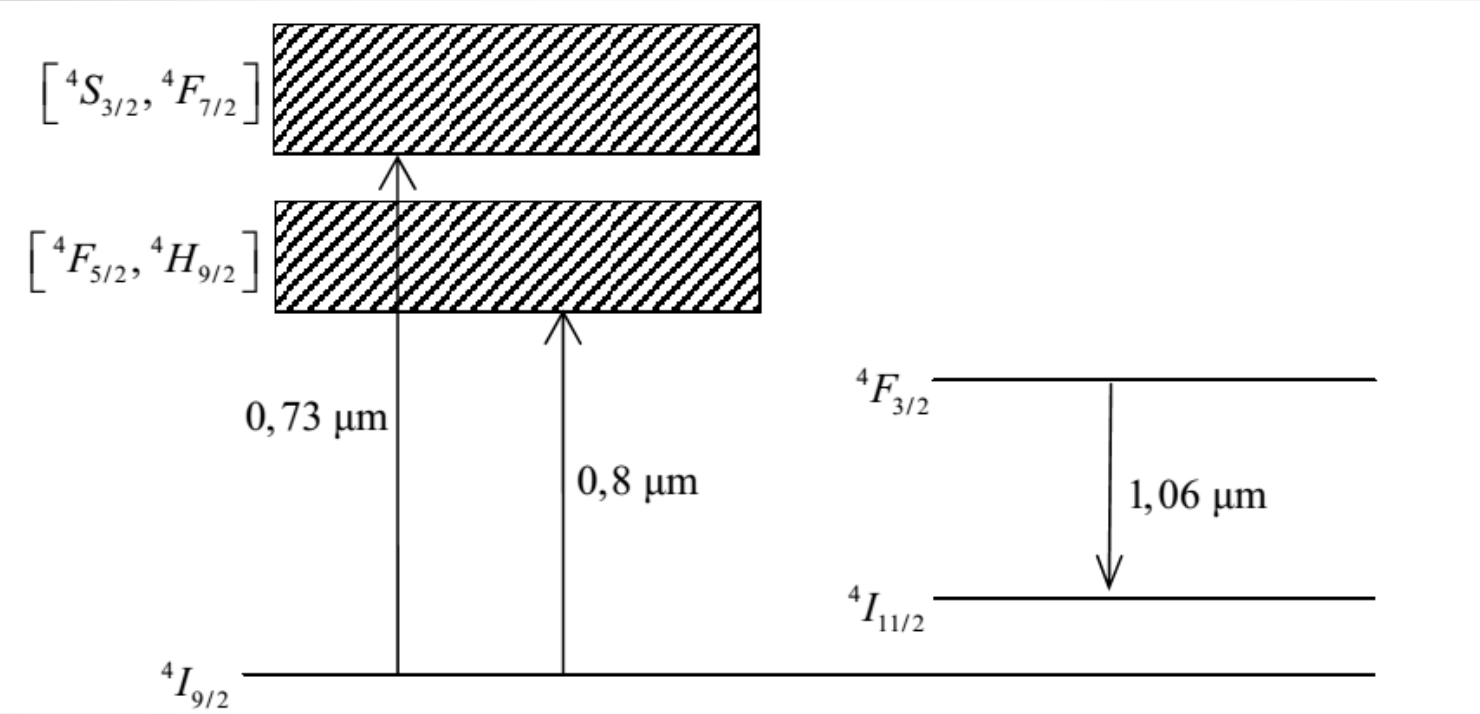


- Za rad u impulsnom režimu koriste se ksenonske. bljeskalice, a u neprekidnom režimu kriptonske bljeskalice visokog pritiska.
- Aktivnu sredinu ovog lasera predstavljaju trostruko jonizovani atomi neodijuma (Nd^{+3}).
- Generišu zračenje na više talasnih dužina.
- Energija elektrona se predaje veoma brzo i efikasno kristalnoj rešetci.

- Sistem ima 4 diskretna apsorpciona nivoa između elektronskih podnivoa $^4I_{9/2}$ i $^4F_{5/2}$ koji potiču od Nd^{3+} jona u YAG kristalnoj rešetki.
- Najznačajniji laserski prelaz se dešava između početnog stanja $^4F_{3/2}$ i završava se na $^4I_{11/2}$ stanju, pri čemu emitovana svetlost ima talasnu dužinu od 1064nm.
- Iz ovog stanja se atomi Nd relaksiraju opet u osnovno stanje $^4I_{9/2}$ sve dok proces pumpanja ne počne ponovo iz početka.



Relavantni energetski nivoi Nd:YAG-a



- Brzi neradijativni relaksacioni procesi zajedno sa dugim vremenom života $^4F_{3/2}$ stanja obezbeđuje visoku kvantnu efikasnost pri konverziji pumpane energije u lasersku energiju na izlazu.
- Kod neradijativnog prelaza energija elektrona se predaje veoma efikasno i brzo kristalnoj rešetki, usled čega se kristal zagreva.
- Metastabilni I nivoi su neuobičajeni u tome što imaju relativno dugo vreme života od prlike 550 μs.
- Inverzna populacija je potreban uslov za stimulisanu emisiju da bi postala apsorpcija i prerasla u pojačanje svetlosti.

Hemijska formula	$Nd:Y_3Al_5O_{12}$
Težina % Nd	0.725%
Atoma % Nd	1.0%
Nd atoma/cm	$1.38x10^{20}$
Energija fotona 1.061µm	$1.86x10^{-19}$ J
Spektralna širina prelaza	0.45 nm
Srednje vreme života laserskog prelaza ($^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{11/2}$)	550 µs
Presek za stimulisanu emisiju	$\sigma21=2.7\text{-}8.8x10^{-19}$ cm^2
Srednje vreme života za relaksacioni prelaz sa donjeg laserskog nivoa na osnovni nivo Nd($^4I_{11/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$)	30 ns
Indeks prelamanja	1.82 (na 1.0 µm)
Gubici usled rasejanja	$\alpha p\approx0{,}002$ cm^{-1}
Termalna provodljivost	0,14 $Wcm^{-1}K^{-1}$

Fizička i optička svojstva Nd:YAG lasera.

Proizvodnja YAG-a

- Rast YAG kristala se ostvaruje upotrebom procesom rasta Čohralskog.
- U ovom procesu YAG materijal i dopanti se tope u iridijumskoj posudi koja se zagreva indukcijom i kristalni rast je pod kontrolom računara.
- Pošto se koncentracija Niodijuma povećava se dužinom kristala, može se koristiti samo oko 25% istopljenog kristala.
- Kada se jednom proces rasta završi, YAG kristal se polako hladi kako bi se smanjila mogućnost oštećenja od visokih termalnih udara.

Primena Nd:YAG lasera

Nd:YAG laseri imaju široku primenu u :

- Medicini, kod operacije katarakte oka, u estetskim operacijama itd.
- Industriji, gde se koriste za graviranje, nagrizanje, ili obeležavanje različitih metala i plastika.
- Većinom se koriste za zavarivanje i sečenje čelika, i drugih legura.
- Za automobilsku industriju snage lasera su u dijapazonu od 1 do 5 kW.
- Koriste se za označavanje ispod površine kod transparentnih materijala, kao što je akrilno staklo.
- Dinamici fluida, gde se meri brzina čestica fluida.
- Vojsci, za lasersko navođenje projektila, merenje razdaljine objekta.

Performanse parametara čvrstotelnih lasera

- Najefikasniji svetlosni izvori zrače u širokim spektralnim oblastima.
- Aktivna sredina treba da ima jake apsorpcione trake i uzan fluorescentni prelaz sa što većom kvantnom efikasnošću.
- Dielektrični kristali dopirani prelaznim elementima u dobroj meri zadovoljavaju ovaj uslov.
- Čvrstotelni laseri obezbeđuju najsvestraniji izvor zračenja od svih vrsta lasera.
- Širok opseg izlaznih parametara.

Performanse parametara čvrstotelnih lasera

- Čvrstotelni laseri se koriste u raznim oblastima.
- Fleksibilnost čvrstotelnih lasera proizilazi iz činjenica da mnogi parametri mogu da se menjaju.

- **Prosečna izlazna snaga**
  - Većina čvrstotelnih lasera imaju izlaznu snagu ispod 20 W

- Elektronska industrija predstavlja najveće tržište za aplikacije kao što su lemljenje, skidanje i lepljenje žica, popravka memorija itd.

