

KVANTNI GENERATORI OPTIČKOG PODRUČJA - LASERI I NJIHOVA PRIMENA U GEODEZIJI

Momčilo ĐORĐEVIĆ — Beograd*

UVOD — Razvojem nauke uopšte, došlo se do saznanja da su sva tela u prirodi sastavljena od 92 elementarna tela — elemenata. Dalje, da je svaki pojedini element sastavljen od vrlo sitnih jedinki, istih hemijskih osobina, koje su nazvane atomima tog elementa. Naziv atom, za najsitnije delove elemenata, uzet je zato što se smatralo da su oni nedeljivi. Između atoma različitih elemenata nije ustanovljen nikakav međusobni odnos, te se verovalo da oni zaista sačinjavaju elementarne delove materije. Za složena tela je ustanovljeno da su sastavljena iz delića koji se zovu molekule a da su oni obrazovani od određenog broja atoma onih elemenata koji ulaze za sastav složenog tela.

Ovakvo shvatanje o sastavu materijalnih tela vladalo je u nauci sve do kraja prošlog veka. U to vreme bio je otkriven elektron kao najmanja količina elektriciteta — kao elementarno naelektrisanje, što je dalo povoda mišljenju da atomi nisu nedeljivi. U prilog ovakvog mišljenja išli su i rezultati proučavanja radioaktivnih tela, za koje je ustanovljeno da se zračenjem menjaju a zatim naknadna otkrića drugih čestica kao protona, neutrona, pozitrona, mezona, neutrina, antipitrona, itd. Dalje su rezultati mnogih oblasti nauka, koje su se razvile na osnovu eksperimentalnih ispitivanja, dali prve mogućnosti da se formiraju koncepcije atoma a zatim i do formiranja današnjeg pojma atoma. To je dovelo do savremenog razvoja nauke i do formiranja novih naučnih oblasti zasnovanih na kvantnoj teoriji. Razvoj kvantne teorije neobično je obogatio naše naučno zvanje i proširio razumevanje pojava koje nastaju u našoj okolini. U poređenju sa prethodnim teorijama, kvantna teorija nam je omogućila mnogo dublje prodiranje u suštinu materijalnih procesa i njihovo mnogo tačnije odražavanje. Uspehi ove teorije još jednom su pokazali veliku složenost materijalnog sveta kao i mogućnosti za poznavanjem njegovih zakona.

Kvantna teorija, kao celovita i dobro razrađena teorija, do detalja objašnjava atomsku strukturu kao i procese koji se dešavaju u atomima. Glavna karakteristika tog unutaratomskog sveta je diskontinuirana priroda stanja kao i njihovih promena. Tako, elektroni mogu da kruže oko atomskog jezgra samo po određenim orbitama a njihovi prelazi sa jedne orbite na drugu odigravaju se u skokovima. Takvi prelazi praćeni su emisijom ili apsorpcijom kvanta²⁾ svetlosti. Pri apsorpciji završno stanje energije je više a kod emisije niže od početnog stanja. Do emisije može doći — kao što je to prvi utvrdio Einstein — spontano ili indukovano, tj. ili³⁾ statički ili izazvano spolja putem elektromagnetskih talasa. Detaljno izučavanje ovog procesa proizvodnje svetlosti u atomima dovelo je do otkrića kvantnog generatora optičkog područja, nazvanog *laser*³⁾, zasnovanog na stimuliranoj radijaciji.

1) Do danas je ustanovljeno postojanje preko 20 ovakvih čestica.

2) Količina elektromagnetske energije koju atom može da apsorbuje ili oslobodi.

3) Laser je fonetska skraćenica od prvih slova engleskog naziva: »Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation« što u prevodu znači »pojačavanje svetlosti stimuliranom emisijom radijacija«. Izgovara se još i ležer prema engleskom izgovoru, mada kod nas, u krugovima stručnjaka, sve više prevladuje fonetski izgovor, dakle laser.

* Momčilo Đorđević, dipl. ing. - Beograd

Posle prvih izveštaja, tokom 1952. godine, kada je I. Weber sa Univerziteta u Marylandu tretirao problem tzv. stimulirane radijacije, intenzivno se radilo i na njenoj praktičnoj primeni. Već 1955. godine C. H. Townes konstruisao je uređaj zasnovan na stimuliranoj radijaciji koji je nazvan mikrotalasni kvantni generator. To je poslužilo N. Bloombergu da 1956. godine predloži novu vrstu pojačivača za mikrotalase koji je od strane većine autora nazvan »maser« kao skraćenica nastala prema prvim slovima engleskog naziva: »Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation«. Maseri, kao pojačivači za mikrotalase, imali su veliku prednost nad dotadašnjim elektronskim pojačivačima jer su omogućili ogroman faktor pojačanja, uz odsustvo šumova, koji obavezno prate emisiju elektronskih cevi. Odmah se produžilo sa ispitivanjima težeći da se princip na kome je počivao maser proširi i na optičko područje elektromagnetskog spektra. Godine 1958., A. L. Schawlow ukazuje na ovu mogućnost a već 1960. godine T. H. Maiman konstruiše optički maser nazvan po analogiji engleskog naziva laser. Otkriće lasera predstavlja naj-spektakularniji rezultat kvantne teorije čime je počela nova era u razvoju optike i elektronike što je dovelo, u najnovije vreme, do rađanja jedne nove naučne grane nazvane kvantna elektronika. Danas su metode elektronike prešle u oblast optike tako da se optički problemi vrlo uspešno tretiraju zakonima i metodama koji su postavljeni i provereni u elektronicima. Očekuje se da će stimulirana radijacija znatno doprineti razvoju nauke a posebno proučavanju prirode svetlosti i elementarnih čestica dok se od kvantne elektronike očekuje veliki doprinos kako elektronicima i optici tako i fizici elementarnih čestica i fizici čvrstog tela.

FIZICKI PRINCIPI — U cilju objašnjenja rada lasera potrebno je razmotriti kako atomi zrače svetlost. U daljem izlaganju biće ukratko izloženi osnovni principi ovog procesa ne ulazeći u detaljne analize zasnovane na kvantnoj teoriji.

Zamislimo atom kao česticu materije čije je osnovno svojstvo da može primiti i predati energiju. Međutim, količina energije koju atom prima ili predaje nije proizvoljna nego je određena i ona se naziva kvant. Za atom koji ima izvesnu energiju E_n kažemo da se nalazi u stanju n . Ako takav atom primi neki kvant energije, koga označimo sa ΔE_{nk} , on prelazi u stanje k u kome će imati energiju $E_k = E_n + \Delta E_{nk}$. Neki atomi mogu imati niz takvih stanja. Kvanti energije, koji odgovaraju različiti energija pojedinih stanja, tačno su određeni i karakteristični za svaku vrstu atoma.

Postojanje stanja sa tačno određenom energijom tzv. energetske stanja, uslovljava da atom emituje svetlost samo određenih talasnih dužina. Prema Bohrovim kvantnim postulatima, atom emituje elektromagnetski talas — monohromatsku svetlost određene talasne dužine, odnosno određene frekvencije, koja se izražava u funkciji od razlike tih dvaju energetske stanja, samo pri prelazu iz jednog stanja u drugo. Ako je pravo energetske stanje imalo energiju E_k a drugo E_n , pri čemu je $E_k > E_n$, biće prema Bohrovom postularanju

$$h\nu = E_k - E_n = \Delta E_{kn}$$

gde je ν — frekvencija emitovane monohromatske svetlosti;

h — Planckova konstanta dejstva koja iznosi $6,62 \cdot 10^{-27}$ erg. sec.

