

VALOKUVA

FINNISH PHOTOGRAPHY

4 · 84



Valokuva Jussi Pohjakallio

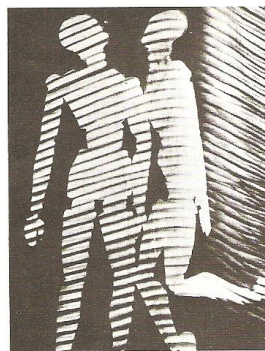
AKSELI GALLÉN-KALLELA, Ad Astra, Sääksmäki 1894. Jalkapaino kullottu

HOLOGRAMMI
KOKONAINEN KUVA

889402-4-04



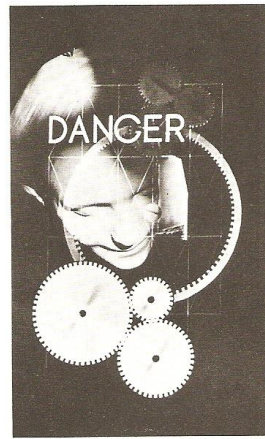
1



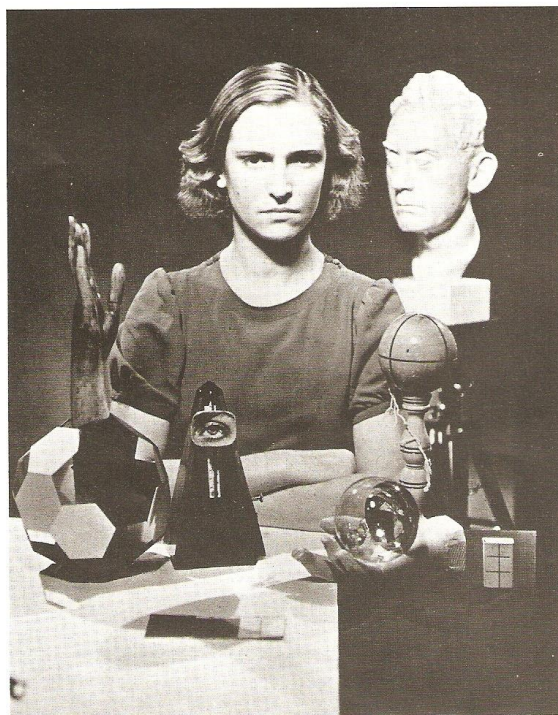
2



3



4



5

1. WAYNE E. GARCIA,
Siivitetty aurinko, 1983
2. MAN RAY
3. LASZLO MOHOLY-NAGY,
Pistooli
4. MAN RAY
5. MAN RAY

20

Hannu Salakan kolmen rivin runossa on sukulaisuutta edelliseen:

*Syrytän valon / ja sammutan sen,
/ odotan nähdäkseni jälleen niin-
kuin valostuisti.*

Valon ääniä

Kirsi Kunnas kysyy kokoelmassaan "Kun kuva meissä":

*Yöt, missä ovat yöt / joita eivät
enää tähtien äänet / tavoita.*

Ja nuoren runoilija Kai Raumo-
sen "Valohaitarissa":

*Pappa soittaa / mustavalkohaita-
ria. / Iltaiseen ruohikkoon on pits-
kottunut vadelmaa ja pääskysen
lentoa.*

*Pappa soittaa / Välillä ilma rypis-
tyy heliseviksi / tuoksuviiksi pape-
rilyhdyiksi, / joita metsästä palaa-
va tuuli heiluttaa. / Auringon valo;
värisevinä perhosina / ja kuiskauksina ne lipovat / haitaria.*

Runoutemme grand old manin,
Viljo Kajavan, runossa vesi on va-
lon instrumentti ja sävellys:

*Valoisan vedenkohinan lävitse /
mitä kuulenkaan! / Merivuokko-
jen pehmeiden huulien / hiljaisen
kuiskauksen aamulle; / ja korall-
linpunaisten evien / viuhkanlii-
kahdukset syvyydessä.*

Vedenvalossa / taivas laulaa.

Sanat — siitepölyn verran

'Valonkuvia' kirjoittaneita runoi-
lijoita ja imponoivia runoja on to-
della runsaasti. Löytämisen iloa
voi kokea vaikkapa Bo Carpelania,
Rakel Liehua, Liisa Immosta, Paa-
vo Haavikkoa, Aale Tynniä ja
Sirikka Turkkaa lukiessaan.

Tiivistelmäksi valo-teeman seu-
railemiseen sopinee runoilijan
omat sanat. Otan Risto Ahdin ru-
non "Valo":

*Valo menee sanoihin kuin aurinko
taloön / suurista ikkunoista. Mut-
ta sanoilla voidaan / kuljettaa va-
loa vain hiukan, siitepölyn ver-
ran, hunajapisaran verran.*

*Silmistäsi olen nähnyt valon.
Paratiisi kuin hanhilampi, / ve-
neet hanhia täynnä, hukkumisen
ilo, vedenalainen puutar- / ha,
heijastus.*

*Tarvitaan suuri rinnan täyttävä
kukka, jonka sanat hedel- / möit-
tävät. / Oi sinä, kuka tahansa,
muista korviesi kultaisia / käytä-
viä, silmiesi hunajakkenoja, ihosi
merta.*

*Kerran ja vielä uudestaan sano-
jen valon on sinut hedelmöi- / tet-
tävä ja vangittu lumme repii öisen
vankilansa.*

LÄHTEET

Runokokoelmien lisäksi seuraavat läh-
teet:

Väinö Kaukonen, Kalevalaista kuva-
taidetta Saksan Liittotasavallassa, Suo-
menmaa 2. 2. 82.

Z. Topelius, Lehtisiä mietekiijastani.
Artikkeli "Valo". suom. Juhani Aho.
Porvoo 1898. (Postuumi).

H O L O G

kreikan kielestä
holos: kokonainen
graphis: kuva, viesti

Hologrammi-sanan otti käyttöön Dennis Gabor (1900—1979), unkarilaissyntyinen tiedemies, joka 1947 esitti teorian tasolle, tavalliselle valokuvalle, saatavasta aidosti kolmiulotteisesta kuvasta.

Teoria oli mieleton. Etenkin niille, joiden maailmankuva — tieteellinen, yhteiskunnallinen tai taiteellinen — oli valmis ja jolle he olivat luvanneet uskollisuutta. Kannustuksen sijasta Dennis Gabor sai osakseen syrjintää. Nobelin palkinto 1971 tuli hänelle kuin anteeksipyyntönä 23 vuoden kuluttua keksinnöstä.

Ajatus kolmiulotteisesta kuvasta ei ollut uusi. Dennis Gaborin kehittämä tekniikka sen luomiseksi oli mullistava.

Niin kauan kuin valo ja kuva ovat kiehtoneet ihmisen mieltä niin kauan hän on etsinyt uusia ulottuvuuksia ja keinoja kertoa niistä.

Kiinalainen taiteilija maalasi taulun ja käveli sen maisemaan. Dennis Gaborin hologrammien luomassa valotilassa voi käydä jokainen katselija.

1947 Unkarilainen Dennis Gabor esittää Englannissa kolmiulotteisen valokuvamenetelmänsä, jonka tulosta hän kutsuu hologrammiksi.

1948 Dennis Gabor valmistaa ensimmäisen hologramminsa. Koherentin valon lähteenä on elohopeahöyrylamppu. Kuva on heikko ja suttuinen. Se ei herätä tiedemiesten eikä yleisön kiinnostusta.

Gabor julkaisee tutkimustuloksensa Nature-lehdessä "A New Microscopic Principle" -artikkelissa. Vastauksena on skeptisyys ja hiljaisuus, joilla Gaborin hologrammi leimataan keksinnöksi, jolla ei ole tulevaisuutta.

Kymmenen vuoden hiljaisuus.

1958 Samanaikaisesti Yhdysvalloissa ja Neuvostoliitossa julkaistaan Maser-teoria, joka luo pohjan laserin kehittämiseksi.

