**Excimerski laseri**

Excimerske (excimer = excited dimer) molekule postoje samo u pobuđenom stanju. Primjeri su dvoatomne molekule sastavljene od atoma zatvorenih ljuski (plemenuti plinovi i dr.). Laseri rade u kratkovalnom, UV području. Obično upravljani pulsom frekvencije od oko 100Hz. Širina impulsa reda je reda veličine 10ns. Potrebna im je velika pobudna snaga. Izvori za pobudu mogu biti visokonaponski jako-strujni elektronski snop ili brzi transverzalni izboj. Laserska akcija u excimerskoj molekuli događa se zbog toga što molekula ima vezano pobuđeno, ali nevezano temeljno stanje. Primjena ovih lasera je u pobudi lasera s bojom, mjerenju ozonske koncentracije u gornjoj atmosferi, ablaciji površina, nelinearnoj spektroskopiji, istraživanju plazme, za depoziciju, medicini, industriji.

**Co2:**

PRINCIP RADA:CO2 laser je plinsko-molekularni laser, koji kao aktivni medij koristi molekule CO2.Za njegovu pobudu upotrebljava se električni izboj, optičko, kemijsko i toplinsko pumpanje. Laser se sastoji od staklene cijevi u kojoj se nalaze smjesa plinova:ugljikovog dioksida, dušika, helija i eventualno nekog drugog plina. Na krajevima cijevi se nalaze dva paralelna zrcala, koja su premazana slojem silikona, molibdena ili zlata, koja reflektiraju lasersku zraku natrag u cijev i tvore rezonator. Leće i prozori su napravljeni od germanija i cink-selenida ZnSe. U cijevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visoki napon.Visoki napon proizvodi mnoštvo brzih elektrona u cijevi koji sudarima predaju svoju energiju molekulama plina.

CO2 simetrična molekula 3 načina vibracija:simetrično istezanje, asimetrično istezanje i mod savijanja. CO2 laser može raditi u kontinuiranom modu kao i u pulsnom modu koristeći Q-prekidanje. 􀂄 Kontinuirani laseri s CO2 uz stupanj djelovanja od 20% daju obično snage 100-150 W. U smjesi CO2, N2 i He, u cijevi duljine 2m, istosmjernim naponom od 10kV održava se struja izboja od 100mA. Cijev se hladi vodom.Pri izboju u plinu se stvaraju različiti kemijski spojevi koji ograničavaju laserski izlaz. Zato se plin u cijevi stalno zamjenjuje plinom iz spremišta. Time se štetni proizvodi uklanjaju, a u cijevi se radi s plinom stalnog sastava.Impulsni laseri s CO2 i Q-prekidanjem. Zbog dugog vremena života vibracijskih razina, o kojima ovisi laserska akcija u CO2, može se uskladištiti energija u izbojnoj sredini u trajanju od cca 1ms blokiranjem laserske zrake unutar rezonatora i tako spriječiti oscilacije.

PRIMJENA CO2: Vojna industrija, Medicina, kirurgija, Obrada materijala

**DUŠIKOV LASER:**

**•** Laserska akcija na dušiku (N2) je ostvarena u impulsnom režimu i zbiva se među elektronskim razinama • Kod molekula dušika postoji nekoliko mogućnosti za ostvarenje laserske akcije

EMISIJA U UV PODRUČJU • Zato N2 laser može raditi samo u impulsnom režimu, s vrlo kratkim impulsima KONSTRUKCIJA N2 LASERA • Brzim pražnjenjem kondenzatora osiguravaju se elektroni srednje kinetičke energije od 16 eV, kojima se vrši pobuda s osnove u više elektronske razine

• Laserski prijelaz je impulsni i ovisi o tlaku u cijevi I izbojnom krugu (od 300 ps pri atmosferskom tlaku do oko 10 ns pri tlaku od oko 260 Pa) Radi što bolje homogenosti pražnjenja i veće neosljetljivosti na tranzijetno polje, niži dio laserske cijevi je zaštićen bakrenim oklopom spojenim na nižu elektrodu lasera • Bakrene trake su međusobno izolirane 0,25 mm slojem hostafan (mylar) folije • Izolacija ograničava radni napon na oko 30 kV

“SUPERRADIANT” REŽIM RADA • Sljedeći element većinom će emitirati usmjeremo prema izlaznom kraju cjevi pojačanom emisijom prvog elementa (prije nego spontano emitira u ostalim smjerovima) • Tako se postiže veliko pojačanje • Emisija iz ovog lasera ima manju koherenciju i nešto veću divergenciju snopa • Kod dušikovog lasera zahtjev za kraćim vremenom života nižeg laserskog nivoa u odnosu na dugoživeći gornji nivo (metastabilni) ne vrijedi!! • Stanje je obrnuto: gornji nivo je kratkoživući (~25 ns), a donji dugoživeći (~10 μs)

**Laseri s bojom**

Najšire upotrebljavana vrsta lasera s ugodljivim valnim duljinama. Koriste se organske boje. Aktivna sredstva su organske molekule boja, otopljene u kapljevinama. Kada su pobuđeni svjetlom ili UV zračenjem, imaju jaki fluorescentni spektar. Izlaz lasera s bojom je uvijek koherentno zračenje prilagodljivo određenom spektralnom području. Laseri s bojom imaju 3 osnovna načina rada; impulsni, mode-lockin, te kontinuirani val. Glavna i najbolja osobina je mogućnost finog podešavanja. Mogu biti pobuđeni bljeskalicama, impulsnim laserima ili u slučaju lasera s bojom kontinuiranog vala, najčešće argon ionski laser.