- Koriste se i u medicini, čvrstotelni laseri sa snagom preko 5 kW koriste se pri radu sa metalom, sa snagom od oko 100 kW u procesu proizvodnje

- **Maksimalna snaga-**
  - Laseri koji rade u impulsnom režimu sa širinom impulsa reda 100 μs i energijom od nekoliko Džula se koriste u procesu proizvodnje za bušenje rupa. Maksimalna snaga ovih lasera je obično nekoliko desetina kilo wata.
- **Širina impulsa-**
  - Čvrstotelni laseri obuhvataju opseg rada od kontinualnog režima do impulsnog kao i kratak ciklus frekvencije lasera koji je reda veličine 1 fs.
  - Dugački impulsi koji su reda veličine mili i mikrosekunde su generisani podešavanjem dužine pumpajućeg impulsa. Bušenje rupa i kaljenje površina metala se vrši sa impulsima u trajanju od 100μs

- **Spektralni opseg**

- Da bi se realizovao podesivi izlaz neophodno je korišćenje podesivih lasera kao što su Ti : safirski ili na bazi aleksandrita.

- Većina efikasnih lasera kao što su laseri na bazi neodimijuma su u suštini
- laseri fiksne talasne dužine sa izlazom oko 1μm.

- Limit spektralnog opsega čvrstotelnih lasera u UV regionu je dostignut pomoću neodimijumskog lasera i iznosi 266nm.
- Ograničenja talasnih dužina ograničena nedostacima kristala.
- **Karakteristike prostornog snopa**
  - Praktično sve laserske aplikacije koriste neku vrstu ograničenog snopa
  - Bitno je napomenuti da postoji kompromis između izlazne snage i kvaliteta zračenja
- **Budući trendovi**
  - zamena blic lampi sa nizovima laserskih dioda
  - Velika izlazna snaga
  - Porast sa 10% na 30-40% korisnog izlaza

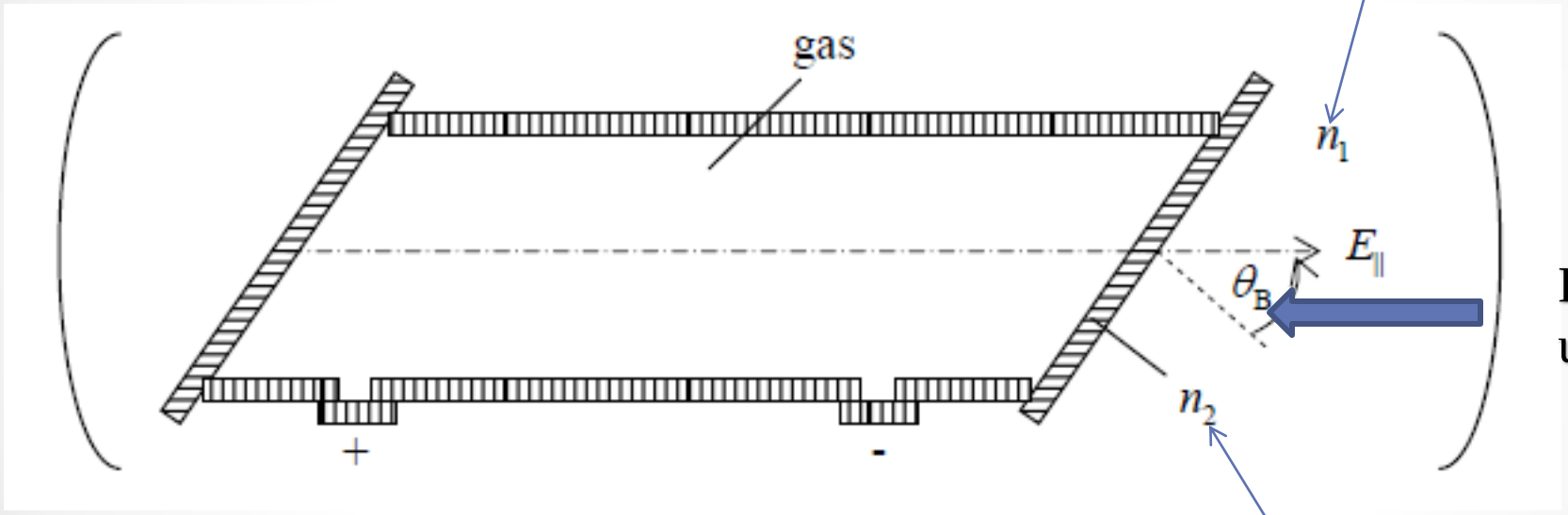
Gasni laseri

- Energetski nivoi atoma i molekula su precizno definisani i imaju malu širinu u poređenju sa laserima čvrstog stanja.
- Pritisak gasa u laserskim uređajima je nizak (nekoliko mmHg stuba).
- Gasni laseri nemaju široke apsorpcione trake, tako da za njih optičko pumpanje nije efikasno.
- Pumpanje se vrši pomoću električnog gasnog pražnjenja.
- Postoje i drugi metodi: gasnodinamičko širenje gasa, hemijsko pumpanje, optičko pumpanje drugim laserom...
- Gasovi su optički homogeni, mala gustina, disperzija i izobličenje svetlosnog snopa zanemarljivi.
- Rastojanje između ogledala rezonatora veliko, bolja usmerenost laserskog snopa.

Cev: -prečnik nekoliko mm do nekoliko cm

- dužina nekoliko cm do nekoliko metara

Indeks prelamanja sredine iza prozora



Brusterov ugao

$$\theta_B = \text{arctg}(n_2 / n_1)$$

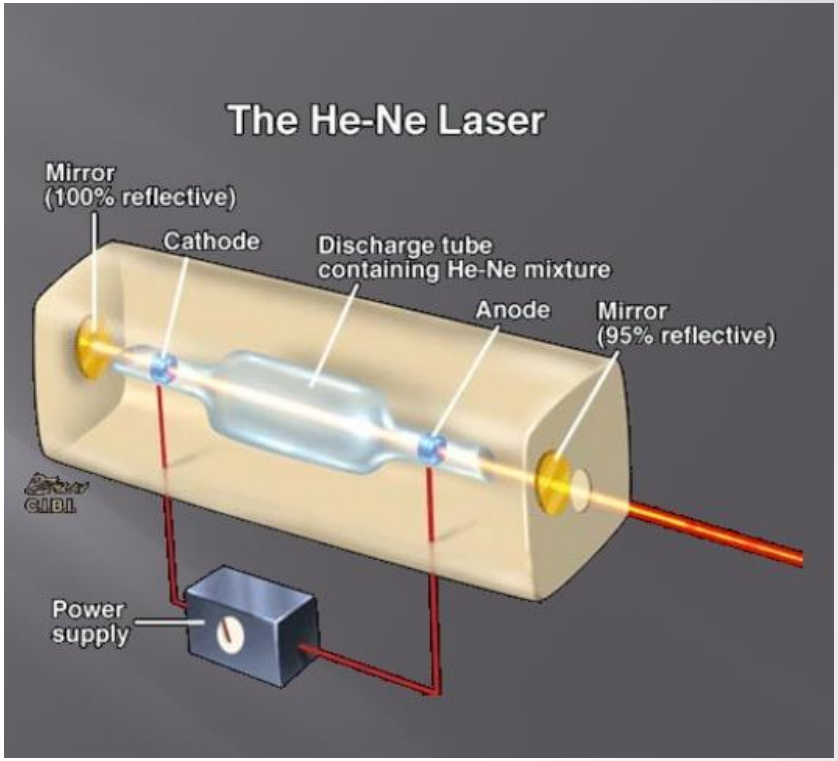
- Ugao θ_B – smanjenje gubitaka usled refleksije
- Sferna ogledala
- Broj pobuđenih atoma mali – mali impulsi snage

Indeks prelamanja materijala prozora

Podela:

- Gasni laseri sa neutralnim atomima (infracrveno područje spektra)
- Jonski laseri (vidljiv i ultraljubičast deo spektra)
- Molekularni laseri (infracrveni i submilimetarski talasi)
- Hemijski laseri (pumpanje se postiže hemijskom reakcijom)