ΔE_{kn} — kvant emitovane energije koji odgovara prelazu između dva energetska stanja.

Emitovanje, odnosno apsorbovanje energije vrši se usled spoljašnjih uticaja, uglavnom pod uticajem polja i to uzajamnim uticajem sa spoljašnjim radijacijama.

U slučaju kada je prvobitna energija atomskog sistema E_k veća od energije sistema E_n na kraju procesa interakcije, atomski sistem gubi energiju ΔE_{kn} . Ako je pak energija E_n na kraju procesa veća od energije E_k u početku procesa, onda opet važi relacija

$$E_n - E_k = \Delta E_{nk} = h\nu$$

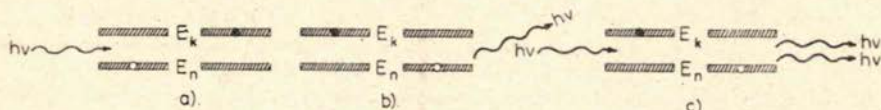
koja pokazuje da je atomski sistem apsorbovao foton spoljašnje energije.

Osnovni proces stimulirane emisije radijacija može se uprošćeno predstaviti ako zamislimo atomski sistem koji ima samo dva energetska stanja — nivoa. Ako dovedemo energiju spolja, atom će je apsorbovati i preći iz energetskog nivoa E_n u energetski nivo E_k . Ako označimo broj elektrona u nivou E_n sa N_n , analogno će u nivou E_k broj elektrona iznositi N_k . Ako dovođenje energije ostane nepromenjeno uspostaviće se dinamička ravnoteža — neki elektroni će neprestano prelaziti sa nivoa E_n na nivo E_k a neki sa nivoa E_k na nivo E_n ali tako da odnos $\frac{N_k}{N_n}$ ostane isti.

Da razmotrimo procese koji mogu da nastanu u tom slučaju a koji su simbolično predstavljeni na dijagramu energetskih nivoa jednog atoma prikazanom na slici 1.

Elektron u atomu se nalazi na energetskom nivou E_n koji je kao i viši nivo E_k predstavljen šrafiranom površinom (slika 1a). Foton energije $h\nu$, predstavljen talasastom linijom, a koji odgovara kvantu energije ΔE_{nk} , dolazi do elektrona sa kojim može razmeniti energiju. U tom slučaju elektron u atomu apsorbuje svetlost i prelazi na viši nivo E_k odnosno postaje eksitovan. Taj proces se naziva apsorpcija svetlosnog kvanta u supstanciji i do nje dolazi intenzivno, u slučaju, kad razlika energetskih nivoa odgovara energiji fotona.

Elektron u atomu se nalazi na energetskom nivou E_k (slika 1b) na kome se posle apsorpcije nalazi vrlo kratko vreme (oko 10^{-8} sec). Posle toga elektron sam od sebe dakle spontano, prelazi na osnovni energetski nivo E_n . U tom slučaju elektron će emitovati foton energije $h\nu = \Delta E_{nk}$ koji može imati bilo koji pravac u prostoru, dok se trenutak njegove emisije i faza oscilacije raspodeljuje statistički. Taj proces se naziva spontana emisija svetlosnog fotona.



Sl. 1

Elektron se nalazi na energetskom nivou E_k (slika 1c) i foton energije $h\nu = E_k - E_n = E_{nk}$ stupa sa njim u interakciju za vreme dok se on nalazi na tom nivou. Tada će se prelaz elektrona na osnovni nivo desiti baš u trenutku interakcije tako da će elektron emitovati još jedan foton iste energije. Emitovani foton imaće isti pravac i smer kao i upadni foton a isto tako biće sa njim i u istoj fazi oscilacije i u istoj polarizacionoj ravni. Taj proces se naziva stimulirana emisija jer je do emisije drugog fotona došlo zbog delovanja prvog fotona. Naravno da će do stimulirane emisije radijacija doći samo onda ako upadni foton ima istu energiju koliko iznosi i razlika energetskih nivoa.

Dakle, u neku ruku, stimulirana radijacija je suprotan proces od apsorpcije ali je važno da pri stimuliranoj radijaciji nema statističke raspodele emisije ni po vremenu, ni po pravcu, ni po fazi, nego se emisija vrši u trenutku interakcije i to u istom pravcu i fazi sa upadnim fotonom. Stimulirana emisija je osnovni princip na kome rade laseri. Međutim da bi emisija preovladala nad apsorpcijom potrebno je da bude zadovoljen osnovni uslov da je $N_k > N_n$, dakle da broj elektrona u eksitovanom stanju bude znatno veći od broja elektrona u osnovnom stanju. Pored toga da bi se postigao što bolji efekat stimulirane emisije potrebno je da bude što veće vreme zadržavanja atoma u eksitovanom stanju. U tome i jeste osnovni problem kod konstrukcije lasera, da se pronađe takav sistem i takav postupak kod koga je to moguće ostvariti.

Kod uobičajenih izvora svetlosti ovaj uslov nije zadovoljen jer uvek ima više atoma u nižem energetskom nivou nego u višem. Prema tome ako jedan foton

stimuliranom emisijom proizvede par fotona, veća je verovatnost da ti fotoni dođu do atoma u osnovnom E_n nivou pri čemu će biti apsorbovani nego da će doći do atoma u nivou E_k da bi proizveli dalje fotone. U tom slučaju apsorpcija prevladava nad emisijom pa samim tim i ne dolazi do pojačavanja emitovane svetlosti.

U slučaju da se količina energije, koja se dovodi spolja u cilju eksitovanja, povećava, nastupiće samo povećanje broja N_k do granice zasićenja, odnosno kada je N_k približno jednak N_n . Tada su emisija i apsorpcija u ravnoteži jer energija koja se gubi sa fotonima koji napuštaju sistem nadoknađuje se dovođenjem energije za eksitovanje. Samo ako se na neki način uspe da se broj atoma E_k znatno poveća iznad broja atoma u E_n , postoji verovatnoća da foton prouzrokuje stimuliranu emisiju a ne da bude apsorbovan. Na taj način pri svakom sudaru sa atomima u E_k , broj fotona se udvostručuje, tako da se kao rezultat tog procesa javlja lančana reakcija koja stvara snop fotona koji izlaze iz takvog sistema u obliku stimulativnog paralelnog, intenzivnog svetlosnog snopa.

KONSTRUKCIONI ELEMENTI I KONSTRUKCIJE — Za ostvarivanje laserskog efekta potrebne su sledeće konstruktivne grupe: odgovarajući aktivni medijum, koji se sastoji iz aktivnih atoma i osnovne rešetke u koju su oni ugrađeni; rezonatora u kome se nalazi aktivni medijum; odgovarajući izvor energije koji izaziva eksitovanje, odnosno, podizanje atoma na viši energetski nivo, a koji se obično naziva podizač ili pumpa.

Aktivni medijum mora ispunjavati uslove koji odgovaraju principu lasera a pre svega mora imati podesne energetske nivoe. Do sada je poznato već oko 100 raznih materija, koje se mogu koristiti kao aktivni medijum, a njihov broj svakim danom se sve više povećava. Najveći broj aktivnih medijuma je u čvrstom ili gasovitom stanju a retko u tečnom.

