

L A S E R S

door

Ir. T. Bakker.

1. Inleiding

Het woord laser wordt gevormd door de beginletters van: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. De eerste lasers zijn in 1960 gerealiseerd (T. H. Maiman, A. Javan) door de principes van de Maser (M = microwave) toe te passen bij de zeer hoge frequenties, waarmee het licht trilt.

Onder licht verstaat men een elektromagnetische trilling met frequenties f in het gebied $10^{12} \text{ Hz} < f < 10^{15} \text{ Hz}$. De golflengte λ ligt dan in het gebied $0,3 \mu < \lambda < 300 \mu$. Naast het zichtbaar licht ($0,4 \mu < \lambda < 0,8 \mu$) worden ook de onzichtbare ultraviolette straling ($\lambda < 0,4 \mu$) en de infrarode straling ($\lambda > 0,8 \mu$) tot het licht gerekend.

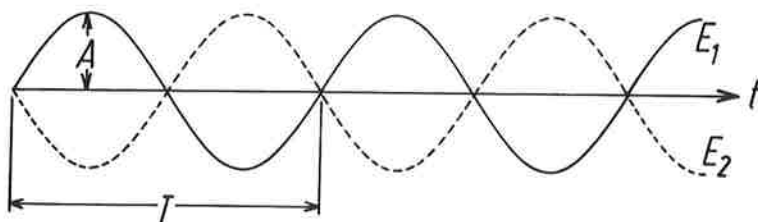


Fig. 1. Tijdsafhankelijkheid van de elektrische veldsterkte

In fig. 1 is getekend, hoe de elektrische veldsterkte E in een bepaald punt van de ruimte in de tijd t varieert. De maximale waarde van E noemt men de amplitude A . De tijd T is de periode van de trilling. De frequentie f is gelijk aan het aantal trillingen per seconde; $f = \frac{1}{T}$. De golflengte $\lambda = cT$, waarin c de voortplantingssnelheid van het licht is ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m sec}^{-1}$).

Om de waarde van de elektrische veldsterkte E op een bepaald moment vast te leggen is het nodig aan te geven in welk punt van de

trillingscyclus men zich bevindt, m.a.w. de fase moet bekend zijn. Opgemerkt wordt, dat twee trillingen, waarvan de frequentie en de amplitude gelijk zijn, elkaar bij samenwerking (interferentie) kunnen uitdoven of opslingeren, afhankelijk van het onderling faseverschil. In fig. 1 is het faseverschil tussen E_1 en E_2 gelijk aan een halve cyclus; de resulterende veldsterkte $E_1 + E_2$ is dan op ieder moment gelijk aan nul. Aangenomen is, dat E_1 en E_2 in dezelfde richting in de ruimte trillen, m.a.w. de polarisatie-richting is gelijk.

2. Principe van de werking van de laser.

Het principe van de laser berust op de eigenschappen van de *gestimuleerde emissie*. Dit proces vormt een van de mogelijke wisselwerkingen tussen straling en materie. We denken ons de materie samengesteld uit *afzonderlijke* atomen, die elkaar dus niet beïnvloeden. Eenvoudigheidshalve nemen we aan, dat elk atoom zich slechts in 2 discrete energietoestanden kan bevinden met energieën J_1 resp. J_2 . In elk van deze energieniveaus kan een atoom zich stationair bevinden, zonder straling uit te zenden.

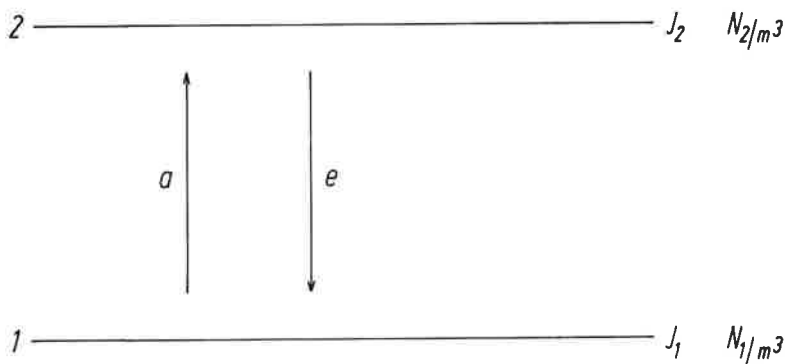


Fig. 2

Energietoestanden in een atoom.

De atomen kunnen alleen wisselwerking hebben met een stralingsveld, wanneer voor de frequentie f van het veld geldt:

$$hf \sim J_2 - J_1 \dots \dots \dots (1)$$

h = constante van Planck = $6,64 \cdot 10^{-34}$ Joule sec.

Een atoom kan van een lager naar een hoger energieniveau overgaan door van de invallende stralingsenergie een gedeelte hf te absorberen (proces a). Het aantal absorpties per tijdseenheid = $B_{12} \rho(f) N_1$.

$\rho(f)$ = stralingsdichtheid van het veld met frequentie f (Joule m^{-3}).

- N_1 = bezetting van niveau 1 (m^{-3})
 B_{12} = evenredigheidsconstante.

Anderzijds is er de mogelijkheid, dat een atoom *onder invloed van het stralingsveld met frequentie f* van niveau 2 naar het lager gelegen niveau 1 terugvalt. Bij deze geïnduceerde emissie (proces e) komt het energieverschil $J_2 - J_1$ in de vorm van straling met frequentie f vrij. Het bijzondere van dit proces is, dat deze vrijkomende straling dezelfde fase en polarisatierichting heeft als het inducerende veld. Het resultaat is dus, dat het inducerende veld door deze gestimuleerde overgangen aangroeit. Voor het aantal gestimuleerde overgangen per tijdseenheid vindt men:

$$B_{21} \rho(f) N_2$$

Men kan aantonen, dat $B_{21} = B_{12} = B$. De netto toename van het veld wordt dus:

$$B \rho(f) (N_2 - N_1) \dots \dots \dots (2)$$

Bij thermisch evenwicht geldt: $N_2 < N_1$ (Boltzmann). Men houdt dan een netto absorptie over. Om versterking te krijgen moet $N_2 > N_1$ worden (bezettingsinversie). Het is dus noodzakelijk het thermische evenwicht te verbreken. Er zijn verschillende technieken (pompmethodes) om het lasermateriaal te activeren:

- a. door een gasontlading door een geschikt gasmengsel te sturen, bijv. de Helium-Neon gaslaser $\lambda = 0,63 \mu$.
- b. door bestraling met een intense lichtbron van een geschikt kristal met een specifieke toeslag van bepaalde atomen, bijv.
 robijnkristallen; Al_2O_3 kristal met een doping van 0,05% Cr atomen;
 $\lambda = 0,69 \mu$.
 Yttrium Aluminium Granaat (YAG) kristallen met 1% Neodymium atomen; $\lambda = 1,06 \mu$.
- c. Dooreen zeer sterke stroompuls door de sperlaag van een halfgeleiderdiode te sturen.
 bijv. de Galliumarsenide diodelaser; $\lambda \sim 0,9 \mu$.