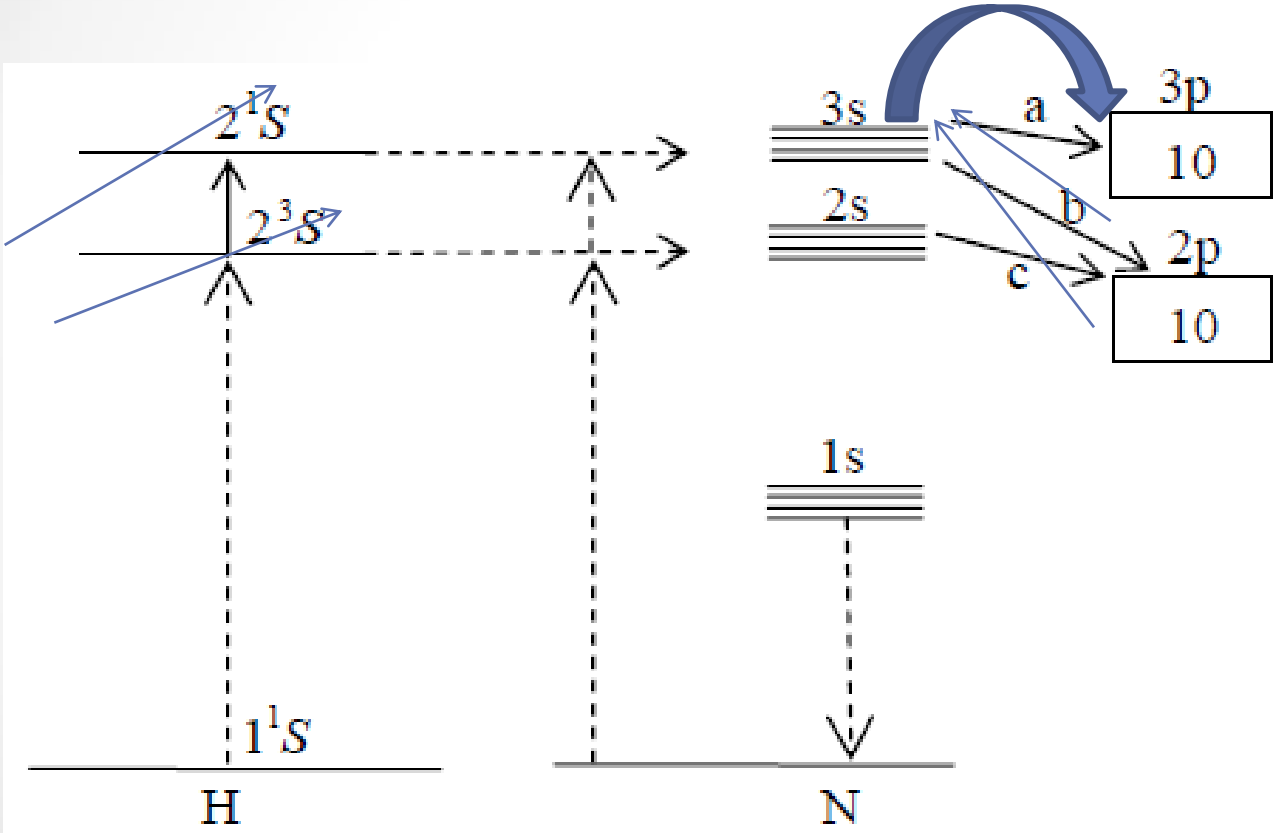
Gasni laseri sa neutralnim atomima



- Predstavnik He-Ne laser.
- Prvi otkriveni gasni laser (1961).
- Generiše zračenje na 140 talasnih dužina.
- Danas najrasprostranjeniji crveni He-Ne laser.
- Koriste se inertni gasovi.
- Generacija zračenja se postiže pri prelazima između viših energetskih nivoa (prvo pobuđeno stanje je obično metastabilno, nije pogodno za niže prelaze).
- Infracrveni spektar.

- Proces pumpanja ostvaruje se pomoću He

- Generacija zračenja nastaje pri prelazu između nivoa Ne



- Prelaz - generaciju laserskog zračenja
- Vreme života *s* stanja 100ns,
  rad u neprekidnom režimu
Najintenzivniji prelaz $3s_2$-$2p_4$ (λ=0.633μm)
prelaz $2s_2$-$2p_4$ (λ=1.15μm)

- Elektroda – napon
- Gasno pražnjenje
- Pobuđenje atoma Ne
- Generacija laserskog zračenja

Pri sudarima pobuđenih atoma He sa nepobuđenim atomima Ne
-Atomi Ne prelaze u pobuđeno stanje
-Atomi He osnovno stanje
- Pumpanje efikasno, koncentracija He 5-15 puta veća od koncentracije Ne

- **Laseri sa metalnim parama** (koriste Pb, Cu, Au, Ca, Mn)

- **Laser sa parama bakra**

  - generiše zelenu svetlost (λ= 0,51 μm) i žutu svetlost (λ= 0,578 μm)

  - rad u impulsnom režimu
  - srednja snaga 40W
  - Pošto je morska voda relativno prozračna u plavozelenoj oblasti spektra, to se ovi laseri koriste za podvodne sisteme veze i daljinsko lociranje podvodnih objekata

- **Tri nivoa prelaza:**
- Energetski nivoi lasera sa metalnim parama se mogu predstaviti pomoću tri nivoa

  - sa osnovnog nivoa g na pobuđeni 2 (pumpanje)
  - generacija se odvija pri prelazu sa višeg 2 na niži nivo 1
  - prelaz g-1 elektro dipolno zabranjen, laser radi samo u impulsnom režimu

Jonski laser

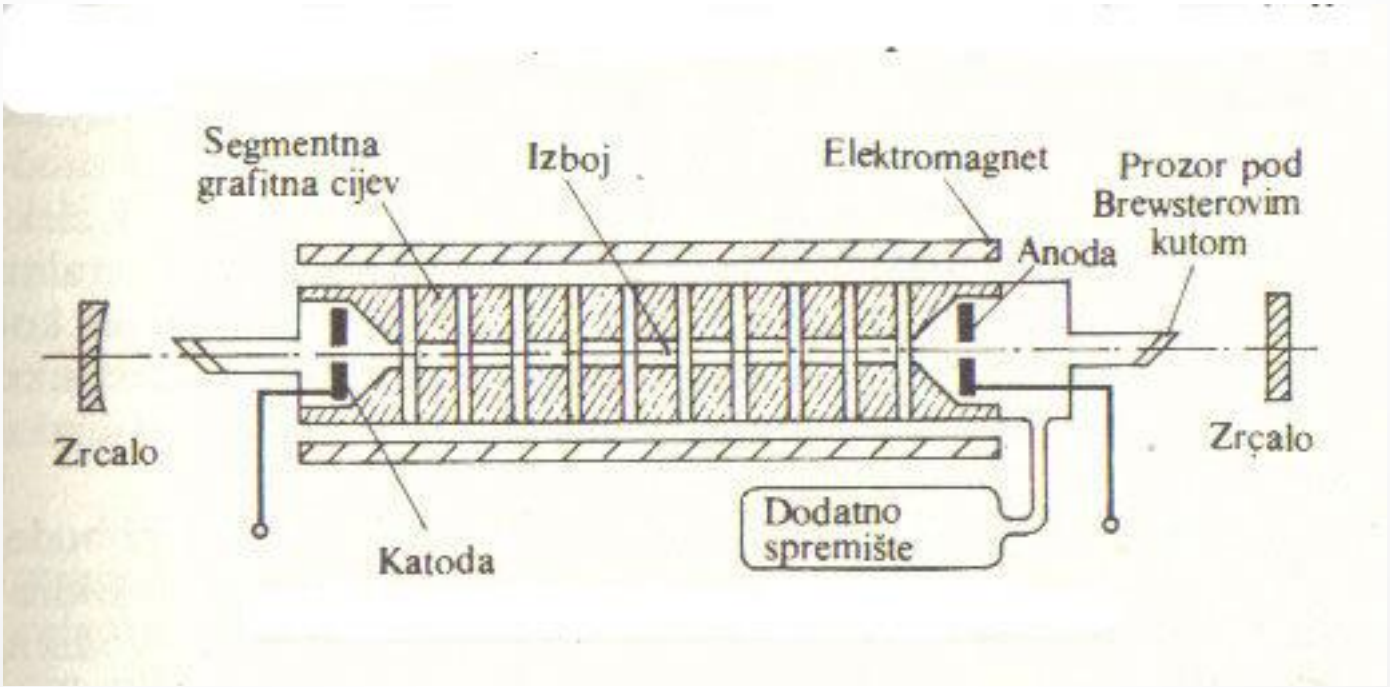
- Rastojanja energetskih nivoa veća nego kod atoma
- Fotoni imaju veće energije
- Manje talasne dužine
- Rade u ultraljubičastom i vidljivom delu spektra
- Dele se na:
  - jonske gasne lasere i
  - jonske lasere sa metalnim parama

Jonski gasni laser

Aktivna sredina **joni inertnih gasova (Ne, Ar...) ali i jonizovani gasovi P, S i Cl.** Joni koji se koriste mogu biti i višestruko naelektrisani.