Kod čvrstih materija, kod kojih osnovnu ulogu igraju energetski nivoi jona uvedenih u čvrstu materiju, neophodno je da izabrani aktivni medijum bude monokristal i to apsolutno bez defekta. Eventualni defekti kristala mogli bi da izazovu negativne pojave koje bi uticale na koherentnost laserskog snopa. Kristali treba da budu pravilno obrađeni a naročita pažnja treba da bude obraćena na orijentaciju osovina kristala.

Značajne aktivne medijume od čvrstih materija predstavljaju kristali rubina sa malim primesama oksida hroma ($Al_2O_3 + Cr^{3+}$), kalcijumfluorida sa raznim retkim zemljama kao sa uranom ($CaF_2 + U^{3+}$), samarijumom ($CaF_2 + Sm^{2+}$), neodijumom ($CaF_2 + Nd^{3+}$), tuliumom ($CaF_2 + Tm^{2+}$), disprozijumom ($CaF_2 + Dy^{2+}$), zatim kalcijum volframat sa nekim retkim zemljama ($CaWO_4 + Nd^{3+}$; $CaWO_4 + Pr^{3+}$; $CaWO_4 + Tm^{3+}$), olovo molibdat sa neodijumom ($PbMoO_4 + Nd^{3+}$), stroncijev molibdat sa neodijumom ($SrMoO_4 + Nd^{3+}$) itd. Sto se tiče talasnih dužina laserskih snopova one, za sada najvećim delom, leže u području infracrvene svetlosti ⁴⁾, dakle preko 7800 Å. Međutim, izvestan broj aktivnih medijuma, omogućuje dobijanje laserskih snopova i u vidljivom delu spektra kao npr. $Al_2O_3 + Cr^{3+}$ na 6943 Å, $CaF_2 + Sm^{2+}$ na 6969 Å itd.

Sto se tiče gasova kao aktivnih medijuma, treba naglasiti da su kod njih spektroskopski problemi prostiji nego kod čvrstih tela. Sistem energetskih nivoa slobodnih atoma je prostiji nego sistem atoma uveden u kristalnu rešetku. Pored toga, prednost gasova je što nas njihova upotreba u potpunosti oslobađa problema vezanih sa monokristalima i njihovom obradom. Od gasova se za aktivne medijume najviše koristi razne smeše gasova kao što su helijum i neon (He — Ne), neon ili argon sa kiseonikom u molekularnom stanju (Ne — O_2 ; Ar — O_2), helijum i ksenon (He — Xe) itd. Talasne dužine laserskih snopova dobijenih primenom gasova kao aktivnih medijuma nalaze se u području infracrvene svetlosti.

4) Laseri koji koriste infracrvenu svetlost nazivaju se još i iraseri od engleskog naziva: »Infrared Amplification . . .«

Neki joni retkih zemalja zadržavaju svoju fluorescentiju u rastvorima pa se zato i javljaju kao povoljne materije za korišćenje kod lasera. Ovo se naročito odnosi na organska i metalorganska jedinjenja gde je centralni jon metala okružen nizom organskih grupa. Organska grupa može apsorbovati energiju u širokom pojasu i predavati je jonu metala. Ova predaja energije od jedne organske grupe drugoj predstavlja poznat proces koji se sada u nizu laboratorija pokušava da iskoristi za konstrukciju lasera sa tečnim aktivnim medijumom. A. Lepicki i H. Samelson saopštavaju da je laserski efekat dobijen u zamrznutom rastvoru benzoilacetona u EtOH u EtOH .

Da bi se pojava stimulirane radijacije iskoristila u što intenzivnijem obimu, za dobijanje laserskog efekta još se koristi i rezonator. Aktivni medijum se raspoređuje u rezonatoru da se talasi laserske frekvencije dobrim delom reflektuju na unutrašnjim površinama rezonatora i više puta prolaze aktivni medijum.

Rezonator se najčešće sastoji iz dva ravna ogledala čije su refleksne površine okrenute jedna prema drugoj. Ogledala moraju biti strogo paralelna sa vrlo dobro izvedenom refleksnom površinom, tako da eventualne neravnine iznose mali deo talasne dužine upotrebljene svetlosti. Rastojanje između ogledala treba da bude multipl celog broja talasne dužine svetlosti tako da se između ogledala može obrazovati stojeći elektromagnetski talas. Samo u tom slučaju može se smatrati da će doći do mnogostrukog odbijanja svetlosnog talasa od jednog i drugog ogledala jer pri takvim uslovima, i na relativno malom odstojanju, verovatnoća interakcije postaje znatno veća.

Ogledala su obično premazana višestrukim dielektričnom ili metalnim slojevima (Al, Ag, Au). Posrebrena ogledala se sve manje koriste jer imaju srazmjerno veliki koeficijent apsorpcije. Selektivni kapacitet refleksije jednog od ogledala mora biti manji od 100% da bi zrak lasera mogao da napusti rezonator. Optimalna veličina koeficijenta refleksije zavisi od primenjenog aktivnog medijuma (dužine kristala), od cilja korišćenja laserskog snopa kao i od brzine sa kojom se dovodi energija za eksitovanje.

Od svih rezonatora najviše se primenjuje Fabry Perotov interferometar. Upotrebljavaju se i rezonatori sa sfernim ogledalima na krajevima, najčešće postavljenih konfokalno, i to u cilju smanjivanja rasipanja svetlosti. Kod nekih rezonatora, zahvaljujući odgovarajućem obliku, postiže se refleksija i to totalna na unutrašnjim površinama, što isto tako utiče da svetlosni zrak prolazi više puta kroz aktivni medijum.

Kako eksitovano stanje atoma, odnosno elektrona, traje vrlo kratko vreme, potrebno ga je na neki način stalno i održavati odnosno podizati elektrone na viši energetski nivo. U te svrhe se koriste razni načini, u zavisnosti od upotrebljenog medijuma, i ti uređaji se obično nazivaju podizači ili pumpe. Kod čvrstih lasera najčešće se koriste ksenonske blic lampe: spiralna sa cilindričnim reflektorom, koja je postavljena oko aktivnog medijuma ili lampa u vidu šipke sa elastičnim reflektorom. Kod oba reflektora unutrašnje površine moraju posedovati veliki kapacitet refleksije.

Kod gasnih lasera eksitovanje se vrši električnim načinom putem pražnjenja kroz gas. U nekim slučajevima moguće je za eksitovanje atoma koristiti i visokofrekventno polje preko rezonancije elektronskog spina.⁵⁾ I sunčeva svetlost je iskorišćena kao energija za eksitovanje u nekim laserima koji su konstruisani u SAD. Kod njih se sunčeva svetlost koristi direktno bez prethodnog pretvaranja u drugu vrstu energije kao što su električna ili toplotna.

Objedinjenje navedenih konstruktivnih grupa omogućuje konstrukciju lasera. Kao prvi laser T. H. Maiman je 1960. god. u laboratorijumima Haugens Aircraft

5) Spin elektrona se naziva sopstveni momenat količine kretanja elektrona u atomu oko neke sopstvene osovine a njegova rezonancija je pojava da elektron može da primi energiju od spoljašnjeg naizmeničnog polja usled postojanja spina elektrona.