Naast het proces van de gestimuleerde emissie is er de spontane emissie. Hieronder verstaat men de mogelijkheid, dat een atoom spontaan, dus zonder inducerend veld, van niveau 2 naar niveau 1 terugvalt. De straling, die daarbij uitgezonden wordt, noemt men fluorescentiestraling. Bij dit proces bestaat er geen enkel verband tussen de fase van de vrijkomende straling en een eventueel aanwezig veld.

Het geactiveerde lasermateriaal fungeert dus als een versterker voor elektromagnetische trillingen met lichtfrequenties. De fase van de licht-

trillingen blijft bij het versterkingsproces behouden. Men maakt hiervan een zender door een gedeelte β van de versterkte trilling weer in fase naar de ingang terug te koppelen.

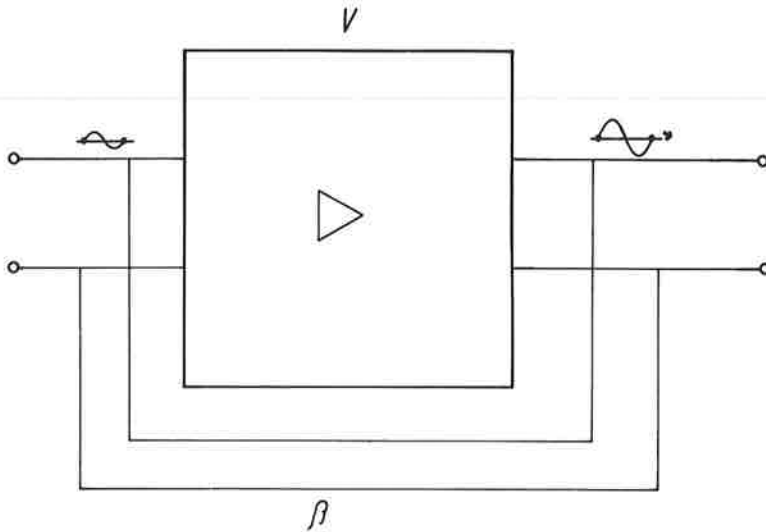


Fig. 3. Principe van een oscillator

De oscillatievoorwaarde bij een versterking V luidt:

$$\beta V = 1 \dots\dots\dots(3)$$

Bij een laser wordt deze terugkoppeling geëffectueerd door het materiaal tussen twee evenwijdige, loodrecht op de as staande, spiegels op te nemen. Door één van de spiegels een bepaalde doorlaatbaarheid te geven, kan men het opgewekte laserlicht uitkoppelen.

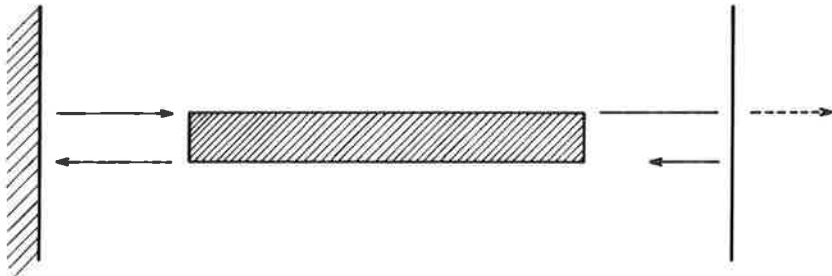


Fig. 4. Principe van de opbouw van een laser.

3. Eigenschappen van de resonator.

Wil het licht een groot aantal malen heen en weer gaan, dan moeten de spiegels nauwkeurig evenwijdig staan. Men kan berekenen, dat voor een dergelijke configuratie van twee evenwijdige op afstand geplaatste spiegels (resonator van Fabry en Perot) het aantal ruimtelijke patronen (modes) van het stralingsveld, dat geringe verliezen heeft, beperkt is.

In een vereenvoudigde voorstelling kan men de veldverdeling met de laagste verliezen opgebouwd denken uit in de asrichting heen en weer lopende vlakke-golven. Zelfs wanneer men de buigingsverschijnselen van het licht in rekening brengt blijkt, dat het resulterende veld op de uitkoppelspiegel nagenoeg met gelijke fase trilt (equifase vlak); zie fig. 5.

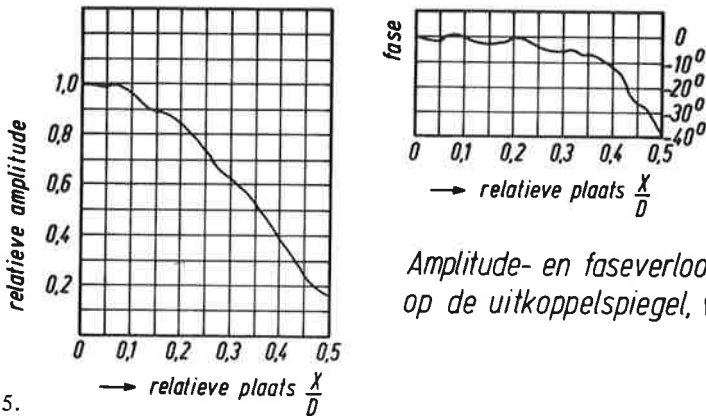


Fig. 5.

*Amplitude- en faseverloop
op de uitkoppelspiegel, volgens ⁹⁾.*

De verliezen in de resonator zijn alleen dan klein, wanneer de optische afstand tussen de spiegels gelijk is aan een geheel aantal halve golflengtes (resonantieconditie). Er bouwt zich dan een zeer intens veld ρ in de resonator op en de wisselwerking tussen veld en lasermateriaal is zo groot mogelijk (zie formule 2).

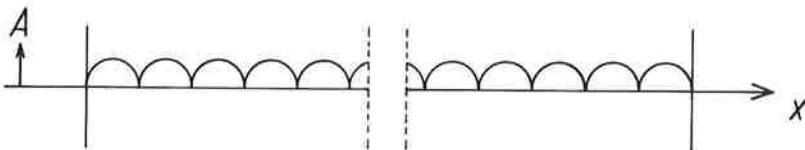


Fig. 6. Amplitudeverdeling langs de resonatoras.

Door de geringe verliezen en het grote aantal golven, dat op de resonatorlengte afgestemd kan worden, heeft de resonator een grote frequentieselectiviteit. Bij een kleine variatie in de golflengte "past" het veld niet meer in de resonator. Het frequentiespectrum van het uitgezonden licht is in fig. 7 geschetst.

