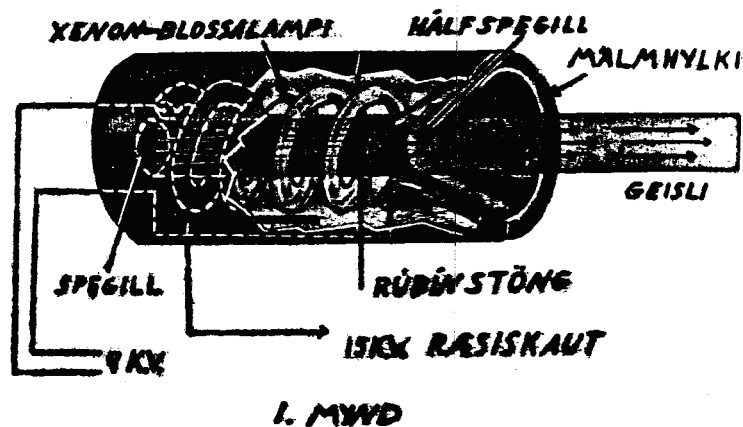


# LASER

Í vísindalegum staðleysusögum er oft talað um dauðageisla, er breytt geti flugvél í reykský og lagt borgir í rúst á augabragði. Ekkert verður um það fullyrt, hvort laser-tæknin sé afleiðing þessara hugaróra, en þó má með nokkrum rétti halda því fram, að laser sé með merkustu uppgötvunum þessarar aldar. Þó að laser sé hvorki hugsaður né hæfur sem fjöldamorðvopn, hefur hann þegar valdið gjörbyltingu á ýmsum sviðum.

Í grundvallaratriðum er laser mjög einfalt tæki, þótt nafnið sé langt, ef það er óstytt. Laser stendur fyrir: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Annað nafn á tækinu er maser, og stendur þá m fyrir micro-wave.



Ljós frá laser er mjög ólíkt ljósi venjulegrar rafmagnsperu, en hún sendir frá sér hvítt ljós, sem samanstendur af öllum regnbogans litum. Þessir mismunandi litir koma fram vegna

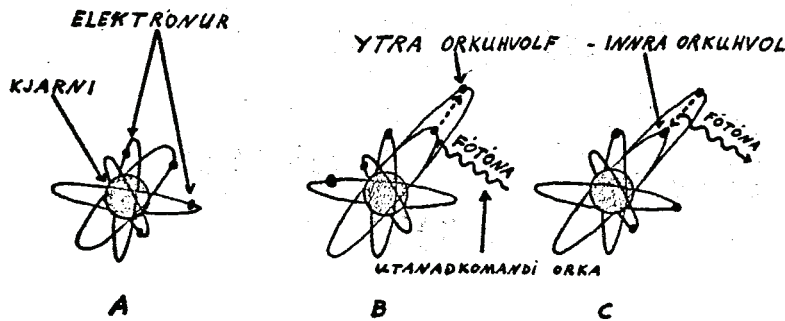
mismunandi öldulengdar ljóssins. En það ljós, sem laser sendir frá sér, hefur sérstaka eiginleika: Það hefur svo til eingöngu aðeins eina öldulengd og því aðeins einn lit. Annar eiginleiki geislans er sá, að hann er samstæður (coherent), þ.e. hann er einfasa og einpólaríseraður. Slíkur ljósgeisli dreifist mjög lítið, og geisli frá beztu laserum mundi lýsa upp hring, er væri aðeins um 300 m að þvermáli, er hann lenti á Tunglinu.

ORKUSTIG

Til þess að skilja það, hvernig rafsegulöldur verða til, er æskilegt að lýsa stuttlega hugmyndum manna um geislun frá frumeindum.

Sérhver frumeind, hvort sem hún er ein sér eða í sameind, hefur ákveðin orkuhvolf. Venjulega eru frumeindir í hvíldarstöðu á lægsta orkustiginu, en geta þó tekið við orku, sem lyftir þeim á hærra orkustig. Hver frumeind getur tekið við ákveðnu orkumagni, sem er mismunandi eftir því, hvaða frumefni á í hlut. Þessir ákveðnu orkuskammtar eru oftast kallaðir fótónur. Hægt er að hugsa sér þær sem örlitlar agnir, sem hafa einkenni efnis og ölduhreyfingar og ferðast með hraða ljóssins. Þessi hugmynd er hluti af skammtakenningunni, og samkvæmt henni er orka fótónunnar í réttu hlutfalli við tíðni

rafsegulöldunnar:  $E = hf$ , þar sem E er orka fótónunnar í joule, f er tíðnin í riðum á sekúndu, og h er Plancks stuðull ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  joule/sek.).



