

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 9 (1981/1982)

Številka 2

Strani -215

Martin Čopič, priredba Marjan Hribar:

SVETLOBA LASERJA

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/9/509-Copic-Hribar.pdf>

© 1981 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

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



SVETLOBA LASERJA

"Tanki curki svetlobe švigajo med vesoljskima ladjama. Ladjo kapitana Blaka nevarno premetava, v komandni sobi so vsi napeti. Končno le zadetek v polno! Mogočen laserski top je zadel v občutljivo točko sovražnikove ladje ..."

To bi lahko bil kratek povzetek iz televizijske nadaljevanke, v kateri ne manjka vsega sposobnih računalnikov in drugih avtomatov, pa laserskega orožja. Marsikdo od vas je najbrž na podoben način prvič slišal za *laser*. Slišali ste še, da je mogoče z laserji vrtati v jekleno pločevino fine luknje, da je laser uporaben pri operacijah, da ga lahko uporabimo celo za brisanje napačno odtipkanih črk in podobno.

Laser srečamo tudi v šoli. Učitelj ga pri pouku uporablja kot svetilo. Daje ozek, skoraj vzporeden, zelo svetel curek rdeče svetlobe. Učitelj nam z navdušenjem pokaže, kako se laserski curek uklanja na ostrih robovih predmetov. Po prehodu skozi optično mrežico se razprši curek v pravo pahljačo. Podobno se razprši curek pri prehodu skozi gosto tkanino. Vsi ti poskusi nam dokazujejo, da je svetloba *valovanje*. Podobne pojave lahko opazujemo tudi pri svetlobi navadnih svetil, le da so manj izraziti. Kar pogledjmo skozi tanko zaveso luči v oddaljeni hiši. Okoli luči vidimo množico lepo urejenih barvastih lis. Tudi te so posledica uklona svetlobe.

V čem se svetloba laserja razlikuje od svetlobe običajnih svetil, da so pri njej valovni pojavi tako izraziti?

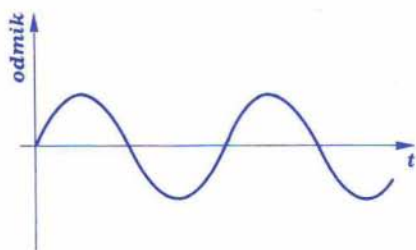
Pojdimo po vrsti!

Laser oddaja svetlobo v ozkem curku. Druga svetila oddajajo svetlobo v vseh smereh in le z lečami ali z zrcali jo lahko delno usmerimo. Poskusimo s prizmo razkloniti svetlobo v spekter! Pri običajnih svetilih dobimo pri takem poskusu na zaslonu več barvnih lis ali kar celo mavrico. Šele s filtri, ki prepuščajo le izbrano barvo, lahko spekter omejimo. Pika, ki kaže, kam se je po prehodu skozi prizmo odklonil laserski žarek, ostane nerazklonjena. Za vse naše poskuse lahko trdimo, da je laserska svetloba *enobarvna*.

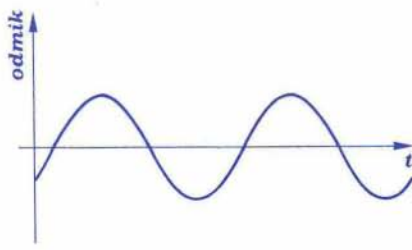
Opredelimo to zadnjo trditev bolj natančno! Svetlobo z izbrano barvo opredelimo, če povemo njeno *valovno dolžino* ali pa *frekvenco*. Vidna svetloba ima valovne dolžine od 450 nm do 700 nm. Prva valovna dolžina ustreza modri, druga pa rdeči svetlobi. Frekvenca modre svetlobe je $6,7 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$, frekvenca rdeče svetlobe pa $4,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$. Vse te valovne dolžine ali frekvence so zastopane v spektru svetlobe s Sonca. Iz spektra sončne svetlobe lahko s filtrom izrežemo pasove s širino okoli 10 nm ali s frekvenčno širino okoli 10^{13} s^{-1} . Curek svetlobe iz živosrebrne luči lahko s prizmo ločimo v curke, ki so veliko bolj enobarvni. Spektralna širina svetlobe v takih curkih je okoli 10^{-3} nm ali okoli 10^8 s^{-1} . Tudi šolski laser nam daje svetlobo s približno tako spektralno širino. Posebno skrbno izdelani laserji pa dajejo svetlobo, pri kateri je spektralna širina še veliko manjša - celo 10^3 s^{-1} .

