

# Lasери

---

**Grgić, Lea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:182:315864>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Lea Grgić

**Laseri**

Završni rad

Mentorica: doc.dr.sc. Martina Medvidović-Kosanović

Osijek, 2017.

## SAŽETAK

Laser je uređaj za stvaranje i pojačavanje koherentnog elektromagnetskog, najčešće monokromatskog, usko usmjerenog zračenja. Otkriće lasera pripisuje se Theodoru Maimanu koji je uspio proizvesti prvu lasersku zraku u Hughes Research Laboratoriju u Kaliforniji, 16. svibnja 1960. godine. Maiman je pomoću bljeskalice obasjavao crveni kristal rubina, čije su plohe bile posrebrene i čime je izazvao lasersku emisiju u crvenom dijelu spektra na 694 nm. S obzirom na agregatno stanje tvari, laseri se dijele na plinske, tekuće i krute. Plinski laseri se zatim dijele na atomske, ionske, molekularne i kemijske. Tekući laseri se dijele na: lasere „kaveznih“ molekula i lasere na organskim bojama. Posljednji iz podjele prema agregatnom stanju, kruti laseri dijele se na kristalne, amorfne (stakleni, plastični) i poluvodičke. Lasere također možemo podijeliti prema načinu rada te ih tako dijelimo na impulsne i kontinuirane. Primjenu lasera možemo pronaći u mnogim granama ljudske djelatnosti kao što su industrija, medicina, stomatologija, telekomunikacije, energetika, obrada materijala, vojna industrija te mnoge druge.

**Ključne riječi:** laser, Theodore Maiman, vrste lasera, primjena lasera

## ABSTRACT

Laser is a device for creating and enhancing coherent electromagnetic, most often monochromatic, narrow-beam radiation. The laser discovery was attributed to Theodore Maiman, who succeeded in making the first laser beam at the Hughes Research Laboratory in California, May 16, 1960. Maiman blasted a red crystal of ruby with a flash of light, the surface of which was hot and caused a laser emission in the red section of the spectrum at 694nm. By the aggregate state of the substance, the lasers are divided into gas, liquid and rigid. Gas lasers are then divided into atomic, ionic, molecular and chemical. Liquid lasers are divided into: lasers of "cage" molecules and lasers on organic dyes. The last from the split to the aggregate state, solid lasers are divided into crystal, amorphous (glass, plastic) and semiconductor. They can be divided into mode and thus shared on impulsive and continuous. Lasers found applications in many branches of human activity such as industry, medicine, dentistry, telecommunications, energy, materials processing, military industry and many others.

**Keywords:** laser, Theodore Maiman, types of lasers, laser applications

# Sadržaj

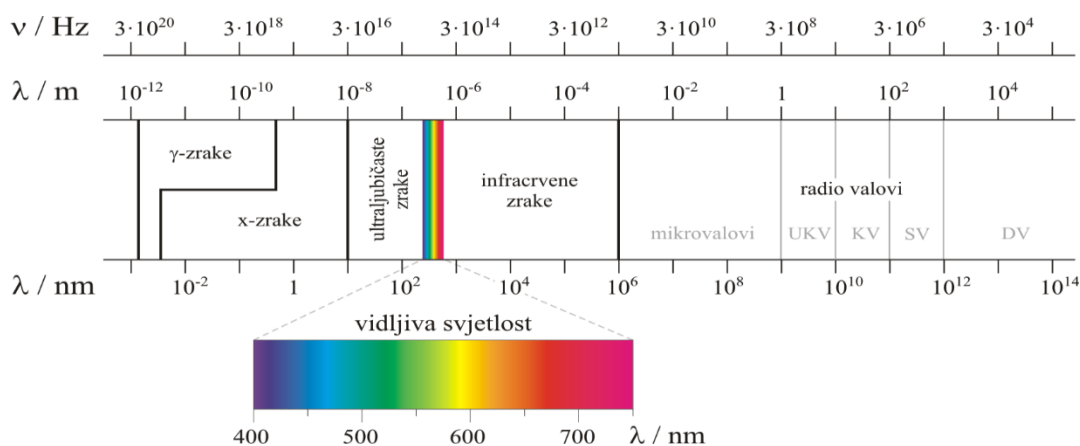
<b>1. Uvod</b> .....	4
<b>2. Povijest lasera i podrijetlo imena</b> .....	5
<b>3. Princip rada lasera</b> .....	8
<b>4. Osobine laserske svjetlost</b> .....	13
<b>5. Građa lasera</b> .....	14
<b>5.1. Laserska pumpa</b> .....	14
<b>5.2. Aktivni medij (laserski medij)</b> .....	15
<b>5.3. Rezonantni sustav (optički rezonator)</b> .....	15
<b>6. Vrste lasera</b> .....	16
<b>6.1. Plinski laseri</b> .....	16
6.1.1 Helij- neon laser .....	17
6.1.2. Dušikov laser.....	18
6.1.3. Kemijski laseri.....	19
6.1.4. Ionski laseri .....	19
6.1.5. CO <sub>2</sub> laser .....	20
<b>6.2. Tekući laseri</b> .....	21
<b>6.3. Laseri čvrstog stanja</b> .....	22
6.3.1. Rubinski laser .....	22
6.3.2. Nd: YAG Laser .....	23
<b>6.4. Poluvodički laser</b> .....	24
<b>7. Primjena lasera u svakodnevnom životu</b> .....	25
7.1. Laseri u informacijskoj tehnologiji i telekomunikacijama .....	25
7.2. Laseri u medicini i stomatologiji.....	27
7.3. Laseri u dermatologiji i kozmetici.....	29
7.4. Laseri u industriji .....	30
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	31

## 1. Uvod

Laser je uređaj za stvaranje i pojačavanje koherentnog (najčešće monokromatskog) elektromagnetskog zračenja. Sama riječ laser akronim je engleskih riječi „*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*“ ( u prijevodu znači „pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja“), a ime je za izvor svjetlosti kod kojeg se za razliku od konvencionalnih izvora svjetlosti, svjetlost generira mehanizmom stimulirane emisije. Nakon dugogodišnjih napora, znanstvenici su uspjeli proizvesti intenzivnu zraku svjetlosti, uskog snopa i točno određene valne duljine, koja je odmah nakon otkrića predstavljena široj javnosti. To novo otkriće je ubrzo pronašlo svoje mjesto u znanstvenim laboratorijima, tehnološkim i medicinskim centrima. Laser je postao važan istraživački instrument i uređaj koji je svoju primjenu pronašao u korekciji vida, izoštravanju astronomske slike iz svemira, testiranju molekule DNA te u dobivanju čiste energije fuzijom. O važnosti laseri govori i činjenica da je od otkrića lasera podijeljeno čak 14 Nobelovih nagrada na području prirodnih znanosti za znanstvena otkrića direktno povezana s laserima.

## 2. Povijest lasera i podrijetlo imena

Još je 1917. godine u svom radu „*On the Quantum Theory of Radiation*“ Albert Einstein dao teorijski koncept i predvidio izum lasera i njegove preteče masera. Maser je uređaj koji radi na jednak način kao i laser, ali u drugom frekvencijskom području. Maser je izvor mikrovalova, dok je laser izvor elektromagnetskih valova u infracrvenom i vidljivom dijelu spektra. Planckova kvantna teorija i Bohrova teorija spontane apsorpcije i emisije zračenja su potpomogle daljnji napredak u laserskim istraživanjima. Naziv laser je predložio G. Gould još 1959. godine u svom radu *The LASER*. Namjera je bila da se na sufiks aser doda prikladan prefiks, ovisno o uređaju koji bi zračio elektromagnetske valove u određenom dijelu spektra. U to vrijeme su već postojali maseri koji su radili u mikrovalnom području. Ukoliko bi se isti efekt opazio u području x-zraka, onda bi se takav uređaj zvao xaser, itd. Laser se odnosi na pojačanje svjetlosti u vidljivom dijelu spektra, odnosno na valnim duljinama od 380 nm do 750 nm (Slika 1).



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja i područje valnih duljina vidljivog dijela spektra [1].

Otkriće lasera pripisuje se Theodoru Maimanu (Slika 2) koji je uspio proizvesti prvu lasersku zraku u Hughes Research Laboratoriju u Kaliforniji, 16. svibnja 1960. godine.



*Slika 2.* Fizičar Theodore Maiman koristi rubinski kristal za stvaranje prvog lasera [2].