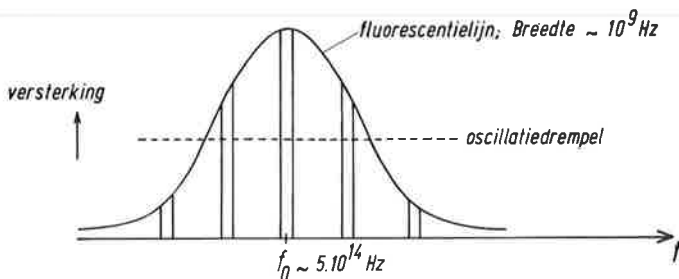


Fig. 7. Frequentiespectrum van de laserstraling. (He-Ne gaslaser.)

Het is dus mogelijk een laser in een beperkt aantal frequenties te laten trillen. Het uitgezonden licht is dus bijzonder monochromatisch. Opgemerkt moet worden, dat niet het atoom, doch de resonator bepaalt welke frequenties uiteindelijk uitgezonden worden.

4. Eigenschappen van het laserlicht; coherentie.

De genoemde eigenschappen maken, dat de uitgezonden laserstraling coherent is. Men onderscheidt:

Plaatscoherentieeigenschappen: Hieronder verstaat men de eigenschap, dat in een bepaald punt van de ruimte de fase van de lichtvector een vast verband heeft met die in de naastgelegen punten.

Tijdcoherentie: Men verstaat hieronder de eigenschap, dat in een punt van de ruimte de amplitude en de fase van de lichtvector op een bepaald moment een vast verband heeft met die op een tijdje eerder of later gemeten. Het tijdsbestek, waarover dit verband geldt noemt men de *coherentietijd*.

Bij een gloeilamp heeft de fase van het uitgezonden licht op een plaats 1 van de gloeilamp niets te maken met de fase van het licht door een naburig elementje 2 uitgezonden. De fase van het licht op een moment t_0 uitgezonden heeft geen enkel verband met die op een tijdje later of eerder uitgezonden. Dus bij een gloeilamp geen plaats- noch tijdcoherentie.

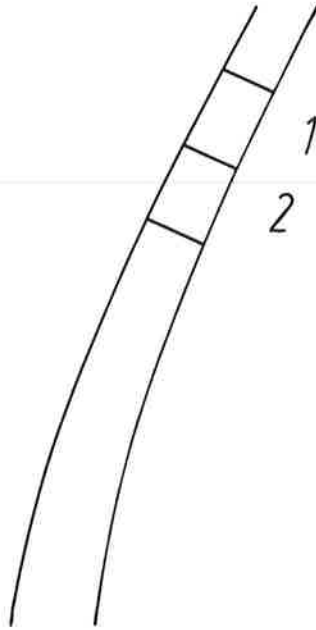


Fig. 8.

Gloeidraad.

Van het licht afkomstig van een ster geldt, dat de fase in een horizontaal vlak nagenoeg constant is. Tussen de fase van opeenvolgende golf-fronten bestaat er geen enkel verband. Dus wel plaatscoherentie eigenschappen, maar geen tijdcoherentie.

Het licht, uitgezonden door een laser onderscheidt zich door het feit, dat het zowel plaats- als tijdcoherentie eigenschappen bezit.

Het gevolg van de plaatscoherentie-eigenschap is, dat het laserlicht in een nauwe bundel wordt uitgezonden. De bijdragen van afzonderlijke gebiedjes binnen de apertuur D tellen alleen op in een richting loodrecht op de opening, omdat dan de optische weglengte voor alle elementjes dezelfde is en dus alle bijdragen dezelfde fase hebben. (Zie fig. 10) Het eerste nulpunt ligt in de richting $\text{tg } \varphi = \frac{\lambda}{D} \sim \varphi$. Er is dan nl. voor ieder elementje in de bovenste helft van de opening een elementje in de onderste helft met tegengestelde fase van de lichtvector. Het blijkt, dat de veldverdeling in een ver verwijderd punt de Fouriertransformatie van

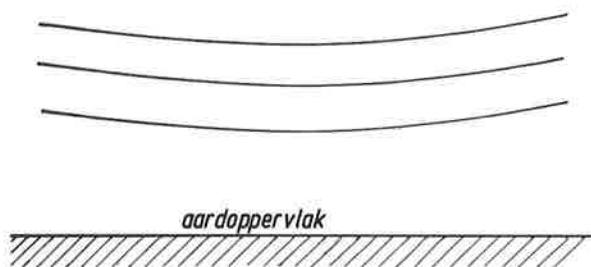
● *ster*

Fig. 9.

Straling van een ster.

de veldverdeling binnen de opening is. (Zie hoofdstuk 7.0).

Het verband $\varphi \sim \frac{\lambda}{D}$ is analoog aan dat voor een antenne voor radio- en radargolven. Bij een laser is de antennediameter zeer groot t.o.v. de golflengte van de straling en dientengevolge heeft de uitgezonden bundel dus een kleine spreiding.



Fig. 10.

Bundelspreiding van een laser.

De tijdcoherentieeigenschap heeft tot gevolg, dat het toelaatbare wegverschil bij interferometrische experimenten (fig. 11) veel groter is dan bij het gebruik van conventionele lichtbronnen. Het invallende licht wordt door een deelspiegel B in twee gedeeltes gesplitst. Na reflectie aan de spiegels Sp_1 resp. Sp_2 worden de bundels bij O weer verenigd. Wanneer het weglengteverschil gelijk is aan een oneven malen $\lambda/2$ doven de bundels elkaar uit. Bij een weglengteverschil gelijk aan een even aantal malen $\lambda/2$ wordt de intensiteit groter. Een dergelijke laserinterferometer wordt bijv. toegepast voor het zeer nauwkeurig instellen en verplaatsen van gereedschappen op een mechanische werkbank.

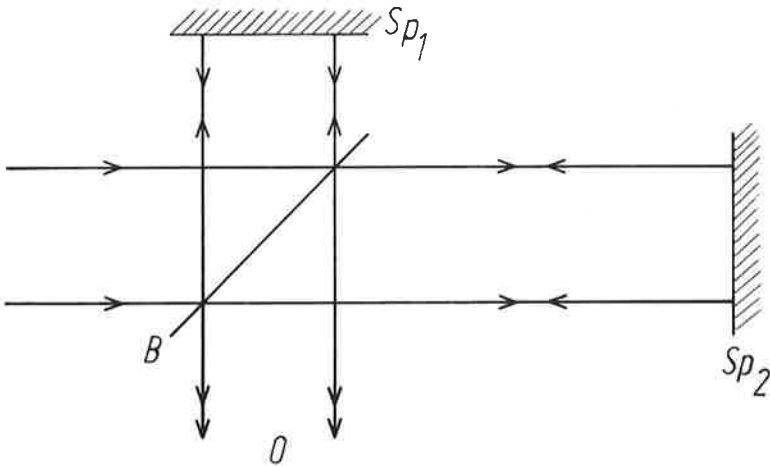


Fig. 11.

