

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 9 (1981/1982)

Številka 4

Strani 207-213

Martin Čopič, priredil Marjan Hribar:

LASER

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/9/559-Copic-Hribar.pdf>

© 1982 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



LASER

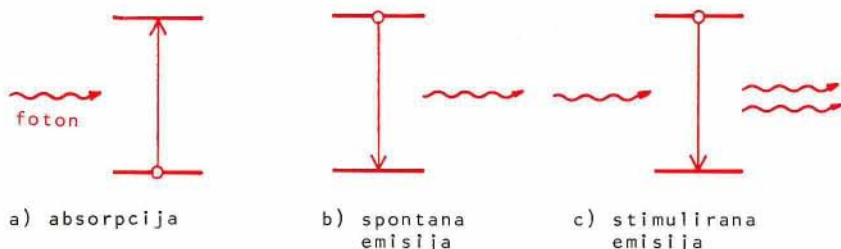
V 4. številki Preseka letnika 1980/81 smo spoznali nekatere lastnosti laserske svetlobe. Danes si oglejmo, kako *laser* deluje.

Za zgled si vzemimo šolski laser, ki ga vsi dobro poznamo. Napis na njem pravi, da je to *plinski laser* in da je v njem mešanica helija in neona. Ko odpremo ohišje, opazimo najprej tanko stekleno cev, v katero sta zavarjena električna priključka. Krajišči cevi zapirata majhni zrcalci. Eno od zrcal je popolno, drugo pa polprepustno. Ko laser vključimo, steče po plinu električni tok in plin zasveti v rdeči svetlobi. vzdolž cevke izhaja na krajišču s polprepustnim zrcalom curek značilne rdeče svetlobe. Zanjemo vemo, da je *monokromatična* in *koherentna*. Svetloba, ki izhaja iz cevke v drugih smereh, se ne razlikuje od svetlobe navadnih svetil. V spektru te svetlobe najdemo množico spektralnih črt, ki so značilne za helij in za neon. Lepo jih vidimo, ko s spektroskopom opazujemo svetlobo, ki prihaja iz laserja od strani.

Zakaj plin v cevi sveti, ko teče skozenj električni tok? Atomi plina v cevi doživljajo neprestano trke z elektroni in s pozitivnimi ioni. Pri tem lahko preidejo iz *osnovnega stanja* v *vzbujeno stanje* z večjo energijo. V vzbujenem stanju pa atom ne more ostati dalj časa. Že po preteku okoli 10^{-8} s preide v stanje z manjšo energijo, lahko kar v osnovno stanje. Pri tem odda svetlobo. Frekvenca svetlobe je sorazmerna z energijsko razliko med začetnim in končnim stanjem. čim večje je število vzbujenih stanj,

tem več je v spektru svetlobe, ki jo seva vzbujeni plin, značilnih spektralnih črt z izbranimi frekvencami ali valovnimi dolžinami.

Svetlobo, ki jo atom izseva pri prehodu iz stanja z višjo energijo v stanje z nižjo energijo, lahko atom tudi absorbira. V začetku mora biti seveda atom v stanju z nižjo energijo, iz tega pa preide z absorpcijo svetlobe v stanje z višjo energijo. Sliki 1a in 1b ponazarjata primer, ko prehaja atom z absorpcijo in s sevanjem svetlobe med osnovnim stanjem in enim od vzbujenih stanj. Takemu sevanju pravimo *spontano* sevanje. Zanimiva pa je še ena vrsta dogodkov: pri prehodu iz vzbujenega stanja v energijsko nižje ležeče stanje atom izseva svetlobo. Pri obratnem prehodu atom to svetlobo absorbira. Lahko pa se zgodi, da oddana svetloba pospeši izsevanje svetlobe pri atomu, ki je v vzbujenem stanju. Oddano svetlobno valovanje je v tem primeru v fazi z valovanjem, ki je pospešilo prehod. Temu pojavu pravimo *stimulirano* sevanje. Shematično ga kaže slika 1c.

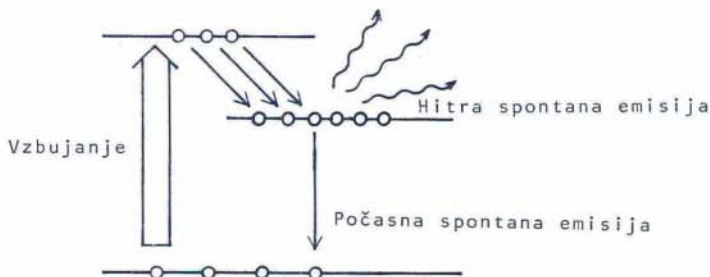


Slika 1

Svetloba, ki jo oddajajo vzbujeni atomi pri spontanem sevanju, je nekoherentna. To si lahko predstavljamo z gladino vode, na katero padajo dežne kaplje. Z mesta, kjer pade deževna kaplja na gladino, se širijo na vse strani krožni valovi. Med valovanji, ki jih povzročajo posamezne kaplje, ni nobene fazne povezave – so nekoherentna. Za stimulirano sevanje, ki je koherentno, pa moramo v naši deževni prisposodbi zahtevati, da padajo kapljice dežja ubrano. Takrat bodo imela tudi valovanja, ki izhajajo iz točk na gladini, kamor zadevajo kaplje, določeno fazno povezavo. Takega dežja v naravi seveda ni. V atomskem svetu

pa smo našli stimulirano valovanje. Pri delujočem laserju prevladuje stimulirano sevanje nad spontanim sevanjem in absorpcijo. Takrat lahko dobimo koherentno svetlobno valovanje.