1960 Maailman ensimmäisen laserin, rubiini pulssilaserin kehittää Yhdysvalloissa Theodore H Maiman.

1961 Amerikkalaiset Emmett Leith ja Juris Upatnieks toistavat Gaborin kokeet käyttäen laseria koherentin valon lähteenä ja lisäävät hologrammin mahdollisuuksiin uskovien määrää.

Neuvostoliittolainen Juri N Denisjuk kehittää tekniikan, jolla hologrammia voidaan katsoa valkoisessa valossa.

Ensimmäiset värihologrammikokeilut Yhdysvalloissa.

1962 Denisjuk-Lippman hologrammimenetelmä

1964 Laserin kehittäjät, amerikkalaiset Schawlow ja Townes ja neuvostoliittolaiset Prokhorov ja Basov palkitaan Nobelilla.

1965 Yhdysvalloissa ja Japanissa kehitetään 360° multiplex -hologrammi, jossa täysikulmainen kuva syntyy sylinteriksi käännetyin hologrammifilmin keskelle.

Liike saadaan hologrammeihin. Valmistetaan ensimmäiset hologrammit, jotka sisältävät useita eri kuvia.

Tietokoneen piirtämä hologrammi esitellään Yhdysvalloissa. Samoin interferometria, holografian teollinen sovellutus, joka on sen levinnein käyttö tänä päivänä.

1966 Ensimmäisen hologrammin ihmisestä käyttäen pulssilaseria valmistaa amerikkalainen L. D. Siebert.

Dennis Gaborista tehdään hologrammimuotokuva.



Stephen Benton katsoo maailmaa Crystal Beginning hologramminsa takaa. Benton tunnetaan valkoisen valon läpäisyhologrammimenetelmän keksijänä. Kuva MOH.

1967 Dikromaattista gelatiinia aletaan käyttää hologrammin tallennukseen.

1968 Stephen Benton kehittää sateenkaari-hologramminsa.

Ensimmäinen hologrammigalleria avataan Ann Arborissa Yhdysvalloissa.

Ruotsalainen taiteilija Carl Frederic Reuterswärd aloittaa hologrammikokeilut fyysikko Hans Bjelkhagenin kanssa ja ryhtyy käyttämään laseria tilateoksissaan. Työt jäävät Tukholman ja Pariisin Modernin taiteen museoiden kokoelmiin.

1969 Margaret Benyon avaa ensimmäisen yhden taiteilijan hologramminäyttelyn

Amerikkalaiset taidemuseot ja galleriat esittelevät yksittäisiä hologrammitöitä.

Ensimmäiset kokeilut ultraääniholografiassa, jossa ääniaaltoja käytetään kuten valoaltoja kuvan tekemisessä.

1970 Eliel Saarisen perustamassa Cranbrookin Taideakatemiassa Michiganissa järjestetään maailman ensimmäinen hologrammitaitteen näyttely.

1971 Dennis Gabor saa Nobelin palkinnon.

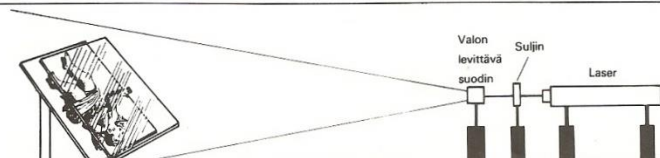
1972 Nils Abramson esittää teoriansa valonsäteen kuvaamiseksi holografialla Applied Optics -lehdessä.

Carl Frederic Reuterswärd julkaisee ensimmäisen signeeratun hologrammisarjan Finger Language Ruotsissa yhteistyössä fyysikko Hans Bjelkhagenin kanssa.

Salvador Dali suunnittelee hologrammisarjan

Laseritutkimus taantuu, kun Yhdysvalloissa asetetaan tiukat turvamääräykset laserin käytölle.

Carl Fredrik Reuterswärdin Käsikieli (1972) on hologrammitaitteen vathaisia merkkipaaluja. Työ kuuluu Tukholman ja Pariisin Modernin taiteen museoiden kokoelmiin. Kuva: Hologram Gallery, Tukholma.



Neuvostoliittolaiset ja ruotsalaiset käyttävät museohologrammien tekemisessä enimmäkseen Lippman-Denisjuk-menetelmää; kohteen taakse asetetaan peili. Kuva: Hologram Gallery, Tukholma.

R A M M I

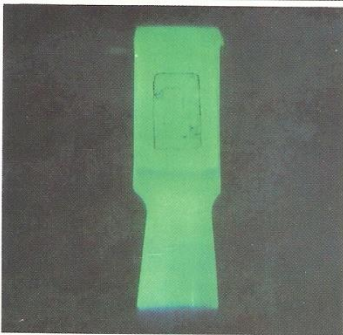
Joensuun korkeakoulussa aloitetaan holografiatutkimus professori Rauno Hämäläisen johdolla.

1974 Lasergruppen Hologvision, ensimmäinen pohjoismainen hologrammistudio, aloittaa Tukholman Gärdetissä erikoistuen museodokumentointiin. Hologrammi "Kiinalainen hevonen" kuvataan kiinalaisen taiteen näytellystä.

Milon Venus kuvataan 1 x 1,5 m kokoiseksi hologrammiksi Ranskan Besanconissa.

Ensimmäiset painetut hologrammit Oulun yliopiston sähkötekniikan osastolla aloitetaan ultraäänihologra-

Holografian surrealisia: Vasara. Light Fantastic. Kuva: Petri Nuutinen



fian tutkimus apulaisprofessori Antti Tauriainen johdolla.

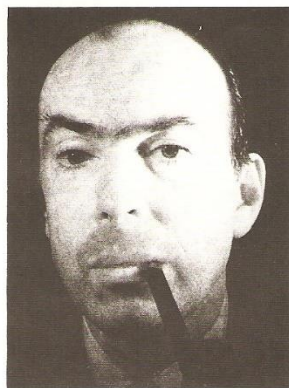
1975 ICP (International Center of Photography) järjestää New Yorkissa Holografia 1975 -näyttelyn ja kerää ensimmäistä kertaa tiedemiehet ja taiteilijat laajaan yhteistyöhön.

1976 Pohjoismaiden ensimmäisen hologramminäyttelyn Holografi — det tredimensionella mediet järjestää New Yorkin Hologrammimuseo Tukholman Kulttuuritalossa.

Hologrammeja ja videotaidetta esitellään Tukholmassa Eero ja Timo Solinin La Paloma galleriassa, joka tunnetaan suomalaisen taiteen esittäjänä Ruotsissa.

1977 Light Fantastic -näyttely Lontoon Taideakatemiassa. Järjestäjänä rock-yhtye The Whon Holoco-yhtiö. Näyttely ylittää kaikki Lontoon arvokkaimman näyttelypaikan yleisöennätykset.

Viktor Komar tuottaa Neuvostoliitossa 47 sekuntin mittaisen hologrammielokuvan noin 12 katsojalle.



Tällä hologrammilla tukholmalainen silmäsäpesialisti Björn Tengroth todisti, ettei Nils Abramsonin kehittämä laserkuvausmenetelmä vahingoita mallin silmiä. Ensimmäinen ruotsalainen muotokuvahologrammi valmistettiin 1979. Kuva: Hologram Gallery, Tukholma.

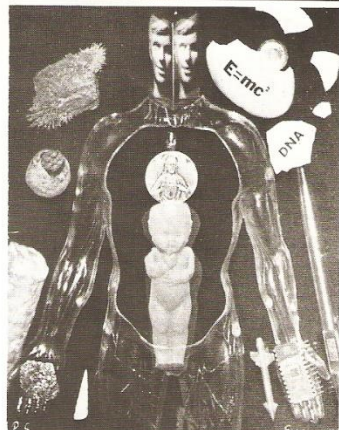
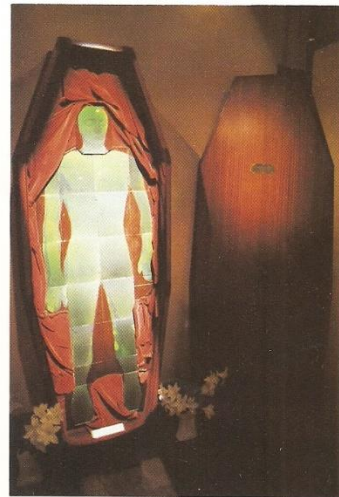
Juri Denisjukille omistettu hologrammigalleria avataan Leningradissa.