**Ar+ laseri**

Najčešće rade u kontinuiranom režimu rada u vidljivom i UV dijelu spektra. Inverzija naseljenosti se postiže u 2 koraka. Neutralni atom se najprije ionizira u direktnom sudaru s elektronom. Tako dobiveni pozitivni ion se pobudi na različite energijske nivoe odgovarajućim sudarima s elektronima. Izbojna cijev Argon-ion lasera mora biti posebno konstruirana da izdrži visoku gustoću struje izboja potrebnog za pobuđivanje Argona. Rezonator je napravljen od dva zrcala, jednog visoke refleksivnosti, a drugog koje je polupropusno. Na oba kraja scijevi nalaze se Brewsterovi prozori i nastaje polarizirani snop. Koriste se u forenzičkoj medicini, kirurgiji, kod operacije očiju, za zabavu, te u holografiji.

**Poluvodički laseri**

Kristal poluvodiča sastoji se od velikog broja periodično smještenih atoma. Energijske razine elektrona popunjavaju se prema Paulijevom principu. Najviša popunjena = valentna vrpca. Sljedeća je vodljiva vrpca. U osnovnom stanju vrpca nije naseljena te imamo izolator. Pobudom (pr. toplinskom) elektroni dolaze u vodljivu vrpcu i slobodno se kredu , imamo vodič. Dopiranjem poluvodiča čisti poluvodički kristal stvara višak (n-tip) ili manjak (p-tip) elektrona u rešetci kristala. Dovodeći u kontakt p- i n-tip poluvodiča (nema napona na p-n spoju) elektroni teku sa n strane na p stranu. Ako se priključi napon na p-n spoj (potencijalna barijera se smanji), elektroni teku preko vrha barijere na p-stranu, odakle prelaze na prazna stanja u valentnoj zoni uz emisiju fotona s energijom približno jednakom Eg. Uz dovoljno visok napon na p-n spoju, može postojati područje gdje se dobiva inverzija naseljenosti. Stvara se lavina fotona. Fotoni nastali stimuliranom emisijom doživljavati de višestruke refleksije unutar rezonatora. Ako pojačanje emisije svjetlosti uspije kompenzirati gubitak fotona uslijed apsoprcije i difuzije iz pn-spoja može se pojaviti laserska emisija. Laserski efekt se javlja u ravnini pn-spoja ako kroz njega teče struja elektrona dovoljne gustoće. Poluvodički diodni laser nema vanjskih zrcala; dovoljno je da se strane vodiča poliraju, pa da se dobije laserski rezonator iz kojeg se dobije laserska emisija na obje strane. Obično se na jednu stranu potom nanosi 100% refleksivni sloj, tako da se laserska emisija dobiva samo s jedne strane rezonatora.

**FEL – Free Electron Laser**

Laser sa slobodnim elektronima. Kao aktivno sredstvo slobodni elektroni koji se gibaju u posebno oblikovanom magnetskom polju. Zračenje je posljedica usporenja elektronskog snopa u magnetskom polju. Ostvaruje područje spektra šire od optičkog. Na izlazu daje točkastu pulsnu zraku jake snage.

3 glavna dijela; akceleratora elektrona, optičkog rezonatora, te deceleratora. Akcelerator ubrzava snop elektrona koji postižu relativističke brzine i takvi ulijeću u rezonator se sastoji od dva zrcala i *wigglera*(sustav supravodljivih magneta s alternirajućim magnetskim poljem). Elektroni se u polju gibaju pod utjecajem Lorentzove sile. Različite brzine zračenja i gibanje elektrona uzrokuju njihove razlike u fazi. Zbog toga FEL radi u pulsnom načinu rada. Valna duljina kojom če laser zračiti ugađa se promjenom brzine elektrona .

FEL se koristi u spektroskopiji, medicini, fizici, biologiji, no najčešće u znanstvenim istraživanjima. Prednosti FEL-a su mogućnost podešavanja valne duljine, visoka izlazna snaga (do 10kW), mogućnost proizvodnje pulseva veoma kratkog trajanja (ps). Kako su medij elektroni u vakuumu, nema trošenja medija ni zagrijavanja leda kao kod konvencionalnih lasera. Velik nedostatak su veličina i cijena lasera.

**Plinski laseri (**Temeljeni na atomima neutralnog plina, ioniziranom plinu, ili molekulama plina.)

**Helij-Neon (He-Ne) laser**

Niska snaga, 4 laserske razine. Aktivni medij je Neon. Helij povećava učinkovitost pobuđivanja. Sastavni dijelovi su Pyrex cijev duljine 35cm i promjera 2mm s elektrodama sa strane, Brewsterovi prozori na kraju izbojne cijevi, te zrcala smeštena izvan cijevi okomito na os (jedno 99.9%, drugo 99.0% reflketivnosti). Elektrode su priključene na oko 4kV istosmjerno. Tipična snaga je nekoliko desetaka mW. Rade u kontinuiranom načinu i vrlo su stabilni. Jeftini su, malih dimenzija i neznatno se zagrijavaju.