Npr., postoje Ne^{3+} laseri (λ= 0.236μm) i Ne^{2+} laseri (λ= 0.332 μm).

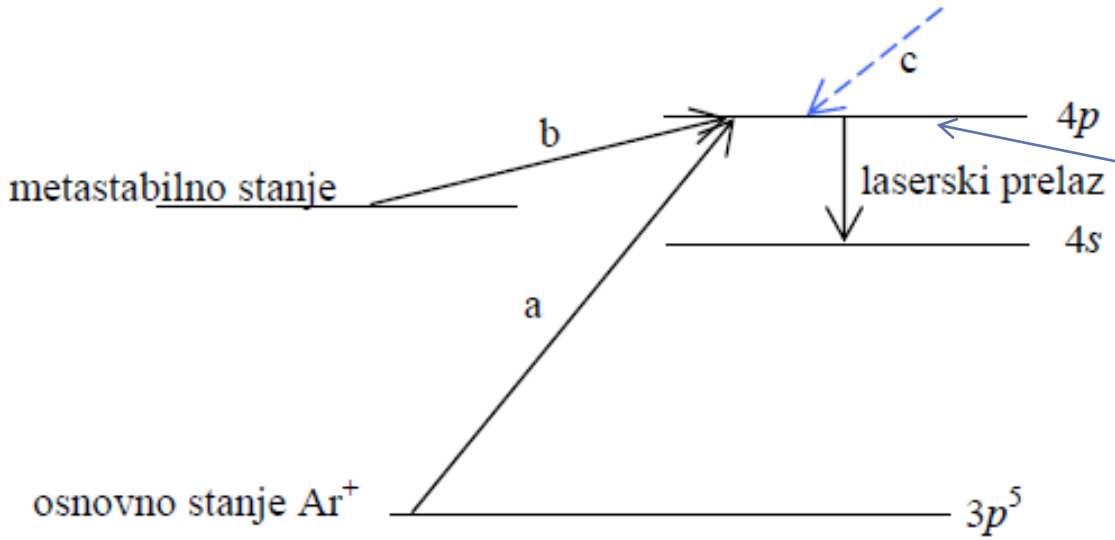
Najčešće korišteni i najbolje proučeni jonski laser je **argonski (Ar^{+}) laser (W. B. Bridges 1964).**



Jonski gasni laser

Prvo se kroz Ar, propušta struja i dolazi do gasnog pražnjenja. Elektroni se sudaraju sa neutralnim atomima i nastaju joni Ar^+.

U drugom delu procesa dolazi do naseljavanja gornjeg laserskog nivoa kao rezultat sudara elektrona sa jonima Ar^+ koji se nalaze u osnovnom stanju (a) ili u metastabilnom stanju (b), ili kao rezultat kaskadnih radijacionih prelaza sa viših nivoa (c).



- Pumpanje na laserski nivo (4p) – dvostepeni proces
-Struja, gasno pražnjenje, joni
- Laserska generacija prelaz 4p-4s.
- Rad u neprekidnom režimu
- Za pumpanje jaka struja

- Generacija plave λ= 0. 488 μm i zelene svetlosti 0.5145 μm
- Postižu se velike izlazne snage jer nema zasićenja inverzije pri povećanju gustine struje
- Značajan je i kriptonski laser za generisanje crvene boje

Jonski laseri sa metalnim parama

- Aktivna sredina pare metala (Zn, Pb, Cu, Sn, Se)
- Pumpanje proces Penningove jonizacije
- Jednostepen proces
- **Kadmijumov (He-Cd) laser**

$$He^* + Cd \rightarrow He + \left(Cd^+\right)^* + e$$

- Energija pobuđenih atoma helijuma He je veća od energije potrebne za jonizaciju i pobuđenje atoma kadmijuma Cd
- Višak energije prelazi u kinetičku energiju elektrona
- Laserska generacija se odvija pri prelazima između različitih pobuđenih stanja jona Cd
- Ultraljubičasti spektar (0.325μm, 1-20mW)

- **Selenski (He-Se) laser - energija jona** $(Se^+)^*$ je veća od energije metastabilnih stanja He

$$He^+ + Se \rightarrow He + \left(Se^+\right)^*$$

Rezonantan proces, vreme života jona He veliko
- Izmenjonska jonizacija
- Proces pumpanje efikasan
- Pri prelazima sa viših nivoa $(Se^+)^*$ na niže, dolazi do generacije zračenja na 19 različitih talasnih dužina u vidljivom području spektra.

Molekularni laseri

- Prelazi između različitih stanja molekula

- Prema tipu prelaza:

a) Molekularni laseri sa prelazima između različitih elektronkih stanja molekula

b) Molekularni laseri sa prelazima između oscilatornih nivoa jednog istog elektronskog stanja

c) Molekularni laseri sa prelazima između različitih rotacionih nivoa jednog istog oscilatornog stanja

- **Laseri prve grupe** – ultraljubičasti vidljivi spektar
  - vibronički i ekscimerni laseri

  - **Vibronički laseri** (vibronic= vibrational + electronic)
    - rade na prelazima između oscilatornih nivoa različitih elektronskih stanja, primer azotni i vodonični laser

  - **Ekscimerni laser** (excimer=excited dimer=pobuđeni dimer)
    - rade na prelazu probuđeno-osnovno stanje

- **Laseri druge grupe** –srednje i daleko infracrveno područje- CO_2 i CO laseri .
- HCN laser koji emituje zračenje submilimetarske talasne dužine λ=733μm
- **Laser treće grupe** - daleko infracrveno područje- CH_3F

CO_2 laser

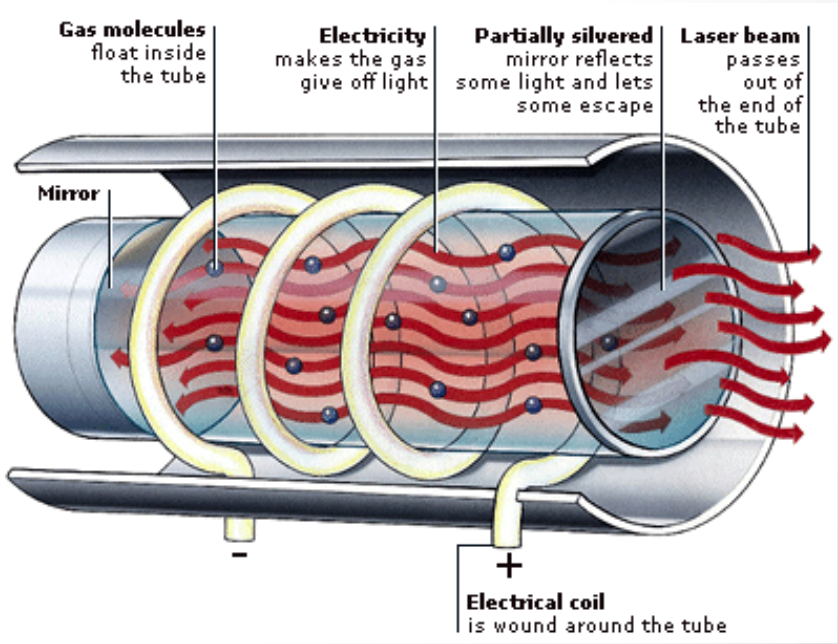
- Prvi molekularni laser
- Otkriven je 1964. godine (C. K. N. Patel)
- Aktivna sredina smeša gasova CO_2, N_2 i He
- Do generacije dolazi pri prelazima između oscilatornih nivoa molekula ugljen-dioksida a dodavanjem azota i helijuma postiže se visok koeficijent korisnog djelovanja (15–20%) i velika snaga.