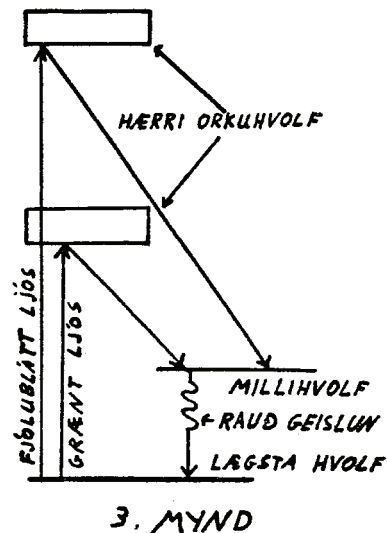
2. MYND

Myndir 2A, 2B og 2C sýna, hvað hendur frumeind, sem

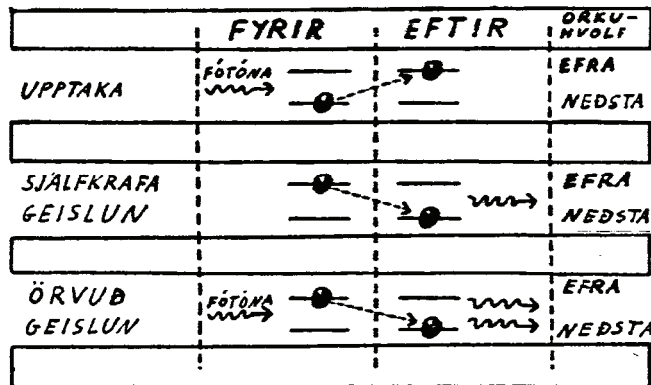
upphaflega er á lágsta orkustiginu, er hún tekur við orku. Fótónan örvar frumeindina svo, að ein elektrónan, sem er á braut umhverfis kjarnann, fer yfir á hærra orkuhvolf.

Þegar elektrónan er komin á hærra orkuhvolf, getur margt komið fyrir, sem stuðlar að því að koma henni aftur á upphaflega hvolfið. Venjulega sendir hún þá frá sér fótónu, sem hefur sömu tíðni og sú, er örvaði frumeindina ( mynd 2C ). Þetta verður sjálfkrafa og tekur skemmri tíma en eina míkrosekúndu, frá því er frumeindin tók við fótónunni. Elektrónan getur einnig fallið niður á annað millihvolf með því að gefa frá sér hluta orkunnar, sem fer þá í að hita efnið. Á millihvolfinu getur elektrónan haldið tiltölulega lengi, jafnvel örfáar sekúndur. Er elektrónan fellur frá millihvolfinu niður á lágsta hvolfið, sendir hún frá sér fótónu, sem hefur lægri tíðni en fótónan, er upphaflega örvaði frumeindina. Er það vegna þess, að tíðnin er í réttu hlutfalli við orku fótónunnar, eins og áður er sagt. ( 3. mynd ).

Frumeindin getur komið í sitt venjulega ástand á annan hátt. Ef fótóna, sem hefur rétta tíðni, lendir á frumeindinni, meðan hún er í örvaðu ástandi, sendir hún frá sér fótónu og fer í sitt venjulega ástand. Þetta er mjög mikilvægt, því að það myndar nýja leið til þess að magna rafsegulöldur. Þessi nýja fótóna er nákvæmlega í fasa við þá, er lenti á frumeindinni, og ferðast í sömu stefnu. - Ein fótóna kom í kerfið, tvær fóru úr því. Mögnun hefur átt sér stað. ( 4. mynd ).



Árið 1958 lögðu A. L. Schawlow og C. H. Townes fram tillögu um aðferð til að smíða tæki, er framleiddi samstæðar rafsegulöldur á optískum öldulengdum ljóssins. Þeir hugsuðu sér tæki, er hefði tvo spegla, hvorn andspenis öðrum. Fótóna, er væri á milli speglanna, myndi



4. MYND

hafa áhrif á aðrar örv-  
aðar frumeindir, svo að  
þær sendu frá sér fótón-  
ur. Þær fótónur, er  
ferðuðust hornrétt á flöt  
speglanna, myndu endur-  
speglast milli þeirra og  
leysa fleiri úr læðingi.  
Orkan myndi síðan stöð-  
ugt aukast, unz geislinn  
kæmist gegnum annan  
spegilinn sem samstætt  
( coherent ) ljós. Gert  
var ráð fyrir, að annar  
spegilinn væri hálfgagn-  
sær. Árið 1960 heppn-  
aðist T.H. Maiman

við Hughes Aircraft Company að smíða slíkt tæki.