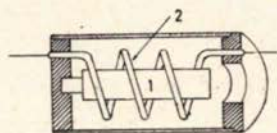
Company konstruisao laser, šematski prestavljen na sl. 2, kod koga je kao aktivni medijum primenjen kristal rubina. Kao što je rečeno, rubin je aluminijev oksid (Al_2O_3) sa 0,05% primesa hromovog oksida CrO_3 .

Atomi hroma su raspoređeni u kristalnoj rešetci tako da njegovi joni imaju određene energetske nivoe koji su povoljni za rad lasera. Ustvari, joni hroma aktivno učestvuju u stimuliranoj emisiji dok aluminijum i kiseonik ostaju interni.

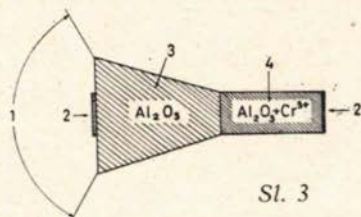
Kristal rubina, označen na šematskom prikazu sa 1, izrađen je u obliku cilindričnog štapića dužine 2 — 10 cm a prečnika 0,5 — 1 cm. Krajevi štapića su precizno izbrušeni i to paralelno sa visokim stepenom tačnosti. Oba kraja su presvučena slojem srebra koji je na jednom kraju izveden sa manjim kapacitetom refleksije.

Kad je neophodno odbijanje većeg kapaciteta refleksije krajevi rubinskog štapića se presvlače višestrukim dielektričnim slojevima. Sa bočnih strana kristal rubina se obasjava svetlošću od impulsne lampe, označene sa 2, čiji radni period iznosi nekoliko milisekundi.

Veliki deo tako stvorene energije prelazi u toplotu dok jedan njen deo apsorbuje rubin. Ova energija obezbeđuje eksitovanje. Rubin predaje energiju, kojom on apsorbuje u širokoj spektralnoj oblasti, u usku liniju radijacija hromovih jona u blizini 6943 Å. Radijacije se emituju koherentno kroz kraj rubinskog štapića koji ima manji kapacitet refleksije. U stvari koherentne radijacije se ne javljaju jednovremeno sa početkom eksitovanja. U početku se javlja samo fluoresciranje



Sl. 2



Sl. 3

na toj talasnoj dužini. Te radijacije su po svom spektralnom sastavu šire i one se emituju u svim pravcima i u njima nema koherentnosti između radijacija sa pojedinih površina rubina.

Ove radijacije su uslovljene spontanom prelazima jona hroma u rubinu. Tek posle izvesnog vremena (približno oko 0,5 milisekundi posle početka obasjavanja) kroz kraj sa manjim kapacitetom refleksije dolazi do pojave koherentne radijacije. Ovaj prosti laser, koji je ovde opisan, daje snop radijacija od nekoliko kilovata na 1 cm^2 dok se od nešto savršenijih lasera može očekivati i intezitet od nekoliko megavata na 1 cm^2 . Sve radijacije su skoncentrisane u spektralnom intervalu čija je širina reda $0,1 \text{ Å}$.

Obično, laseri, koji koriste čvrste aktivne medijume, rade u impulsnom režimu. Ovo se objašnjava uglavnom čisto tehničkim razlozima. Kao prvo, teško je obezbediti dovoljno snažan izvor svetlosti za eksitovanje koji je sposoban da radi neprekidno, i kao drugo, pri neprekidnom radu stvorila bi se velika količina toplote unutar laserskog kristala koju bi bilo potrebno otkloniti. To je navelo istraživačke laboratorije, da se u cilju prelaska na lasere koji bi radili u neprekidnom režimu, pozabave ovim pitanjima.

Tako je u laboratorijumima firme Bell Telephone, od strane D. F. Nelsona i W. S. Boyla, došlo do nove konstrukcije lasera sa rubinom koji je sposoban da radi u neprekidnom režimu.

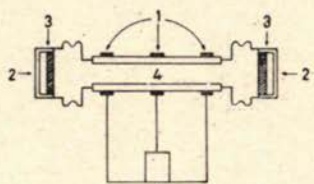
Ovaj laser šematski je prikazan presekom duž osovine na sl. 3. Sastoji se od konusa koji je napravljen od safira, označenog sa 3, i štapića rubina 4, koji se nastavlja na manju osnovu konusa. Safirski konus služi za koncentraciju sve-

losti na štapić rubina. Konus je tako napravljen da svaki zrak svetlosti, koji ulazi u veću osnovu konusa u granicama telesnog ugla 1, određenog sfernim sabirnim ogledalom optičkog sistema, potpuno se odbije od poliranih bočnih površina i ulazi u rubin kroz manju osnovu konusa. Svetlost dolazi od male živine lampe i ona se upravlja na konus pomoću dva sferna ogledala.

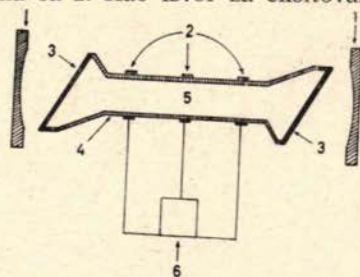
Refleksija svetlosti u tako napravljenom aktivnom medijumu vrši se od ogledala označenih sa 2. Što se tiče odvoda toplote ona je ostvarena potapanjem kristala rubina u rezervoar napunjen tečnim azotom što omogućava održavanje temperature od 77° K. Pri takvoj temperaturi stimulirana radijacija ima talasnu dužinu od 6934 Å. Jačina energije za eksitovanje kod ovog lasera iznosi 850 W dok jačina radijacija iznosi oko 4 megavati.

Treba napomenuti da su konstruisani i mnogi drugi tipovi lasera koji koriste razne čvrste materije kao aktivne medijume a kod kojih su uspešno rešeni problemi na koje se naišlo u početku razvoja.

Prvi gasni laser konstruisan je krajem 1960. god. od strane A. Javana, W. R. Bennetta i D. R. Herriotta u laboratorijumima firme Bell Telepohn. Ovaj laser, koji je šematski predstavljen na sl. 4, sastoji se od cevi dužine 100 cm sa unutrašnjim prečnikom od 1,5 cm, koja je napunjena helijumom, pri pritisku 1 mm živinog stuba, i neonom pri pritisku 0,1 mm živinog stuba. Na krajevima cevi, označene na slici sa 4, postavljena su ravna ogledala 3 koja je moguće dovesti u međusobnu paralelnost sa tačnošću do nekoliko uglovnih sekundi. Stimuliranje radijacije izlaze iz sistema kroz okna, označena sa 2. Kao izvor za eksitovanje



Sl. 4



Sl. 5

služi visokofrekventni generator 5 koji preko elektroda 1 vrši pražnjenje kroz smešu gasa helijuma i neona.

Početkom 1961. god. u laboratorijumima iste firme W. W. Rigrod, H. Kogelnik i D. J. Brangaccio konstruisali su novi gasni laser sa istom gasnom smešom, kod koga su otklonjeni nedostaci prve konstrukcije. Ovaj laser prikazan je šematski na sl. 5.