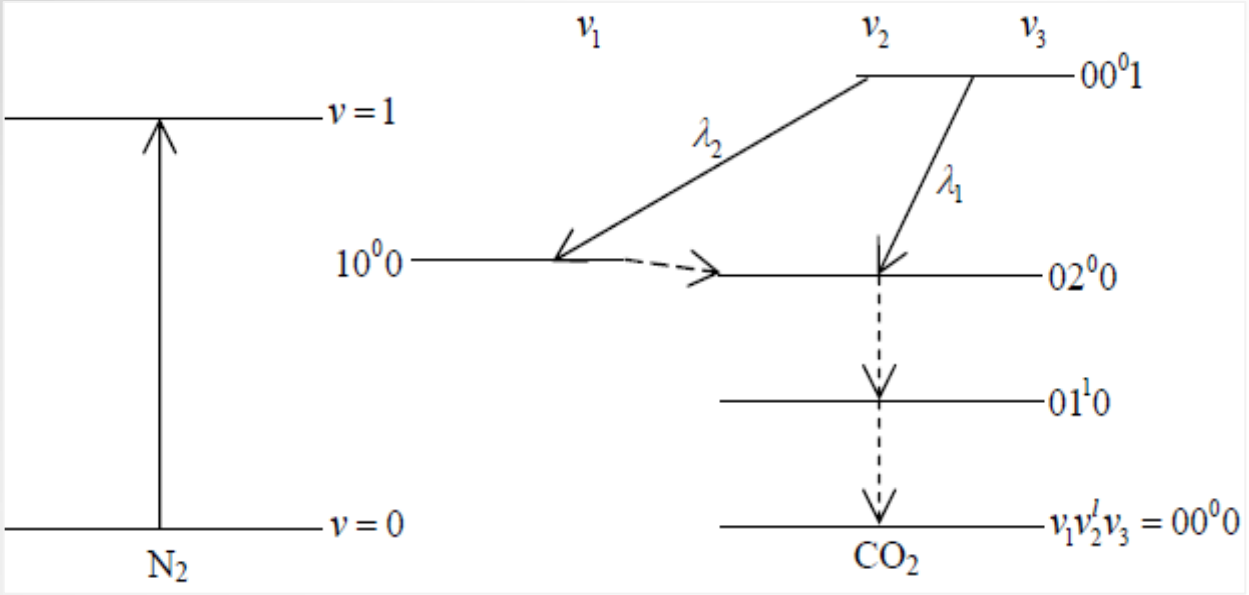
CO_2 laser

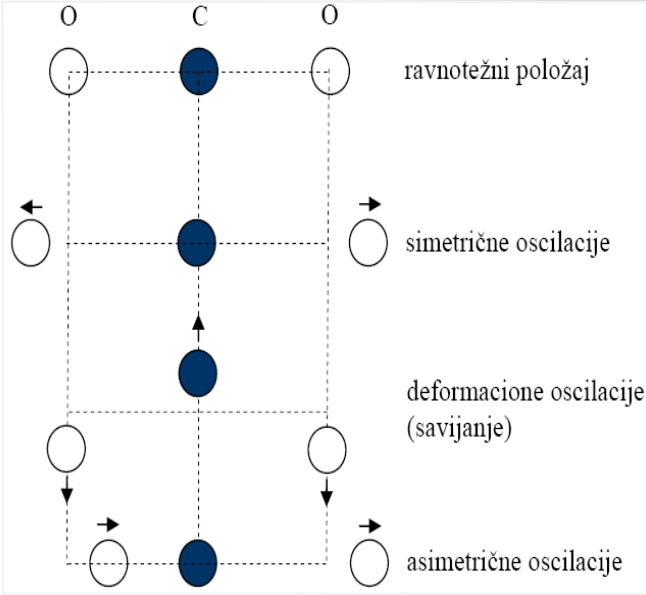
- **Ugljen-dioksidni laser** ili (**CO_2 laser**) je tip gasnog lasera koji kao izvor zračenja koristi molekule ugljen-dioksida.

- CO_2 laser ima sličnu strukturu kao helijum-neonski laser.

- Sastoji se od staklene cevi ispunjene smešom gasova (**ugljen-dioksida**, **azota**, **helijuma** i eventualno još nekog gasa). Na krajevima cevi se nalaze dva paralelna ogledala koja reflektuju laserski snop i tako formiraju rezonator. U cevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visok napon.







- Molekul azota je dvoatomski, tako da ima samo jedan oscilatorni mod *v* (na slici su prikazana dva najniža nivoa *v*=0 i *v*=1).
- Struktura oscilatornih nivoa molekule CO_2 je složenija jer se ona sastoji od tri atoma.
- Tri fundamentalna oscilatorna moda molekula CO_2 : simetrični mod v_1 , deformacioni mod v^l_2 koji je dvostruko degenerisan (gornji indeks *l*) i asimetrični mod v_3 .
- Stanja koja odgovaraju tim modovima su kvantizirana i označena sa v_1 v^l_2 v_3. Do generacije laserskog zračenja dolazi pri prelazima $00^0\ 1 \rightarrow 10^00 \rightarrow$ (λ_2 = 10,6 μm) i $00^0\ 1 \rightarrow 02^00 \rightarrow$ (λ_1 = 9,6 μm) .

- Laserska emisija CO_2 lasera je ostvarena na nekoliko stotina različitih talasnih dužina u oblasti 8.7-11.8μm.

- Najveće pojačanje ima prelaz $00^0 1 \rightarrow 10^00$, tako da se, kada se formira laserski rezonator, emituje samo zračenje talasne dužine λ=10,6 μm koje odgovara rotacionom prelazu sa najvećim pojačanjem.

- Laserska emisija na drugim talasnim dužinama se može ostvariti upotrebom selektivnih optičkih elemenata (npr. difrakcione optičke rešetke) u rezonatoru.

- Pumpanje nivoa $00^0 1$ se ostvaruje pomoću dva procesa: i) sudarima molekula CO_2 koji su u osnovnom stanju sa elektronima, oni se prevode u pobuđeno stanje $00^0 1$, ii) rezonantnim prenosom energije od molekula N_2 (razlika energija metastabilnog stanja v=1 molekula N_2 i stanja $00^0 1$ molekula CO_2 je mala).

- Proces pobuđivanja $v=0 \rightarrow v=1$pri sudarima molekula N_2 sa elektronima je vrlo efikasan, tako da prisustvo N_2 u CO_2 laseru doprinosi povećanju naseljenosti višeg laserskog nivoa.

- Helijum ima visok koeficijent toplotne provodljivosti i njegovo dodavanje aktivnoj sredini CO_2 lasera doprinosi boljem hlađenju.

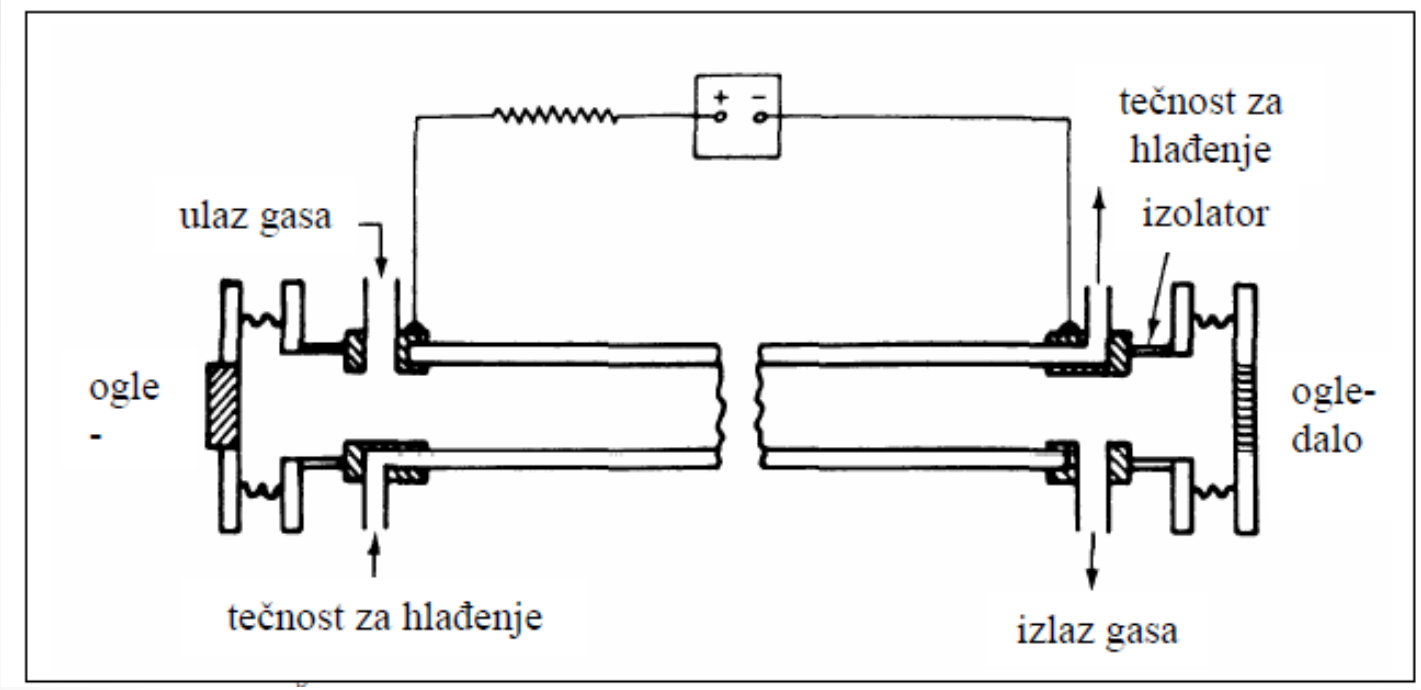
- Dakle, uloga He kod CO_2 lasera je smanjenje naseljenosti nižeg laserskog nivoa.