Michelson interferometer.

5.0. Uitvoeringsvormen en toepassingen van lasers.

5.1. Gaslasers.

Dit zijn meestal continu-lasers met goede coherentieeigenschappen. Voorbeelden:

5.1.1. De Helium-Neon gaslaser; golflengte $\lambda \approx 0,63 \mu$

afgegeven vermogen: 0,5 - 50 mWatt.

Deze laser wordt voornamelijk gebruikt voor het doen van optische precisemetingen (interferometrie) en als uitrictmiddel in één – en twee dimensies. De Helium-Neonlaser wordt als coherente lichtbron gebruikt bij de Holografie, bij het bewerken van beelden en geregistreerde signalen en bij de opslag van informatie (Zie Hoofdstukken 6 en 7).

TYPE	OPBOUW	GOLFL.	STOF
gaslaser		0.63 μ 1.15 3.37 0.33 0.50 10.6	He-Ne N ₂ Ar ⁺ CO ₂
diode laser		0.9	Ga As
vaste stof (vloeistof) laser		0.69 10.6	robijn (Cr ³⁺ in Al ₂ O ₃) Nd ³⁺ in glas of YAG

Fig. 12.

UITVOERINGSVORMEN VAN LASERS

5.1.2. De kooldioxyde (CO₂) gaslaser.

Het afgegeven vermogen bedraagt ca. 100 Watt continu bij een golflengte van 10,6 μ . Deze laser wordt toegepast voor de bewerking van materialen.

Veel onderzoekswerk wordt verricht om de CO₂ laser voor communicatiedoeleinden te gebruiken. De transmissie-eigenschappen van de atmosfeer bij deze golflengte zijn gunstig. De beschikbare bandbreedte is groot, zodat vele televisie- en telefoonkanalen tegelijk met een laser kunnen worden overgedragen.

5.2. Vaste-stoflasers.

In fig. 12 is de opbouw van een vaste-stoflaser geschetst. Het licht van de flitsbuis wordt door een cilindrische reflector in het lasermateriaal geconcentreerd. Nadat de flitsbuis ontstoken is groeit de bezettingsinversie aan, totdat de versterking groot genoeg is voor oscillatie. Het resultaat blijkt een zeer onregelmatig z.g. superregenatief trillingsverschijnsel te zijn. (zie fig. 13)

Daarom gaat men meestal als volgt te werk. Tijdens het ontsteken en branden van de flitsbuis onderdrukt men de terugkoppeling, bijv. door een van de spiegels schuin op de as te plaatsen. Wanneer de inversie maximaal is, herstelt men de terugkoppeling zéér snel. Alle in het materiaal opgeslagen energie komt dan in één enkele, zéér intense puls vrij.

Piekvermogen: 1 – 10.000 Megawatt

Pulsduur: 10^{-9} – 10^{-8} seconde

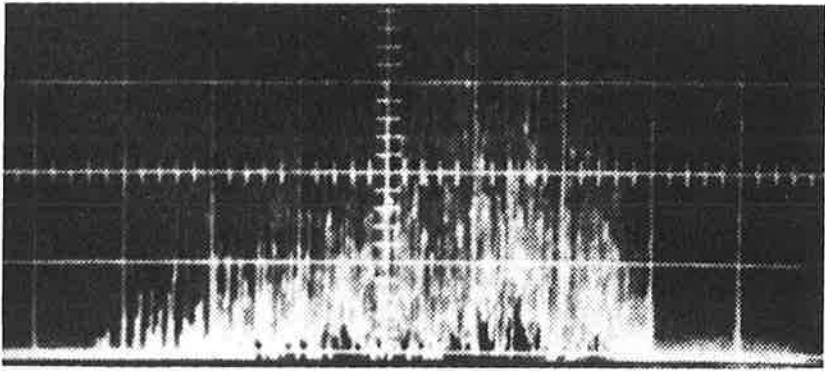


Fig. 13. Straling van een robijnlaser bij stationaire resonator; horizontaal 200 μsec /eenheid.

In een praktische uitvoering gebruikt men een roterende reflector of een elektrooptische sluiters om deze laserpuls op te wekken.

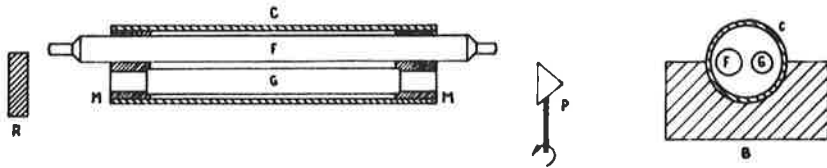


Fig. 14. Vastestoflaser met roterend 90° dakkant-prisma.

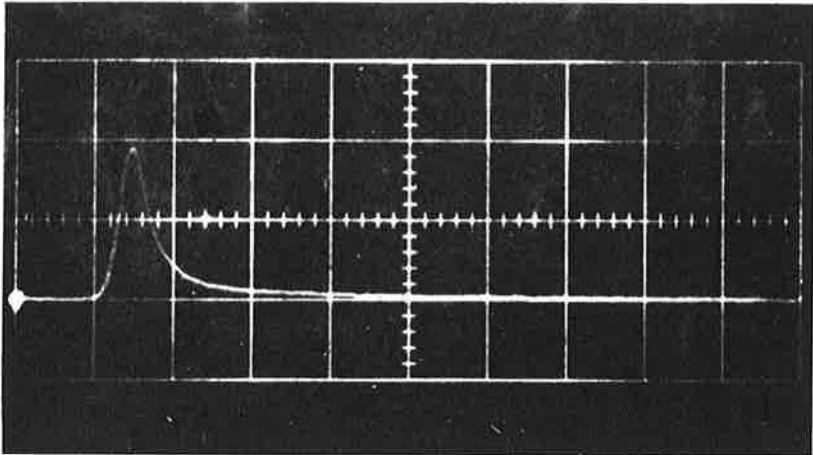


Fig. 15. Gedaante van de puls van een neodymiumlaser met roterend 90° dakkant-prisma.
(draaisnelheid prisma: 24.000 r.p.m.)
Horizontaal: 50 nanoseconde/eenheid
Verticaal: 1 Megawatt/eenheid.

5.2.1. Afstandmeting met een gepulste vaste-stoflaser.

Met een dergelijke vaste-stoflaser is het mogelijk afstanden tot ver verwijderde doelen nauwkeurig te meten. Het uitgezonden licht valt op het doel en wordt in alle richtingen verstrooid. Een klein gedeelte van de verstrooide straling wordt in een ontvangers opgevangen en geeft een signaal in een in het brandvlak geplaatste fotodetector.