Da se to zgodi, mora v plinu število atomov v začetnem vzbujenem stanju dovolj presežati število atomov v končnem stanju. Pri plinu, v katerem prehajajo atomi le med dvema stanjema - osnovnim in vzbujenim - se to ne more zgoditi. Število atomov v vzbujenem stanju je lahko kvečjemu enako številu atomov v osnovnem stanju. Do presežka števila atomov v začetnem vzbujenem stanju pa lahko pride, če ima atom še tretji nivo. Tak primer kaže sl. 2.



V stanju 2 je več elektronov kot v stanju 1 - obrnjena zasedba.

Slika 2

Atome spravimo v višje vzbujeno stanje z električnim tokom ali s svetlobo. Iz višjega vzbujenega stanja s spontanim sevanjem hitro preidejo na nižje vzbujeno stanje. Če je to stanje takšno, da so prehodi s sevanjem v osnovno stanje težavni, se število atomov v tem stanju v primerjavi s številom atomov v osnovnem stanju brž poveča.

Razmere v takem sistemu atomov si lahko ponazorimo na takle način. Smučišče ima širok zgornji in ozek spodnji del. Smučarji se po širokem zgornjem delu smučišča hitro spustijo na srednji nivo, tam pa morajo počakati, da se lahko spustijo po spodnjem delu. Ob nedeljah, ko je število smučarjev veliko, se bo nabrala vrsta za spust po spodnjem delu proge, ob dnu smučišča pa

vrste ne bo. Smučišče z ozkim zgornjim delom in širokim spodnjim delom pa nam lahko rabi kot model za nastanek druge možne obratne zasedbe v sistemu s tremi nivoji. Če je vlečnica, ki vozi smučarje navzgor, dovolj hitra, se bodo nabirali ob zgornji postaji, ob prehodu v širši del smučišča pa vrste ne bo. Tej sliki ustreza sistem atomov, pri katerih je prehod iz višjega vzbujenega stanja v nižje vzbujeno stanje otežen, lahek pa je iz nižjega vzbujenega stanja v osnovno stanje. Za delovanje laserja je pomembno, da je število atomov v višjem vzbujenem stanju večje od števila atomov v nižjem vzbujenem stanju. Vsako tako zasedbo nivojev, pri kateri je število atomov v stanjih z manjšo energijo, imenujemo *obrnjeno* ali *invertirano zasedbo*.*

V sistemu atomov z invertirano zasedbo nivojev lahko prevlada stimulirano sevanje nad spontanin sevanjem in nad absorpcijo, če je le dovolj velika gostota svetlobnega toka s frekvenco, ki je sorazmerna z energijsko razliko med nivojema. Tako gostoto lahko dosežemo, če zapremo sistem atomov v posodo z idealno odbojnimi stenami. Pravzaprav zadoščata le *dve zrcali*.

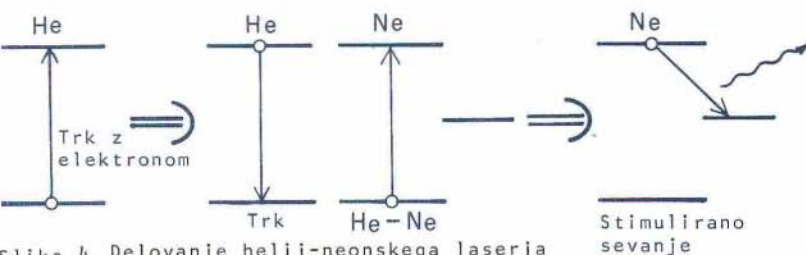


Slika 3 - optični resonator

* Tako stanje smo seveda lahko dosegli le s hudim posegom v sistem atomov. V sistemu atomov, ki je prepuščen samemu sebi, je število atomov v stanju z večjo energijo vselej manjše kot število atomov v stanju z manjšo energijo. Za zasedbo nivojev velja podobna zakonitost kot za zračni tlak na Zemlji - čim višje gremo, tem manjši je.