CO_2 laser

Prema konstrukciji CO_2 laseri se dele na:

1) Laseri sa longitudinalnim protokom gasa
2) Laseri sa katalizatorom
3) Talasovodni laseri
4) Laseri sa transverzalnim protokom gasa
5) TEA-laseri
6) Gasodinamički laseri

Laser sa longitudinalnim protokom gasa



- Izlazna snaga zavisi od gustine struje, pritiska, dužine cevi ali ne i od prečnika cevi.
- Laserski zrak izlazi kroz otvor na metalnom ogledalu koje je hermetički. zatvoreno kristalom NaCl koji propušta IC zračenje, ili kroz ogledalo od čistog germanijuma.
- Kretanje smeše lasera smanjuje njihovu temperaturu, povećanje snage lasera.

- Snaga 50-500W.
- Primena hirurgija i obrada materijala-graviranje keramike, rezanje nemetala

Laseri sa katalizatorom

- Ako nema protoka gasova, nakon nekoliko minuta doći će do prekida generacije zračenja, zato što produkti hemijskih reakcija, posebno molekule CO, podstiču disocijaciju molekula CO_2 .
- Da bi se obezbedila regeneracija molekula CO_2 iz molekula CO,
- potreban je određeni katalizator.
- To može biti vodena para (1%). U tom slučaju, do regeneracije
- molekula CO dolazi zahvaljujući reakciji:

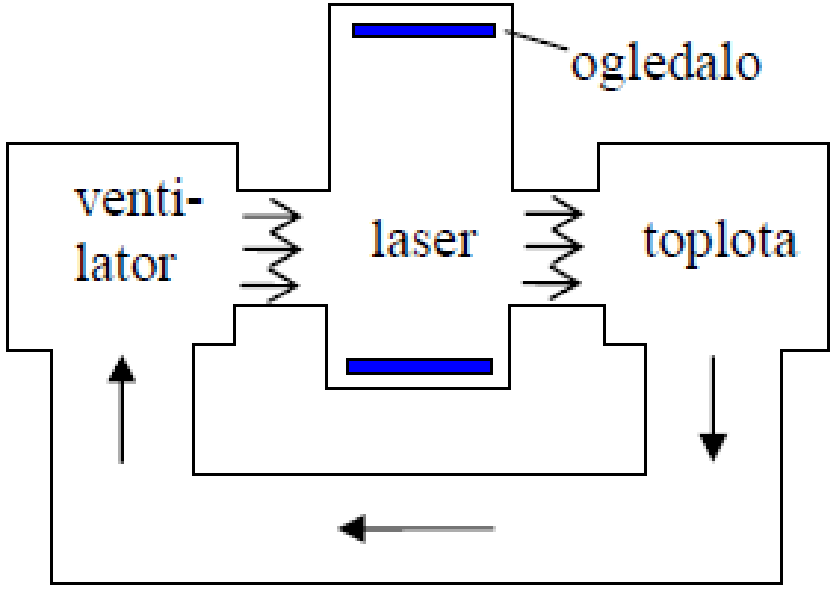
$$CO^* + OH \rightarrow CO_2^* + H$$

- Kao katalizator se može koristiti i zagrejana (na 300°C) katoda od nikla.
- Izlazna snaga ovih lasera po jedinici dužine je oko 60W/m

Talasovodni laseri

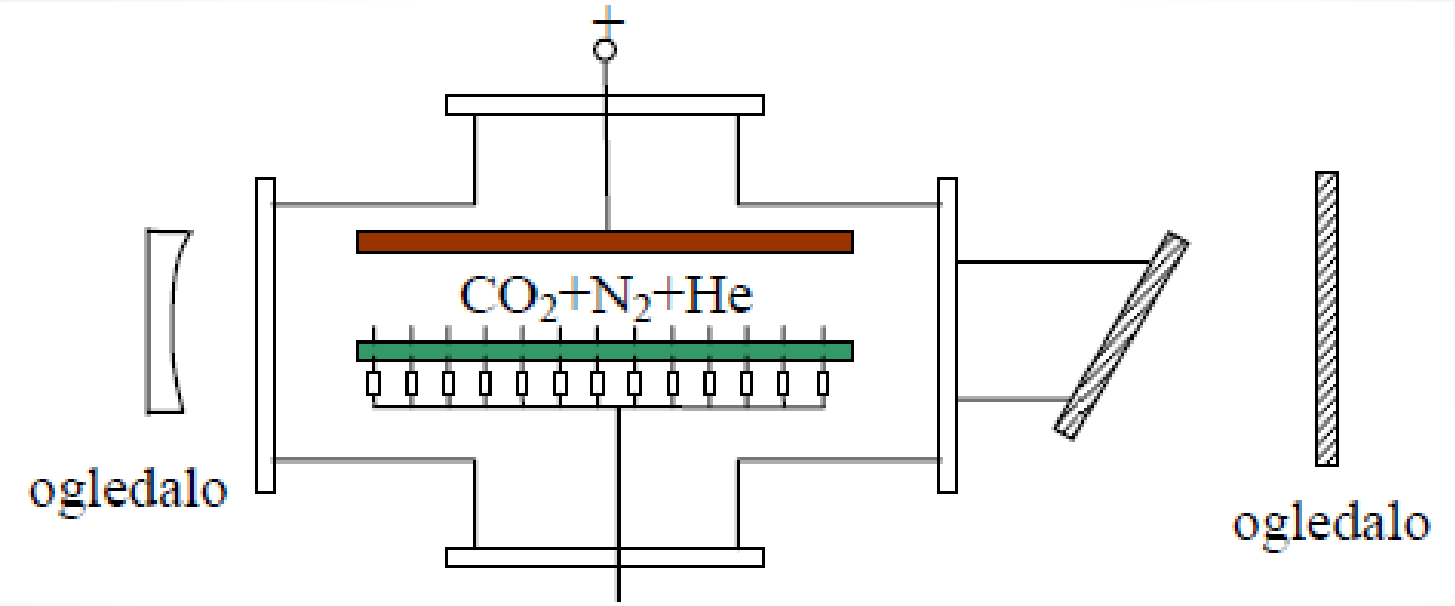
- Ako je prečnik cevi rezonatora reda veličine 1 mm, tada se lasersko zračenje reflektuje od unutrašnjih zidova cevi i prostire se kroz cev kao kroz talasovod.
- Ovakvi talasovodni laseri imaju male difrakcione gubitke. Najbolji rezultati su postignuti sa cevima od BeO ili SiO_2 .
- Snaga ovih lasera je nešto manja od snage predhodna dva lasera a njihova osnovna prednost je što im se frekvencija zračenja može podešavati u relativno širokom dijapazonu (1GHz).