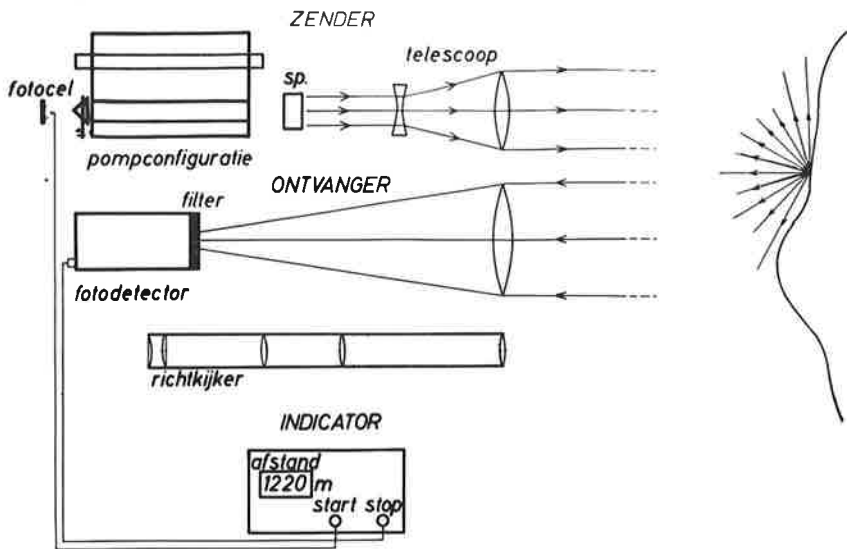


Fig. 16. Principe van de afstandmeter.

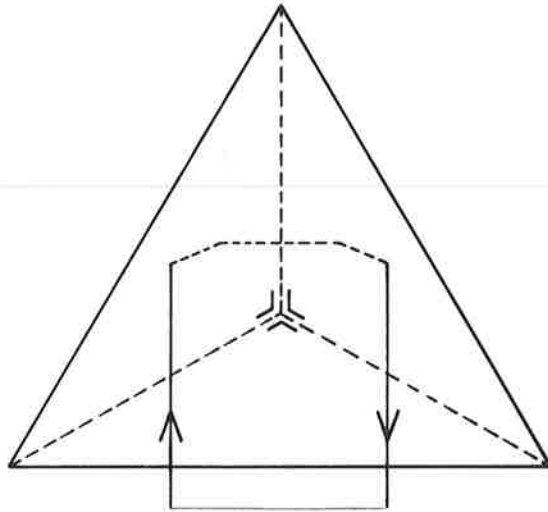
Het tijdsverloop tussen het uitzenden en de ontvangst wordt gemeten met een elektronische teller. De nauwkeurigheid in de afstandsmeting is ca. 1 m. De bundelspreiding wordt door de in omgekeerde richting werkende telescoop nog meer verkleind. Het is dus mogelijk afstanden tot vlak naast elkaar gelegen doelen afzonderlijk te meten.

De diffuse verstrooiing door het doel geeft een enorme verzwakking. Bij een z.g. hoekreflector (fig. 17) wordt het licht in de invalrichting teruggekaatst. Voor de meting van de afstand tot de maan is daarom een hoekreflector op het maanoppervlak geplaatst.

5.2.2. Niet-lineaire optica.

Het is mogelijk de laserstraling met een lens in een zeer kleine ruimte te concentreren. De veldsterkte kan dan dezelfde orde van grootte bereiken als de inwendige veldsterkte in atomen. Allerlei niet-lineaire optische verschijnselen kan men met behulp van lasers bestuderen.

Het is b.v. mogelijk in bepaalde stoffen laserstraling met de dubbele



Hoekreflector.

Fig. 17.

frequentie op te wekken. Bij instraling met een neodymiumlaser ($\lambda = 1,06 \mu$) in een kristal van kaliumdihydrofosfaat (KDP) kan groen licht ($\lambda = 0,53 \mu$) worden opgewekt.

De grote veldsterkte kan o.m. worden aangetoond, doordat bij focussering in lucht doorslag kan optreden.

5.2.3. Materiaalbewerking; Medische toepassingen.

Robijn- en Neodymiumlasers worden toegepast bij de bewerking van materialen, o.a. voor het maken van gaatjes in diamanten trekstenen, waarmee metaaldraden getrokken worden.

Bepaalde oogafwijkingen (netvlies loslatingen) kunnen met een laser geheeld worden. Men onderzoekt de mogelijkheid om door combinatie van een lichtgeleider (fiber-optics) met een laser operaties in moeilijk toegankelijke organen van het menselijk lichaam uit te voeren (blaas, nierbekken, maag).

6.0. Holografie:

De betekenis van het woord holografie is alles opschrijven. De pretentie van de holografie is het weergeven van 3-dimensionale taferelen, inclusief diepte en parallax, door registratie op een 2-dimensionale fotografische plaat.

Alvorens de principes van de holografie te beschrijven is het nuttig na te gaan, wat er gebeurt bij het waarnemen van een voorwerp. Het opvallende licht wordt in de afzonderlijke punten van het voorwerp ver-

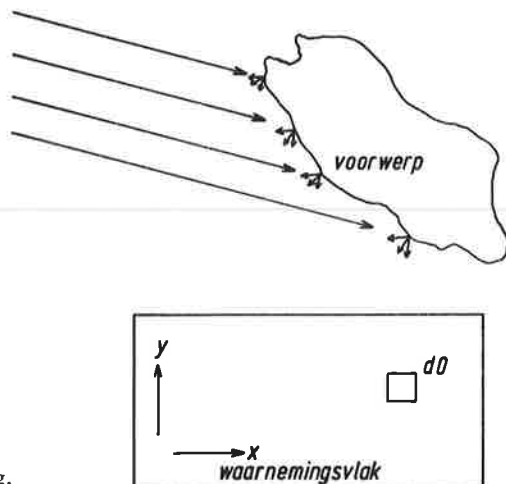


Fig. 18. Waarneming.

strooid. Daardoor ontstaat er in het waarnemingsvlak een veldverdeling $E_v(x, y)$. In elk vlakje dO is het resulterende veld opgebouwd uit bijdragen van het gehele voorwerp. Plaatsen we onze oogpupillen in het waarnemingsvlak dan levert dat de sensatie van het voorwerp ruimtelijk te zien, omdat op de ene pupil een iets ander veld invalt dan op de andere. Verplaatsen we onze ogen, dan zien we het voorwerp van een ander gezichtspunt uit, omdat het veld in die positie anders is.