### RÚBÍN-LASER

Maiman notaði rúbínkristall í tæki sitt ( 1. mynd ). Rúbín, sem er alúmíníumoxíð með krómfrumeindum í stað nokkurra alúmíníumfrumeinda, hefur mjög heppileg orkustig fyrir laser ( 3. mynd ). Þessi orkustig tilheyra elektrónum í krómfrumeindum. Upptaka króm-jónanna á grænu og fjólubláu ljósi veldur rauða litnum á rúbín-kristall.

3. mynd sýnir, hvernig grænt og fjólublátt ljós örvar frumeindirnar. Elektrónum er lyft upp á hærri orkuhvolf, en þaðan falla þær svo til samstundis niður á tiltölulega stöðugt hvolf og gefa við það frá sér orku, sem að mestu fer í að hita efnið. Frá þessu hvolfi falla elektrónurnar niður á sitt venjulega hvolf, og senda við það frá sér fótónur sem rautt ljós ( 6943 Å ).

Mikill fjöldi elektróna króms er á millihvolfinu, ef sterkt grænt eða fjólublátt ljós skín á kristallinn. Ef fjöldi þeirra er meiri á millihvolfinu en á hinu lægsta, getur laser-verkun átt sér stað. Xenon-blossalampi gefur nægilega bjart ljós til þess, að svo verði. Ef svo stendur á, örvar rautt ljós geislunina og er því magnað.

Eftir að fjöldi elektróna er orðinn meiri á millihvolfinu, fara þær að falla niður á lægsta hvolfið og senda frá sér rautt ljós. En mestur hluti þessa ljóss fer forgörðum, því að það stefnir í allar áttir og yfirgefur kristallinn, ef það lendir á hliðum hans. Örlítill hluti ljóssins fer samsíða ás sívalningsins og leysir meira ljós úr læðingi, er það lendir á örvuðum krómfrumeindum. Þetta ljós hefur sömu stefnu og sama fasa. Á leið sinni eftir kristallnum vex orka þess stöðugt, og er það lendir á hálf gagnsæja speglinum, endurkastast um 95% þess, og er það þá enn magnað. Við þetta koma fram standandi öldur í kristallinum, og er útgeislunin því einfasa.

Með því að endurtaka tilraun þá, er Thomas Young framkvæmdi snemma á 19. öld, er hægt að sýna fram á samstæði ljóssins. Í þessari frægu tilraun er ljós látið fara gegnum tvær samsíða raufar. Ef ljós frá annarri raufinni lendir í fasa við ljós frá hinnu raufinni, kemur fram birta á þeim stað. Ef ljósið er með  $180^\circ$  fasaviki, eyðist það og verður myrkur á þeim stað. Ef samsíða raufar eru skornar á annan enda rúbínsins, koma fram "interferens" rákir. Það hefur komið í ljós, að rákir þessar samsvara mjög vel því, er koma ætti fram, ef aldan væri algjörlega samstæð.

Xenon-blossalampar eru oftast notaðir til þess að veita laser-orku. Þeir gefa safarskært ljós í um það bil eina eða tvær millisekúndur. Ekki er hægt að láta rúbín-laser vinna stöðugt við venjulegan stofuhita vegna hitamyndunar. Hann er því kældur með fljótandi köfnunarefni.

Önnur efni, en alúmíníumoxíð, er notuð hafa verið í laser, eru kalcíum-flúoríð, kalcíum-þungspat og jafnvel gler. Sem aðskotaefni hafa, auk króms, verið notuð neodýmium, dysprosium og uranium. Þó er rúbín enn mest notað við rannsóknir.

### GAS-LASER

Önnur gerð lasers er gas-laser. Þó að hann sé mjög ólíkur rúbín-laser að gerð, vinnur hann á svipaðan hátt. Í stað rúbín-kristalls er notað kvarzhylki, fyllt með lofttegundum. Fyrsti gas-laser notaði helíum og neon í hlutfallinu 1:9 með 1 til 2 mm

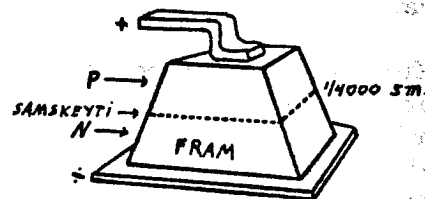
kvikasílfursþrýsting. Geisli hans samanstendur af fimm öldulengdum, hinni sterkustu á 11530 Å. Til þess að knýja gaslaser er ekki notað ljós heldur rafsegulöldur með um það bil 28 megariðum á sekúndu.