T. Maiman je pomoću bljeskalice obasjavao crveni kristal rubina, čije su plohe bile posrebrene i čime je izazvao lasersku emisiju u crvenom dijelu spektra na 694nm. Na taj način sve spojio tri elementa koja su bila potrebna za stvaranje laserske emisije: aktivni medij (rubinski kristal), rezonantnu šupljinu sa dva rubna zrcala (posrebrene plohe kristala) u kojoj se odvijala laserska emisija i lasersku pumpu (bljeskalica) koja daje energiju koja pokreće sam laserski efekt. (Slika 3).



*Slika 3.* Prvi laser kojeg je konstruirao Theodore Maiman u 1960 [3].



Nakon što je Maiman konstruirao prvi laser isti je postao jedan od najpoznatijih i najpriznatijih izuma fizike.

Iranski fizičar A. Javan, zajedno s Amerikancima W.R. Bennetom i D. Herriotom, načinio je prvi plinski laser koristeći plinove helij i neon (He-Ne laser) kao aktivne medije. Javan je za to otkriće odlikovan nagradom Albert Einstein 1993. godine. Nadalje, 1962. godine R.N. Hall je demonstrirao rad prvog diodnog lasera na bazi galijevog arsenida koji je emitirao foton u bliskom infracrvenom području na valnoj duljini od 850 nm.

Laserima možemo hladiti atome, slati informacije, korigirati vid, testirati molekulu DNA, izoštravati astronomske slike svemira te dobivati čistu energiju fuzijom. Osim utjecaja lasera na znanost, laseri su važna tehnologija u gospodarstvu, u telekomunikacijama, biotehnologiji, zdravstvu te u prijevozu.

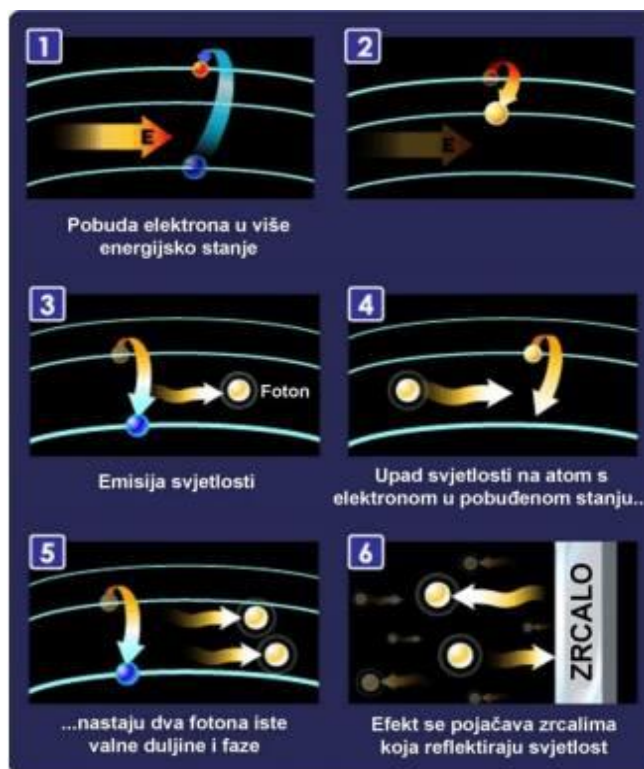
### 3. Princip rada lasera

Za razumijevanje principa rada lasera potrebno je proučiti mikroskopski svijet atoma i molekula te kvantnu mehaniku. Atomi su čestice od koji se sastoje sve tvari oko nas, a sastoje se od jezgre i elektronskog omotača. Atomi se konstantno kreću, vibriraju i rotiraju. S obzirom na ta gibanja, atomi mogu biti na različitim stupnjevima pobuđenosti koja ovise o energiji koju atomi primaju putem topline, svjetlosti ili električne energije. Nakon što se elektron pobudi, vraća se u svoje osnovno stanje pri čemu se oslobađa energija u obliku svjetlosne čestice – fotona. Svi emitirani fotoni su na istoj valnoj duljini i koherentni (kreću se u istom smjeru), što znači da su jednakih frekvencija, polarizacija i stalnog odnosa faza, za razliku od obične svjetlosti koja sadrži fotone različitih valnih duljina i zračenje nije koherentno. Osnovno i pobuđeno stanje atoma je kvantizirano, a atomi ih mogu zauzeti ukoliko dobiju energiju izvana.

Osnovni procesi bitni za nastanak laserske svjetlosti su: inverzija napučenosti te spontana i stimulirana emisija, koji se odvijaju na nivou atoma i molekula. Proces spontane i stimulirane emisije predvidio je i teorijski objasnio A. Einstein 1917. kada je objasnio da se izolirani atom u pobuđenom stanju može vratiti u osnovno stanje emitirajući foton. Taj je proces nazvao spontana emisija, koja predstavlja osnovu za ostale radijacijske procese, kao što su apsorpcija i stimulirana emisija.

Atom će apsorbirati samo onaj foton koji ima odgovarajuću valnu duljinu pri čemu će foton nestati, a atomi prelaze u pobuđeno stanje stvarajući preduvjet za spontanu emisiju. Einsteinova teorija predviđa da fotoni dok putuju kroz materiju mogu izazvati emitiranje još fotona.

Ukoliko na nekom mjestu imamo velik broj atoma s velikim viškom energije (atoma u pobuđenom stanju koji su postigli inverziju napučenosti), oni će spontano emitirati fotone u svim smjerovima. Međutim, ako na takve atome pošaljemo usmjerene fotone točno određene valne duljine i točno određene faze, prisutnost tih fotona stimulirati će atome da emitiraju fotone ranije i to na način da se i emitirani fotoni kreću u istom smjeru, s istom valnom duljinom (frekvencijom) i istom fazom kao i upadni fotoni. Takvo zračenje naziva se koherentno zračenje, koje nastaje kao posljedica stimulirane emisije, koja je organizirana, za razliku od emisije obične svjetlosti koja je slučajna. Ukoliko se tako usmjereni fotoni kreću kroz ostale pobuđene atome, dolazi do efekta lavine te sve više koherentnih fotona putuje kroz medij.



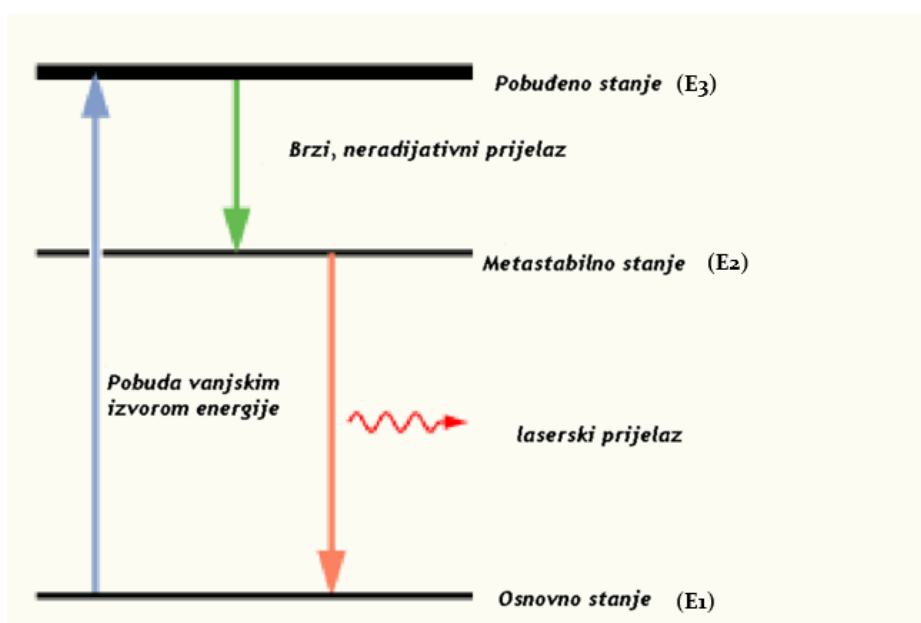
Slika 4. Prikaz procesa nastajanja laserskog zračenja [4].