1978 Light Fantastic II näyttely kerää Lontoossa 250 000 katsojaa.

Japanin ensimmäinen hologramminäyttely Liisa valomaassa Tokion Isetan tavaratalossa

Lontoon ensimmäinen hologrammigalleria Hologram Place.

1979 Holograafikko Per Skande ja Hans Bjelkhagen tekevät ensimmäisen eurooppalaisen hologrammimuotokuvan. Mallina on Karolinska Institute-



Ylempi kuva: Adrian Lines: Kuolleen taiteilijan muotokuva. 22-vuotias hologrammitaiteilija taistelee uuden ilmaisuvälineensä puolesta kuin Hippolyte Bayard valokuvan varhaisvuosina. Kuva: Aapo Pekari/Light Dimensions -näyttely Lontoo 1984.

Taidehologrammin kehittäjä Ruotsissa: Valokuvaaja Hans Esseliuksen Mandala 1980. Kuva: Hologrammi Galleria, Tukholma

tin silmäprofessori Björn Tengrot, joka näin todistaa kuvauksen vaarattomuuden silmille.

Stephen Benton esittelee neljän värin hologramminsa.

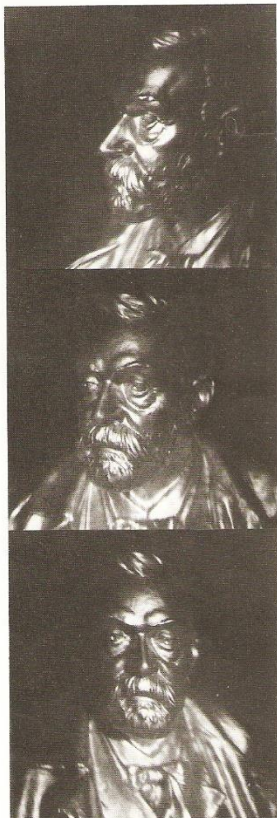
Kölnissä, Pariisissa ja San Franciscossa avataan hologrammigalleriat.

1980 Light Fantastic Gallery avataan Lontoon Covent Gardenissa. Photographer's Gallery järjestää Lontoossa hologrammitaidenäyttelyn Light Years Away.

1981 Suomessa esitellään hologrammeja Neuvostoliiton kulttuuri- ja tiedekeskuksen näyttelyssä.

Light in Flight: Nils Abramson py-
sättää valonsäteiden hologrammiin.
Hän kuvaa valoallon, kun se läpäisee
linssin; toisessa kuvassa valoalto hei-
jastuu peilistä. Ruotsin tiedeakatemia
palkitsee kuvauksen vuoden tiedete-
kona.

Mona Forsberg ja Lasergruppen Holo-
vision avaavat ensimmäisen pohjois-
maisen hologrammigallerian Tukhol-
massa.



Nämä kolme kuvakulmaa ovat samas-
ta hologrammista. Alfred Nobel pat-
saan kuvasi 50 x 60 cm lasilevyllä 1981
Per Skande.

- 1982 Edwina Orr avaa Richmond Holographic Studion Lontoossa vuokrausta ja opetustoimintaa varten.
Chicagon hologrammiseminaari tiedemiehille ja taiteilijoille.
- 1983 Englannin Royal Photographic Society perustaa hologrammiosaston ja järjestää Light Dimensions näyttelyn. Yleisömenestys vaatii jatkoa ja näyttely siirretään Bathista Lontoon Science Museumiin vuonna 1984.
- 1984 Laterna Magica, ensimmäinen suomalainen hologramminäyttely, on suomalaisen tiedekeskuksen näyttelytoiminnan avaus. Paikallisina järjestäjinä ovat valokuvagalleria Hippolytessa Valokuvataiteen Seura ja Kuopion Taidemuseossa Viktor Barsokewitz-seura.

Mitä holografia on ja minkälaisia tieteellisiä sovellutuksia se tarjoaa? Kysymyksiin vastaa professori Rauno Hämäläinen Joensuun korkeakoulusta, johon optisen holografian tutkimus Suomessa on keskittynyt.

RAUNO HÄMÄLÄINEN

HOLOGRAFIAN PERIAATE JA SEN SOVELTAMINEN

Holografia on sanana tullut jo tutuksi, mutta tuon termin sisältämät mahdollisuudet eivät juuri ole tunnettuja. Kyseessä on menetelmä, jolla voidaan tuottaa kolmiulotteisia kuvia, mutta sen li-
säksi paljon muutakin.

Laservalo aiheutti mullistuksen useimmilla niistä aloista, joilla keinovalolla on merkitystä. Se loi myös uusia valon soveltamistapoja. Ratkaisevin ero laservalon ja muun valon välillä on niin sanottu koherenssi. Laservalo on siis koherenttia eli etenee ja vaikuttaa järjestyksessä. Eri aaltojen välinen vaihe-ero säilyy samana pitkälläkin matkoilla, kun vain aallot lähtevät samasta laserista. Tavallinen valo ei ole koherenttia. Aaltojen väliset vaihe-erot vaihtelevat aivan satunnaisesti.

Vesiaallot ovat usein koherenteja nekin. Kauniissa järjestyksessä etenevät mainingit ovat laservalon kaltaisia, kun taas pyörivän tuulen synnyttämä ristiaallokko muistuttaa tavallista valoa.

Voimme tehdä seuraavan pienen kokeen holografiaperiaatteen havainnollistamiseksi. Pudotetaan tyneen vedenpintaan pieni kivi. Syntyy kaunis sarja ympyrämuotoisia aaltoja. Vallitsee koherenssi. Toisessa tapauksessa pudotamme tyneen vedenpintaan samanlaisesti kaksi kiveä. Syntyy kaksi ympyräjoukkoa, jotka kohdetaan muodostavat kauniin pitsikuvion. Kyseessä on vesiaaltohologrammi. Ei vain ole olemassa "filmiä", mille se voitaisiin tallentaa kuten vastaava valoaltohologrammi.

Optikassa holografiaperiaatella tarkoitetaan kahden keskenään koherentin aaltorintaman muodostaman yhteisvaikutuskuvion hyväksikäyttöä. Kuvio on käyttöä varten tallennettava hopeasuolaemulsioon tai muuhun valoherkkään aineeseen. Hyväksikäyttö on kahdensuuntainen. Voidaan tuottaa kuvia ja hyödyntää niitä tai voidaan tuottaa holografisia optisia komponentteja, esim. hiloja tai linsejä.

Joensuun yliopistossa suoritetaan holografiaperiaatteen liittyvää soveltavaa ja myös perust-

kimusta. Alla kuvailemani esimerkit ovat Joensuussa koettuja, ellen nimenomaan toisin sano.