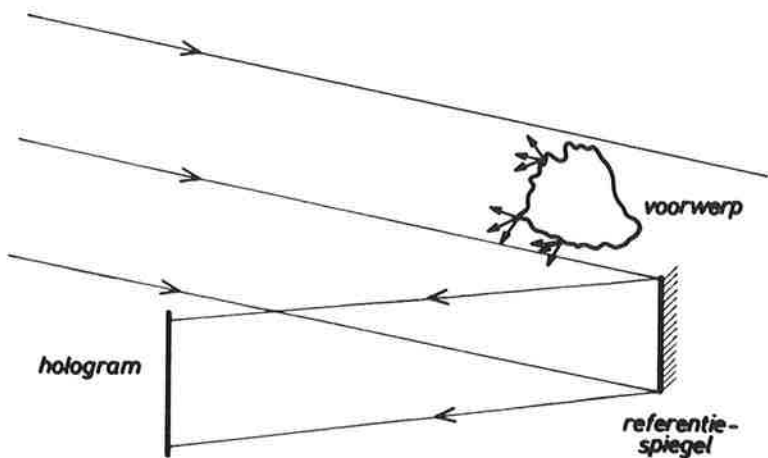


Fig. 19.

HOLOGRAFIE: OPNAME

We hebben dus alles geregistreerd, wanneer we kans zien deze veldverdeling $E_v(x, y)$ in grootte en in fase op een fotografische plaat vast te leggen. Dit wordt verwezenlijkt door de veldverdeling, afkomstig van het voorwerp tezamen met de veldverdeling E_R afkomstig van een goed gedefinieerde referentiebron, op een fotografische plaat te laten vallen. Het is daarbij in het algemeen noodzakelijk, dat er een vast faseverband heerst tussen het licht, dat op het voorwerp valt en het referentielicht. In de praktijk splitst men daartoe het uitgezonden licht van een laser in een gedeelte dat op het voorwerp valt, en een gedeelte dat als referentie gebruikt wordt.

Na het ontwikkelen plaatsen we de fotografische plaat in dezelfde positie en laten het referentielicht uit de oorspronkelijke richting invallen. Men kan aantonen, dat in het vlak van de fotografische plaat de veldverdeling $E_v(x, y)$, afkomstig van het voorwerp, wordt gereconstrueerd. Kijken we naar de aldus belichte plaat dan zien we het voorwerp, inclusief diepte. Verplaatsen we de ogen, dan uit zich de parallax in het tafereel.

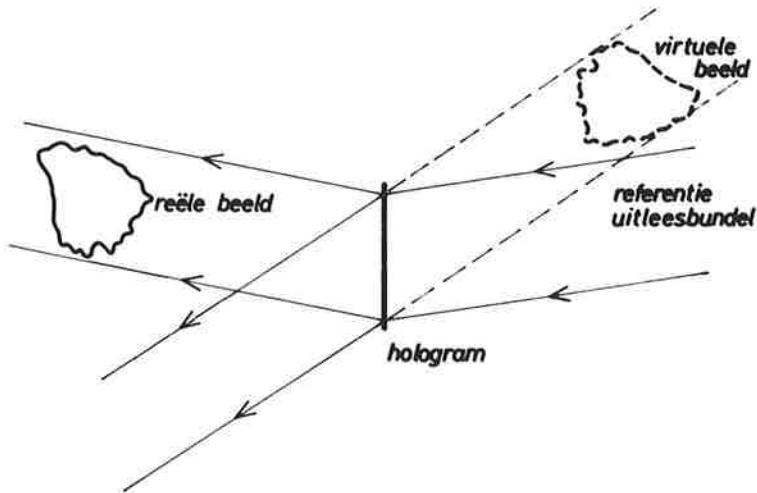


Fig. 20.

HOLOGRAFIE: RECONSTRUCTIE

6.1. Toepassing van de holografie voor de opslag van informatie.

Elk gebiedje ter grootte van de oogpupil bevat dus vrijwel alle gegevens betreffende het gehele voorwerp. Op een hologram staat dus erg veel informatie geregistreerd. In plaats van voorwerpen kan men ook bepaalde gegevens, die in een code van zwarte of witte hokjes geregistreerd staan, in een hologram vastleggen. Men probeert holografische geheugens te construeren. De theoretische capaciteit is zodanig, dat de

volledige inhoud van 15 boeken van 500 pagina's met 500 woorden per pagina op een hologramplaat van 10 cm x 10 cm opgeslagen kan worden.

6.2. Toepassing van de holografie als correlator.

Men kan het gereconstrueerde voorwerp vergelijken met het werkelijke voorwerp. Op deze wijze kan men verschillen tussen een kopie en

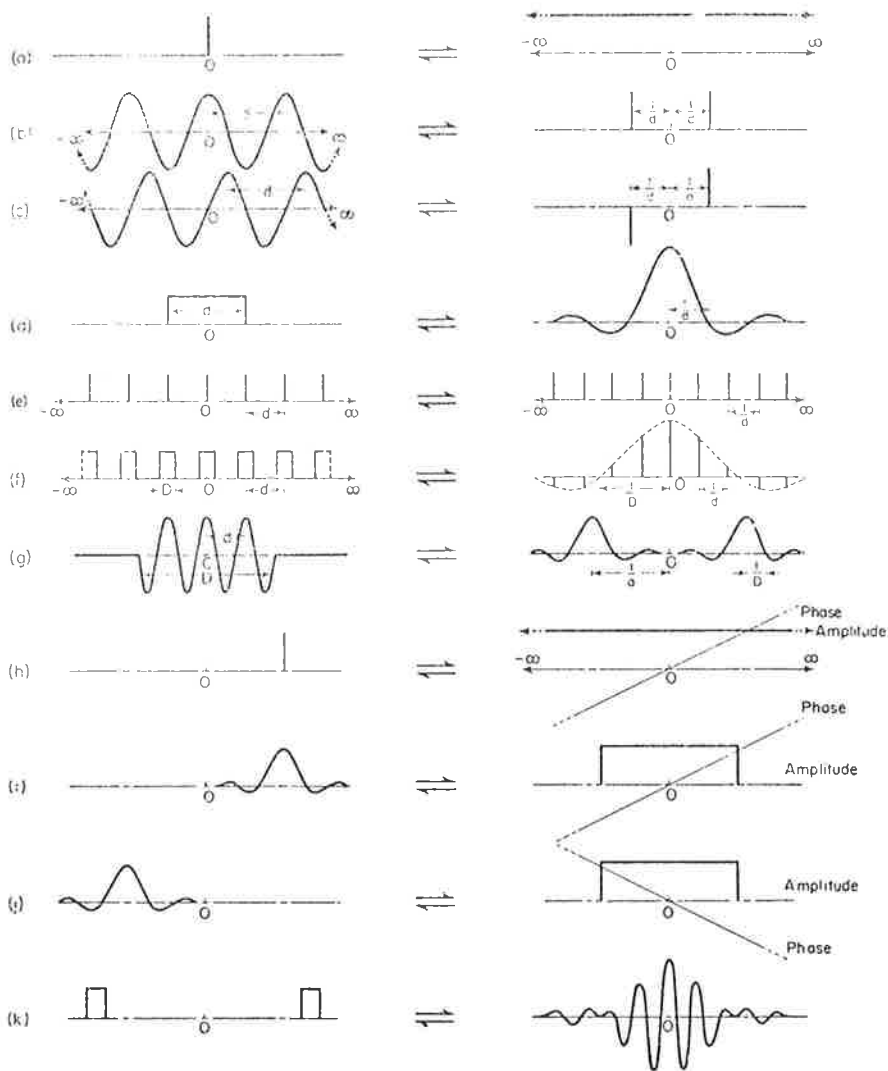


Fig. 21. Enkele voorbeelden van Fouriertransformaties.