Laser sa transverzalnim protokom gasova



-Gas se dovodi pod pravim uglom u odnosu na rezonator
- Rešen problem odvođenja toplote
- Snaga više kW
- Lavinska jonizacija – odnos električnog polja i pritiska veliki
- Primena- obrada metala

TEA laser-transversely excited atmospheric



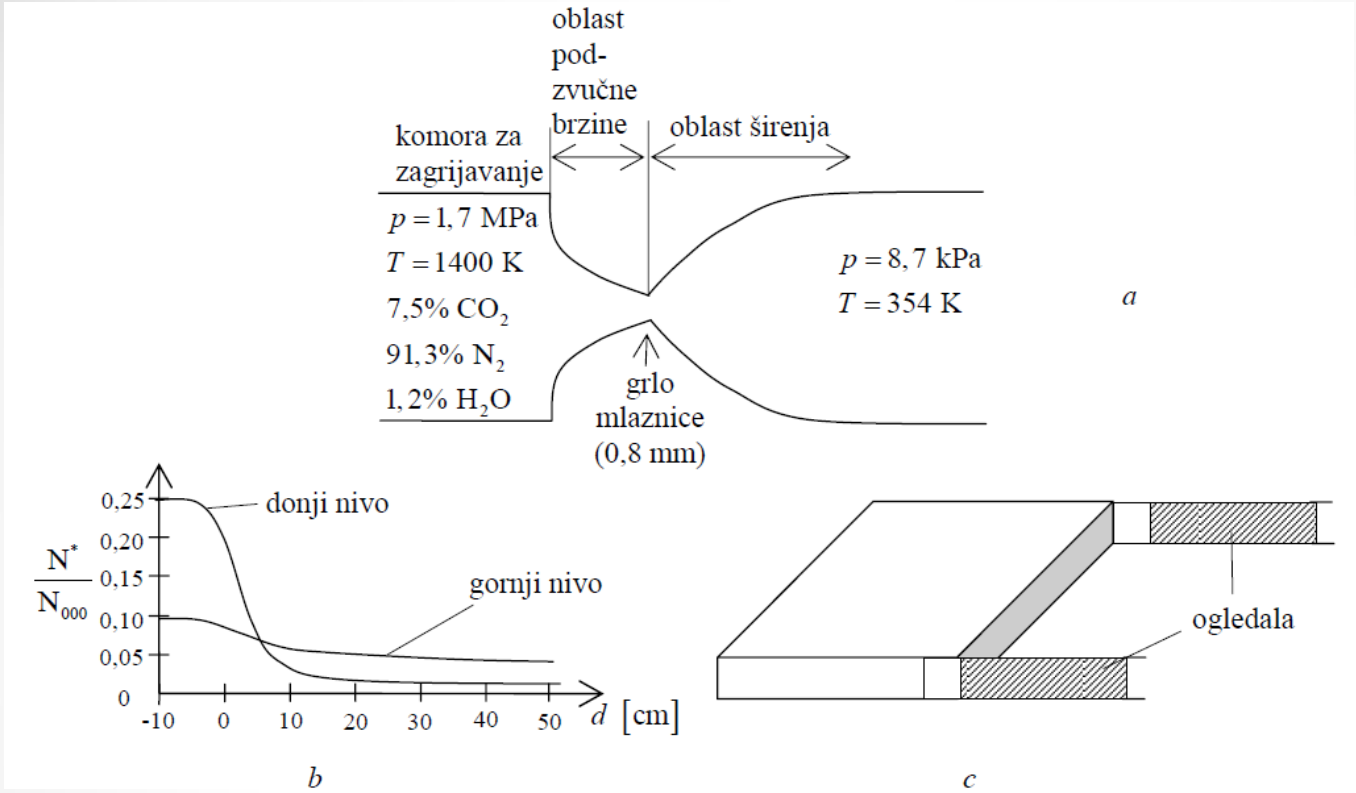
-Transverzalno pobuđenje i atmosferski pritisak u cevi.

- Na elektrode se dovodi kratak impuls tako da se ne razvijaju nestabilnosti.

- Predjonizacija gasa- pomoću visokonaponskog impulsa, impulsnog elektronskog snopa ili ultraljubičastog zračenja.

- Primena eksperimenti termonuklearne fizike.

Gasodinamički laser

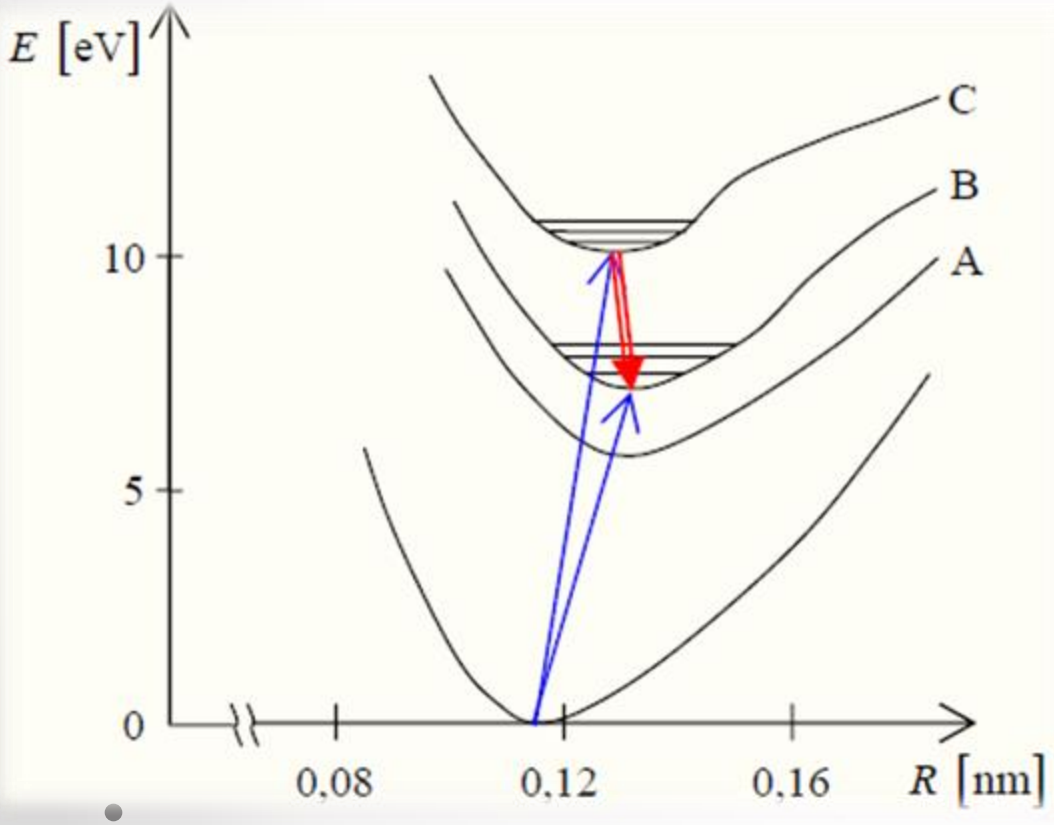


- Inverzija naseljenosti se ne postiže električnim pražnjenjem, već na račun brzog širenja gasa, prethodno zagrijanog do visoke temperature.
- Gasna smeša visoke temperature i pod velikim pritiskom se nalazi u komori.
- U takvom stanju gas se nalazi u termodinamičkoj ravnoteži i nema inverzije naseljenosti .
- Ako se gas propusti kroz mlaznicu i velikom brzinom proširi, doći će do naglog snižavanja temperature i pritiska gasa. Pri tome naseljenost donjeg laserskog nivoa brže opada od naseljenosti gornjeg nivoa, tako da se u oblasti rezonatora postiže inverzna naseljenost i generacija zračenja.

CO laser

- Radi na prelazima između oscilatornih nivoa istog elektronskog stanja.
- Talasna dužina zračenja lasera na bazi ugljen monoksida je oko 5μm.
- Visok koeficient korisnog deistva (60%) i velika izlazna snaga 100kW.
- Nedostatak – za efikasan rad potrebne niske temperature (77-100K).
- Više temperature – manje snage.
- Za rad na sobnim temperaturama dodaje se ksenon.
- Proces relaksacije molekule CO opisuje se sistemom kinetičkih jednačina, koji, u najpovoljnijem slučaju, sadrži 60 nelinearnih algebarskih jednačina.
- Brz prelazak sa višeg na niži energetski nivo.
- Parcijalna inverzna naseljenost.
- Kaskadna generacija.

Vibronički laseri



-Azotni laser –prvi u ultraljubičastom spektru

- Radi na prelazima oscilatornih podnivoa elektronskog nivoa C i oscilatornih podnivoa elektronskog nivoa B.