Kako bi atomi prelazili iz osnovnog stanja u pobuđeno, moraju apsorbirati energiju (Slika 4 -1). Kada atom prijeđe u pobuđeno stanje, on se nastoji vratiti u njemu povoljnije niže energetske stanje (Slika 4-2), emitira kvant elektromagnetskog zračenja – foton (Slika 4-3). Ukoliko na atom u pobuđenom stanju naiđe foton, čija energija odgovara energetskej razlici pobuđenog i osnovnog stanja (Slika 4-4), atom se vraća u osnovno stanje, ali pri tome emitira foton koji ima istu valnu duljinu (frekvenciju) i istu fazu kao upadni foton (Slika 4-5). Taj se proces nastavlja kroz medij, pri čemu zrcalo, visoke reflektivnosti vraća gotovo sve koherentne fotone natrag u medij (Slika 4-6) pa govorimo o pojačanju svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja. Tako fotoni putuju naprijed-nazad kroz sam medij. Zbog tog uzastopnog vraćanja fotona, svakim se prolaskom zbog stimulirane emisije broj fotona povećava, te vrlo brzo nastaje velik broj fotona jednakih svojstava. Zrcalo na kraju lasera je polurefleksirajuće, što znači da se dio svjetlosti emitira, a dio propušta. Upravo ta svjetlost koja se propušta je ona koju mi nazivamo laserskom svjetlošću. Za razliku od običnih svjetiljki kod kojih se svjetlost koja se emitira raspršuje, laser je građen tako da je snop svjetlosti koji se propušta vrlo uzak. Upravo zbog toga je ta zraka svjetlosti izrazito koncentrirana i jaka.

Laserska svjetlost može se proizvesti jedino ako stimulirana emisija dominira nad apsorpcijom i spontanom emisijom zračenja. To se postiže inverzijom napučenosti atoma u radnom tijelu, što znači da broj atoma u pobuđenom stanju ( $N_2$ ) mora biti veći od broja atoma u osnovnom stanju ( $N_1$ ),  $N_2 > N_1$ .

U sustavu s dvije energetske razine teško je postići inverziju napučenosti jer gornja granica odgovara situaciji kada je  $N_2=N_1$ . Molekule ili atomi u plinu, tekućini ili čvrstom tijelu uvijek imaju više od dvije energetske razine. Pojednostavljeni modeli koji se najčešće javljaju su sustavi s tri ili četiri energetske razine. Tada se inverzija napučenosti postiže ili povećanjem napučenosti stanja više energije ili smanjenjem napučenosti stanja niže energije.

- Sustav s tri razine

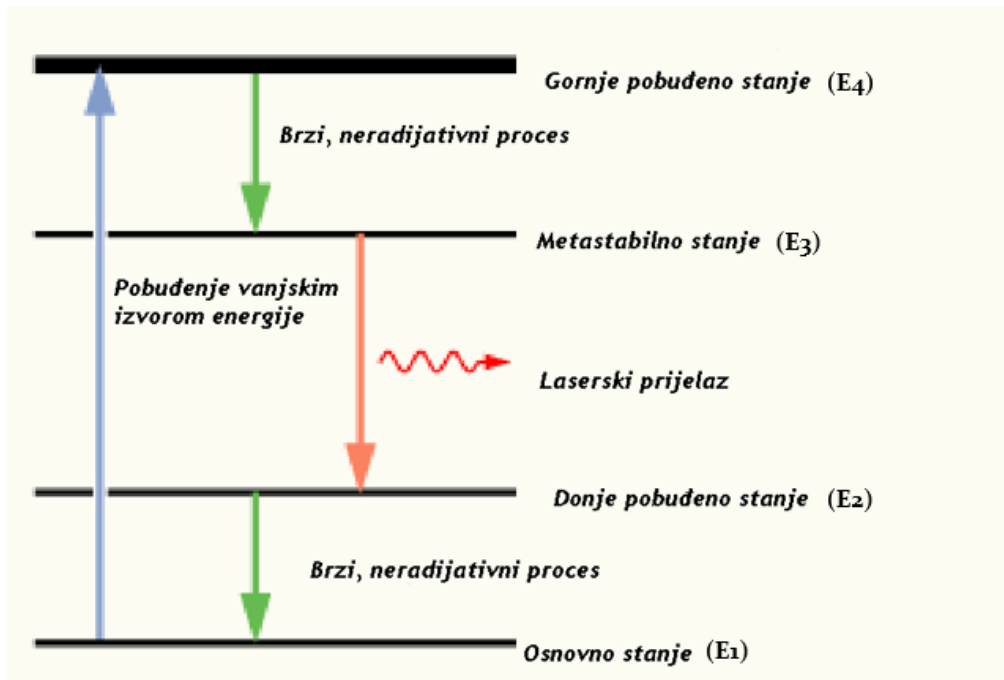


Slika 5. Inverzna napučenost u sustavu s tri energetske razine [5].

U početku je najveći broj atoma u osnovnom stanju energije  $E_1$  (Slika 5). Zatim se atomi pobuđuju s osnovne  $E_1$  na višu energetske razine  $E_3$ . Na razini  $E_3$  atomi ostaju u prosjeku  $10^{-8}$  s i potom prelaze (obično bez zračenja) na razinu  $E_2$  koja je metastabilna. S obzirom na to da je vrijeme života metastabilne razine relativno dugo (reda veličine  $10^{-3}$  s), većina atoma ostaje u tom stanju. Ukoliko je pobuda dovoljno snažna, nakon određenog vremena više od 50% atoma će biti u stanju  $E_2$ . Tada je postignuta inverzija napučenosti između razina  $E_2$  i  $E_1$ . Laserska svjetlost nastaje pri prijelazu s razine  $E_2$  na  $E_1$ . Nedostatak sustava s tri razine

je taj što donja razina laserskog prijelaza nije prazna. Ako se broj energetskih razina poveća na četiri, taj se nedostatak može ukloniti.

- Sustav s četiri razine



Slika 6. Inverzna napučenost u sustavu s četiri energetske razine [6].

Laser s četiri energetske razine (Slika 6) ima dodatni energetski nivo iznad osnovnog stanja  $E_1$ . Inverzija napučenosti postiže se između razina  $E_3$  i  $E_2$ . Dodatni energetski nivo  $E_2$  ima kratko vrijeme života, odnosno donji energetski nivo laserskog prijelaza se vrlo brzo prazni, što olakšava održavanje inverzne napučenosti. Zbog toga nisu potrebne velike snage pumpanja kao kod sustava s tri nivoa.

Postoje brojni načini kojima postizemo inverziju napučenosti:

1. Optičko pumpanje – izvor zračenja djeluje izvana i inducira prijelaze u najviše energetske stanje. Metoda optičkog pumpanja pogodna je za lasere čvrstog stanja.
2. Pobuda elektronima- Sudar prvog reda

Pobuda atoma na najvišu energetska razinu osim optičkim pumpanjem može se postići i neelastičnim sudarom elektrona i atoma. Elektron pri tome predaje energiju atomu i atom prelazi u pobuđeno stanje. Ovakva pobuda koristi se kod Ar-ion lasera.

### 3. Pobuda sudarom drugog reda

Pobuda sudarom drugog reda koristi se u plinskim smjesama koje imaju dvije komponente, odnosno atome A i B (primjer je smjesa He i Ne u He-Ne laseru). Atomi A i B moraju imati približno jednake energetske razine. Pobuda se odvija u dva koraka. Prvo se sudarom elektrona pobuđuje atom A i prelazi u pobuđeno stanje A\*. Sudarom atoma A\* s atomom B, atom B prelazi u pobuđeno stanje B\*, a atom A se vraća u osnovno stanje. Laserski prijelazi nastaju u atomu B.

Za prijelaz atoma iz osnovnog u pobuđeno stanje fizikalno je nevažno kojim je putem dovedena energija. Međutim, kod prijelaza iz pobuđenog u osnovno stanje nastaje kvantni skok, odnosno emisija fotona čija energija odgovara razlici energetske razine. Vrijedi Boltzmannov zakon:

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-h \cdot \nu / k \cdot T}$$

gdje je:

$h$  - Planckova konstanta ( $h = 6,6260693 \times 10^{-34}$  Js);

$\nu$  - frekvencija;

$k$  - Boltzmanova konstanta ( $k_B = 1,3806505(24) \times 10^{-23}$  J/K);

$T$  - termodinamička temperatura.

#### 4. Osobine laserske svjetlost

Osnovna svojstva koja razlikuju lasersku svjetlost (Slika 7) od obične svjetlosti:

- Laserska svjetlost je monokromatska, odnosno sadrži samo jednu specifičnu valnu duljinu (stoga i jednu boju);
- Valna duljina svjetlosti pojedinog lasera određena je količinom energije koju elektron otpusti pri prijelazu na niži energetska nivo;
- Laserska svjetlost je koherentna – gibanje svih fotona je usklađeno. Zbog toga i val laserske svjetlosti izgleda kao pravac, nije sačinjen od maksimuma i minimuma kao val ostalih oblika svjetlosti;
- Laserska svjetlost je usmjerena, laserska zraka je jako uska, jaka i koncentrirana, odnosno visokog je intenziteta.