Između dva sferna ogledala, označena sa 1, smeštena je kvarcna cev 4 koja je hermetički zatvorena sa dve prozirne planparalelne ploče 3. Ploče su postavljene pod uglom koji zadovoljava zakon Brewstera, tako da daju minimum refleksije, jer se polarizaciona ravan laserskog snopa postavlja tako da odgovara polarizacionoj ravni propuštenog snopa. Laserski snop se obrazuje u unutrašnjosti kvarcne cevi 5 duž osovine i njegova talasna dužina leži u infracrvenom području, odnosno iznosi 11530 Å. Rastojanje između ogledala iznosi 100 cm. Kao izvor za eksitovanje, i kod ovog lasera, je generator električnih frekvencija 6 od 27 — 30 MHz, koji preko elektroda 2 vrši pražnjenje kroz smešu gasa u unutrašnjosti kvarcne cevi. Intenzitet laserskog snopa iznosi 15 megavata i to u neprekidnom režimu rada.

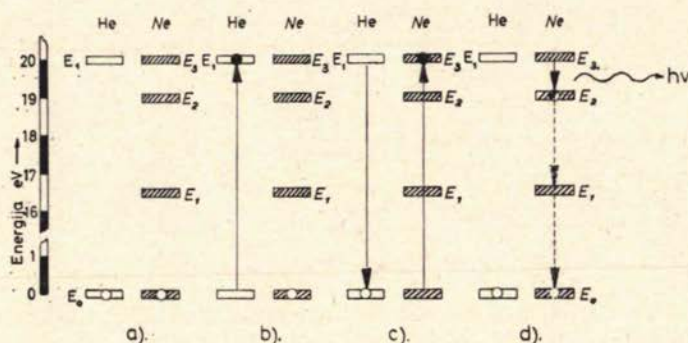
Najveći prodor u oblasti konstrukcije lasera učinjen je pronalaskom sasvim novog tipa lasera. Ovo je ostvareno primenom poluprovodnika, što je privuklo na sebe pažnju, u prvom redu, mogućnošću ostvarenja neposrednog pretvaranja energije električne struje u energiju stimulirane radijacije.

Poluproduktivnici poseduju niz karakterističnih osobina pa se tako od luminescentnih kristala razlikuju elektroprovodljivošću a od gasnih sistema sasvim širokim linijama radijacija i mogućnošću stvaranja visoke koncentracije aktivnih čestica.

Ova svojstva poluproduktivnika daju laserima sa poluproduktivnicima niz prednosti od kojih je glavna visoki koeficijent korisnog dejstva koji može biti blizu 100%. Ova prednost je od ogromnog značaja kad se zna da je kod rubinskog lasera koeficijent korisnog dejstva manji od 1%. Poseban značaj lasera sa poluproduktivnicima sastoji se u tome što se svetlosni snop ovog lasera može iskoristiti za eksitovanje rubinskog lasera pri čemu se pretpostavlja da će se njegov koeficijent korisnog dejstva povećati na 40%. Početkom 1963. god. konstruisani su u SSSR-u laseri na bazi poluproduktivničke diode od galijum arsenida kao i legure galijum fosfida i arsenida. Za eksitovanje se koristi propuštanje električne struje kroz diodu a moguće je primeniti i još neke druge načine.

PRINCIP DEJSTAVA I KARAKTERISTIKE — Da razmotrimo sada princip dejstva lasera razmatrajući laser koji kao aktivni medijum koristi smešu He i Ne, dakle gasni laser. Na slici 6 šematski su prikazani energetske nivoe helijumovih i neonovih atoma pri čemu se na ordinati nalaze vrednosti energetske skale u elektronvoltima. Praznim pravouglim površinama označeni su energetske nivoe helijuma a šrafiranim pravouglim površinama energetske nivoe neona dok su njihove energije date vrednošću ordinate. Radi uprošćenja na slici su prikazani osnovni energetske nivo i za He i Ne a zatim prvi eksitovani nivo atoma He i prva tri eksitovana nivoe Ne s obzirom da samo oni sudjeluju kod rada lasera.

Sl. 6



Na (sl. 6a) prikazani su atomi He i Ne u osnovnom energetske nivou E_0 . Međutim kada se ovakvom sistemu dovede energija za eksitovanje, npr. električnim putem, atomi helijuma će se podići na prvi energetske nivo E_1 koji je po vrednosti elektronvolti približno iznosi kao i vrednost energetske nivoe E_3 (sl. 6 b). Tada eksitovani atomi helijuma putem interakcije predaju svoju energiju atomima neona pa se vraćaju u osnovi energetske nivo (sl. 6 c).

Međutim sada usled primljene energije atomi neona prelaze iz osnovnog nivoe na odgovarajući energetske nivo po vrednosti elektronvolti, odnosno na E_3 . Posle kraćeg zadržavanja atomi neona se vraćaju na niži energetske nivo, odnosno sa E_3 na E_2 kada i dolazi do stimulirane emisije radijacija (sl. 6 d). Kada bi se sada atomi zadržali u nivou E_2 došli bi do gubitka usled apsorpcije ali se nivo E_2 dalje prazni i atomi prelaze na nivo E_1 pa zatim dalje na nivo E_0 . To je princip dejstva gasnog lasera sa smešom gasova He i Ne.

Intenzitet svetlosnog snopa zavisi od broja fotona koji sudeluju kod stimulirane emisije. Da bi se taj proces povećao, kao što je već rečeno, aktivni medijum

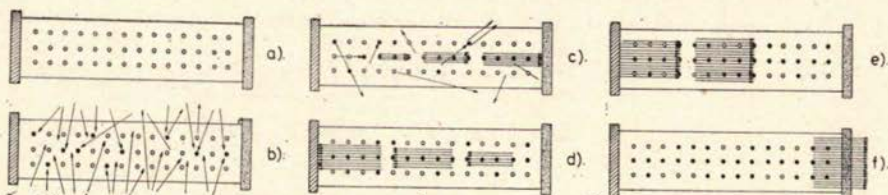
6) Vrednost prvog energetske nivoe helijuma iznosi 19,81 eV a trećeg energetske nivoe neona 19,77 eV.

se zatvara u rezonator, u kome se obrazovanje stimuliranog procesa obavlja prema simboličkom prikazu na slici 7.

Neka se između ogledala, koja se nalaze na kraju rezonatora a od kojih je jedno poluprozračno, nalaze atomi nekog tela koje ima podesne energetske nivoe elektrona u atomima. Na sl. 7 a) kružićima su predstavljeni atomi ovog tela u svom osnovnom energetskom nivou. Svetlost iz podizača, predstavljena strelicama na sl. 7 b), vrši eksitovanje većine atoma, koji su na slici označeni ispunjenim kružićima — crnim tačkama.

Ovi eksitovani atomi spontano emituju fotone (sl. 7 c) koji na svom daljem putu mogu da izazovu i druge atome da emituju svoje fotone. Ukoliko se pravac fotona ne poklapa sa osovinom sistema oni će vrlo brzo izaći iz prostora ograničenog ogledalima i to verovatno pre nego što u tome pravcu izvrše više stimuliranih emisija radijacija. Samo oni fotoni (sl. 7 d), koji imaju pravac osnovne sistema pružaju mogućnost za progresivno povećanje broja stimuliranih radijacija. Ovaj niz fotona dolazi do kraja aktivnog medijuma (sl. 7 e) gde se od ogledala reflektuje i ponovo prolazi kroz aktivni medijum progresivno povećavajući broj stimulirano emitovanih fotona.