Ostane nam še najvažnejša razlika med svetlobo laserja in svetlobo navadnih svetil. Pravimo, da je svetloba laserja *koherentna* za razliko od svetlobe navadnih svetil, ki je *nekoherentna*.

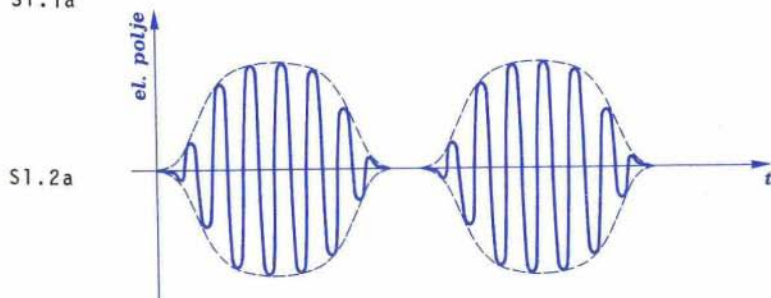
Ob pojmu koherentnosti se bomo pomudili nekaj dlje. Prej smo trdili, da lahko na osnovi poskusov zaključimo, da je svetloba valovanje. Vsa valovanja imajo nekatere skupne lastnosti. Za vse veljata enaka zakona za lom in odboj, vsa valovanja se uklanjajo ob ovirah, pri vseh opazimo interferenco. V šoli vse te pojave najprej srečamo pri valovih na vodnem površju, ki jih lahko naredimo sami na zelo preprost način. Poskusimo še enkrat! Vzemimo na primer deščico in jo pomakajmo v vodo v enakomernem



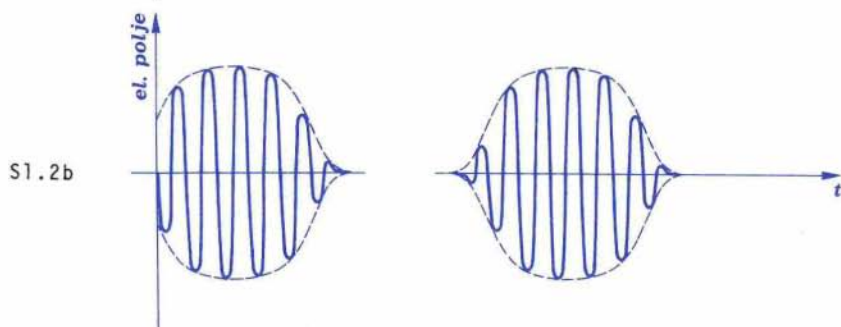
S1.1a



S1.1b



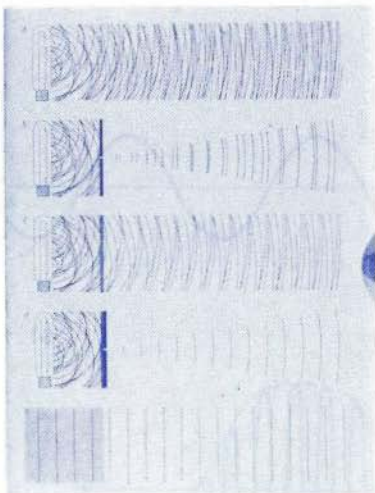
S1.2a



S1.2b

taktu. Od deščice se širijo valovi na vse strani. Na gladini, po kateri se širijo valovi, delci vode *nihajo*. O tem se lahko prepričamo, če damo na gladino majhno stiroporno kroglico. Kroglica in delci okoli nje nihajo v ritmu paličice, ali kakor pravimo, s frekvenco paličice. Slika 1a naj ponazarja časovni potek nihanja na izbranem mestu. Na podoben način niha ob istem času delec na drugem mestu. Slika 1b ponazarja tako nihanje na mestu, ki je bolj oddaljeno od izvira. Nihanje zaostaja za nihanjem v