**Laseri čvrstog stanja**

Kristali, stakla, opcionalno primjese iona plemenitih ili prijelaznih metala (neodimij, krom, erbij, itd.).

Energijska pobuda svih lasera čvrstog stanja je svjetlosna. Izvori te svjetlosti su bljeskalice ili svjetiljke, te laserske diode. Prednost ovih lasera je relativno jeftin izvor, a nedostaci su iznimno mala iskoristivost, umjereni vijek trajanja, te jaki toplinski efekti tijekom rada.

Postoji dvadesetak vrsta lasera čvrstog stanja. Bitniji su rubinski laser (povijesni razlozi, no koristi se i danas), te laseri dopirani ionima neodimija s naglaskom na Nd-Yag laser koji je najzastupljeniji.

**Rubinski laser**

Prvi laser ikad proizveden. Sastoji se od rubinske šipke (optičko pojačalo), bljeskalice (pobudni izvor, dobiva energiju izbijanjem kondenzatora). Rubin je spoj (safir) i iona kroma koji su safiru dodani kao primjesa (0.05%). Laser daje impulsni izlaz trajanja oko 1 mikro sekunde i energije po impulsu od 10mJ, te srednje snage po impulsu od 10kW.

Radi se o laseru s 4 nivoa. Emisija se događa pri prijelazu s nivoa E2 na E1.

**Laseri dopirani ionima neodimija**

Ioni neodimija zamjenjuju atome aktivnog medija u razinama do par postotaka mase medija. Aktivni mediji koji se koriste su staklo, kristal YAG(Itrij Aluminij Garnet), te kristal YLF(Itrij Litij Fluorid). Izbor ovisi o namjeni lasera.

Staklo kao aktivni medij se koristi kada je potreban pulsni laser s impulsom velike snage te niskom frekvencijom. Proizvodi se u obliku diska ili šipke u promjeru do 0.5m i dužine do nekoliko metara jer se radi o jeftinom materijalu. Sadrži visoki postotak neodimijskih iona (do 6%). Problem slabe toplinske vodljivosti.

YAG kristal se kao aktivni medij koristi za visoke frekvencije pulsiranja (više od jednog pulsa po sekundi) i za neprekidan način rada. Ima mnogo vedu toplinsku vodljivost od stakla, te se izrađuje u promjerima 2-15mm i dužinama 2-30cm. Postotak iona neodimija je 1-4% mase kristala. Vrlo skup. Koristi se u oftamologiji, estetskoj kirurgiji, stomatologiji, proizvodnji (graviranje, rezanje, zavarivanje, obilježavanje), te u dinamici fluida za vizualizaciju protoka. Radi se o laseru s 4 energetska nivoa. Stimulirana emisija se događa na prijelazi iz gornjeg nivoa E3 na donji nivo E2.

**Pulsni laseri:**

Podjela prema načinu rada: Kontinuirani laseri, koji daju neprekinute laserske snopove, Pulsni laseri, koji daju isprekidane laserske snopove Razlika - snaga laserske zrake.Laser s kontinuiranim izlazom - Medij stavljamo između dva paralelno postavljena dva zrcala.Snop se reflektira puno puta što daje povećanje gustoće energije zračenja. Jedno od dva zrcala se obično napravi tako da nije 100% reflektirajuće već propušta određenu količinu svjetla (obično manje od 1%)koherentni fotoni mogu izaći iz laserske šupljine kroz zrcalo koje nije 100% reflektirajuće...

Kontinuirani laser 1:laserski medij; 2:energija za pobuđivanje medija; 3:100% reflektirajuće zrcalo; 4: 99% reflektirajuće zrcalo; 5: laserska zraka

**Kako dobiti puls?** 3 načina: 1)Gain-switching 2)Q-switching 3)Mode-locking

1)Gain-switching (prekidanje pojačanjem) trajanje jednog pulsa iznosi ~10-12 s (ps) Najčešće se upotrebljava poluvodički aktivni medij Injektiraju se nosioci (elektroni) u poluvodički medij Kada gustoća nosioca dosegne prag stvaranja laserske zrake nastaje puls. Stimulirana emisija je brža od injekcije nosioca prekid pulsa (nakon otprilike 50 ps). Nakon završetka pulsa gustoća nosioca se opet povećava i nakon što dosegne prag proces počinje iznova

2) Q-switching Trajanje pulsa u tehnici Q-switchinga (Q-prekidanje) je reda veličine ns (~10- 9 s ) Unutar rezonatora postoji mehanizam koji spriječava dovoljno malu stimuliranu emisiju (niski Q-faktor - medij se pumpa energijom) dok inverzija naseljenosti ne dostigne prag zasićenja. Mehanizam za pumpanje medija se sastoji od pumpne zrake i Qprekidanja. Q-prekidanje može biti: aktivni – promjena Q-faktora se kontrolira izvana (npr. zrcalo u vrtnji) i pasivni – promjena Q-faktora određena je materijalom od kojeg je načinjen aktivni medij (medij apsorbira energiju dok ne dosegne neki prag zasićenja te onda okine puls – slično kao gain-swiching)

Q – prekidanje - do časa t0 traje proces pobude (zrcala se blokiraju) Razvija se velika inverzija naseljenosti do postizanja praga Ako se zrcalo zakrene mehanički iz lasera izlazi snažan impuls. Pockelsova ćelija – anizotropni kristal koji zakreće ravninu polarizacije narinutog vanjskog el. Polja Kada na ćeliju dolazi el. polje zakreće se ravnina polarizacije za 90º i polarizator propušta laserski impuls

