

SPELEOLOŠKI ODSJEK PLANINARSKOG DRUŠTVA  
SVEUČILIŠTA **VELEBIT**

---

FIZIKA LASERA I  
PRIMJENA LASERA U SPELEOLOGIJI

Seminarski rad za stjecanje titule instruktora speleologije

TANJA BIZJAK

ZAGREB, 1997.

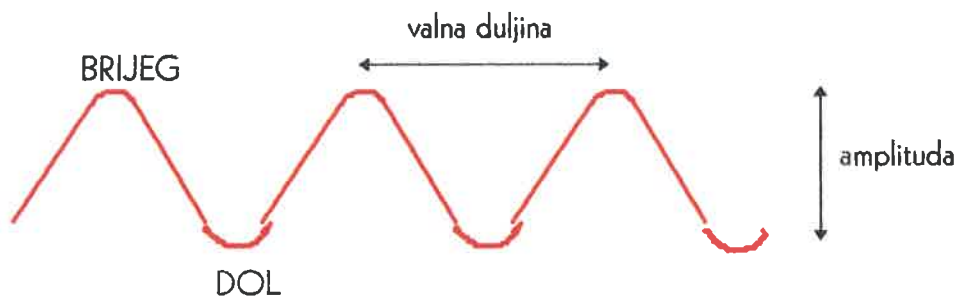
Ovaj seminar pokušat će objasniti osnove fizike lasera. Ime LASER skraćenica je od engleskog izraza “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation”, što u prevodu znači “svjetlost pojačana stimuliranom emisijom zračenja”. Biti će pokazana i jedna od praktičnih primjena lasera u speleologiji kao instrumenta za određivanje udaljenosti.

Počet ćemo objašnjavanjem značenja riječi LASER, tj. izraza “svjetlost pojačana stimuliranom emisijom zračenja”.

## L kao SVJETLOST

Svjetlost pokazuje dualna svojstva prirode. Ponekad je prepoznajemo kao snop čestica (fotona), a ponekad kao valove na vodi.

Širi se u prostoru poput valova. Svaki val je određen svojom valnom duljinom, frekvencijom (broj valnih duljina koje prođu nekom točkom u prostoru u jedinici vremena), te amplitudom. Te su karakteristike pokazane na slici 1.



slika1: Val svjetlosti i njegove karakteristike

## R kao ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE

Elektromagnetsko zračenje nastaje kao posljedica djelovanja električnih i magnetskih polja. Širi se valovima koji putuju brzinom svjetlosti. Vidljiva svjetlost je samo jedan mali dio u ukupnom spektru elektromagnetskog zračenja. To je prikazano na slici 2.

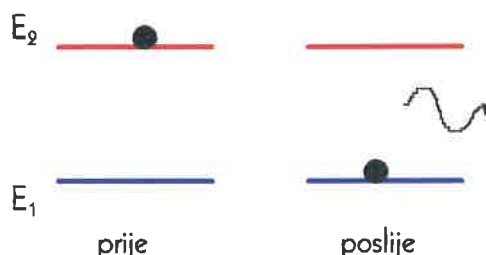


slika2: Spektar elektromagnetskog zračenja

Energiju svjetlosti promatramo pomoću njene čestične prirode. Najmanji dio svjetlosti odgovara jednom fotonu. Svakom fotonu odgovara određeni iznos energije. Snop svjetlosti može sadržati samo cijeli broj tih fotona. To znači da energija koju taj snop zrači nije kontinuirana, već da sadrži određeni broj, iako vrlo malih ali diskretnih jedinica (fotona).

Energija svjetlosnog vala proporcionalna je njegovoj frekvenciji (što je frekvencija veća, veća je i energija), tj. obrnuto proporcionalna njegovoj valnoj duljini.