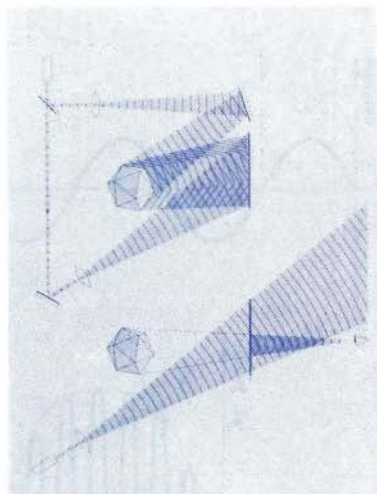
Sl. 3a



Sl. 3c

Sl. 3b

Sl. 4b



Sl. 4a

prvi točki. Zaostanek pa je ves čas enak. Rekli bomo, da je med nihanjima *konstantna fazna razlika*. Če vsi delci v prostoru, po katerem se širi valovanje, nihajo s konstantnimi faznimi razlikami, pravimo, da je valovanje koherentno. Tako je valovanje, ki ga zbuja paličica na vodnem površju. Tako je tudi valovanje svetlobe v laserskem curku. Električno in magnetno polje v curku svetlobe nihata v izbranih točkah s konstantno fazno razliko.

Svetloba iz navadnih svetil ni koherentna. V dveh dovolj oddaljenih točkah v curku take svetlobe sta nihanji povsem nepovezani, lahko ju predstavimo s slikama 2a in 2b.

Sliki 3a in 3b naj rabita kot dodatno pojasnilo razlike. Kažeta trenutno sliko svetlobnih valovanj v laserskem curku in v curku navadne svetlobe, v kateri smo s filtrom izbrali eno barvo. Črte predstavljajo grebene svetlobnih valov. V laserskem curku so grebeni vzporedni in v enakomernih razmikih. Od navadnega svetila se razširjajo neenakomerni krogelni valovi na vse strani. Slika 3c kaže, kako lahko tudi iz navadnega svetila dobimo kratek čas trajajoče koherentne valove.

Zaradi koherentnosti je svetloba laserja že na oko različna od svetlobe običajnih svetil. Usmerimo laserski curek proti zaslonu in ga razpršimo z močno lečo. Svetla pega na zaslonu je vi-

deti zrnata. Če zaslon hitro premikamo, zrnatost izgine in zaslon je enakomerno osvetljen. Razložimo si to!

Po lomu skozi lečo se širi proti zaslonu svetloba v kroglernih koherentnih valovih. Na zaslonu se svetloba razprši. Lahko si mislimo, da je vsaka točka na zaslonu izvir valovanja, ki vpada v oko. Vsi ti izviri nihajo s stalnimi faznimi razlikami, kakor je prej nihalo električno in magnetno polje v curku valovanja. Valovanja zaslona se v nekaterih smereh ojačijo, v drugih pa oslabijo. Kjer pride do ojačenja, vidimo na zaslonu svetlo, kjer pride do oslabitve pa temno piko. Ko se zaslon premika, potujejo prek mrežnice v hitrem zaporedju ojačena in oslabljenata mesta, zato vidimo zaslon enakomerno svetel. Ko osvetljuje zaslon nekoherentna svetloba, se fazne razlike med nihaji izvorčkov na zaslonu ne prestopajo. S tem se ne prestopajo tudi smeri, v katerih pride do ojačenja in do oslabitve. Podobno kot pri gibajočem se zaslonu zazna oko le enakomerno svetlo sliko.

Naslednja zgodba bo pokazala, kakšne imenitne možnosti nam daje koherentnost laserske svetlobe.