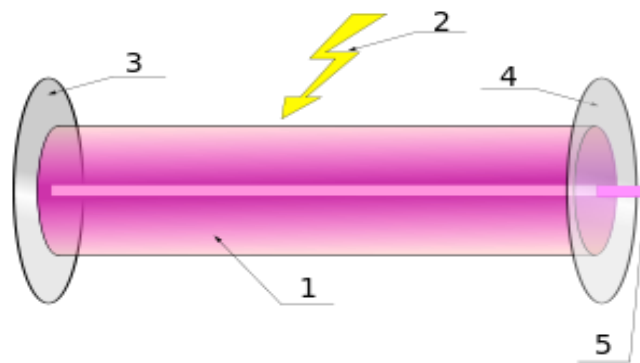


*Slika 7. Laserske zrake [7].*

## 5. Građa lasera

Osnovni dijelovi lasera (Slika 8) su:

1. Aktivni medij;
2. Sustav za pobuđivanje
3. 100% reflektirajuće ogledalo;
4. 90% reflektirajuće ogledalo;
5. Laserska zraka



Slika 8. Shematski prikaz lasera [8].

### 5.1. Laserska pumpa

Laserska pumpa je dio sustava koji osigurava energiju za rad lasera. To može biti električno pražnjenje naboja, bljeskalica, svjetlo sa drugog lasera, elektrolučna svjetiljka, kemijska reakcija ili eksplozivno sredstvo. Vrsta laserske pumpe koja će se upotrijebiti ovisi o laserskom materijalu. Tako na primjer He-Ne laser koristi električno pražnjenje naboja u plinskoj mješavini helija i neona, a ekscimer laser koristi kemijsku reakciju kao lasersku pumpu.



## 5.2. Aktivni medij (laserski medij)

Laserski medij određuje na kojoj će valnoj duljini raditi laser te određuje svojstva lasera.

Ovisno o tome o kakvoj se vrsti lasera radi, aktivna sredina može biti u:

- Tekućem stanju – laseri s bojilima. To su organska kemijska otapala (npr. metanol, etilen glikol) u koja se dodaju kemijske boje kao što su rodamin ili fluorescein. Točan kemijski udio bojila određuje radnu valnu duljinu lasera s bojilima;
- Plinovitom stanju – ugljični dioksid, argon, kripton ili smjesa He-Ne. Ti laseri koriste električno pražnjenje naboja kao lasersku pumpu;
- Čvrstom stanju – kristali ili stakla. Čvrsti materijali imaju primjesu nečistoća (Cr, Ti, Er). Primjeri lasera sa čvrstom jezgrom su Nd:YAG, Ti:safir, Cr:LiSAF i mnogi drugi.

## 5.3. Rezonantni sustav (optički rezonator)

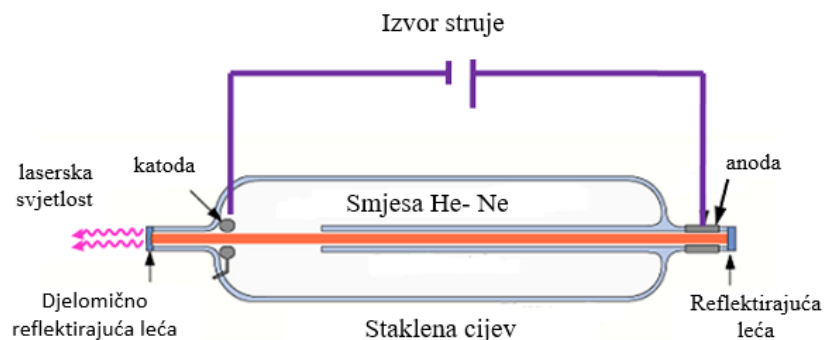
Rezonantni sustav predstavljaju dva paralelno postavljena ogledala od kojih je jedno 100% reflektirajuće te ima ulogu da emitirane fotone ponovno vrati u aktivnu sredinu s ciljem propagacije reakcije pobuđivanja. Kada emitirani fotoni dođu do drugog ogledala koje je polupropusno, oni se djelomično reflektiraju i vraćaju u aktivnu sredinu pa se tako proces pobuđivanja nastavlja, a jedan dio fotona prolazi kroz staklo i tvori lasersku zraku sa svim njezinim karakteristikama. Sustav reflektirajućeg i polurefleksirajućeg ogledala strogo usmjerava formiranje laserskog snopa.

## 6. Vrste lasera

S obzirom na agregatno stanje tvari, laseri se dijele na: plinske, tekuće i krute. Plinski laseri se zatim dijele na atomske (He-Ne, Cs), ionske (Ar, Kr), molekularne (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) i kemijske. Tekući laseri se dijele na: lasere „kaveznih“ molekula (velike molekule koje okružuju ioni) i lasere na organskim bojama. Posljednji iz podjele prema agregatnom stanju, kruti laseri dijele se na kristalne (rubinske; YAG), amorfne (stakleni, plastični) i poluvodičke. Sljedeća podjela je prema načinu rada, te ih tako dijelimo na impulsne i kontinuirane. Pobuđivanje lasera postiže se optički, sudarima elektrona i atoma na plinskom izboju ozračivanjem snopovima čestica visoke energije i kemijskim reakcijama. Najučinkovitiji načini pobuđivanja lasera razlikuju se ovisno o agregatnom stanju tvari. Tako je za krute lasere najučinkovitiji način optički, dok su za plinske lasere sudari elektrona i atoma. Kemijskim reakcijama pobuđuje se plinoviti laserski medij koji se sastoji od dvije ili više kemijski aktivnih komponenti.

### 6.1. Plinski laseri

Plinski laseri (Slika 9) se dijele na atomske (He-Ne, Cs), ionske (Ar, Kr), molekulske (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) i kemijske. Plinski laseri se obično sastoje od cijevi koja je ispunjena plinom ili smjesom plinova pod određenim tlakom. Na krajevima cijevi se nalaze zrcala kako bi se stvorila laserska šupljina. Da bi laser radio potrebno je stvoriti veliki broj pobuđenih atoma. Za pobudu plinovitog sredstva vrlo pogodan način pobude su sudari s elektronima u plinskom izboju. Prolaskom struje dovoljne jakosti kroz plin dolazi do sudara elektrona s atomima ili molekulama.

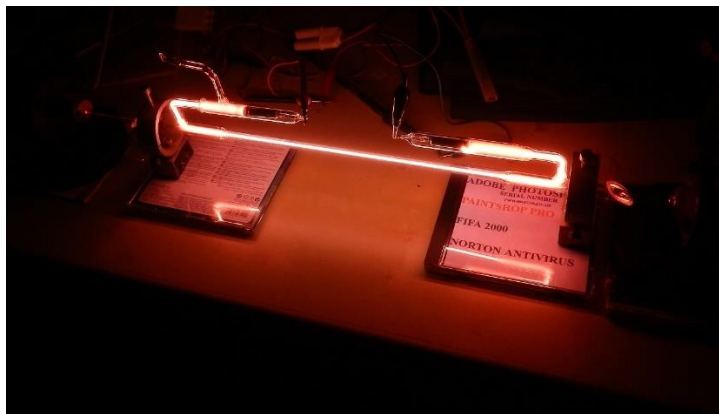


Slika 9. Prikaz helij- neonskog plinskog lasera [9].

### 6.1.1 Helij- neon laser

HeNe laser (Slika 10) vrsta je plinskog lasera koji se sastoji od smjese 85% helija i 15% neona smještene unutar staklene cijevi u kojoj se atomi pobuđuju izmjeničnom strujom. Prvi je plinski laser sa kontinuiranim načinom rada.

Najpoznatiji HeNe laser zrači na valnoj duljini 632,8 nm (crvena svjetlost vidljivog spektra). Prvi plinski, HeNe, laser konstruiran je 1961.