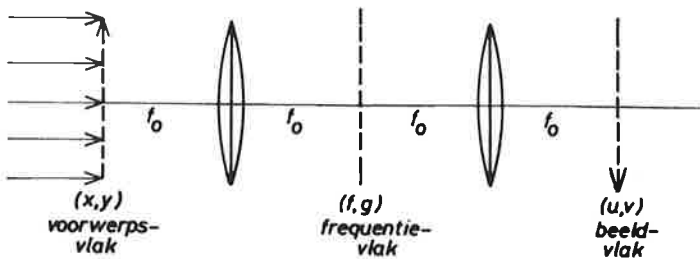
de op het hologram vastgelegde "master" zeer nauwkeurig bepalen. In plaats van voorwerpen kan men de vorm van een geregistreerd *ontvangen* signaal vergelijken met die van het *uitgezonden* signaal. Wanneer het ontvangen signaal lijkt op het uitgezonden signaal spreekt men van correlatie. Een dergelijke verwerking van signalen noemt men *correleren*; het instrument heet een correlator. Het voordeel van de toepassing van coherente optica is opnieuw de enorme capaciteit van een dergelijke correlator.

7.0. Fouriertransformaties met behulp van coherent licht.

Het blijkt, dat de veldverdeling in het beeldbrandvlak van een lens de Fouriertransformatie is van de veldverdeling in het voorwerpsbrandvlak. Men moet de veldverdeling in het voorwerpsvlak ontbonden denken, bijv. in cosinustermen (zie fig. 21)

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n x + \varphi_n) \quad (1\text{-dimensionaal})$$

De frequenties f_n noemt men de plaatsfrequenties van de veldverdeling in het voorwerpsbrandvlak. Het blijkt, dat er voor elke f_n in het beeldbrandvlak twee, symmetrisch t.o.v. de oorsprong gelegen, puntvormige intensiteitsverdelingen met sterkte a_n^2 komen. De afstand tot de as is evenredig met f_n .



FOURIERTRANSFORMATIE } MET COHERENT LICHT
OPTISCH FILTEREN

Fig. 22.

7.1. Optisch filteren.

Met een tweede lens is het mogelijk een afbeelding van het voorwerp te maken. Door in het frequentievlak bepaalde frequenties te onderdrukken of te bevoordelen is het mogelijk de beeldoverdracht van het systeem te beïnvloeden. Men kan op deze wijze een hinderlijk raster elimineren of ongewenste informatie onderdrukken. De interessante informatie in het voorwerp wordt dan gemakkelijker waarneembaar.

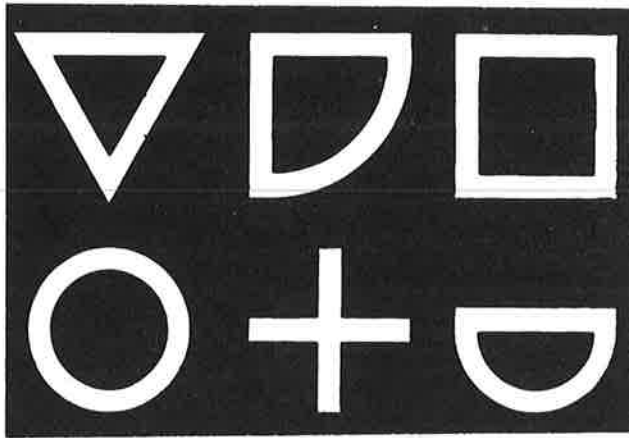


Fig. 23. Ongefilterd voorwerp.

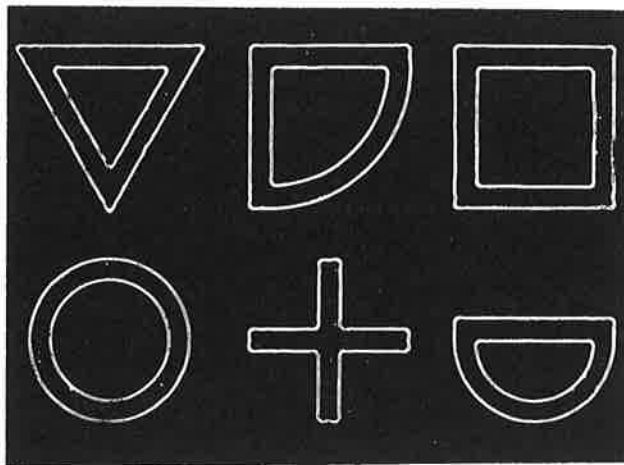


Fig. 24. Afbeeldingsresultaat na het optisch filteren.

In de figuren 23 en 24 is aangegeven hoe men door het onderdrukken van de "gelijkspanningsterm" a_0 en de lage plaatsfrequenties van een bepaald voorwerp, alleen de contouren kan afbeelden.

7.2. Toepassing van een optische Fouriertransformatie en holografie in een correlatoropstelling (Matched-filter correlator).

Een zeer speciaal filter wordt verkregen door de optische Fouriertransformatie van de veldverdeling, afkomstig van een bepaald symbool,

in grootte en in fase vast te leggen. Dit geschiedt holografisch door de veldverdeling in het frequentievlak tezamen met een referentieveldverdeling op een fotografische plaat te laten vallen (fig. 25).

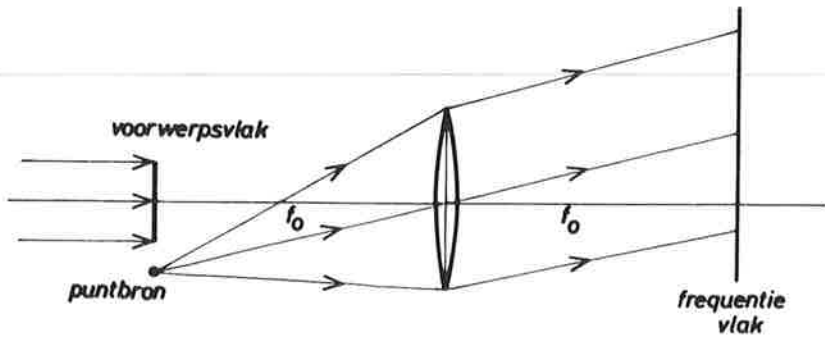


Fig. 25.