Geisli frá gas-laser er miklu samstæðari en geisli frá rúbín-laser og dreifist því minna. Öldusvið (spectral linewidth) hans nær aðeins yfir nokkra milljörðustu hluta úr ángström, eða nokkur rið á sekúndu. Hefur hann því mjög verið notaður við nákvæmar mælingar.

### HÁLFLEIÐARA-LASER

Nýjasta gerð lasers notar hálfleiðara, sem knúinn er beint af rafstraumi. Aðalókosturinn við áður nefndar gerðir er, hve erfitt er að móta geislann, en geisla hálfleiðara-lasers má móta með því einu að breyta rafstraumnum.

Hálfleiðara-laserinn er gallium-arseníð-díóða, sem rafstraumi er hleypt í gegnum. Þegar straumurinn nær ákveðnu markgildi sendir díóðan frá sér samstætt ljós. Díóðan (5. mynd) hefur n-lag, þar sem er yfirmagn af elektrónum. Þetta lag er tengt p-lagi, þar sem skortur er á elektrónum. Skortur elektrónu er kallaður "gat". (Sjá De rerum natura, apríl 1965, 67. bls.)



5. MYND

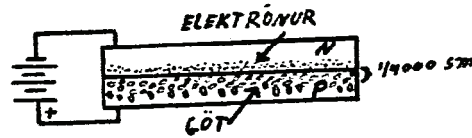
Ljós er framleitt í hálfleiðara með rafstraumi. Elektrónur frá n-laginu fara yfir samskeytin og falla ofan í göt í p-laginu. Elektrónan, sem fer yfir samskeytin, hefur í sér orku, meðan hún er á hreyfingu, en gefur hana frá sér sem fótónu, er hún fellur í gat.

Nokkuð lengi hafa verið þekkt efni, sem senda frá sér ljós, er rafstraumur er sendur í gegnum þau. Eru þau kölluð "electroluminescent". Þó var mönnum ekki kunnugt um, að þau senda frá sér samstætt ljós, ef nógu mikill straumur er látinn fara í gegnum þau.

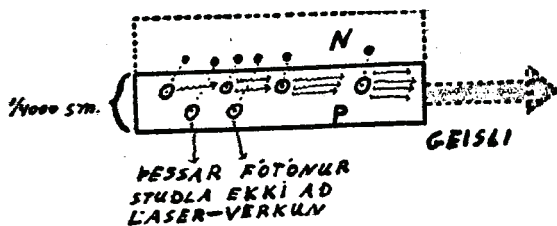
Hálfleiðara-díóður eru gerðar með því að bæta "óhreinindum" í kristallinn. Í gallíum-arseníð-laser er notað zink og tellúr-íum sem óhreinindi í p-laginu og n-laginu.

Ef nógu miklum rafstraum er hleypt í gegnum díóðuna, safnast mikill fjöldi elektróna og "gata" á mjög lítið svæði við samskeytin.

Er þetta svæði aðeins um  $1/4000$  cm á þykkt (6. mynd) og er p-megin við samskeytin. Þetta svæði sendir frá sér mikinn fjölda fótóna, sem aftur örva aðrar fótónur með því að hraða sameiningu á götum og elektrónum. Í hvert sinn sem fótóna örvar aðra fótónu, verða þær nákvæmlega í sama fasa og í sömu stefnu. Þess vegna er ljósið samstætt, eins og sýnt er á 7. mynd.



6. MYND



7. MYND

Geysimikinn rafstraum þurfti til þess að knýja fyrstu hálfleiðara-laserana, allt að 10.000 amper á  $\text{cm}^2$ . Þeir gátu því alls ekki sent út stöðugt ljós í langan tíma. Nýir laserar vinna með  $100 \text{ A/cm}^2$  og geta sent frá sér stöðugt ljós, séu þeir kældir með fljótandi helíum,

vetni eða köfnunarefni. Er útgangssorka þeirra um 1 W fyrir hver 5 W inn, eða 20% nýtni.

Önnur efni, sem notuð eru í hálfleiðara-laser, eru: indíum-fosfíð, indíum-arseníð og indíum-antímóníð. Öldulengd þeirra er frá 7000 Å fyrir gallíum-arseníð, til 52000 Å fyrir indíum-antímóníð. Tíðnisviðið er því 60 til 430 milljón megarið á sekúndu. Er þetta svið á innrauða hluta litrófsins.