3)Mode-locking. Najkraće trajanje pulsa (fs – ps)Oscilacije različitih frekvencija unutar rezonatora nazivamo modovima. U rezonatoru opstaju samo oni modovi koji zadovoljavaju sljedeće uvjete :. da su longitudinalni ,tj. zadovoljavaju uvjet stojnog vala (ograničenje rezonantne šupljine ) λ=2\*L/m , tj. ω=2πc/λ , λ – valna duljina, L – duljina rezonatora m – m-ti mod

􀂾 da se nalaze ispod emisijske anvelope (ograničenje medija od kojeg je laser napravljen ) Opstaju samo modovi koji se nalaze unutar pojasa pojačanja laserskog medija 􀁺 frekvencijski razmak ( frekvencija repeticije) između dva

susjedna moda : Δf=c/2L

Moguća su dva **načina ponašanja longitudinalnih modova** : 1)Kontinuirani režim - modovi su nezavisni i promjenjive faze-nastaje kontinuirani val 2)Režim sinkronih modova - modovi rade s konstantnom faznom razlikom- u nekoj fiksnoj točki unutar šupljine modovi inerferiraju kontruktivno, a u drugoj destruktivno - nastaje niz pulseva.

Ovisno o mogućnostima lasera, pulsevi mogu biti različitog trajanja, čak i do reda femto. Pulsevi nastaju odvojeno,nakon ٦ = 2L/c, vremena potrebnog svjetlosti da točno jednom prođe laserskom šupljinom. 􀁺 Oblik pulsa jako ovisi o broju modova koji se sinkroniziraju .Stvaranje pulsa u rezonatoru povećanjem broja modova . Širina pojasa je na kojem laser radi je NΔf, N - broj modova Δf – frekvencijski razmak (separacija modova) 􀁺 Što je frekvencijski pojas širi, to je trajanje pulsa kraće !

**Načini sinkronizacije modova**

1)Aktivna sinkronizacija–Koristi se vanjski signal iz aktivnog elementa → modulator–koji propušta snop u točno određenom trenutku ('zaključa' modove) , te sustav ne izbacuje signal do trenutka kada se modovi poslože na traženi način – Dva načina modulacije: amplitudna (AM) i fazna (FM) 2)Pasivna sinkronizacija – Koristi se sama laserska svjetlost, a promjenu signala postižemo apsorberom – transmisija ovisi o intezitetu upadne svjetlosti, tj. ako je svjetlost koja upadne na apsorber dovoljno jakog inteziteta doći će do transmisije, a svjetlost slabog inteziteta će apsorbirati

**Što je to CHIRP?** 􀁺 (eng. chirp = cvrkut) – frekvencijska modulacija pulsa koja

podsjeća na ptičji pjev, pa odatle i naziv chirp . Što znači da je puls frekventno moduliran ? frekvencija vala nosioca se mijenja u vremenu Chirp ima važnu ulogu u oblikovanju pulsa.

**Zašto je potrebno prvo rastezati**, pa potom kompresirati puls? 􀁺Kad bi pojačali puls prije nego što ga rastegnemo (kraće trajanje pulsa veća snaga) došlo bi do oštećenja optičkog sistema zbog prevelike snage pulsne zrake (TW)

􀁺 Trajanje pulsa do reda veličine femtosekunde (atosekunde), Velika snaga iako u prosjeku relativno niska sveukupna energija

Primjena - Bušenje zubne cakline, U oftamologiji, U preciznim mjerenjima,

obradi različitih materijala, Za zavarivanje, rezanje, bušenje

**Laseri u X području**

Laseri u X području emitiraju svjetlost valne duljine reda 2-30 nm= meko zračenje. Tvrdo zračenje je ispod 0.2nm. Mala valna duljina ukazuje da laserska zraka mora nastati u jako ioniziranoj materiji. Ionizacijom materije je postignuta najmanja valna duljina do danas. X-ray laseri se dobivaju primjerice pobudom elektronskim sudarima, rekombinacijom, ionizacijom optičkim poljem, optičkim pumpanjem, pobudom u unutarnjim ljuskama, te FEL-om (XFEL). Pobuda elektronskim sudarima je do danas najbolje istraženi princip koji je proizveo najnižu valnu duljinu. Izvor pobudnog lasera je oscilator koji odašilje po dvije zrake infra crvenog svjetla. Prvi puls duljine ns i energije oko 5J pogađa metu i stvara ioniziranu plazmu. Drugi puls duljine ps i energije oko 5J stvara pobudu s elektronima i emisiju X lasera. Laser razvija snagu od 4-10mJ po pulsu. Ova snaga odgovara maksimalnoj snazi od 10-100MW pri trajanju pulsa od 100ps.

Rekombinacija je metoda kojom se dopušta naglo hlađenje visoko ionizirane plazme. Prilikom naglog hlađenja elektroni se premještaju u gornje energijske nivoe i dolazi do inverzije naseljenosti, te emitiranja fotona X lasera. Stabilna plazma se postiže zračenjem tankog filma ugljikovih vlakana. Zračenje se vrši ultra kratkim pulsom snažnog laserskog svjetla.