Sva materija sastoji se od atoma. Atom je sastavljen od jezgre i elektrona koji u jednostavnom modelu atoma kruže oko jezgre po svojim orbitama. Svakoj elektronskoj orbiti odgovara određena energija. Što je orbita udaljenija od jezgre, energija joj je viša. Elektroni mogu preskakati iz jedne orbite u drugu, tj. kvantnomehničkim rječnikom, s jednog energijskog nivoa na drugi. Ako elektron skoči sa višeg energijskog nivoa (više energije) na niži nivo (niže energije), on će tom prilikom izgubiti točno onoliko energije kolika je razlika između tih energijskih nivoa,  $E_{21} = E_2 - E_1$ . Tu će energiju izgubiti upravo u obliku zračenja, on će emitirati zračenje. Energija tog zračenja biti će jednaka energijskoj razlici spomenuta dva nivoa. Cijeli je postupak skiciran na slici 3.



slika3: Prijelaz elektrona iz višeg na niži energijski nivo uz emisiju zračenja

Sličan proces emitiranju zračenja je apsorpcija. Ako se elektron nalazi u nižem energijskom nivou, on može preskočiti na viši energijski nivo, samo ako primi energiju jednaku razlici ta dva nivoa,  $E_{21}$ , tj. ako apsorbira zračenje spomenute energije,  $E_{12}$ .

Ako je razlika spomenuta dva energijska nivoa jednaka energiji zračenja svjetlosti (energiji određenog broja fotona), tada će emitiranje zračenja biti u stvari emisija svjetlosti (emisija tih fotona). Isto tako apsorpiranje zračenja će biti apsorpcija svjetlosti (apsorpcija fotona).

## SE kao **STIMULIRANA EMISIJA**

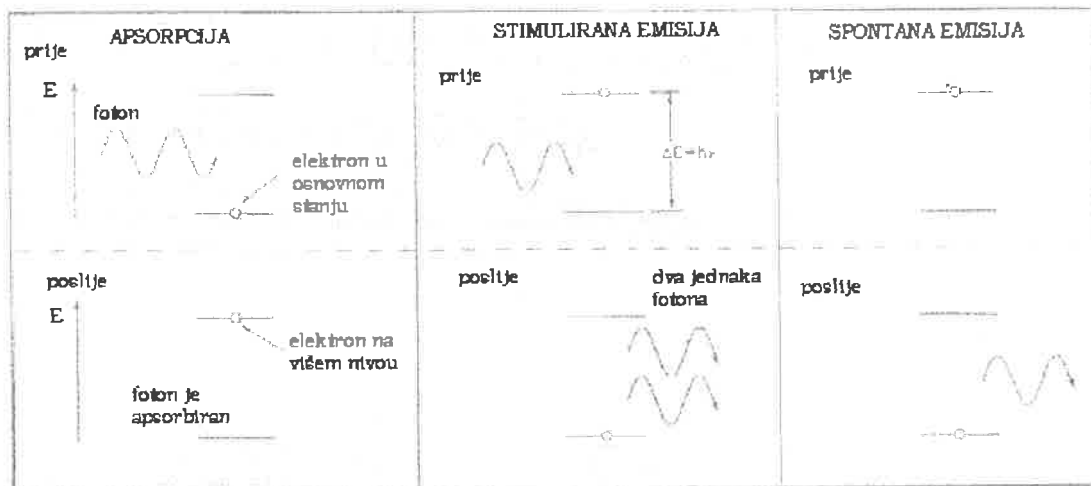
Dakle da zaključimo.

Ako se elektron nalazi u nižem energetsom nivou, on apsorpiranjem fotona može preskočiti na viši energijski nivo. Taj proces se naziva **APSORPCIJA FOTONA**.

Ako se elektron nalazi na višem energijskom nivou, on može preskočiti na niži energijski nivo, i to spontano "kada mu dođe". Prilikom toga on emitira foton. Taj proces se naziva **SPONTANA EMISIJA FOTONA**.