Ikkuna kohteeseen

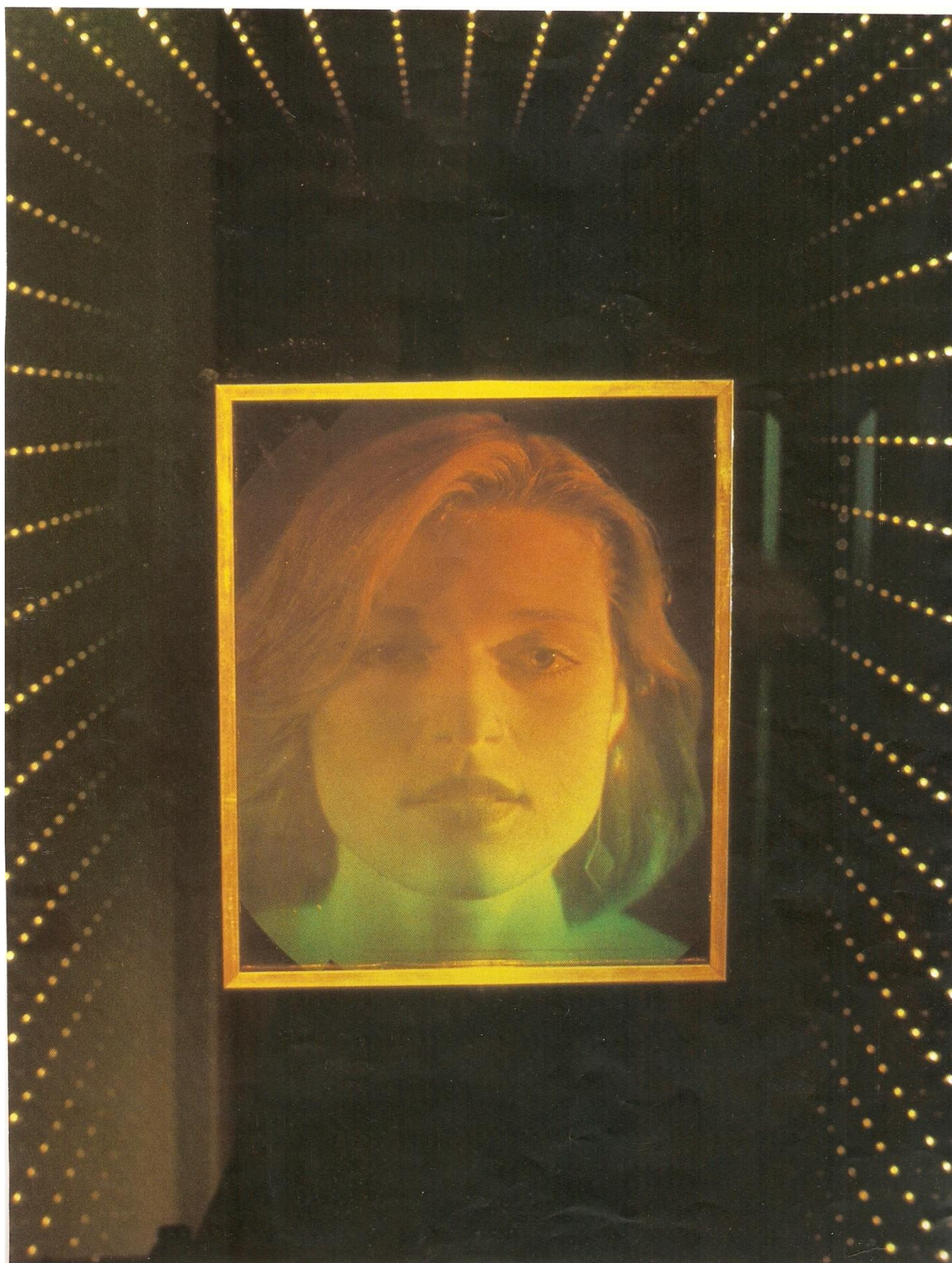
Aloitan kolmiulotteisesta kuvauksesta. Tarkoituksena on siis tuottaa esineiden tai vaikkapa henkilöiden kolmiulotteisia kuvia. Laserin antama valo jaetaan kahteen osaan prismalla. Toinen osa ohjataan suoraan valokuvauslevylle ja toisella valaistetaan kuvattavaa kohdetta. Kohteen pinnasta valo tietysti heijastuu samalle tallentavalle levylle kuin edellisenkin valorintama. Levyyn tallentuu aaltojen yhteisvaikutuskuvio. Tämä kuvio sisältää kaiken informaation, mitä valo toi esineen pinnasta. Mitään ei ole hävinnyt matkalle.

Seurauksena on, että kun kehitettyä levyä valotetaan sopivalla valolla, sen läpi näkyy kohteen kolmiulotteinen kuva kuin ikkunasta. Hologrammihan ei ole kuva sinänsä, vaan se on ikkuna, jonka lasi muodostaa täydellisen kuvan. Kuitenkin kaikki on silmänlumetta, sillä kyseessä on valekuva.

Helpokäyttöisiä ovat päivänvalohologrammit. Ne kuvataan laservalolla niinkuin kaikki muutkin opiset hologrammit, mutta niitä voidaan katsella tavallisella valolla. Joensuussa on pyynnöstä valmistettu hologrammeja museoesineistä, kemiallisista molekyyli-
leista, sähkölaitteista jne. eri tarkoituksiin. On vähän outoa, etteivät esim. mainostajat enempiä käytä hologrammien usein häd-
kähdyttävää tehoa hyväkseen.

Henkilöhologrammien valmistus on vielä nyt siksi vaativaa ammattityötä, että valokuvaajat ja taidemaalarit voinevat nukkua yönsä rauhassa. Tämä kilpaileva menetelmä ei vielä kohtakaan vielä heiltä leipää suusta. Kuvanveistäjien laita on huonommin. Hologrammin luomaa kuvaahan voidaan parhaiten verrata juuri pat-
saaseen.

Voimme tehdä näin. Asetetaan kuvattavan kaunottaren ympärille tuollainen puolitoistametriä korkea ja halkaisijaltaan parimetrisen filmisylinteri. Sitten vain valote-



taan laserilla ylhäältä ja kehitetään otos. Kaunotar tietysti heti poistuu vankilastaan. Kun sylinteriä valaistaan ylhäältä, voi katselijaa kiertää sylinterin ja ihailla aidon kaunottaren eri puolia. Jos innokas katselija hyppää reunan yli sisälle, kokee hän pettymyksen. Sisällä ei ole ketään.

Rehellisyyden nimissä sanottakoon, että Joensuun sylinteri on vain 10 cm korkuinen ja kohdekin on pieni lasiesine. Emme pysty ostamaan noin mitakasta filminpäättäkää emmekä etenkin näin tehokasta laseria, vaikka kumpiakin on saatavissa.

Kohteen muutokset

Holografiainterferometriassa suoritetaan kaksi valotusta samasta kohteesta. Valotusten välillä aiheutetaan kohteessa jokin pieni muutos. Kehitetty hologrammi muodostaa nyt katselijan silmiin esineen kuvan ja esineen pinnalle viivaston, korkeuskäyrät, joista voidaan päätellä esineessä tapahtuneiden muutosten paikat ja suuruudet.

Pari esimerkkiä. Auton renkaaseen on valotusten välillä helppo aiheuttaa muutos. Pihautetaan vähän painetta pois. Hologrammin antaman kuvan pinnassa näkyvät erittäin selvästi välin säännölliset välin epäsäännöllisetkin korkeuskäyrät. Epäsäännöllisistä kohdin löytyy renkaan kudoksesta rikkouma tai virhe. Arvokas tieto renkaan ostajalle monellakin tapaa.

Kitaran kopan ominaisuudet ovat tärkeitä soinnin osatekijöitä. Kopan on värähdeltävä säännöllisesti ja tasaisesti ja joka paikastaan samassa tahdissa. Pannaan siis kielisoimaan ja valotetaan värähtelevästä kitarasta hologrammi. Sen läpi katsellessa havaitaan kopan pinnassa värähtelykuvio, jonka säännöllisyyden tai epäsäännöllisyyden perusteella epämusikaalinenkin fyysikko erottaa hyvän ja huonon kitaran. Jostain ihmisen syystä me joensuulaiset emme ole testanneet kanteleita vaikka Karjalassa elellemekin.

Hologrammi materiaalit

Hologrammeja ei kuvata mille tahansa filmille, vaan erikoismateriaaleille, joita jatkuvasti kehitellään. Tavallisen filmin piirtokykyhän pyörii tuossa sadan viivan paikkeilla millia kohti. Holografiafilmeille vastaava luku vaihtelee välillä 2000—5000 viivaa millille. Laserin valo on väriherkkyys varsin kriittinen tekijä.

Joensuussa kehitellään kiinteän aineen perustutkimuksen yhteydessä aivan erikoista valoherkkää ainetta. Kyseessä ovat ns. värikköksiä sisältävät suolakiteet. Tavallinen ruokasuolakin käy. Tuolipaini sentti kertaa sentti kertaa puoli millia mitoitetaan oleva keros riittäisi periaatteessa satojen kuvien tallentamiseen. Tämä tut-

kimus on varsin vaativaa ja pitkäjännitteistä. Sen johtajalla prof. Ketolaissella oli asiassa huomattava asiantuntemus jo ennen kuvausmahdollisuuden mukaantuloa.