Ionizacija optičkim poljem je metoda u kojoj se zraka visoko energetskog lasera propušta kroz plin. Atomi plina su pritom „optički ionizirani“, te kao ioni imaju dovoljnu energiju za stvaranje X lasera putem pobude elektronskim sudarima.

Metoda optičkog pumpanja je princip kod kojega se jedna plazma optički pumpa linijskim zračenjem druge plazme. Prilikom pumpanja dolazi do inverzije naseljenosti i emitiranja X lasera. Ovo je prva metoda koja se razmatrala za stvaranje prvog X lasera. Nedugo su ponovno pokrenuta istraživanja X lasera temeljenog na ovom principu.

XFEL se nalazi u Hamburgu. Radi se o objektu dužine 3.4km, 6-38m ispod zemlje. Ovaj laser je najduži umjetni izvor svjetla na svijetu. Procjenjuje se na 908 mil. €. Počeo se graditi 2006., a otvara se 2012. XFEL zračenje je monokromatsko, koherentno, te 10k puta većeg sjaja od konvencionalnih izvora x-zraka. Kratkog je trajanja (<100 femtosekundi), te kratke valne duljine (do 0.1nm). X laseri se koriste za snimanje kemijskih reakcija, dešifriranje strukture biomolekula, razumijevanje trenja, tehnološka ispitivanja, proučavanje plazme, itd.

**Holografija** Holografija je proces rekonstrukcije valne fronte elektromagnetskog vala raspršenog na nekom predmetu. Dok klasična fotografija zapisuje samo intenzitet, holografija zapisuje amplitudu i fazu svjetlosnog vala, te time predstavlja „potpun zapis“.

**Snimanje holograma** Imamo predmetni val, koji je raspršen po predmetu i nosi podatke o površini predmeta, te referentni val koji je samo ravni elektromagnetski val. Izvodi se interferencija referentnog i predmetnog vala. Bilježi se mnoštvo prstenova koji se međusobno presjecaju. Promjene u kontrastu prstenova ovise o amplitudi, odnosno intenzitetu valova raspršenih na predmetu. Podaci o fazi raspršenih valova zabilježeni su u različitim udaljenostima između prstenova. Vrši se fotografski postupak razvijanja i fiksiranja.

**Rekonstrukcija holograma** Rekonstrukcija holograma ostvaruje se obasjavanjem holograma referentnim valom. Hologram tada djeluje kao nepravilna optička rešetka. Kao difrakcijske slike prvog reda dobivaju se realna i virtualna trodimenzionalna slika predmeta.

**Svojstva holografske slike**

Trodimenzionalna slika ima svojstvo paralakse. Svaki dio holograma može rekonstruirati cijelu sliku predmeta uz smanjenu rezoluciju. Realna slika je pseudoskopska, tj. Udaljenije točke predmeta nam se čine bližima. Realnu ortoskopsku sliku je moguće dobiti tako da se snimaju uzastopno dva holograma.

**Vrste holograma**

Ovisno o kolinearnosti predmetnog i referentnog snopa

-Gaborov (on axis) , - Leith-Upatnieksov (off axis)

Ovisno o orijentaciji predmetnog i referentnog snopa:- Transmisijski (kut među snopovima manji od 90 ,- Refleksijski (kut od 180)

Ovisno o udaljenosti predmeta i holograma za vrijeme snimanja

-Frenselovi (udaljenost mala – 10x veda od dimenzija predmeta), Fraunhofferovi (udaljenost jako velika) , -Fourierovi (na fotografsku ploču dolazi Fourierova transformacija predmetnog vala i referentni val)

Ovisno o odnosu debljine fotografske emulzije u odnosu na razmak pruga interferencije na hologramu Q=2pi\*lambda\*d/nD: -Plošni za Q<10, -Volumni za Q>=10

Ovisno o načinu difrakcije svjetlosti na hologramu

-Apmplitudni – ako su interferencijske pruge na hologramu definirane promjenama zacrnjenja emulzije. Ovi hologrami mijenjaju amplitudu EM vala tijekom rekonstrukcije ; -Fazni – ako su interferencijske pruge definirane promjenama faze. Mijenjaju fazu EM vala tijekom rekonstrukcije.

**Materijali:** Fotografske emulzije, Fototermoplastični materijali, Fotorefrakcijski materijali

**Holografske memorije** Zapisivanje u sve 3 dimenzije – visok kapacitet (1 TB na medij veličine kocke šećera).

R**azlike laserskih i svjetlosnih dioda** LED radi tako da kad ju se stavi na neki napon dolazi do rekombinacije elektrona i šupljna u barijeri i stvori se foton tj. svijetlost... laserska dioda nije ništa drugo nego obična dioda koja ima rezonator, tj ima zrcala na rubovima, e sad ovisi na kojim rubovima ima zrcala radi se o "edge emiter" - emisija sa strane (emisija u ravnini barijere P-N spoja) i VCSEL (vertical cavity surface emmiting laser) - emisija okomito na ravninu barijere.