"Danes bomo govorili o fotografiranju", je razglasil učitelj, ko je vstopil v razred. *"Le kaj novega lahko pri tem izvemo?"* so si mislili dijaki. Vsi so že imeli v rokah fotografski aparat. Vedeli so, da sta v njem objektiv in zaslonka, da ga je treba naravnati, če naj bo slika na filmu ostra. Vedeli so celo, kako se lomijo curki svetlobe pri prehodu skozi lečo in znali izračunati razdaljo slike od leče, če so poznali razdaljo predmeta od leče in goriščno razdaljo leče.

Učitelj je prižgal grafoskop in položil nanj košček enakomerno sivega filma. *"To je fotografija šahovske figure"*, je izjavil. Učenci so debelo gledali. Na zaslonu niso videli drugega kot sivo liso z nekaj nejasnimi črtami. Kazalo je, da jim hoče učitelj prodati cesarjevo novo obleko.

Učitelj je prižgal laser in razpršil curek z razpršilno lečo. Poklical je k sebi Janeza, ki je najbolj glasno ugo-

varjal. Janez je pogledal skozi film v stožcu laserske svetlobe. Pred njim je zažarela v rdeči svetlobi figura. Kot da bi jo gledal skozi okno. Vsi so si ogledali "čudež" in čakali pojasnilo.

Učitelj je pripovedoval: "Ta košček filma je hologram-uklonska slika šahovske figure. Na uklonskih žrtah, ki jih je zarisala svetloba pri fotografiranju, se uklanja svetloba, prav tako kakor se je prej uklanjala na mrežici ali na zavesi. Ko opazujemo uklonsko sliko, se nam zdi, kot da bi svetloba prihajala iz predmeta za hologramom.

Toda kako pridemo do holograma?

Govorili smo že, da je vsaka točka osvetljenega predmeta izvir novega valovanja. Ko telo osvetljuje navadna svetloba, nihajo ti izviri neodvisno drug od drugega. Če hočemo dobiti sliko predmeta, lahko kvečjemu zberemo del oddane svetlobe z lečo na filmu. Vsaki točki vidnega dela predmeta pripada točka na sliki. Na enak način - z lečo - bi lahko preslikali predmet tudi, ko ga osvetljuje laserska svetloba. Vendar imamo tu novo možnost. Vse osvetljene točke - naši izviri svetlobe - nihajo sedaj s konstantno fazno razliko. Tiste točke, ki jih valovanje iz laserja zadene prej, prehitevajo v nihanju tiste, ki jih val iz laserja zadene kasneje. Za naš namen je pomembno, da ostanejo fazne razlike konstantne, dokler traja slikanje. Posnetek naredimo, kakor kaže slika 4a. Film osvetljujeva hkrati dve valovanji. Prvo je tisto, ki se odbija od predmeta, drugo pa je del valovanja, ki osvetljuje predmet. Valovanji se na nekaterih mestih ob filmu ojačita, na drugih pa oslabita. Na filmu ostanejo zato zapisane zelo na gosto temne in svetle črte. Slika 4b pa nam kaže, kaj se zgodi, ko damo posnetek v laserski curek, da bi opazovali sliko.

Učenci so bili navdušeni. Janez se je že razvnel: "Ali ne bi bilo imenitno, da bi nam TV mreža posredovala holograme, doma pa bi v laserskem projektorju gledali prostorske TV programe!"

Spoznali smo nekaj lastnosti laserske svetlobe, po katerih se odlikuje pred svetlobo navadnih svetil. Uklonska fotografija pa je le ena od možnosti, ki nam jih laserska svetloba ponuja. Še mnoge so uporabe laserjev, o katerih ne moremo govoriti. Večkrat berete o njih v časopisih, morda vam bo to, kar ste prebrali v pomoč, da boste te uporabe lažje razumeli. Kdaj prihodnjič pa si bomo ogledali, kako laser deluje.

Martin Čopič

Priredil *Marjan Hribar*