Optiikan valmistus holografialla

Holografiaperiaatteen toinen kehittäjäsuunta pyrkii valmistamaan optisia komponentteja kuvaamalla hiomisen asemesta. Esimerkiksi lääketieteen käyttämien spektroskooppien hila valmistetaan tavanomaisesti siten, että tasolasiin raapaistaan tuollaiset sata viivaa millille. Kovasti vaikea temppu siis. Laseria käyttäen voidaan valoherkkään tasoon kuvata kahden altorintaman yhteisvaikutuksena hetkessä 2000 tai enemmänkin viivoja millille.

Holografiset hilat ovatkin jo kaupallisella asteella. Erään komponenttimateriaalin muodostaa ns. dikromaattinen gelatiini. Tällaista saadaan aikaan vaikkapa liuottamalla valokuvauslevystä nuo välttämättömät hopeasuolat pois. Nyt niitä ei tarvita, vaan tilalle tuodaan kemiallisesti kromia. Saatua materiaali on lupaavaa ja tasokasta. Sen käsittely ei kuitenkaan kenehlyä hyvänsä onnistu. Tuula Keinosenla kyllä onnistuu, sillä hän väitteli tästä aiheesta tohtoriksi menneen joulun alla.

Holografisen linssin teko on vastaavaa. Kuvataan hologrammi palloaallon ja tasoaallon yhteisvaikutuksena. Syntyy linssi. Valitettavasti tässäkin linssissä on linssivirheitä, joiden poisto on vasta alkuaiteella. Kenties tulevaisuudessa on kaupan kameroita, joissa on kummaltakin pinnaltaan täysin tasainen linssi. Kyllä holografialinssillä valokuvia jo on otettu. Ei kuitenkaan Joensuussa.

Holografiaperiaatteella on joukko muitakin sovellutuksia ja uusia kehitellään jatkuvasti. Kaupallisesti on saatavissa täysin rutiinitasolle kehitettyjä holografialaitteita. Hinnat ovat kuitenkin vielä esteenä harrastuksen leviämälle. Holografiatietouden leviäminen muuttaa kuitenkin tilannetta pikku hiljaa.

Holografiaperiaate ei tietenkään sillä tavalla mullista maailmaa, että sen puolesta kannattaisi lähteä varsinaiselle ristiretkelle. Se on kuitenkin jo nyt tuonut joukon uudistuksia täysin yleiseen käyttöön. Jokainen, joka lentää kotimaisen yhtiömme koneilla saa lisää turvallisuutta valmistajan suoritusta holografiatestauksista; testauksia on kokeiltu myös kotimaassa. Monen suomalaisen virtsanäyte on analysoitu holografiahilalla jne.

Uskallan ennustaa mielestäni hyvin perusteella, että kymmenen vuoden sisällä näemme tavarataloissa ja kenties pankeissaakin suuria mainoshologrammeja ja ihmisiä tunkemassa näiden ihmisten edessä. Ja kun asiaan totutaan, ei ihme enää olekaan mikään ihme.

Holograafiset tallennusmateriaalit

Hologrammien tallennus tapahtuu pääasiassa hopeasuolaemulsioiden, jos kohta erikoistarkoituksiin on olemassa runsaasti muitakin tallennusmateriaaleja. Holografiamateriaalit eroavat valokuvausmateriaaleista seuraavista syistä:

1) Hologrammi on hila, jossa hilaa muodostavan kuvion rakenne vaihtelee jopa valon aallonpituuden mittaisella matkalla.

2) Tallentava valo on yksiväristä.

3) Kuva saadaan aikaan rekonstruktiossa siten, että hologrammiin kohdistettu valo diffraktoituu siitä.

Ensimmäinen ominaisuus vaatii emulsiolta suurta piirtokykyä ja siis hyvin pientä rackokoa (luokkaa 30 nanometriä). Toisaalta materiaalin rakeissa pitäisi valon aiheuttamien muutosten tapahtua nopeasti. Nämä kaksi vaatimusta ovat osin vastakkaisia luonteeltaan ja näin vaikeita toteuttaa.

Toisesta vaatimuksesta johtuen on käyttöön valitun emulsion oltava herkkää juuri sille valon värille, jota käytössä oleva laser antaa.

Kolmas vaatimus toteutuu, kun valotettu levy tai filmi kehitetään ns. vaihehologrammiksi. Tämä edellyttää, että kehityksen ja kiinnityksen lisäksi suoritetaan emulsion valkaisu.

Eräitä esimerkkejä tallennusmateriaaleista, joista tämän kirjoittajalla on kokemuksia:

Agfa-Gevaert HOT F 10E56 levy 10 x 13 cm. Sadan lehden pakkaus filmiä maksaa n. 383 mk. Pystyy piirtämään jopa 5000 viivaa millille, jolloin viivaväliksi tulee 200 nm. Kun tämä materiaali on herkkää erikoisesti vihreälle valolle, jonka aallonpituus vaihtelee välillä 500—550 nm, pystyy emulsiota piirtämään käytännössä kaiken vihreän valon kuljettaman informaation. Vihreää valoa antaa argonlaser.

Kodak Spectroscopic Plate and Film 649-F piirtää yli 2000 viivaa millille ja on herkkää vihreästä punaiseen. Tämä materiaali näyttää nyt korvautuvan uudella holografialevyllä 120-02 ja filmillä SO-173. Uusi materiaali on entiseen verrattuna huomattavasti parempaa ja monikäyttöisempää. Siinä on herkkyyksmaksimit aallonpituuksilla 640 nm ja 710 nm. Sen vuoksi se soveltuu kuvattaessa punaisella valolla. Esimerkkejä ovat He-Ne (633 nm), krypton (647 nm) ja rubiini (694 nm) lasarit. Materiaali on erityisen nopea.

Agfan emulsiot 10 E 75 soveltuu nimenomaan punaiselle valolle. Saman materiaalin muunnos 10 E 75 HD on erityisen pienirakeinen ja siis hyvin piirtokykyinen. Hinta on sama kuin levyllä 10 E 56.

Tarjolla on erilaisia levykokoja. Agfa myy levyä 8 E 75 HD koossa 95 x 100 cm hintaan 1590 mk. Levy on 6 mm lasipohjalla ja se on herkkää punaiselle valolle. Tämän kokoiselle levyille olen nähnyt kuvatun mm. lehdin.

Sitten vähän kehityksestä. Prosessi on hyvin hienovarainen ja tarkkaa työtä vaativa. Joskus pyritään tulosta parantamaan jo ennen valotusta pitämällä valottamatonta levyä joitain tunteja kosteassa paikassa (kosteus 90 %). Koettuja kehitteitä ovat Kodakin D-19 ja Agfan G3p.

Molemmilla syntyy hilaa välttämättömä kontrastia. Kehityssajat ilmoitetaan pakkausissa ja ovat 6—10 min. Lämpötilasuosituksia on syytä noudattaa. Kehityksen keskeyttää pysäytyskylpy, jossa levyä pidetään 30—60 sekuntia. Tämän jälkeen seuraa parin minuutin vesipesu ja sitten kiinnitys. Kiinnitteessä on hyvä olla myös kovettajaa.

10 min pesun jälkeen suoritetaan vielä valkaisu (bleach), joka muuttaa emulsion hopean valoa läpäiseväksi hopeasuolaksi. Joskus valkaisu on kaksivaiheinen. Esim. liuos A sisältää 20 g ammonium dikromaattia ja 14 ml rikkihappoa litrassa vettä. Liuos B taas sisältää 45 g ruokasuolaa litrassa vettä. Vesi on tietenkin tislattua.

Valkaisun jälkeen emulsiota huuhdotaan huolella väh. 10 minuutin vesipesulla ja sitten suoritetaan tasainen kuivaus vaikkapa ensin pitämällä levyä 2 min 50 % etyylialkoholiliuoksessa, sitten 2 min 75 % alkoholissa ja lopuksi 2 min 90 % alkoholissa. Näin estetään emulsion pinnan vioittuminen kuivauksen aikana. Lopuksi levy asetetaan kuivumaan paikkaan, jossa on tasainen lämpö eikä virtauksia.