Posle višestrukog reflektovanja nastaje snop fotona, istog pravca, faze i polarizacione ravni, odnosno nastaje koherentni i paralelni snop svetlosti koji je dovoljno veliki da može kompenzirati gubitke pri refleksiji od ogledala. Jedan deo



Sl. 7

tako nastalog snopa svetlosti, kad je došlo do dovoljno velike stimulirane radijacije, izlazi napolje (sl. 7f) i može da se koristi u razne svrhe kao laserski snop.

Da bi se uočile izvanredne karakteristike svetlosnog snopa dobijenog laserom, potrebno je prvo izneti karakteristike običnih svetlosnih izvora.

Poznato je da atomi i molekuli konvencionalnih svetlosnih izvora, kao što su užarene niti, električni lukovi i dr., emituju svetlost spontano i to u intervalima vremena koji su raspoređeni statistički. Ako se ovome doda da su statistički raspoređene i faze emitovanog svetlosnog talasa kao i polarizacione ravni i talasne dužine, i da se takva emisija svetlosti vrši u svim pravcima, dolazi se do zaključka da je takva svetlost vrlo složena smeša svetlosnih kvanta. To je i uzrok vrlo slabe koherentnosti takve svetlosti što i uslovljava razne nedostatke u sočivima i raznim optičkim instrumentima. Svetlost se ne može koncentrisati u većoj meri jer uvek dolazi do znatnog rasipanja. Isto tako, kod ove svetlosti, polarizacija i interferencija su nepotpune dok se monohromatičnost može postići samo do izvesne mere. Ustvari, sve je to posledica haotičnog zračenja pobuđenih elektrona u užarenoj niti ili haotičnog kretanja atoma gasa u neonskim svetlosnim izvorima.

Usmereni svetlosni snop može da se dobije i iz nekog izvora nekoherentne svetlosti samo ako je on vrlo malih dimenzija. Postavljanje ploče sa otvorom, na izvesnom odstojanju od ovakvog izvora, može da omogućiti izdvajanje dela svetlosnog snopa koji se prostire u tom pravcu. Isto tako može se dobiti i svetlosni snop sa skoro paralelnim zracima putem njegovog fokusiranja koristeći velika ogledala ili sočiva. Međutim, najvažnije ograničenje primene konvencionalnih svetlosnih izvora je ipak mali intenzitet osvetljavanja. Zbog toga su činjeni napori da se na neki način sinhronizuje rad većeg broja atoma, tako da oni zajedno proizvedu snažan, koherentan svetlosni talas. Ovo je i ostvareno pomoću stimulirane emisije zračenja na čijem su principu i zasnovani laseri.

Laserskim procesom uspelo se da se od spontane i nekontrolisane statističke emisije svetlosti dođe do stimulirane koja se u većoj ili manjoj meri odigrava po našoj želji.

Svetlosni zraci dobijeni iz lasera su usmereni, vrlo intenzivni, monohromatski i iznad svega koherentni.

Veliki intenzitet laserskog snopa je, sa jedne strane, posledica toga što su eksitovani atomi prisiljeni da vrše emitovanje svetlosti usled stimuliranja mnogo ranije nego što bi je emitovali spontano. Sa druge strane do velikog intenziteta dolazi i usled usmerenosti energije u jednom pravcu. U literaturi se može naći podatak da intenzitet svetlosti laserskog snopa nekoliko miliona puta prevazilazi intenzitet sunčeve svetlosti. Kaže se još da bi bilo potrebno da se obična električna sijalica zagreje do deset milijardi stepeni da bi dala svetlost takvog intenziteta.

Za monohromatičnost laserskog svetlosnog snopa može se reći da je ekstremna. To je posledica rezonantnog procesa koji se sastoji u tome da fotoni kod stimulirane emisije izazivaju atome da emituju samo fotone iste talasne dužine, odnosno, kao što su i oni koji su ih stimulirali.

Izlazni svetlosni snop lasera je koherentan kako prostorno tako i vremenski što znači da je front svetlosnih talasa ustvari ravna površina u čijoj je svakoj tački ista jačina polja kao i da postoji fiksni fazni odnos između dela talasa emitovanog posle određenog vremenskog intervala.

Koherentnost laserskog svetlosnog snopa, kao i dobra polarizacija, omogućuje da se primenom ogledala i sočiva može postići ogromna koncentracija energije a isto tako i dobijanje paralelnih, uzanih i usmerenih snopova koji i na velikim odstojanjima ostaju isti. Kod takvih snopova uglavno širenje primećuje se tek na odstojanjima od više hiljada kilometara.

U sadašnje vreme kod lasera je ostvareno širenje snopa manje od $0,2^\circ$ što približno iznosi 1m na 1 km odstojanja ali se i ukazuje da primenom optičkih sistema postoji mogućnost da se dobije širenje snopa reda $1''$ — $1'',5$. Isto tako, svetlosni snop iz jednog lasera može se propustiti kroz sledeći sličan uređaj koji može da omogući njegovo još veće pojačanje. Ako se ovo ostvari preko više kaskada mogu se dobiti laserski snopovi ogromne energije. Eksperimenti su pokazali da je moguće još i dalje povećanje koherentnosti laserskog svetlosnog snopa stavljanjem uređaja na niske temperature s obzirom da su procesi laserskog efekta pravilniji pri slabijem termičkom kretanju molekula.

PRIMENA — Zahvaljujući istaknutim karakteristikama i mogućnostima za fokusiranje laserskog snopa, moguće je ostvariti ogromnu koncentraciju energije u jednoj tački koja ide do milion kalorija po 1 cm^2 . Međutim, kako se laserski snop ove energije može da proizvede od stomilijantnom delu sekunde, to je moguće postići koncentraciju svetlosne snage i od stomilijardi kilovata po 1 cm^2 . Ovako neslućena koncentracija svetlosne energije nalazi mnogobrojnu primenu i omogućuje ostvarenje neočekivanih efekata. Tako je npr. maja 1962. godine izvršen prvi uspešan opit sa odašiljanjem svetlosnih signala ka Mesecu i ostvaren uspešan prijem.

U daljem izlaganju zadržaćemo se samo na jednoj oblasti primene lasera — određivanju odstojanja za geodetske svrhe. Primena lasera u ove svrhe otkriva sasvim nove perspektive razvoja elektronskih daljinomera koji se zasnivaju na primeni elektromagnetskih talasa.

Kao što je poznato, glavni nedostaci koji se javljaju pri upotrebi svetlosnih elektronskih daljinomera, izraženi su:

- ograničenom mogućnošću korištenja pri uslovima slabe vidljivosti;
- otežanim radom tokom dana, pri dnevnoj svetlosti;
- ograničenjem daljine dejstva odnosno mogućnošću za merenjem većih odstojanja.

Navedeni nedostaci svetlosnih elektronskih daljinomera prvenstveno su izraženi usled velikog gubitka svetlosti u atmosferi, što je uslovljeno njihovom apsorpcijom.

cijom od strane vodenih para, molekula gasova i čestica prašine. Pri tome, taj gubitak je različit za pojedine talasne dužine a iznosiće utoliko manje, ukoliko je intenzitet svetlosnog snopa veći.