Geisli hálfleiðara-lasers er fjarri því að vera jafneinstefndur og geisli rúbín-lasers, hvað þá gas-lasers. En hann er mjög

fyrirferðarhlili (IBM hefur smíðað einn  $0,1 \times 0,1 \times 1,25$  mm), og auk þess er auðvelt að móta geisla hans. Þar sem hann getur svarað straumbreytingum á einni nanósekúndu ( $10^{-9}$  sek.), getur hann sent um  $10^9$  upplýsingaeiningar á sekúndu.

### UM NOTAGILDI LASERS

Sem stendur, vinna mörg hundruð hópar að rannsóknum á hugsanlegu notagildi lasers, svo sem á sviði lækninga, fjarskipta, iðnaðar, geimferða o. m. fl.

Á sviði fjarskipta mun notagildi lasers reynast geysimikið, aðallega vegna þess, hve magn þeirra upplýsinga, er geislinn getur borið, er gífurlegt. Ef kostur væri á að móta geislann fullkomlega, gæti hann borið 100 milljón talrásir eða milljón sjónvarpsrásir. Geisli frá venjulegri útvarps- eða fjarskiptastöð dreifist mjög mikið, svo að merkið er orðið mjög veikt, er það nær viðtökustöðinni. Þarf því geysimikla orku til þess að halda uppi fjarskiptum milli fjarlæggra staða, ef hraðinn á að vera mikill. Það hefur reyndar tekizt að senda sjónvarpsmyndir frá Marz til Jarðar með venjulegum sendi, en aðeins með því að deila þeim niður í ótalmarga hluta, sem síðan eru sendir á mjög löngum tíma. Sendiorka Mariners IV., var 10 W, en orkan, er náði til Jarðar, var aðeins  $10^{-19}$  W. Með laser mætti senda upplýsingarnar margfalt hraðar með sömu orku, því að meiri hluti upphaflegu orkunnar lenti þá á viðtökutækinu.

Vegna þess, hve öldulengd lasergeisla er stutt, er hann mjög heppilegur í radar. Radar, sem vinnur á 1 cm öldulengd og með loftnet, sem er nokkrir metrar að þvermáli, hefur um  $0,5^\circ$  geisla. Þetta má bera saman við laser, sem er  $0,5$  cm að þvermáli og hefur um  $0,05^\circ$  geisla, sem auðveldlega væri unnt að þrengja niður í  $0,005^\circ$  með einföldu safngleri. Með svo mjóum geisla gæti radarkerfi auðveldlega sýnt lögun flugvélar.

Á sviði læknisfræðinnar á laser einnig mikla framtíð fyrir sér. Með hjálp hans er auðvelt að framkvæma ýmsar aðgerðir, sem áður voru taldar óframkvæmanlegar. Með tæki, sem kallað er "the laser retina coagulator", er kleift að brenna fasta net-himnu augans, hafi hún losnað. Slík aðgerð tekur aðeins um



eina millísekúndu, og hefur ekki í för með sér hinar hættulegu afleiðingar röntgen- og gammageisla. Lasergeisli hefur verið notaður með ágætum árangri við skinngæðslu og gegn útbrotum. Í baráttunni gegn krabbameini hafa menn og bundið vonir við laser, því að geislinn virðist hafa önnur áhrif á gallaðar frumur en heilbrigðar.

Í iðnaði á laser eflaust eftir að koma að geysimiklum notum. Þegar hefur tekizt að brenna gat á 1 cm þykka stálplötu á aðeins 2 millísekúndum. Til þess að bræða saman ýmsa málma, svo sem títaníum og molybdenum, þarf mjög mikinn hita, og er það illframkvæmanlegt án þess að nota laser.

Á. H. B. 6. Y.

Þýtt og endursagt úr ritunum :

Electronics, - júlí 1963; Radio-Electronics, - jan. 1963;  
Radio-Electronics, - maí 1961; C Q, - ágúst 1964;  
C Q, - sept. 1964; Science Horizons, - júlí 1965.

---

Sérfræðingur er maður, sem veit æ meira um æ minna.

- N. M. Butler.

Síðasta og æðsta tákn vísindanna er hið mikla spurnarmerki.

- A. Garborg.

Standir þú við dyr hins ógerlega, skaltu knýja á þær.

- H. Redwood.

---

# DE RERUM NATURA

---

6. árgangur - 1. blað - Janúar 1966

## EFNI

	Bls.
Um forsíðumynd	2
Frá raunvísindadeild	4
Hvítblæði	5
Laser	9
Dráðstyrktir málmar	18
Mariner IV.	24
Minni	29
Kjarnorkusprengjan	38
Fróðleiksmolar	44
Á skotspónum	48
Bækur og blöð	51
Um baksíðumynd	55