Kaikkia käsittelykemikaliaita saa levyjen valmistajilta. Yksityiskohtaisia ohjeita ja kaikkia muita tietoja on mm. kirjassa: *Handbook of Lasers with Selected Data on Optical Technology*, CRC-Press.

Rauno Hämäläinen

J. RISSANEN & M. VARHIMO, Laserin valonsäteen kahvia jakava prisma.

PINTAA SYVEMMÄLLE ULTRAÄÄNI HOLOGRAFIALLA

Laser-valo loihtii hologrammista esille hämmästyttävän aidon kolmiulotteisuuden vaikutelman. Ultraääni on laser-valoa muistuttavaa aaltoliikettä, joka etenee vaivatta vedessä, ihmiskudoksissa ja jopa teräksessä. Yhdistämällä ultraääniä ja holografiaa avautuu kiehtova mahdollisuus nähdä pintaa syvemmälle — kolmiulotteisena.

Ultraääntä on käytetty jo yli kolmen vuosikymmenen ajan lääketieteellisessä diagnostiikassa kuvan muodostamiseksi kehon sisä raken- teista. Vielä kauemmin ultraääntä on käytetty metallirakenteiden si- säisten vikojen etsimisessä.

Holografiaperiaate toimii ääni- aalloilla yhtä hyvin kuin valoal- loillakin. Käytännössä ultraääni- holografia eroaa optisesta paljon. Ääniaallot ovat paineaaltoja, jotka aiheuttavat väliaineessa mekaanista värähtelyä. Käyttökelpoisen ultraäänen aallonpituus on tuhat- kertainen valon aallonpituuteen verrattuna. Tämä aiheuttaa eri- tyisongelmia ultraääniholografial- le, koska kuvan erotuskyvyn pa- rantamisessa painitaan lähellä klassista erotuskyvyn rajaa, aallon- piteuden puolikasta. Ultraääniholo- grammi on kuin tuhatkertainen osasuurennos optisesta hologram- mista. Usein ultraääniholografial- la pyritäänkin vain parantamaan erotuskykyä tavallisesta ultraäänii- kuvauksesta, minkä holografia- kuvauksessa käytetty vaihekulman rekisteröinti mahdollistaa. Kol- miulotteisuus on vasta tulevaisuu- den suunnitelmia.

Ultraääniholografiatutkimusta siivittää arvokas päämäärä. Tavoit- teena on "ikkuna", joka asetettu- na esimerkiksi potilaan vatsan tai ydinreaktorin paineastian hitsisau- man päälle, saa kohteen näky- mään läpikuultavana ja kolmi- ulotteisena.

Ultraääniholografian historiaa

Ultraääniholografian historia al- kaa vuodesta 1964, jolloin ensim- mäisen kerran sovellettiin hologra- fiaperiaatetta ultraääneen.¹ Tuol- loin oli laser-valolähde vasta muu- taman vuoden vanha keksintö, ja optisen holografian kehitys oli voi- makkaassa nousussa.

Alkuvaiheessa ultraääniholo- grammin tallentamisessa oli vai- keuksia, koska ääniherkkää filmiä ei ollut käytettävissä, eikä ole vie- läkään. Hologrammin tallentami- sessa käytetään mm. ultraäänen paineesta veden pintaan aiheutu- vaa kuviota.¹ Huomattavasti her- kemmäksi, mutta hitaammaksi tallennuskeinoksi osoittautui piet- sosähköinen anturi, jota mekaani- sesti liikutettiin hologrammialu- cella ja joka piste pisteeltä mittasi hologrammin.

Kuvan rekonstruointi holog- rammista suoritettiin alkuvai- heessa laservalolla. Vaikutena oli

aallonpituuksien tuhatkertainen epäsuhte, joka venytti kuvaa sy- vyyssuunnassa tuhatkertaiseksi ja tuhosi siren kolmiulotteisuuden vaikutelman. 70-luvun puolivälis- sä ryhdyttiin kehittämään tietoko- neella laskennallisesti tapahtuvaa kuvan rekonstruointia.²

Alan uutuutta kuvaa, että tänä päivänä ultraääniholografiaa on sovellettu vain yhdessä kaupalli- sessa ultraäänilaitteessa, joka sek- in on vasta yksinkertainen yksiulot- teinen metallirakenteiden tarkas- tustaite³. Se toimii laskennallisella kuvan rekonstruoinnilla. Kolmi- ulotteiseen käytännölliseen lait- teeseen on vielä pitkä matka.

Laskennallinen kuvan muodostus

Kun hologrammista muodoste- taan kuva tietokoneella, käytetään käänteisesti hyväksi luonnonlake- ja, joita hologrammin muodostu- minen noudattaa. Hologrammin muodostuminen voidaan tulkita seuraavanlaisiksi tapahtumaksi: Kohde "valaistaan" ultraäänellä. Sen yksityiskohdat sirottavat ultra- ääntä eri suuntiin. Osa sironneesta ultraäänestä etenee kohti holo- grammin mittaustasoa. Edetes- sään nämä aallot summautuvat yhteen monimutkaiseksi aaltorin- tamaksi. Siroaminen, summautu- minen ja eteneminen noudattavat määrättyjä luonnonlakeja. Holo- grammittasossa aaltorintaman muoto tallennetaan mittaamalla sen voimakkuus (amplitudi) ja vaihekulma piste pisteeltä koko hologrammittasossa. Tästä mit- tausdatasta lasketaan kohteen ku- va käyttäen edellä mainittuja luonnonlakeja käänteisesti. Aalto- rintama siis palautetaan kohteen tasolle.⁴

Oheisessa piirroksessa on esitet- ty aaltorintaman muodostumi- nen, kun kohteena on kolme pis- tettä. Käytännön kuvauskohteet koostuvat tuhansista, jopa miljoo- nista yksityiskohdista — sironta- keskuksista — joiden antamat aal- torintamat summautuvat holo- grammista yhteen. Kuitenkin tie- tokone pystyy poimimaan nämä aaltorintamat erilleen ja muodos- tamaan niistä vastaavat kuvapistet edellyttäen, että aaltorintama on mitattu riittävän tiheästi ja tarkas- ti.

Tulevaisuuden supertehokkailla tietokoneilla tai paremmin sanot- tuna erikoisprosessoreilla tämä las- kenta pystytään suorittamaan niin nopeasti, että on mahdollista muodostaa kymmeniä kuvia sek- unnissa, jolloin kohteen liikkeet- kin saadaan näkyviin kolmiulot- teisina.

Oulussa kehitetään ultraääniholografiaa

Oulun ultraääniholografiatutki- muksen käynnisti apul.prof. Antti Tauriainen 1974 Oulun yliopiston sähkötekniikan osastolla. Alkuvai- heessa tutkittiin nesteen pinnan käyttöä ultraäänihologrammin

mittaamiseksi. Pääpaino oli kui- tenkin automatisoidun, mikropro- sessorilla ohjatun ultraääniholo- grammin rekonstruointilaitteiston kehittämisessä.⁵ Anturi liikkui mekaanisesti sähkömoottoreiden kuljettamana hologrammittasossa. Mittaukset suoritettiin vesialtaas- sa, koska ultraääni vaimenee voi- makkaasti ilmassa. Hologrammit tallennettiin oskiloskoopin kuva- pinnalta filmille ja rekonstruointi- kuvaksi laser-valoa käyttäen. Oheisissa kuvissa on esitetty muu- tamia esimerkkejä alkuvaiheen hologrammimittauksista.