-Najintenzivniji prelaz odgovara talasnoj dužini 0.3371μm

- Rad u impulsnom režimu – električna pobuda kraća od 38ns

- Brzo pražnjenje primenom specijanih električnih kola

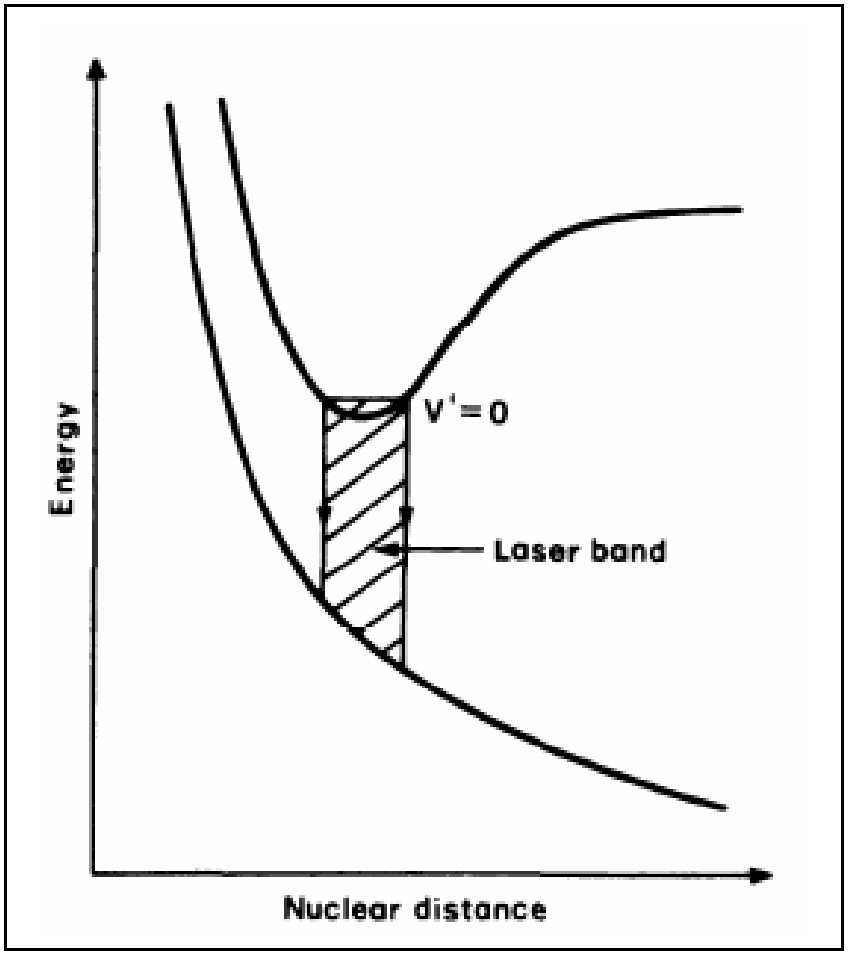
- Laser sa samoograničenim prelazom

- Veliki koeficijent pojačanja

- Rad sa samo jenim ili bez ogledala

- Super-radijacioni laseri

Eksimerni laseri



- Za rad N_2 i H_2 potrebno intenzivno pumpanje
- Laserska generacija ostvaruje se prelazom
  između pobuđenog i osnovnog stanja
- Prelaz se predstavlja širokom trakom
- Aktivna sredina smeša inertnih gasova
- Srednja izlazna snaga 100W
- Frekvencija ponavljanja impulsa do 1kHz
- Primena:
  - proučavanje fotohemijskih procesa
  - separacija izotopa
  - gde su potrebni snažni izvori zračenja

Hemijski laseri

- Inverzna naseljenost – hemijska reakcija.
- Energija se oslobađa u vidu oscilatorne energije molekula gasova.
- Direktno pretvaranje hemijske energije u elektromagnetnu.
- Spoljašnja pobuda: toplota, svetlost, elektronski sklop.
- Kod lasera bez spoljašnje pobude hemijske reakcije se ostvaruju jednostavnim mešanjem komponenata.

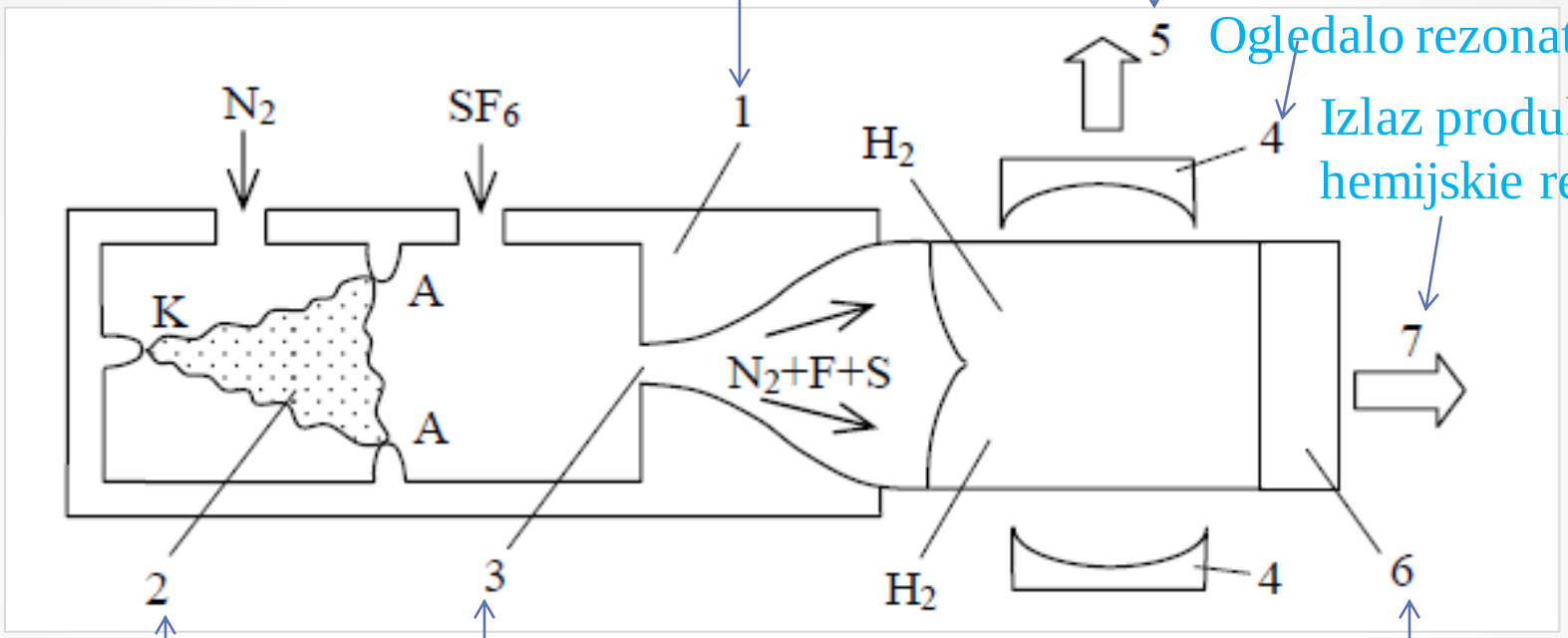
Nedostatak

- toksičnost aktivne sredine (npr-F korozivno i hemijski najaktivnijih elemenat).
- potreba za menjanjem aktivne sredine u toku rada.

- Primena: laboratorijska istraživanja, vojni ciljevi...

HF laser

$$F + H_2 \rightarrow HF^* + H, \quad H + F_2 \rightarrow HF^* + F.$$



- HF laser radi i u neprekidnom (snaga mu je do 50 kW) i u impulsnom režimu (energija impulsa je do 5 kJ), a koeficijent korisnog djelovanja mu je 15%

Jodni laser

- Generacija zračenja - prelazi između elektronskih satanja atoma joda
- Po tome pripada grupi sa neutralnim atomima
- Pobuđuje se himijskom reakcijom – hemijski laser
- Pobuda se vrši snažnom impulsnom UV lampom i pri tome se oslobađa atomski jod u pobuđenom stanju.

$$C_3F_7I + h\nu \rightarrow C_3F_7 + I^*.$$

- Podseća na lasere čvrstog stanja, pumpanje
- Postižu se velike snage
- Jod u staklenoj cevi u gasovitom stanju
- Nema potrebe za dodatnim izvorima