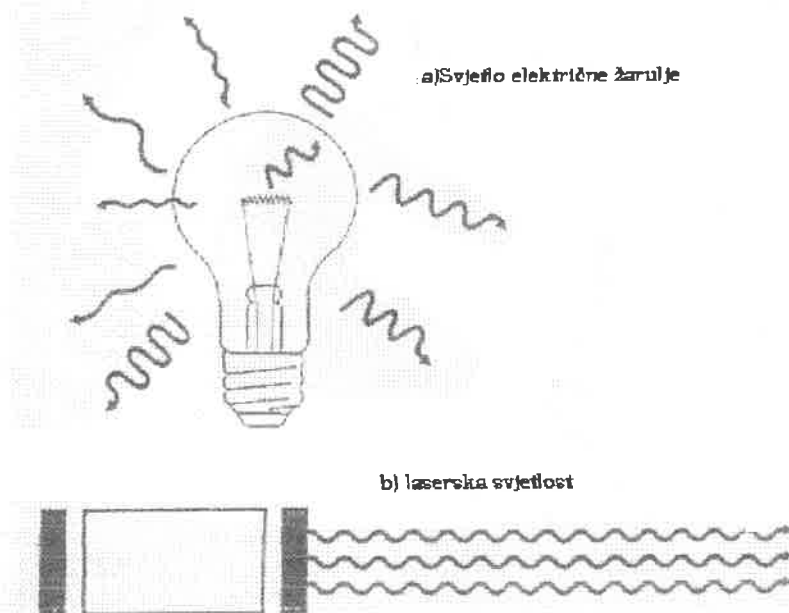
Kada se elektron nalazi na višem energijskom nivou, možemo utjecati na njega tako da on preskoči na niži nivo onda kada to nama odgovara, tj, njegov prijelaz možemo stimulirati. Ako elektron na višem energijskom nivou, ozračimo fotonom (čija energija odgovara razlici energetske nivoa), njega će taj foton stimulirati da preskoči na niži energijski nivo i emitira još jedan takav foton. Tada se taj proces naziva **STIMULIRANA EMISIJA FOTONA**.

Ta su tri slučaja prikazana na slici 4.



slika4: Tri tipa optičkih prijelaza

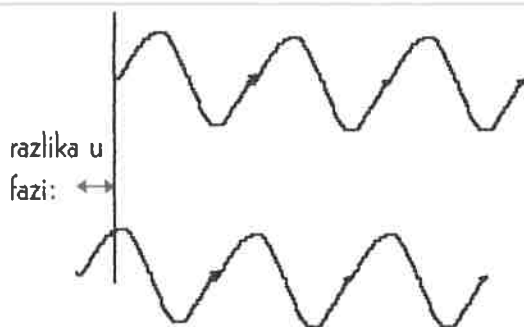
U laseru se nekim vanjskim podražajem (dovođenjem određene energije) stimulira emisija fotona dovedene energije. Tako dobijemo zračenje točno određene energije, tj. dobijemo **SVJETLOST** određene energije, odnosno **ODREĐENE VALNE DULJINE** i frekvencije. To je jedna od bitnih osobina laserske svjetlosti, po kojoj se razlikuje od svjetlosti dobivene običnom žaruljom. Prikazano na slici 5.



slika5: Usporedba laserske svjetlosti sa običnim svjetlom

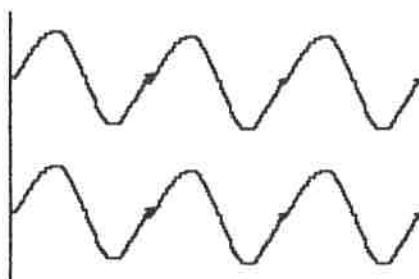
Još jedna važna osobina laserske svjetlosti je KOHERENTNOST.