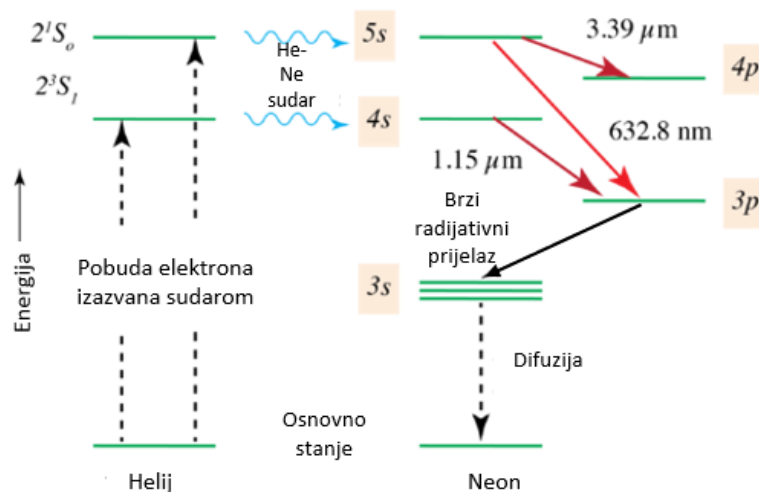


Slika 10. HeNe laser [10].

Aktivni medij lasera je smjesa helija i neona koja se nalazi pod niskim tlakom u staklenoj okolini. Ovaj plinski laser se sastoji od četiri energetska nivoa i koristi atome helija da bi pobudio atome neona (Slika 11). Udio helija je veći zato što se atomi He pobuđuju te se njegovi atomi sudaraju s atomima neona te prelaze u stanje koje zrači na valnoj duljini od 632,8 nm. Bez helija, atomi neona bi ostali u energetski nižem stanju te bi njegova učinkovitost bila zanemariva. Blizu krajeva cijevi se nalaze elektrode kojima se dovodi visoki napon. Taj visoki napon stvara elektrone u staklenoj cijevi koji ubrzavanjem uzrokuju brojne sudare atoma neona i helija. Ti sudari oslobađaju energiju te atomi prelaze u pobuđeno stanje. Atomi helija se pobuđuju u različita stanja iz kojih se emitiranjem fotona ili sudarima s drugim atomima relaksiraju u niža stanja. Ako se relaksiraju u 2s stanje oni se ne mogu vratiti u svoje osnovno (1s) stanje jer je prilikom emitiranja ili apsorbiranja fotona potrebno promijeniti kvantni broj kutne količine gibanja za 1 (foton ima kvantni broj kutne količine gibanja 1, a s-orbitale 0). Stanje 2s He je zbog tog metastabilno stanje.

Stanje 2s He ima približno jednaku energiju kao 4s stanje Ne. Kada se sudare, atomi He predaju energiju atomima neona pri čemu atomi neona prelaze u 4s stanje i iz tog stanja atomi neona emitiraju fotone procesom stimulirane emisije, čime prelaze u neko drugo

stanje. Fotoni tvore lasersku zraku, a prijelaz u  $2p$  stanje je najintenzivniji i emitiraju se fotoni valne duljine  $632,8\text{nm}$  (crvena svjetlost). Također, HeNe laser može proizvesti zelenu i žutu (vidljivu) svjetlost, kao i UV i IR (prvi HeNe laser je radio u IR području na  $1152,3\text{nm}$ ). HeNe laseri su relativno jeftini i koriste se za precizno mjerenje udaljenosti, za stvaranje holograma i u spektroskopiji.

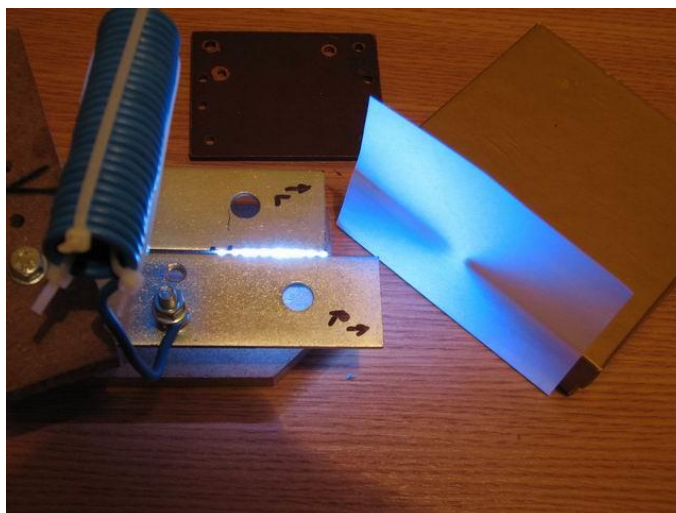


Slika 11. Energetski nivoi u HeNe laseru [11].

### 6.1.2. Dušikov laser

Dušikov laser je plinski laser koji djeluje u UV dijelu spektra (oko  $337\ \text{nm}$ ) koristeći molekularni dušik,  $\text{N}_2$ , kao aktivni medij. Dušikov laser je primjer trostupanjskog lasera u kojem se dušik upumpava direktno. Upumpavanje se odvija izravnim udarima elektrona; (elektroni moraju imati odgovarajuću energiju kako bi se mogli pobuditi do višeg stanja). Unutar ovog lasera ne dolazi do vibracija dva dušikova atoma zato što se udaljenost atom-atom ne mijenja elektronskim prijelazom.

Prvi dušikov laser je konstruiran 1974. godine te je opisan u *Scientific American* kao prvi home-made laser (Slika 12).



Slika 12. Home-made dušikov laser [12].

### 6.1.3. Kemijski laseri

Kemijski laseri su plinski laseri jer su komponente koje reagiraju u plinovitom stanju. Molekule plina mogu se dovesti u pobuđeno stanje pomoću određenih kemijskih reakcija. Kemijski laseri koriste takve reakcije kako bi se postigla inverzija napučenosti. Prednost kemijskog lasera je da se pobuda dobiva samom kemijskom reakcijom bez ikakvog vanjskog djelovanja. Reakcija počinje miješanjem komponenata no moguće je reakciju započeti pomoću iskre. Reakcijom oslobođena energija prouzrokuje vibraciju nastalih molekula. Prvi kemijski laser je klorovodikov laser koji koristi smjesu  $H_2$  i  $Cl_2$ . Napravili su ga Kaspel i Pimentel 1969. god.

### 6.1.4. Ionski laseri

Ionski se laseri razlikuju od ostalih plinskih lasera po svojim karakteristikama koje omogućavaju da se konstruira snažan laser sa kontinuiranim načinom rada u vidljivom i ultraljubičastom području spektra. Osnovni proces ionskog lasera uključuje energetska stanja proizašla iz plinskog izboja dvostupanjskim procesom u kojem se neutralni atom naprije ionizira direktnim sudarom sa elektronom, a nakon toga se pozitivni ion pobudi na različite energetske nivoe odgovarajućim elektronskim sudarima.

Ionski laseri proizvode veliki broj laserskih valnih duljina velike snage koje se protežu od UV područja, preko vidljivog u skoro IR dio elektromagnetskog spektra. Skoro svi komercijalni laseri su argonski ili kriptonski laseri (imaju kontinuirani način rada).

#### 6.1.4.1. Argonski ionski laser

Aktivni medij kod argonskog lasera je plazma pobuđenih iona. Prvo se atomi argona ioniziraju, a onda pobuđuju. Potrebno je više energije da se atom ionizira nego da se pobudi. Dakle, više energije se može dobiti vraćanjem pobuđenog iona u stanje ravnoteže. Daje nekoliko karakterističnih zelenomodrih boja, npr, valnih duljina 514 nm, 488 nm, 476 nm, ukupne snage do 20 W u kontinuiranom načinu rada. Osim u znanstvenim istraživanjima, primjenjuje se u medicini (oftamologija) i za stvaranje svjetlosnih efekata.

#### 6.1.5. CO<sub>2</sub> laser

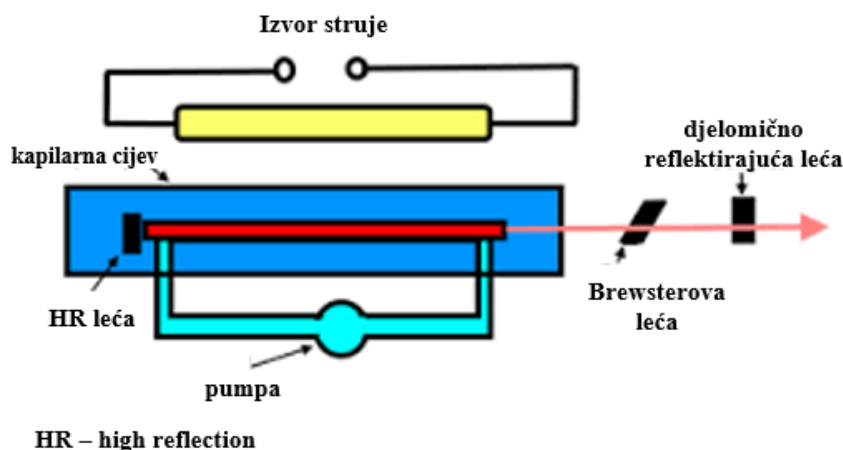
CO<sub>2</sub> laser (Slika 13) je plinski laser, koji kao aktivni medij koristi molekule ugljikova dioksida. Predstavnik je molekularnih lasera koji rade u području molekuskog spektra. Za pobudu tih lasera koriste se električni izboj, optičko, kemijsko i toplinsko pumpanje. Sastoji se od staklene cijevi u kojoj se nalazi smjesa ugljikova dioksida, dušika i helija. Na krajevima cijevi se nalaze dva paralelna zrcala koja reflektiraju lasersku zraku natrag u cijev i tvore rezonator. U cijevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visoki napon. Taj laser ima visoki stupanj djelovanja u impulsnom i kontinuiranom načinu rada.