MATCHED-FILTER: OPNAME

Presenteert men nu in het voorwerpsvlak van de opstelling van fig. 26 een diapositief met een aantal symbolen, waaronder degene, waarvan het filter gemaakt is, dan verschijnt in het beeldvlak een stip op de plaats(en), waar dit symbool zich op de betrokken dia bevindt.

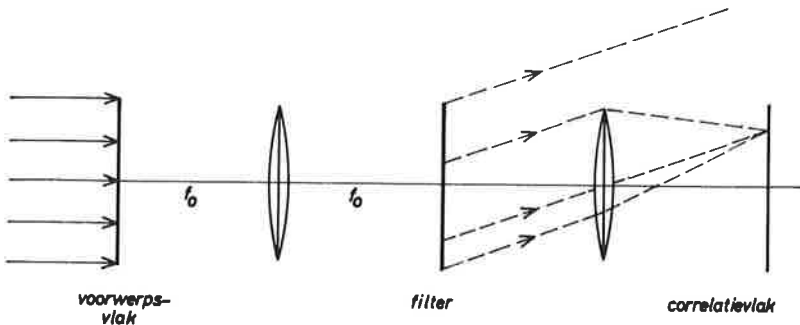


Fig. 26.

MATCHED-FILTER CORRELATOR

Met een dergelijke opstelling kan men dus snel de gewenste informatie aan een groot arsenaal onttrekken. Om een eenduidige aanwijzing te krijgen moeten de verschillende symbolen zoveel mogelijk van elkaar verschillen, m.a.w. de kruiscorrelatie moet zo klein mogelijk zijn.

In fig. 27 is een diapositief met 4 symbolen gegeven.

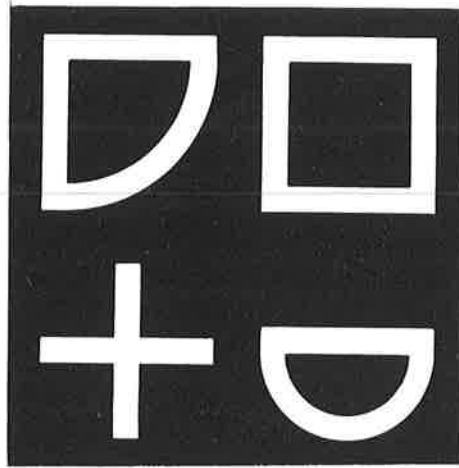


Fig. 27.

Van het symbool links boven is een matched-filter gemaakt. In fig. 28 is het correlatie resultaat gegeven. Men ziet, dat er naast de gewenste autocorrelatie linksboven nog een sterke kruiscorrelatie met het symbool rechtsboven optreedt.

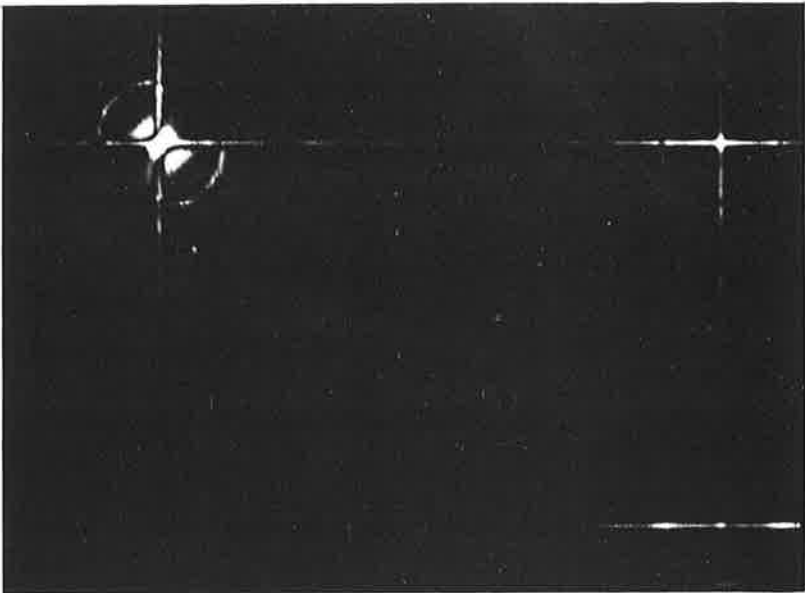


Fig. 28.

Résumé:

Een laser is dus een *zender* voor lichtgolven. De diameter van de antenne is zeer groot t.o.v. de golflengte van de uitgezonden straling. De uitgezonden bundel heeft dan ook een kleine spreiding.

Met vaste-stoflasers kan men zeer korte lichtpulsen met piekvermogens van vele Megawatts opwekken. Hiermee kan men afstanden tot ver verwijderde doelen nauwkeurig meten. Ook kan men hiermee niet-lineaire optische verschijnselen bestuderen.

Gaslasers worden vooral daar toegepast waar goede coherentieeigenschappen geëist worden, dus voor optische precisiemetingen. Een belangrijke toepassingsmogelijkheid is de opslag en verwerking van informatie; de constructie van optische geheugens en correlatoren.

Speciale vermelding verdient de kooldioxyde (CO_2) gaslaser. Deze laser wordt reeds gebruikt voor de bewerking van materialen. Daar het continu afgegeven vermogen erg groot is en de transmissieeigenschappen van de atmosfeer bij deze golflengte gunstig zijn is er een mogelijke toepassing voor communicatiedoeleinden.

Literatuur.

Boeken.

B. A. Lengyel; Introduction to Laser Physics: J. Wiley & Sons, Inc., New York, London, 1966.

J. W. Goodman; Introduction to Fourier Optics: Mc Graw-Hill Book Cy, New York, London, 1968.

Artikelen:

1. C.H. Townes; 1964 Nobel Lecture; The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Spectrum 2 (no. 8), (Augustus 1965) p. 30 – 43.
2. A.L. Schawlow; Advances in Optical Masers: The Scientific American 209, no. 1 (July 1963). p. 34.
3. A.L. Schawlow; Laser Light: The Scientific American 219, no. 3 (September 1968). p. 120.
4. E.Leith & J. Upatniecks; Photography by Laser: The Scientific American 212, no 6 (june 1965). p. 24
5. L.K. Anderson; Holographic Optical Memory for Bulk Data Storage; Bell Laboratories Record 46, no. 10 (november 1968) p. 318.
6. R.J.Collier; An Up-to-date look at Holography; Bell Laboratories Record 45, no. 4 (april 1967) p. 102
7. D.F. Nelson; The Modulation of Laser Light; The Scientific American, 218, no. 6 (June 1968). p. 17.
8. W.T. Gunston; Practical uses of lasers; Science Journal, 2 no 6 (june 1966) p. 32.
9. A.G. Fox en T. Li; Resonant Modes in a Interferometer. Bell System Technical Journal 40, no 2 (maart 1961), p. 453.