Sl. 3 ponazarja, kaj se dogaja s svetlobnim valovanjem v svetleči snovi med zrcaloma. Svetloba, ki jo pri spontanem prehodu izseva atom, prej ali slej uide iz cevi. V smeri osi se svetlobni val s stimuliranim sevanjem ojačuje. Med zrcaloma dobimo *stoječe svetlobno valovanje* na podoben način, kot dobimo *stoječe zvočno valovanje* v piščali. Tako "svetlobno piščal" z zrcaloma na krajiščih imenujemo *optični resonator*. Del svetlobe prihaja iz resonatorja skozi eno od zrcal, ki je delno propustno. Svetlobni tok v curku je odvisen od izdatnosti *črpanja* atomov iz osnovnega vzbujenega stanja v zgornje vzbujeno stanje. Laser ne more oddajati svetlobe, če se poruši ravnovesje med močjo črpanja, stimuliranim sevanjem, absorpcijo in močjo, ki jo odnaša curek. Laser zaradi tega tudi ne more delovati s poljubno majhno močjo.

Zanimivo je, kako je dosežena invertirana zasedenost nivojev v helij-neonskem laserju. V laserju je plinska mešanica približno v razmerju 10 atomov helija na atom neona. V električnem toku prehajajo ob trkih z elektroni mnogi atomi v vzbujena stanja. Praviloma preide v vzbujena stanja z večjo energijo manj atomov kot v vzbujena stanja z manjšo energijo. Za delovanje laserja je odločilno, da imajo atomi helija in neona nekaj vzbujenih stanj z enako energijo. Atomi helija lahko pri trkih z elektroni preidejo v vzbujena stanja, iz katerih je prehod v osnovno stanje s sevanjem zelo težaven. Zato ostanejo v teh stanjih toliko časa, da z veliko verjetnostjo predajo svojo energijo ob trkih z atomom neona. Iz vzbujenega stanja preidejo atomi neona v *vmesno vzbujeno stanje*, iz tega pa zelo hitro v osnovno stanje (sl. 4).



Slika 4 Delovanje helij-neonskega laserja

če je vzbujanje preko helija dovolj močno, je lahko v zgornjem vzbujenem stanju več atomov neona kot v vmesnem - kar omogoča lasersko delovanje. Pri prehodu med takima dvema stanjema odda atom neona svetlobo z valovno dolžino 6328 nm, torej svetlobo, ki jo oddaja šolski laser. Pri prehodu električnega toka po mešanici helija in neona pride do invertirane zasedbe še med enim parom nivojev. Atom neona izseva pri prehodu med njima infrardečo svetlobo z valovno dolžino 1,15 μm . Helij-neonski laser lahko deluje pri eni ali pri drugi valovni dolžini. V šolskem laserju so zrcalca, ki močno odbijajo vidno svetlobo, slabo pa infrardečo. Opremljen z zrcalci za infrardečo svetlobo bi laser oddajal svetlobo z valovno dolžino 1,15 μm .

Na koncu si nekoliko oglejmo še druge vrste laserjev. Zelo znani sta še dve vrsti plinskih laserjev. Prvi je *argonski laser*, ki lahko oddaja zeleno ali modro svetlobo z močjo do 20 W. Drugi laser je na *ogljikov dioksid*. Oddaja nevidno infrardečo svetlobo z valovno dolžino 10 μm in z močjo do 10 kW. To je že dovolj za obdelavo materialov. Vsi plinski laserji delujejo v neprekinjenem curku in vse vzbuja električni tokom.

Prvi delujoči laser je bil narejen iz *rubinske paličice* z zrcalci na krajiščih. Rubin je kristal Al_2O_3 s primesjo kromovih ionov, ki dajejo kristalu značilno rdečo barvo. Takšna je tudi barva svetlobe, ki jo oddaja *rubinski laser*. Paličico iz rubina osvetljuje močna bliskovna luč. Ob vsakem blisku odda paličica blisk rdeče svetlobe. Na podoben način delujejo tudi laserji, v katerih uporabljajo *paličice iz stekla*, v katero so vgrajeni *ioni neodima*. Ti laserji oddajajo bliske infrardeče svetlobe z valovno dolžino okoli 900 nm.

Posebna skupina so *polprevodniški laserji*. To so svetleče diode, podobne tistim, ki jih imajo številčnice žepnih kalkulatorjev. Dodani sta še zrcalci, ki imata enak pomen kot pri drugih laserjih. Med preostalimi laserji so posebej imenitni *laserji na organska barvila*. Molekule organskih barvil imajo zelo na gosto nanizana vzbujena stanja. S primernim oblikovanjem optičnega resonatorja lahko v precej širokem območju izbiramo valov-

no dolžino svetlobe, ki naj jo laser oddaja. Barvilo vzbujamo z bliskovno lučjo ali pa s kakim laserjem.

Raziskovalci pogosto poročajo o novih vrstah laserjev in o novih možnostih za njihovo uporabo. Upamo, da vam bo površna slika o delovanju laserjev, ki ste jo pridobili ob tem prispevku, v pomoč pri prebiranju novic. Veseli bomo tudi vprašanj, ki se vam porodijo ob tem.

Martin Čopič

(prireديل Marjan Hribar)