**Prag laserske akcije** Intenzitet elektromag. vala frekvencije v koji putuje kroz sredstvo duljine L je , gdje je α(v) koef. Apsorpcije. Postoji li u sredstvu inverzija naseljenosti (Nk>Ni) i ako je Ek-Ei=hv, koef aps postaje negativan i val se pojačava umjesto da se prigušuje. Ako se aktivno sredstvo nalazi između zrcala(s koef odbijanja 1) krivulja pojačanja pri prolasku i jednojo refleksiji vala je: Dio vala koji se izgubi opisuje koef gubitaka ϒ.Intenzitet je. Ukupni intenzitet je

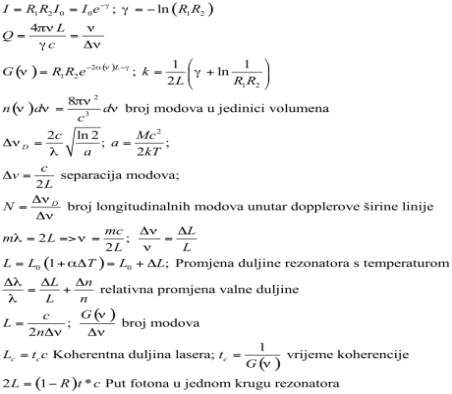


Elektromagnetski val ce biti pojacan ako je G(v)>=1, granični slučaj G(v)=1 je prag laserske akcije;



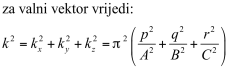
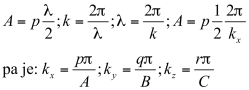
**refleksivnost**Višeslojne dielektrične površine• Zrcala u laserima imaju visoku refleksivnost • Granica između dva optička sredstva s indeksima loma n1 i n2 refleksinvost=((n1-n2)/(n1+n2))^2 • Veliki n znači velika apsorpcija. Treba uzeti niz slojeva s izmjenično velikim i malim n • Debljina sloja nd – treba postići interferenciju • Može se postići refleksivnost do 0,9995 **za izdvajanje jednog moda** Izdvajanje pomoću prizme: prizma može biti unutar ili izvan rezonatora - samo zraka koja iz prizme dolazi vertikalno na zrcalo M2 reflektira se sama u sebe i može doseći prag oscilacija - ostale linije se izgube iz rezonatora - zakretanjem zrcala M2 odabire se željena linija - svjetlost bi na M2 trebala doći pod Brewsterovim kutom (polarizacija) - Littrov prizma – kombinacija prizme i zrcala (b) i Littrov rešetka- kombinacija zrcala i rešetke

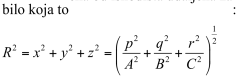
FIZLAS-2MI-SALIC

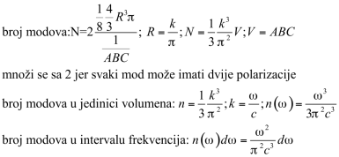


**Gustoća modova u šupljini**

duljina stranice mora biti višekratnik od λ/2



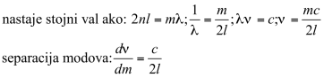




**Dijelovi lasera**: aktivni medij, mehanizam pobude, povratni mehanizam, izlazni mehanizam

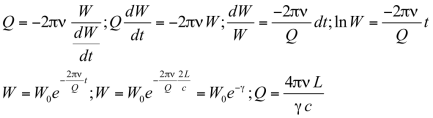
**Gaussov osnovni mod**: Gaussov profil intenziteta laserske zrake odgovara teoretskom TEM00 modu, te je najčešći kod većine lasera. Gaussov mod odlikuje se jednim središnjim maksimumom od kojeg se intenzitet svjetlosti rasipa po Gaussovoj razdiobi.

**Fabry-Perot interferometar**: najjednostavniji model laserske šupljine



**Faktor dobrote**

W - ukupna energija u rezonatoru…. dW/dt - gubitak energije u jednom krugu u rezonatoru… Nakon jednog zatvorenog kruga u vremenu t=2L/c energija se smanji: W=W0e-γ



**Fabry-Perot etalon**:

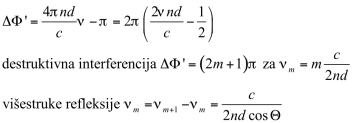
za n>n' reflektirani val je za π pomaknut u odnosu na upadni

val djelom prođe kroz etalon i reflektira se na drugoj plohi (na njoj

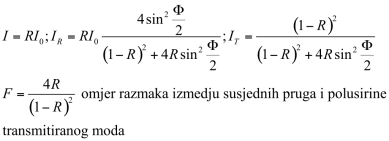
nema promjene u fazi).. val reflektiran na drugoj plohi se razlikuje u fazi za π



prvi i drugi reflektirani val se razlikuju u fazi za π



**Transmisija u FP etalonu**



**Youngov pokus**

Svaka točka na jednodimenzionalnom izvoru  emitira valove oni prolaze kroz pukotine i njihova superpozicija određuje raspodjelu intenziteta u ravnini B , u nekoj točki P te ravnine.

U proizvoljnoj točki P ravnine B rezultantni intenzitet će ovisiti o razlici faza ∆φ= φ i o razlici optičkih puteva . b duljina izvora svjetlosti je vrlo mala u usporedbi s njegovom udaljenosti od zastora r.

Razlika puteva   jer je .

0.) Gaussov osnovni mod - Gaussov profil intenziteta laserske zrake odgovara teoretskom TEM00 modu, te je najčešći kod većine lasera. Gaussov mod odlikuje se jednim središnjim maksimumom od kojeg se intenzitet svjetlosti rasipa po Gaussovoj razdiobi.

1.) Vrste rezonatora: Optički, Nestabilni, Konfokalni. Laserski.