Za svetlosni snop dobijen stimuliranom emisijom, dakle pomoću lasera, ranije je istaknuto da poseduje znatno veći intenzitet od konvencionalnih svetlosnih izvora dok je njihova spektralna jačina čak znatno veća i od spektralne jačine Sunca. Ovome treba dodati i mogućnost primene infracrvenog područja elektromagnetskog spektra kod lasera čime su obezbeđeni minimalni gubici svetlosti koji zavise od talasne dužine.

Prema tome, veliki intenzitet laserskog snopa i njegova spektralna jačina, spojeni sa korišćenjem infracrvenog područja, u velikoj meri mogu da smanje ograničenja koja su izazvana slabom vidljivošću.

Istaknute karakteristike laserskog snopa svakako da omogućuju i povoljnije izvršavanje merenja u svako doba dana, čime se svakako proširuje mogućnost izbora perioda povoljnog vremena, kada su gubici svetlosnih talasa svedeni na minimum. Ovo utoliko pre dolazi do izražaja kada se zna da je svetlost, koju emituju konvencionalni svetlosni izvori, širokougaona, a da prijemnik svetlosti kod elektronskih daljinomera, npr. fotoćelija, nije u stanju da razlikuje odbijenu svetlost daljinomera od ostale svetlosti, npr. fona. Naročito do istaknute teškoće dolazi pri jakom intenzitetu ostale svetlosti kao što je to slučaj pri sunčanom vremenu. Zbog toga je poželjno da svetlost, koju koristi daljinomer, ima bilo kakav drugi karakter koji će doprineti njenom razlikovanju od ostale svetlosti. Kod lasera ovo je ostvareno primenom svetlosti infracrvenog područja elektromagnetskog spektra.

Paralelnost laserskog snopa direktno utiče na daljinu dejstva daljinomera tako da je primenom lasera omogućeno, bez ikakvih teškoća, merenja svih odstojanja koja se sreću u geodetskoj praksi.

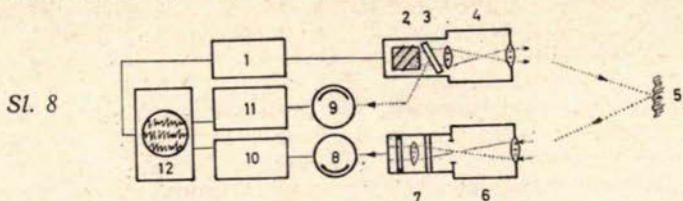
Treba napomenuti da, usled velike koherentnosti laserskog snopa, postoji mogućnost da se svetlost stimulirane emisije modulira ne samo po amplitudi nego i na druge načine. Ovo je naročito izraženo kod lasera sa poluprovodnicima gde se eksitovanje vrši električnim putem. Na taj način je moguće ostvariti modulaciju svetlosnog snopa još pre izlaza putem moduliranja same struje na ulazu s obzirom da se intenzitet laserskog snopa menja u srazmeri sa dovedenom strujom. Takva konstrukcija obezbeđuje modulaciju na visokim frekvencijama dok je za rad lasera potrebno znatno manje energije nego primenom ostalih načina za eksitovanje.

Što se tiče tačnosti daljinomera sa laserima, treba naglasiti da ona može znatno premašiti tačnost dosadašnjih elektronskih daljinomera. Ovo je naročito izraženo zbog mogućnosti za znatno većim poznavanjem talasne dužine monohromatske svetlosti nego što je to slučaj sa običnom svetlošću konvencionalnih svetlosnih izvora. S obzirom na sračunavanje brzine prostiranja svetlosti ova okolnost je neobično važna kad je reč o tačnosti rezultata merenja odstojanja.

Navedene činjenice ukazuju na veliku prednost primene lasera kod daljinomera jer su uglavnom nedostaci, na koje se nailazi primenom daljinomera sa konvencionalnim svetlosnim izvorima, uspešno otklonjeni.

Prvo mjerenje odstojanja, primenjujući stimuliranu emisiju svetlosti, izvršeno je u januaru 1961. god. od strane D. A. Buddenhagena, B. A. Lengyela, F. J. Mc Clunga i G. F. Smitha. Merenja su izvršena u blizini istraživačke laboratorije Hughes Aircraft Company i to do različitih objekata koji su se nalazili na različitim odstojanjima. Tako konstruisan pribor ispitivan je pri jakom sunčanom osvetljenju, kada je izmereno odstojanje od 1200 m, korišćenjem bele krečne stene kao pasivnog odbijača. Zatim je po srednje sunčanom danu mereno i odstojanje od 3000 m kada je, kao i u prvom slučaju, korišćena stena kao pasivni odbijač. Pri noćnim ispitivanjima, vršenim merenjem odstojanja od 5500 m i 11200 m, kao pasivni odbijač korišćen je ekran od bele tkanine površine 3 m². Taj pribor šematski je pretstavljen na sl. 8 i u njemu laser radi u impulsnom režimu dok ceo uređaj pretstavlja analognu šemu impulsnog radiolokacionog pribora.

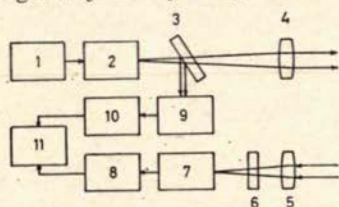
Kao što se iz šematskog prikaza vidi, od izvora za napajanje 1, energija dolazi do lasera 2 gde se stvara svetlosni snop koji se posle prolaza kroz sočiva predajnog dela 4 emituje prema objektu 5 do koga se meri odstojanje pod uglom rasturanja snopa od $1'$, 4. Odbijeni svetlosni signal ulazi u prijemni deo 6 gde posle prolaza kroz dijafragmu, spektralni filter i sočiva 7 dolazi do fotočelije 8.



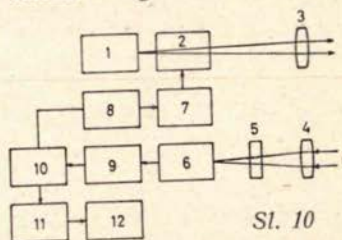
Zatim posle prolaza kroz pojačivač 10 reflektovani signal dolazi do oscilografa 12 koji u ovom slučaju pretstavlja indikator odstojanja. Do istog oscilografa dolazi i osnovni signal koji je nastao od dela svetlosnog snopa stvorenog laserom. Taj deo svetlosnog snopa izdvojen je nagnutom pločicom 3 i pretvoren u signal fotočelijom 9. Isto tako do oscilografa dolazi i sinhronizujući signal koji dolazi direktno od izvora za napajanje 1. Iz odnosa signala na oscilografu se može doći do veličine merenog odstojanja.

Sledeći pokušaj u tome smislu učinili su M. L. Stitch, E. J. Woodbury i J. H. Morse iz Hughes Aircraft Company daljinomerom koji je nazvan »Colidar«⁷⁾ U tome priboru koristi se laser sa rubinom kao aktivnim medijumom dok se eksitovanje vrši optičkim putem, odnosno, korišćenjem spiralne ksenonske lampe.

U prijemnom dijelu nalazi se fotočelija sa najvećom spektralnom osetljivošću za talasne dužine svetlosti koja se koristi kod daljinomera. U tu svrhu je ispred fotočelije postavljen je spektralni filter. Talasna dužina emitovanje svetlosti ovim daljinomerom iznosi 6943 Å dok širina pojasa iznosi 0,01 Å. I ovaj daljinomer radi u impulsnom režimu i kod njega trajanje impulsa iznosi 3 milisekunde a frekvencija ponavljanja iznosi 1 Hz. Uglovno rasturanje svetlosnog snopa dobijenog laserom iznosi $30'$ što se primenom optičkog sistema smanjuje na $1''$. Pored toga daljina dejstva pribora iznosi 10 km a njegova težina 14 kg.