Dva vala su koherentna ako nemaju razliku u fazi. Tada za njih kažemo da su u fazi. U suprotnom, ako postoji razlika u fazi između dva vala, kažemo da valovi nisu u fazi. Objašnjenje razlike u fazi valova očito je sa slike6 i slike7.



slika6: Dva vala koja nisu u fazi

Postojanje valova koji su u fazi, odnosno koji su koherentni omogućeno je stimuliranom emisijom. Foton stimulira novi foton, tj. novi svjetlosni val koji je u istoj fazi kao i val fotona koji ga je stimulirao. Slika7.



slika7: Valovi koji su u fazi

## A kao POJAČANJE

Da bi od laserske svjetlosti dobili snažan i usmjeren snop, potrebno je izvršiti pojačanje i usmjeravanje snopa. To se postiže rezonatorom. Rezonator je šupljina ispunjena medijem (atomi sa elektronima koji preskaču sa jednog energetskog nivoa na drugi), omeđena sa dva zrcala od kojih je jedno polupropusno. Princip je otprilike ovakav: izvana pobudeni elektron stimulirano emitira foton, koji pobudi slijedeći elektron koji opet stimulirano emitira slijedeći foton ... Tako se taj postupak među zrcalima umnožava. Tu se naravno povremeno dogodi i spontana emisija, koja preživi samo ako je jednaka stimuliranoj i ako je usmjerena prema zrcalima. Nastali fotoni se propuštaju samo kroz polupropusno zrcalo. Tako dobijemo pojačan i usmjeren snop fotona, tj svjetlosti.

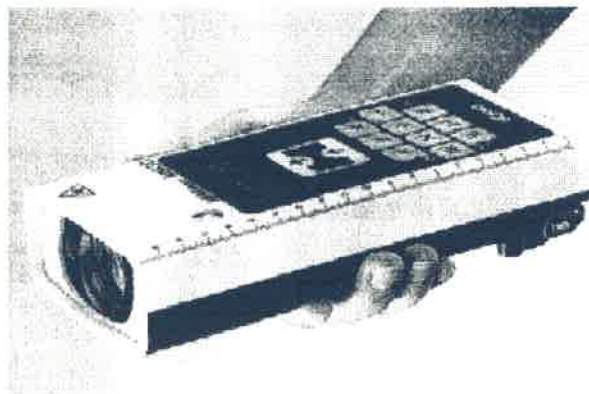
Drugim rječima, tako dobijemo laserski snop svjetlosti.

U razumijevanju laserskog snopa prepoznajemo ideje mnogih velikih znanstvenika, poput Newtona, Huygensa, Maxwella, Einsteina ...

Ovo bi bila ukratko osnovna fizika laserskog djelovanja.

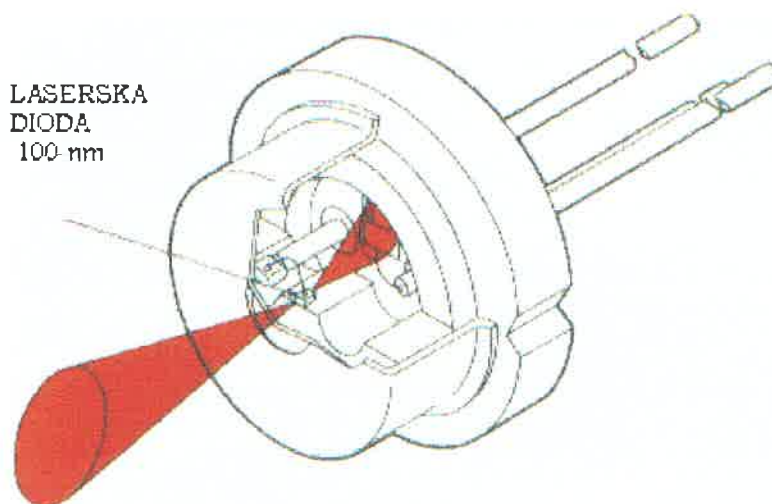
## ODREĐIVANJE UDALJENOSTI POMOĆU LASERA

Danas postoji već poprilično instrumenata koji koriste laser za određivanje udaljenosti. Detaljnije ćemo opisati instrument MiNi Meter MM30/30R prikazan na slici 8.



slika8: MiNi Meter MM30/30R

U ovom instrumentu osnovni dio je POLUVODIČKI LASER, točnije LASERSKA DIODA. Prikazana je na slici 9.



slika9: Laserska dioda

Laserska dioda ovog instrumenta daje svjetlost valne duljine 650nm, što odgovara crvenoj boji vidljive svjetlosti. Izlazna snaga snopa je do 1mW, što je dovoljno jak snop koji direktno uperen u ljudsko oko može prouzročiti trajna oštećenja.