Slika 13. Prikaz CO<sub>2</sub> lasera [13].

## 6.2. Tekući laseri

Pored plinova i čvrstih tijela, tekućine posjeduju svojstva koja ih čine pogodnim laserskim materijalima. Tekućine pokazuju velike prednosti, jer dozvoljavaju izmjenu koncentracije aktivnih iona. Osim toga omogućavaju jednostavnije hlađenje u odnosu na čvrste sustave, cirkulacijom aktivnog medija. Lošija strana tekućeg laserskog medija je njegov veliki koeficijent termičke ekspanzije i promjena indeksa loma. Termičke promjene i strujanje tekućine izazivaju nehomogenosti u indeksu loma i smanjuju kvalitetu lasera. Kod konstruiranja lasera na tekućem mediju najvažnije je izabrati materijal koji pokazuje luminiscenciju u tekućoj fazi. Puno organskih tekućina ima jaku luminiscenciju za razliku od anorganskih kod kojih je ona manje prisutna. Lempicki i Samelson prvi su 1963. godine ostvarili laserski efekt na tekućini. Koristili su kelatni spoj trovalentnog europija kao aktivni materijal otopljen u organskom otapalu (Slika 14).



Slika 14. Shema tekućeg lasera [14].

### 6.3. Laseri čvrstog stanja

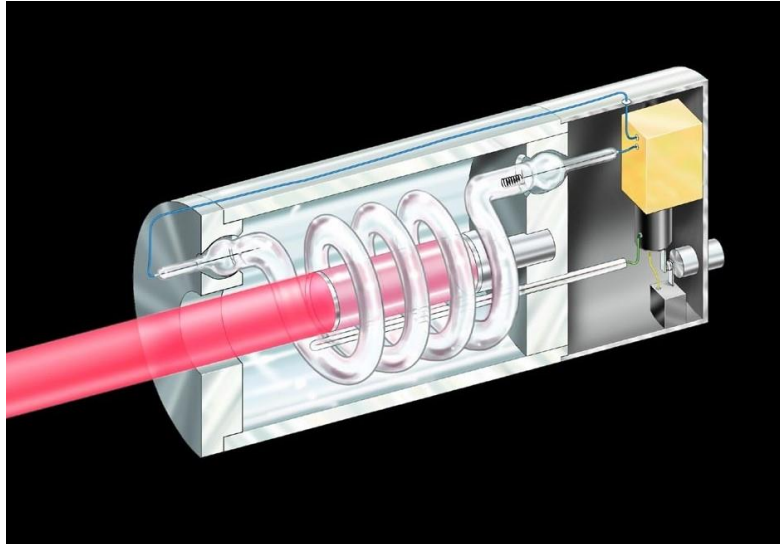
Čvrsto tijelo sastoji se od velikog broja atoma, iona ili molekula. Ako su oni raspoređeni u prostoru tako da tvore kristalnu rešetku, govorimo o kristalu, odnosno o kristalnoj strukturi. Međutim, ako ispunjavaju prostor nepravilno, govorimo o amorfnom tijelu (plastika).

Kao aktivni medij kod lasera čvrstog stanja koriste se kristali i stakla. Kristali i stakla apsorbiraju svjetlost, ali je ne emitiraju (luminisciraju) već energiju predaju rešetci. Kako bi došlo do luminiscencije dodaju se primjese iona plemenitih ili prijelaznih metala. Luminiscencija proizlazi iz ugrađenih iona. Postoji dvadesetak vrsta laserskog čvrstog stanja. Rubinski laser (Slika 16) bio je revolucionarni izum (prvi napravljeni laser) na kojem se temelje moderni laseri, a koristi se i danas. Najpoznatiji laseri čvrstog stanja pravilne strukture su YAG laseri. YAG je akronim za itrij-aluminij-granat (YAG –  $Y_3Al_5O_{12}$ ).

#### 6.3.1. Rubinski laser

Jedan od najpoznatijih i ujedno prvi konstruirani laser koji se pripisuje Theodore H. Maimanu 1960. godine. Kao aktivni medij koristi kristalni štapić sintetskog rubina. Rubin je aluminijev oksid,  $Al_2O_3$ , sa atomima kroma u obliku  $Cr^{3+}$ . Ružičasta boja proizlazi od  $Cr_2O_3$  pa tako povećanjem koncentracije kromovih iona mijenja boju iz ružičaste u crvenu, a valnu duljinu emisije od 694,3nm preko 700,9 nm do 704,1 nm. Za pobuđivanje laserskog medija koriste se plinske lampe punjene ksenonom. Prvi rubinski laser je imao ksenonsku bljeskalicu u obliku spirale, omotane oko štapića rubina.

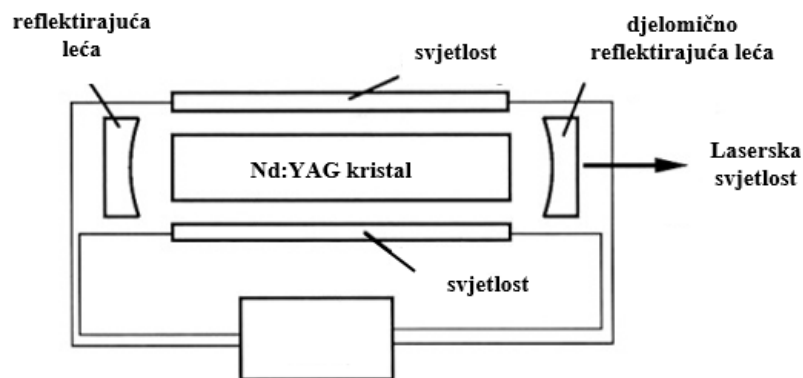




Slika 15. Rubinski laser [15].

### 6.3.2. Nd: YAG Laser

Nd:YAG Laser (Slika 16) je laser sa krutom jezgrom koji se sastoji od štapića itrij-aluminij-granata (YAG) sa atomima neodimija ( $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ). Aktivni medij lasera su trostruko ionizirani ioni neodimija ( $\text{Nd}^{3+}$ ). Emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064 nm. Ovaj laser se može prilagoditi i valnim duljinama od 940 nm, 1120 nm, 1320 nm i 1440 nm. Za pobuđivanje se koristi kriptonska bljeskalica.



Slika 16. Shematski prikaz Nd:YAG lasera [16].

#### 6.4. Poluvodički laser

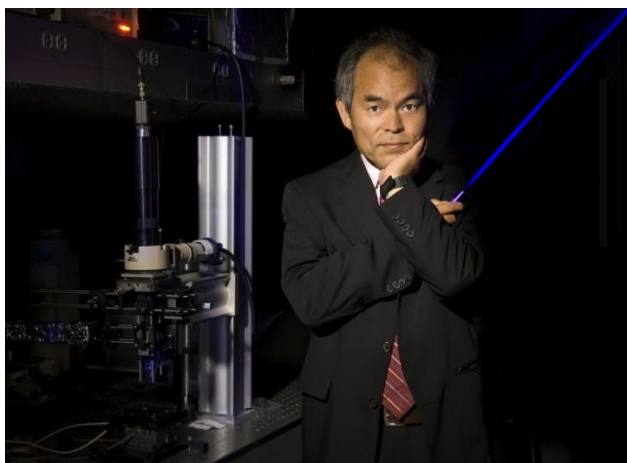
Poluvodični laser (diodni laser), predstavlja sićušni kristal, proizveden atomskom točnošću, podijeljen u dva osnovna područja s različitim električnim svojstvima.