Ensimmäiset kokeilut tietoko- neella tapahtuvasta kuvan rekon- struoinnista suoritettiin jo 1975.⁶ Vuosikymmenen vaihteessa ryh- dyttiin laajamittaisemmin kehittä- mään laskennallista rekonstruoin- tia. Tuolloin otettiin päämääräksi kehittää kaksikulotteinen lääketie- teelliseen diagnostiikkaan soveltu- va holografiamenetelmä ja kokei- lulaiteisto. Yhteistyökumppa- neiksi tuli OYKS:n neurokirur- gian klinikka, jossa oli jo aikai- semmin ryhdytty etsimään keinoja aivokasvainten kolmiulotteiseen paikantamiseen. Oheisissa kuvissa on pari esimerkkiä tutkimusryh- mämme kehittämällä UHB- kuvauslaitteistolla otetuista lääke- tieteellisistä koekuvauksista. Tässä vaiheessa hologrammimittausta ohjasi pieni pöytätietokone. Ku- vat rekonstruointi yliopiston kes- kustietokoneesta.^{7,8}

Seuraavaksi otettiin käyttöön tehokas minitietokone, josta kehi- tettiin uusi UHB-kuvausysteemi. Kun täysin elektronisesti toimiva anturiyksikkö saadaan valmiiksi, viedään tämä järjestelmä OYKS:ään koekuvauksia varten.⁹

Samaan minitietokoneeseen on ohjelmoitu myös UHB-kuvauksen simulointisysteemi, jolla kuvaus- prosessia voidaan jäljitellä lasken- nallisesti. Simulointisysteemissä tietokone muodostaa ensin koh- teen piste pisteeltä ja suorittaa ul- traäänivalaisua ja heijastuvien aal- torintamien mittausta vastaavan matemaattisen prosessin. Tämän jälkeen se rekonstruoi kuvan aalto- rintaman palautuksen periaatteen- la.

Minitietokoneeseen on kehitet- ty myöskin kolmiulotteisen ultra- ääniholografia kuvauksen ohjel- mistot sekä todellista mittausta et- tä simulointia varten. Tässä syste- missä kuva tulostetaan TV-moni- torille kolmelta eri suunnalta kat- sottuna projektiona ja lisäksi edes- tä katsottuna stereokuvaparina. Ensimmäiset tulokset tämän jär- jestelmän kokeista saatiin vuoden- vaihteessa. Ne julkaistaan lähiai- koina.¹⁰

Oulun ultraääniholografiatutki- musta on tehty kirjoittajan ja lää- ket. kir. tri John Koivukankaan johdolla. Ryhmässä on ollut vii- meisten kolmen vuoden aikana 5—8 henkilöä. Tuloksena on saa- tu satojen holografia kuvien ohella kaksi väitöskirjaa ja lukuisia lisen- siaatti- ja diplomitoita. Kolmas väitöskirja on tekeillä, neljäs suun-

nitteilla. Tuloksia on esitelty kansainvälisissä kongresseissa. Työtä on tehty Suomen Akatemian, Oulun yliopiston, Orion yhtiön, OMP-Yhtiön ja useiden säätöiden rahoituksella. Jatkossa keskitytään kaksi- ja kolmiulotteisten UHB-menetelmien kehittämiseen, niiden lääketieteellisiin ja metalliteollisuuden sovellutuksiin sekä ultraäänianturien kehittämiseen.

Lopuksi

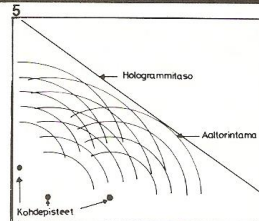
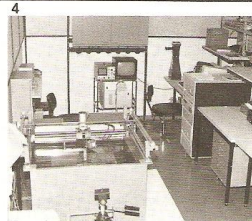
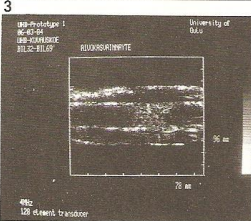
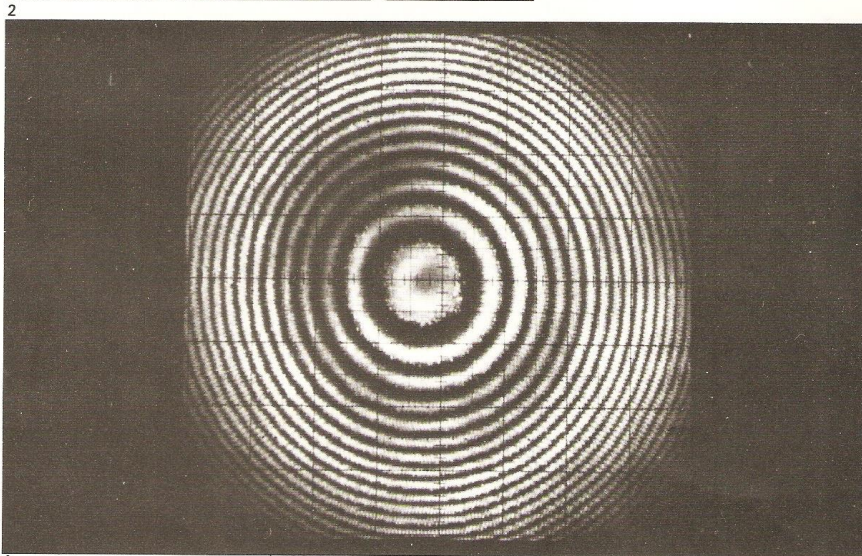
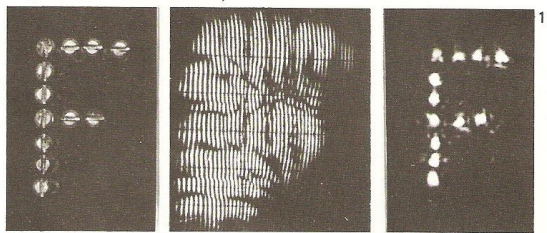
Ultraääniholografian pitkän tähtäimen tavoitteena on reaaliaikainen kolmiulotteinen läpivalaisulaite. Käyttökohteista mainittakoon lääketieteellisen diagnostiikan lisäksi metallirakenteiden tarkastus ja vedenalainen tutka (sukellusvenettäin!). Samanlaisen tavoitteeseen pyrkii Coloradossa Holographics Inc. mikroaaltoja käyttäen.¹¹ Mikroaalloilla kudokuvauksissa käyttökelpoinen aallonpituus on monikymmenkertainen ultraääneen verrattuna ja ongelmat siten vielä vaikeammat kuin ultraäänellä. Holographics Inc. pyrkiikin pääsemään erästä matemaattista menetelmää käyttäen erotuskykyssä murto-osan klassisesta rajasta. Sama menetelmä soveltuu ultraääniholografiaankin, mutta kukaan ei ole vielä saanut sitä käytännössä toimimaan.

Tutkimustyötä tehdään Oulussa innolla ja ryhmää pyritään laajentamaan tänä vuonna. Tämän poikkitieteellisen tutkimuksen tavoitteet ovat korkealla, mutta perustana on vanhoja totuuksia: holografiaperiaate, aaltorintamien etenemisen teoria, tietokonetekniikan voimakas kehitys ja todellinen tarve kehittää kolmiulotteista läpivalaisua.

VIITTEET

1. Brenden, B. B., History and present status of liquid surface acoustical holography. J. Acoust. Soc. Am. Vol. 58, No. 5, November 1975.
2. Alasaarela, E., Ultraääniholografia. Sähkö, No. 5, 1983.
3. Karl Deusch GmbH & Co. KG: Holograph 1190. Edustaja Suomessa Escotek Ky.
4. Goodman, J. W., Introduction to Fourier Optics. McGraw-Hill, San Francisco 1968.
5. Alasaarela, E., Saukkonen, S. & Tauriainen, A., An imaging apparatus based on ultrasonic holography. Acta Polytechnica Scandinavica EI. 47, 1981.
6. Saukkonen, S., Ultraäänihogrammin automaattinen mittaus- ja prosessointisysteemi. Diplomityö, Oulun yliopisto, teknillisen fysiikan osasto, 1975.
7. Alasaarela, E., Ultrasound holographic B (UHB) imaging. Acta Universitatis Ouluensis Series C Technica No. 24, 1983 (Väitöskirja).
8. Koivukangas, J. et al., Ultrasound holographic B-scan imaging of the human brain. 5th World Congress of Ultrasound in Medicine and Biology. Brighton, 1982.
9. Koivukangas, J., Ultrasound imaging in operative neurosurgery. Acta Universitatis Ouluensis Series D Medica No. 115, 1984 (Väitöskirja).
10. Ylitalo, J., Kolmiulotteinen UHB-kuvauksen lisensiaattityö, Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta, julkaistaan keväällä 1984.
11. Danish, P., New Medical Imaging Technique Uses Radio Waves, Improves Safety. The Journal of Commerce, October 11, 1983, New York.
12. Tervola, K., Kuvan rekonstruointi UHB-hologrammista numeerisella aaltokentän palautusmenetelmällä. Lisensiaattityö, Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta, 1982.