Osim laserske diode, koja emitira laserski snop, u instrumentu se nalazi i uređaj kojim se taj snop detektira nakon refleksije od površine, čija se udaljenost određuje. Uređaj za detekciju radi na principu uspoređivanja faznih razlika modulacije emitiranog i detektiranog snopa. Do razlike u fazi dolazi zbog konačnog vremena potrebnog svjetlosti da ode do udaljene površine i vrati se nazad.

U instrumentu se nalazi i mikroprocesor, nalik onima u jednostavnijim kalkulatorima. On pomoću izmjerene razlike u fazi izračuna nepoznatu udaljenost do površine. Za računanje koristi sljedeću jednadžbu:

$$\phi = 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot n_g \cdot L / \lambda),$$

gdje je  $\phi$  razlika u fazi;  $n_g$  je indeks loma koji je aproksimativno  $n_g = 1$ ;  $\lambda$  je valna duljina laserske svjetlosti; te  $L$  je udaljenost koju želimo izmjeriti. Budući da su mu poznate sve veličine osim izmjerene (razlika u fazi) i tražene (udaljenost), kalkulator instrumenta vrlo brzo (u 1 sekundi) izračuna udaljenost te ju ispiše na zaslonu ("displayu"). Jedna od dodatnih mogućnosti ovog instrumenta je privremeno pohranjivanje izmjerenih podataka, koji se radi daljnje obrade mogu preko priključka RS-232C prebaciti u računalo. Točnost instrumenta je  $\pm 3\text{mm}$ , što daje pogrešku mjerenja koja se u speleologiji može zanemariti, jer je određivanje same mjerne točke nepreciznije.

Opisani instrument mjeri udaljenosti do 30 metara, a sa postavljenom reflektirajućom metom, na mjesto do kojeg želimo odrediti udaljenost, može izmjeriti do 100 metara.

Svi dijelovi instrumenta smješteni su u kućištu, zbog čega je instrument manje osjetljiv na udarce. Osim toga, instrument je i vodootporan, što ga čini dobrim za upotrebu u speleologiji.

Crvena točkica laserske svjetlosti koju vidimo na površini do koje određujemo udaljenost praktična je jer možemo vizualno precizno odabrati točku do koje želimo mjeriti.

Instrument ispravno radi u temperaturnom opsegu od  $-10^{\circ}$  do  $50^{\circ}\text{C}$ , što odgovara uvjetima u špiljama.

Za opskrbu energijom instrument koristi obnovljive (akumulatorske) baterije Ni-Cd. Sa jednim punjenjem može se napraviti 850 mjerenja. Punjenje baterija traje 70 minuta, a moguće ga je izvršiti na akumulatoru automobila.

Ovim instrumentom moguće je obaviti mjerenja individualno, što ne možemo uzeti kao prednost u speleologiji, jer u špilji je čovjek rijetko sam.

Težina instrumenta zajedno sa baterijama je približno 580g. Dimenzije su mu  $90 \times 50 \times 200\text{mm}$ , što je vidljivo na slici 8.

## Literatura:

M. Furić, *Moderne eksperimentalne metode, tehnike i mjerenja u fizici*, Školska Knjiga, Zagreb 1992

---

J. Hecht i D. Teresi, *Laser supertool of the 1980s*, Ticknor & Fields, New York 1982

M. J. Beesley, *Lasers & their applications*, Taylor & Francis Ltd, London 1976

J. F. Ready, *Industrial Applications of Lasers*, Academic Press, New York 1978