- Optički rezonator je općenito sastavljen od dva zakrivljena zrcala postavljena jedno nasuprot drugog.

- Nestabilni rezonatori se koriste kada se iz rezonatora žele ukloniti transverzalni modovi višeg reda.

- Pozitivna grana konfokalnog rezonatora ima osobinu da su oba parametra, g1 i g2 pozitivna; jedno zrcalo ima pozitivan olumjer zakrivljenosti, dok je drugo s negativnom zakrivljenosti. Negativna strana nestabilnog rezonatora ima oba zrcala pozitivne zakrivljenosti, a samo jedan od parametara g1 i g2 je negativan.

2. ) Spektralna karakteristika laserskog zračenja

Spektar frekvencija lasera određen je spektralnom karakteristikom medija i rezonnatnim modovima rezonatora. Svi modovi koji su iznad praga laserske akcije sudjeluju u laserskim oscilacijama. Može ih biti više.

3.) Fabry-Perot interferometar:Najjednostavniji model laserske šupljine. Nastaje stojni val ako je: λ m nl = 2. ν=mc/2l

Separacija modova: dv/dm=c/2L.

4.) Rad lasera

Kada snaga pumpanja dosegne vrijednost praga započinju laserske oscilacije tamo gdje je pojačanje najveće. Za vrijeme pumpanja pojačanje je veće od gubitaka i stimulirani val u rezonatoru se pojačava u svakom krugu. Pojačavaju se sve frekvencije koje su iznad praga.

5.) Oblici rezonatora: - Rezonatori s ravnim zrcalima - Rezonatori sa sfernim zrcalima Prema stabilnosti: - Stabilni rezonatori i Nestabilni rezonatori Uobičajeni rezonatori: - Konfokalni , Koncentrični, Simetrični, Simetrično konfokalni, Simetrični koncentrični, Semikonfokalni, Ravni.

6.) Eksperimentalna realizacija jednomodnih lasera Laser može oscilirati istovremeno u više transverzalnih TEMpqr i longitudinalnih modova TEM00r. Laseri nastoje raditi u najvišim mogućim modovima jer oni imaju veći promjer snopa što im omogućava da iz sredstva izvuku što više energije.

7.) Fabry-Perot etalon

FP etalon (planparalelni sloj od stakla ili kvarca) ili FP interferometar (dvije paralelne staklene ploče razmaknute za d)

- za n>n' reflektirani val je za π pomaknut u odnosu na upadni

- val djelom prođe kroz etalon i reflektira se na drugoj plohi (na njoj nema promjene u fazi) - val reflektiran na drugoj plohi se od upadnog razlikuje u fazi za: ∆Φ=4πndv/c.

8.) Spektralna moć razlučivanja

Definira se kao: R=|λ/∆ λ |=|v/∆v |Rayleighijev kriterij, ∆λ=λ1-λ2 najmanja razlika dviju bliskih linija koje su razlučene kao dvije. Linije su razlučene ako središte ogibnog maksimuma jedne linije pada u prvi minimum druge linije. Za što bolje razlučivanje želimo da R bude što veći, tj. ∆λ=λ1-λ2 što manji.

10.) Youngov pokus

Svaka točka na jednodimenzionalnom izvoru R1R2 emitira valove. Oni prolaze kroz pukotine i njihova superpozicija određuje raspodjelu intenziteta u ravnini B , u nekoj točki P te ravnine.

U proizvoljnoj točki P ravnine B rezultantni intenzitet će ovisiti o razlici faza ∆φ= φ(S1)-φ(S2) i o razlici optičkih puteva S1P-S2P. b duljina izvora svjetlosti je vrlo mala u usporedbi s njegovom udaljenosti od zastora r.

Razlika puteva ∆s=R1S2-R1S1 ∆s=R2S1-R1S1, jer je R1S2=R2S1.

Faktor pojačanja elektromagnetskog vala pri prolazu kroz sredstvo duljine L:

I(v,L)=I(v,0)e-2α(v)l, gdje je α(v) koeficijent apsorpcije.

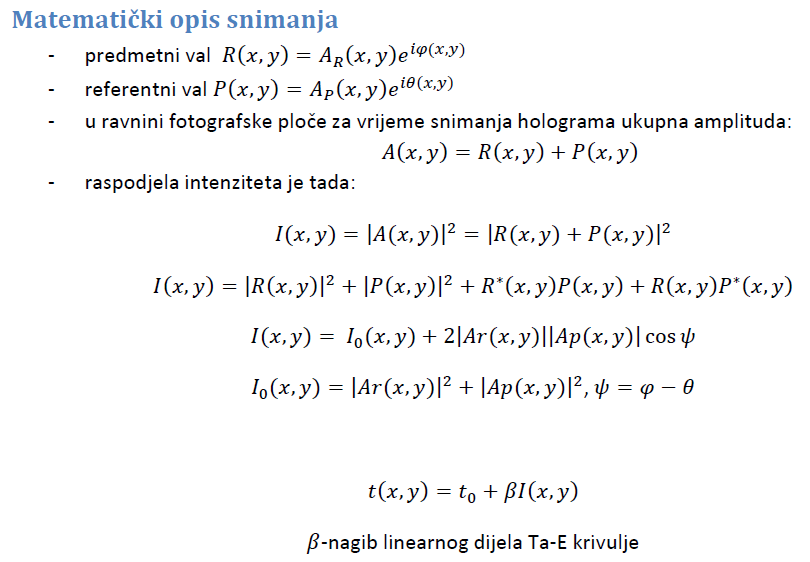
Ako u sredstvu postoji inverzija naseljenosti (Nk>Ni) i ako je Ek-Ei=hv, koeficijent apsorpcije postaje negativan i val se pojačava. Ako je aktivno sredstvo između zrcala (koeficijent odbijanja je 1), krivulja pojačanja je:

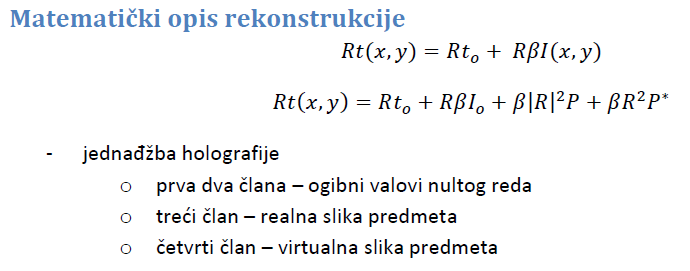
G(v)=I(v,2L)/I(v,0)=e-2α(v)L

Dio izgubljenog vala opisuje koeficijent γ. Intenzitet je I=I0e-γ. Ukupni intenzitet je: I(v,2L)=I(v0)e-2α(v)L-γ, G(v)= e-2α(v)L-γ.

Elektromagnetski val ce biti pojacan ako je G(v)>=1. Granični slučaj G(v)=1 je prag laserske akcije; e-2α(v)L-γ=1, -2α(v)L=γ. Faktor pojačanja k(v)=-α(v)=γ/(2L).

31. Zadatak: P=I0e-2w2PI





**\*Prirodna sirina linije:**

odredjuje se pomocu relacija neodredjenosti

, gdje je Planckova konstanta energija fotona je , c je brzina svjetlosti  ,

aproksimacija:  i 



**\*Lorentzova sirina linije:**



sirina linije je



**\*Dopplerova sirina linije**

Do Dopplerovog sirenja spektralne linije dolazi u plinovima zbog temperaturnog gibanja atoma ili molekula. Oblik spektralne linije je Gaussov.

, gdje je ,

M je masa molekula,

c je brzina svjetlosti,

K Boltzmannova konstanta,

T temperatura plina

**Sirina Gaussove linije odredjuje se:**



\*Emisija i apsorpcija svjetlosti

1.korak: apsorpcija

B12 -> vjerojatnost događaja

u(ν)\*B12 -> ukupna vjerojatnost događaja

2.korak: spontana emisija

A21 ->vjerojatnost spontane emisije

3.korak: stimulirana emisija

B21 -> vjerojatnost stimulirane emisije

Ukupan broj prijelaza gore: N1B12u(v)

Ukupan broj prijelaza dolje: N2A21 + N2B21u(v)



**\*Inverzija naseljenosti**

Apsorpcija energije: 

Energija dobivena stimuliranom energijom: 

Promjena gustoće energije: 



\*\*\*\*\*FORMULE\*\*\*\*\*



Prirodna širina



Dopplerova širina



Einsteinovi koeficijenti



KOHERENCIJA

**Vremenska koherencija:** Kod vremenske koherencije promatra fazni odnos valova na istom mjestu u rostoru ali u različitim vremenima. Vremenska koherencija se mjeri Michelsonovim interferometrom.

Ako je razlika faze valova koji stižu u točku P u vremenima t1 i t2 ista za sve valove: ∆Φ=Φ(P,t1)-Φ(P,t2) val je vremenski koherentan.

**Svjetlost je koherentna** ako među fotonima postoji konstantan ili predvidiv fazni odnos, pri čemu se koherencija manifestira kao prostorna i vremenska.Kod prostorne koherencije promatra se fazni odnos valova na različitim mjestima u prostoru u isto vrijeme (Youngov eksperiment).

**Prostorna koherencija:** Kao primjer služi nam Youngov pokus s dvije pukotine Široki izvor obasjava 2 pukotine S1 i S2 u ravnini a udaljene r od izvora. Intenzitet svjetla u točki P na ravnini B ovisi o superpoziciji svih parcijalnih valova emitiranih s raznih mjesta na izvoru. Intenzitet je određen razlikom u putevima, S1P-S2P, te faznom razlikom : ∆Φ=Φ(S1)-Φ(S2). Ako je izvor svj. Jednodimenzionalan njegova veličina određena je samo njegovom duljinom b, uz uvjet da je b<<r, relacija



Pukotine ce biti obasjane koherentnom svjetloscu, a time ce doci do interferencije u točki P, ako je ispunjen uvjet . Razmak između pukotina=d i pišemo 2sin(ϴ/2)=d/r, što daje omjer bd/r<λ. To možemo proširiti na plošni izvor površine As=b2.tada ce biti povrsina Ac=d2 osvjetljena koherentnom svjetloscu ako je ispunjeno da je:



Maksimalnu vrijednost povrsine Ac zovemo koherentnom povrsinom, a oznacit cemo je sa Sc. Vrijedi izraz:



**Koherentni volumen**. Umnožak koherentne duljine i koherentne površine određuje koherentni volumen. Koherentna duljina u smjeru širenja zračenja uz spektralnu širinu pomnožena s koherentnom površinom . . daje za koherentni volumen izraz oblika