Višak elektrona s n-strane poluvodiča predstavlja nosioce struje, dok na p-strani poluvodiča prevladavaju pozitivne šupljine koje predstavljaju nedostatak elektrona. Kada se na p-stranu dovede pozitivan napon, a na n-stranu negativan, elektroni se sudaraju te se nalaze u prostoru zvanom kvantna jama gdje se rekombiniraju i dolazi do emisije fotona. Ako su krajevi diode zrcala, dolazi do laserskog učinka, odnosno emitiranja istovrsnih koherentnih fotona. Energija fotona (boja svjetlosti) određena je svojstvima poluvodičkog spoja (iznosom energijskog rascjepa).

- Ljubičasti i plavi poluvodički laseri

1996. fizičar Shuji Nakamura (Slika 17) je pokazao da galijev nitrid (GaN) u posebnoj izvedbi može biti korišten za dobivanje plavog odnosno ljubičastog lasera. Učinio je to na valnoj duljini od 410 nm, ali samo u pulsnom načinu rada i u trajanju od 28 sati rada lasera. Na konferenciji u Baltimoru 1997. godine S. Nakamura je održao predavanje gdje je izložio ljubičasti laser na 405 nm i to u kontinuiranom načinu rada pri sobnoj temperaturi. Taj događaj je presedan u svijetu informatike i elektronike jer su plavi i ljubičasti laseri omogućili povećanje memorijskoj zapisa za četiri puta. Profesor Nakamura je radio i na zelenim LED diodama i zaslužan je za stvaranje bijele LED i plave laserske diode (koristi se u Blu-Ray diskovima i HD DVDovima).

Nagrađen je 2014. Nobelovom nagradom na području fizike za izum plave svjetleće diode koja je omogućila izradu energetski štedljivih bijelih izvora svjetlosti.



Slika 17. Shuji Nakamura [17].

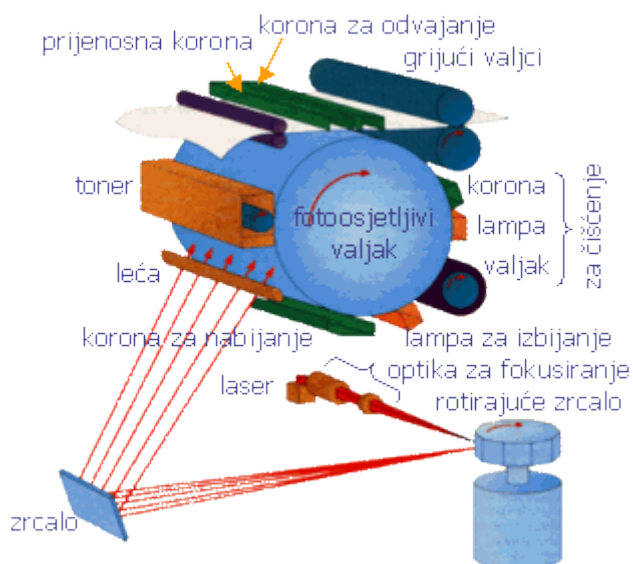
## 7. Primjena lasera u svakodnevnom životu

Lasери su pronašli primjenu u mnogim granama ljudske djelatnosti kao što su industrija, medicina, stomatologija, telekomunikacije, energetika, obrada materijala, vojna industrija te mnoge druge.

### 7.1. Laseri u informacijskoj tehnologiji i telekomunikacijama

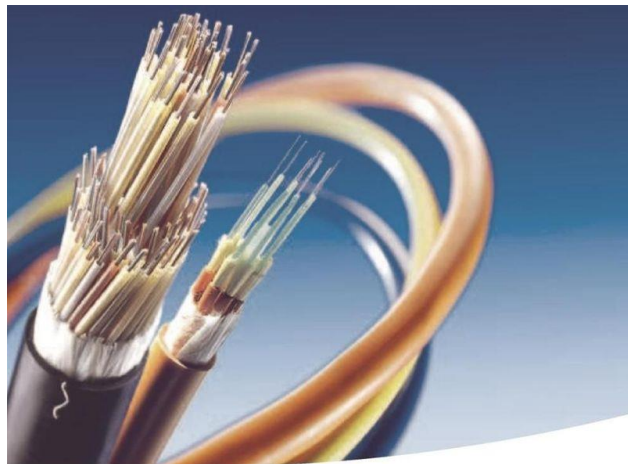
Laseri su vrlo važni za informacijsku tehnologiju u obliku optičke komunikacije sustava, pohranu podataka laserom na optičke medije (CD, DVD), optičkih skenera, laserskih pisaača (Slika 18), optičke obrade signala. U robotici služe kao senzori visoke točnosti za određivanje položaja u prostoru, čime se omogućuje autonomna navigacija robota.

Laserski pisaač je baziran na laserskoj tehnologiji. Princip kako laserska zraka iscrtava tekst je statički elektricitet kojeg laserski pisaači koriste kao privremeno „ljepilo“ za koje se lijepi tinta u obliku praha. Prednost laserskih pisaača u odnosu na ink-jet pisaače su brzina ispisa, zbog brzog iscrtavanja laserske zrake po površini bubnja i kvaliteta ispisa.



Slika 18. Unutrašnjost laserskog pisaača [18].

Laseri u telekomunikacijama povezuju umrežena računala, prebacujući binarni kod računala u svjetlosni signal koji se optičkim kablovima prenosi na velike udaljenosti i to brzinom od nekoliko terabita po sekundi.



Slika 19. Optički komunikacijski kabel [19].

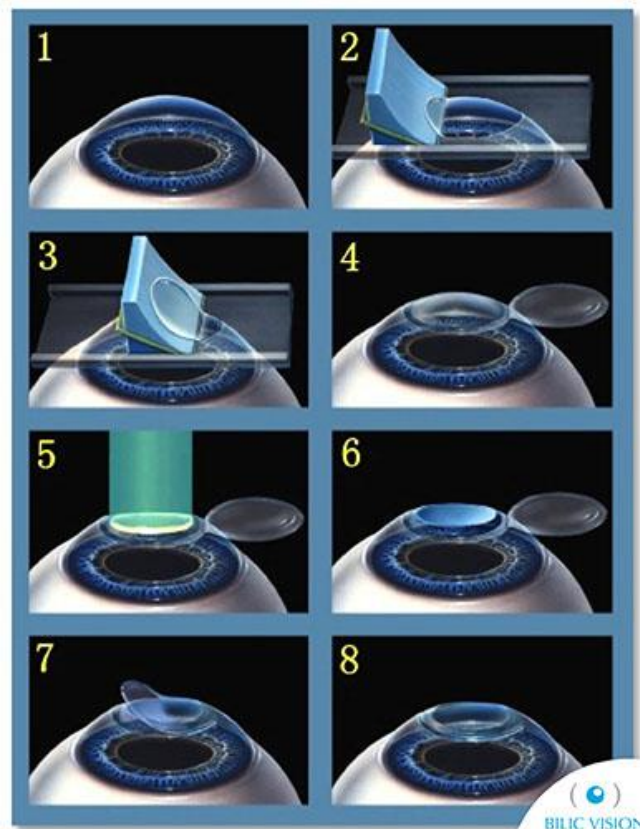
Laseri su svoju primjenu našli i u obliku CD, DVD, Blu-ray ili HVD (Slika 20). Holografski višenamjenski disk je napredna optička disk tehnologija koja je u fazi istraživanja i povećati će pohranu podataka bolje i od Blu-ray optičkog disk sustava. Koristi se tehnika zvana kolinearna holografija. Sustav koristi dva lasera, jedan zeleni laser valne duljine od 532 nm i izlazne snage od 1 W. Drugi laser je crvene boje valne duljine od 650 nm i koristi se kao referentni snop.



*Slika 20. Optički diskovi [20].*

## 7.2. Laseri u medicini i stomatologiji

1961. u SAD-u je izvedena prva laserska operacija, kada su liječnici pomoću rubinskog lasera uklonili retinalni tumor. Razvojem tehnologije proširila se primjena lasera u medicini. Osim u liječenju bolesti laseri se koriste i za estetsko-korektivne zahvate koji se temelje na primjeni neagresivnih zahvata bez oporavka ili uz minimalni oporavak. Laserske se zrake koriste i u oftamologiji, zbog svojstva laserske zrake da ulazi u oko, a da ga ne ošteti. Jedan od rutinskih zahvata u oftamologiji je postupak uklanjanja dioptrije, u kojem laserska zraka ispravlja oblik rožnice (Slika 21).



*Slika 21.* Laserska korekcija vida [21].