Sl. 9



Sl. 10

Pored opisanih daljinomera poznate su konstrukcije još nekoliko daljinomera od kojih prikazujemo blok šeme za još dva koja su takođe konstruisana u SAD.

Na sl. 9 data je blok šema daljinomera koji je sličan po konstrukciji sa daljinomerom D. A. Buddenhagena i njegovih saradnika. Na blok šemi brojevima su označeni: 1 laser, 2 starter, 3 nagnuta pločica, 4 predajni optički sistem, 5 prijemni optički sistem, 6 spektralni filter, 7 fotočelija, 8 pojačivač, 9 fotočelija, 10 fotočelija, 11 oscilograf.

Na sl. 10 prikazana je blok šema daljinomera kod koga se moduliranje svetlosnog snopa vrši posle njegovog izlaza iz lasera. Na blok šemi brojevima su označeni: 1 laser, 2 modulator, 3 predajni optički sistem, 4 prijemni optički sistem, 5 filter, 6 fotočelija, 7 stroboskopski uređaj, 8 generator impulsa, 9 pojačivač i

7) Od engleskog naziva: »Coherent Light Detekction and Ranging« što u prevodu znači: »detekcija i određivanje odstojanja pomoću koherentne svetlosti«.

uređaj za formiranje impulsa, 10 starter, 11 stroboskopski generator i 12 voltmetar.

Pored tipova opisanih daljinomera poznata je takođe i konstrukcija kod koje se u prijemnom delu mesto fotoćelije koristi drugi laser.

Treba primetiti da nijedan do sada konstruisan daljinomer sa laserima nije bio konstruisan specijalno za geodetske svrhe već su oni, manje ili više, bili namenjeni za navigaciju. Zbog toga, kod tih daljinomera i nije posebno rasmatran problem sistema za odbijanje svetlosnih signala a koji bi se mogao postaviti na drugom kraju odstojanja koje se meri.

U većini slučajeva, kod tih daljinomera, odbijanje svetlosnih signala se vrši od raznih objekata na terenu i to od objekata do kojih se meri odstojanje. Time se u znatnoj meri i može objasniti srazmerno mala daljina dejstva koja bi se znatno mogla povećati primenom nekog od aktivnih odbijača. Pored toga ni tačnost dobijenih rezultata nije zadovoljavala geodetske potrebe. Ovo se može objasniti radom daljinomera u impulsnom režimu a i dosta grubim metodama za indikaciju merenog odstojanja. Znatno veću tačnost mogao bi da obezbedi fazi sistem.

Treba konstatovati da je nedovoljna tačnost do sada uslovljavana i nerazrađenim metodama za unutrašnju modulaciju svetlosnih snopova dobijenih stimulanom emisijom radijacija. Primenom metoda spoljašnjeg moduliranja i ovaj nedostatak bi se mogao uspešno otkloniti. Pored toga, u vreme kada su vršeni eksperimenti sa navedenim daljinomerima nisu bili još razrađeni laseri sa snažnim impulsima radijacija. Tek kasnije pomoću metoda R. W. Hellwartha i F. J. McClunga ili metoda dopunskog eksitovanja dobijeni su impulsi koji bi vrlo povoljno mogli koristiti za merenje odstojanja.

U svakom slučaju može se reći da poslednje dostignuće nauke — laseri, imaju veliku perspektivu za primenu kod daljinomera u geodetske svrhe. Neposredno da je do konačnog cilja potrebno još mnogo objašnjenja i detaljne razrade. Mogućnosti primene lasera uopšte teško je proceniti ali se može pretpostaviti da će i u geodeziji laseri uskoro zauzeti odgovarajuće mesto.

Na kraju treba reći da se pri savremenom tempu razvoja lasera, njegovih konstrukcija i ostalog što je u vezi sa njima, materijal iznet u ovom radu možda već može smatrati zastarelim. Autor ipak smatra da će rad biti korisan bar kao uvod u opšte principe lasera a i kao putokaz i sredstva za uspešno praćenje literature koja svakim danom sve više raste.

LITERATURA

1. M. Bass, P. A. Franken, A. E. Hill, C. W. Peters, G. Weinreich: «Optical Mixing». Physical Review Letters, Vol. 8, No. 1, 1962 g.
2. J. A. Giordmaine: «Mixing of Light Beams in Crystals». Phys. Rev. Letters, Vol. 8, No. 1, 1962 g.
3. D. J. Morantz, B. G. White, A. J. C. Wright: «Stimulated Light Emission by Optical Pumping and by Energy Transfer in Organic Molecules». Phys. Rev. Letters, Vol. 8, No. 1, 1962 g.
4. R. G. Brewer: «Light modulation by the Raman effect». Journal of Applied Physics, Vol. 33, No. 4, 1962 g.
5. A. N. Golubev: «O primenenie lazerov dlja izmerenija rastojanij». Geodezija i kartografija, No. 11, 1963 g.
6. M. Đorđević: «Laseri i njihova primena za geodetska linearna merenje. Geodetski list No. 4—6, 1964 g.
7. W. W. Rigrod, H. Kogelnik, D. J. Brangaccio, D. R. Herriott: «Gaseous Optical Maser with External Concave Mirrors». Journal of Applied Physics, Vol. 33, No. 2, 1962 g.
8. L. F. Johnson: «Optical Maser Characteristics of Nd³⁺ in CaF₂». Journ. Appl. Physics, Vol. 33, No. 2, 1962 g.
9. F. J. McClung, R. W. Hellwarth: «Giant Optical Pulsations from Ruby». Journ. Appl. Physics, Vol. 33, No. 3, 1962 g.
10. J. R. O' Connor, H. A. Bostick: «Radiation Effects in CaF₂: Sm». Journ. Appl. Physics, Vol. 33, No. 5, 1962 g.
11. H. Statz, R. Paananen, G. F. Koster: «Zeeman Effect in Gaseous He — Ne Optical Masers». Journ. Appl. Physics, Vol. 33, No. 7, 1962 g.
12. M. G. Holland: «Thermal Conductivity of Several Optical Maser Materials». Journ. Appl. Physics, Vol. 33, No. 9, 1962 g.
13. M. Berndt, W. Grassme, E. O. Koch, W. Meinel: «Laser Geräte und Laser Resonatoren aus Jena». Jenaer Rundschau, Sonderheft Leipziger Frühjahresmesse, 1964 g.
14. I. O. Popov, O. Krohin: «Poluprovodnikovije lazerije». Moskva, 1964 g.
15. B. Lendjel: «Lazerji, Moskva, 1964 g. (prevod sa engleskog)»
16. * * * «Tehnika lasera». Vojno tehnički glasnik, No. 10 i 11, 1963 g.
17. D. Miller: «Laserje», Matematičko fizički list, No. 1, 1963 god.
18. G. A. Feljzman: «Novosti svetodajnomernoi tehniki». Geodezija i kartografija, No. 8, 1963 g.
19. V. N. Cernjišev: «Lazerji v kosmose, na zemle i pod vodoje» min. obronji SSSP, Moskva, 1964 g.