U stomatologiji je prirodna neposredna primjena različitih lasera. Laseri se koriste za uklanjanje zubnih naslaga, izbjeljivanje (Slika 22) te za pripremanje zuba za punjenje ispunama, preoblikovanje desni te za uklanjanje bakterija prilikom čišćenja zubnih kanala. U rjeđim slučajevima, laseri se mogu koristiti za uklanjanje komadića tkiva (biopsija) za koje se smatra da su zahvaćene malignim stanicama i kod mehaničkog bušenja zuba zubarskom bušilicom.



*Slika 22.* Lasersko izbjeljivanje zubi [22].

### 7.3. Laseri u dermatologiji i kozmetici

Lasери se koriste i u dermatologiji i kozmetici. Laserima se tretiraju maligni i benigni tumori, korigiraju ožiljci od akni i ozljeda (Slika 23) te uklanjanju neželjene tetovaže. Kod uklanjanja tetovaža koriste se CO<sub>2</sub> laseri. Laserska svjetlost selektivno se apsorbira u pigmentu, pri čemu se pigment zagrijava i dolazi do pucanja čestica pigmenta, koje postaju toliko male da ih naše tijelo, putem imunološkog sustava izlučuje iz organizma. Laser, zbog točno određene valne duljine, selektivno uništava pigment boje tetovaže, pri čemu ne uništava okolno, zdravo tkivo. Ti postupci nisu bezbolni. Osjet koji izaziva pulsni laser na dijelu kože kojeg se tretira laserom, jednak je osjećaju peckanja kojeg možete osjetiti ukoliko vas popraska vruće ulje. Crni pigment apsorbira sve valne duljine, pa je zato puno lakše skinuti crnu tetovažu, nego tetovažu u boji koja selektivno apsorbira valne duljine.



*Slika 23.* Lasersko uklanjanje bora i ožiljaka [23].

#### 7.4. Laseri u industriji

Najčešća laserska obrada materijala je obrada rezanjem, bušenjem, zavarivanjem, graviranjem i površinska obrada. Lasersko zavarivanje se izvodi sa CO<sub>2</sub> laserom. Laserski se snop usmjeri na jednu točku čime se dobije dovoljna snaga za topljenje materijala. Prednosti zavarivanja laserom su visoka kvaliteta zavarenog spoja, velika preciznost i brzina. U proizvodnji turbina se isto koristi lasersko bušenje koje omogućava izradu malih rupa na svakom materijalu.

Kod obrade površine laserskim snopom ima više različitih upotreba kao što su termomehanički postupci, emajliranje, disperzija i drugi. Uz brzinu, precizno rezanje je glavna vrlina laserskog rezanja.



## **8. ZAKLJUČAK**

Proizvodnja različitih tipova lasera te njihovo tehnološko usavršavanje i povezivanje s optikom i elektronikom otvorilo je nova područja znanosti i tehnologije. Lasersko zračenje je usmjereno, monokromatsko i koherentno. Za rad lasera potrebna su tri fizikalna procesa prijelaza atoma iz osnovnog u pobuđeno stanje, a to su apsorpcija, spontana emisija te stimulirana emisija. Laserska svjetlost se dobiva pojavom stimulirane emisije zračenja. Mnoge grane ljudske djelatnosti su prepoznale važnost lasera u tehnologiji, što je naposljetku dovelo do primjene lasera u medicini i stomatologiji, industriji, telekomunikacijama i u energetici. Kao što se može vidjeti iz mnogobrojnih navedenih primjera, laseri imaju snažan utjecaj na svakodnevni život i znanost. Prirodne znanosti- fizika, kemija i biologija, bile bi nezamislive bez lasera.

## 9. LITERATURA

- (1) P.W. Atkins: Physical Chemistry; 5th ed., Oxford etc., Oxford University Press, 2009
- (2) Bernik A, Stipetić I; Laserske zrake u strojnoj industriji

### WEB IZVORI:

- (3) [https://lasers.llnl.gov/education/how\\_lasers\\_work](https://lasers.llnl.gov/education/how_lasers_work) 21.05.2017.
- (4) <http://spaceplace.nasa.gov/laser/en/> 21.05.2017.
- (5) [http://eskola.hfd.hr/clanci/50\\_godina\\_lasera\\_Natasa\\_Vujcic.pdf](http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujcic.pdf) 21.05.2017.
- (6) <http://spaceplace.nasa.gov/laser/en/> 21.05.2017.
- (7) <http://projekt2.ifs.hr/documents/Svjetska%20godina%20fizike.pdf> 21.05.2017.
- (8) <http://physicsworld.com/cws/search?siteCode=phw&query=lasers> 21.05.2017.
- (9) [http://ethw.org/Theodore\\_Maiman\\_and\\_the\\_Laser](http://ethw.org/Theodore_Maiman_and_the_Laser) 21.05.2017.

### Slike:

- [1] [http://www.periodni.com/gallery/spektar\\_elektromagnetskog\\_zracenja.png](http://www.periodni.com/gallery/spektar_elektromagnetskog_zracenja.png) 21.05.2017.
- [2] <https://www.wired.com/2011/05/0516maiman-creates-first-laser-ruby-crystal/>  
21.05.2017.
- [3] [http://ethw.org/Theodore\\_Maiman\\_and\\_the\\_Laser](http://ethw.org/Theodore_Maiman_and_the_Laser) 21.05.2017.
- [4] [http://eskola.hfd.hr/clanci/50\\_godina\\_lasera\\_Natasa\\_Vujcic.pdf](http://eskola.hfd.hr/clanci/50_godina_lasera_Natasa_Vujcic.pdf) 21.05.2017.
- [5] [http://www.scienzaescuola.eu/images/articoli/oq\\_la\\_4.jpg](http://www.scienzaescuola.eu/images/articoli/oq_la_4.jpg) 11.09.2017.
- [6] <http://www.scienzaescuola.eu/index.php/home/2016-06-21-08-38-11/leggi/145-laser-e-ottica-quantistica> 11.09.2017.
- [7] <http://titaniumphysicists.brachiolopemedia.com/wp-content/uploads/2015/04/nero1.jpg>  
14.07.2017.
- [8] <http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20136/laser2d206ee371e0d41ad9e870eeab2ec4758.png> 23.07.2017.

- [9] <http://www.physics-and-radio-electronics.com/physics/laser/heliumneonlaser.html> 23.07.2017.
- [10] <http://www.repairfaq.org/sam/heneavl1.jpg> 23.07.2017.
- [11] <http://www.emred.fi/images/hene-2.png> 09.09.2017.
- [12] <https://www.pocketmagic.net/my-first-tea-nitrogen-laser/> 23.07.2017.
- [13] <http://www.southeastlaser.com/laser-systems/ultramd-co2-laser.html> 10.09.2017
- [14] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSjg1LrlkAklBy6oAM0Etjb1O5hjzuqzrmzJIY8dDREi8beYUqQ> 09.09.2017.
- [15] <http://www.daenotes.com/electronics/microwave-radar/ruby-lazer> 09.09.2017.
- [16] <http://www.aml.engineering.columbia.edu/ntm/level1/ch05/html/Image437.jpg> 09.09.2017
- [17] <http://www.news.ucsb.edu/sites/www.news.ucsb.edu/files/images/2014/ShujiNakamura1.jpeg> 09.09.2017.
- [18] [http://pvprm.zesoi.fer.hr/1999-00-web/1999-00-seminari/gvrbanic/seminar/laser\\_led.htm](http://pvprm.zesoi.fer.hr/1999-00-web/1999-00-seminari/gvrbanic/seminar/laser_led.htm) 09.09.2017.
- [19] [http://www.bug.hr/\\_cache/76a3f96d91c8ea76971f6ffe1d38724e.9148c395d5659c2fa0e0f49f3019e8e5.jpg](http://www.bug.hr/_cache/76a3f96d91c8ea76971f6ffe1d38724e.9148c395d5659c2fa0e0f49f3019e8e5.jpg) 14.7 21.05.2017.
- [20] [https://pbs.twimg.com/profile\\_images/599004968696307712/o\\_eLyDHq.jpg](https://pbs.twimg.com/profile_images/599004968696307712/o_eLyDHq.jpg) ; <http://neverdc.com/wp-content/uploads/2011/04/Holographic-Versatile-Disc.jpg> 21.05.2017.
- [21] <http://www.bilicvision.hr/wp-content/uploads/2014/06/lasik-vision-technology.jpg> 21.05.2017.
- [22] <http://dentusperfectus.hr/wp-content/uploads/2014/04/izbjeljivanje-zubi.jpg> 21.05.2017.
- [23] <http://www.poliklinikasusac.com/koza2.php> 21.05.2017.