1. F-kirjaimen kuvaus Oulun yliopistossa kehitetyllä ultraääniholografialaitteistolla 5 vuodelta 1977. Vasemmalla on valokuva kohteesta, joka on koottu pienistä ruuveista. Kohteen korkeus on 26 mm. Keskellä on 4 MHz:n ultraäänellä mitattu hologrammi, oikealla laser-valolla rekonstruoitu kuva. Näihin alkuvaiheen kuvauksiin ei pyritty lainkaan saamaan aikaan kolmiulotteisuuden vaikutelmaa johtuen aallonpituuksien epäsuhteen aiheuttamasta syvyyssimension vääristymisestä (Tässä tapauksessa epäsuhte on 800-kertainen).



2. Ultraäänihologrammi pistemäisestä kohteesta (vuodelta 1977). Mittaus suoritettu 910 kHz:n ultraäänellä 115 mm:n etäisyydeltä. Hologrammialueen koko on 96 x 96 mm².
3. Kaksiulotteinen ultraääniholografia kuva (UHB) formaliniiliuokseen pussitetusta aivokasvaimnäytteestä. Kuvassa erottuu ylimpänä ja alimpana muovipussin aiheuttamat kaitut ja niiden välissä tasainen 1,5 cm paksu aivonäyte, jonka keskellä näkyvä vaalea alue on aivokasvain (glioblastoma multiforme).
4. Näkymä Oulun yliopiston ultraääniholografialaboratoriosta. Edessä vasemmalla vesiallas, jonka päällä anturi ja sen kuljetusmekanismi. Takaseinällä kaapin alla on UHB-klinikkaprotolaitteen leikkaussaliin sijoitettava yksikkö. Oikealla pöytien välissä on tietokone PDP 11/23 PLUS. Tietokoneen takana on näyttöpäätte, kirjoitin ja polaroid-kamera, edessä näyttömonitori ja sen alla videonauhuri.
5. Hologrammin muodostuminen ja rekonstruointi. Kohde (tässä tapauksessa kolme pistettä) "valaistaan" ultraäänellä. Kukin piste säteilee palloaallon, jotka etenevät kohti hologrammitasoa. Ne summautuvat yhteen monimutkaiseksi aaltorintamaksi, joka mitataan hologrammitasossa piste pisteeltä. Hologrammi on siten suuri joukko mittaustuloksia aaltorintamasta, sen voimakkuudesta ja vaihekulmasta. Laskennallisessa rekonstruoinnissa käytetään tietokoneessa aaltojen etenemisen teoriaa kääntäen: Palloaallot palautetaan keskipisteisiinsä laskennallisesti. Tuloksena saadaan pisteiden sijainnit ja heijastusvoimakkuudet. Tätä laskentaprosessia kutsutaan myös syntetiseksi fokuksinniksi.

"Tulkoon valkeus" — ja niinhän se tuli, mutta aikavalotus on jäänyt päälle jo noin viideksitoistamiljardiksi vuodeksi. Näiden vuosimiljardien aikana maailmankaikkeuden täytävän säteilyn "värilämpötila" on pudonnut alun huimavista lukemista, noin 10^{32} :sta asteesta kolmen asteen päähän absoluuttisesta nollapistestä. Aikojen alussa valo, sähkömagneettinen säteily, fotonipuuro, millä nimellä me tätä oliota kutsummekaan, oli kaiken valti. Se määräsi maailmankaikkeuden kehityksen, sen energiasta syntyi aine, kaikki se mistä me, meidän kameramme ja kuvauskoh- teemme mekin olemme rakennetut.

RAIMO KESKINEN

VALON KUVA

Noin puolenmiljoonan vuoden ikäisessä kosmosessa tapahtui kaamosmainen palatsivallankumous. Kaiken laajetessa alkuräjähdyksen jälkeen, jäähtyi "valokaasu" ja menetti kuninkuutensa aineelle, joka tämän jälkeen on määrännyt missä nurkassa kosminen kaappi seisoo. Työttömäksi valo ei ole jäänyt, se on sopeutunut aineen yhteiskuntaan yhtenä monimutkaisiakin materiaalisia rakennelmiä koossapitävistä voimista. Se on sähkömagneettisten voimien juoksupoika, joka sukku- loi yhtä hyvin atomien sisällä kuin kirmaa tähtien välisiä huimia etäisyyksiä.

Ihmettelyn vuosisadat

Valon tutkiminen on vaikeaa, se ei suostu istumaan hiljaa tutkijan kämmenellä, sillä on aina kiire jonnekin. Itse asiassa jo 1600-luvulla Pierre de Fermat totesi, että valo kiittää nopeinta tietä kahden ratansa pisteen välin. Tämän viuhahtelijan anatomian selvittäminen on sitten ollutkin hankalaa. Jo suuri Isaac Newton tarjosi 1600-luvun lopulla valolle hiukkasmallia, jonka mukaan valo koostuu pienistä vikkelistä palloista, jotka soluvat optiikan lakien mukaisesti läpi ilman ja erilaisten linssisysteemien.

Newtonin aikalainen ja tieteellinen kilpakumppani Christian Huygens taas tarjosi aaltomallia valon luonteelle. Tätä lainehdintä-ajatusta tukivat myös useat havainnot, esim. valon diffraktio- ilmiöt sen kulkiessa kapeiden vako- jen kautta ja mikä harmillisinta Newtonille — hänen renkaansa. Oli miten oli, optiikka kehittyi, rakennettiin kaukoputkia, mikroskooppia ja muitakin näköelinten vahvistus- ja ohjeilaitteita.

Vuosisadan verran kului aikaa ilman suurempia edistysaskel- leita. Loppupuolella 1800-lukua englantilainen James Maxwell laati laajaan koemateriaaliin perus- tuen kauniin teorian sähkömagne- tismille. Tämän teorian eräs anti oli, että meidän näkemämme valo on kapea kaista laajasta sähkömag-

neettisten aaltojen perheestä. Kaikki silloin tunnetut valon käyt- täytymissäännöt saatettiin palaut- ta Maxwellin yhtälöiden ratkai- suiksi.

Tilanne näytti hyvältä. Fyysik- kien kengässä oli kuitenkin hier- tämässä pieni kivi. Lämpösäteily, eräs laji sähkömagneettista sätei- lyä, ei suostunut aallonpituusja- kautumansa osalta selittymään ra- kennetulla hienolla teorialla. Va- kaasti kuitenkin uskottiin, että so- piva sekoitus mekaniikkaa, läm- pö- ja sähköoppia toisi lopullisen ratkaisun ja koko maailma ilmiöi- neen saisi fyysikaalisen selityksen. Luulo ei kuitenkaan ollut tiedon väärtti, vaan tarvittiin raju ajatte- lutavan muutos, ennenkuin asiat alkoivat valjeta. Näiden uusien ideoiden pääarkkitehti oli sitten vuosisatamme kuuluisin tiedemies Albert Einstein.

Aalto vai hiukkanen?

Ratkaisua lähestyttiin, kun jou- lunalusviikoilla vuonna 1900 sak- salainen Max Planck antoi selityk- sen lämpösäteilyn havaitulle "vä- rijakautumalle". Hänen suoritta- mansa laskut olivat vaikeita, mut- ta idea yksinkertainen: Säteily syn- tyi pienen pieninä erillisinä ener- giapaketteina, kvantteina. Tarvit- tiin kuitenkin viisi vuotta ajatusai- kaa ennen kuin Einstein keksi, et- tä säteily myös kuolee samanlaisi- na sähkömagneettisina energiarie- kaleina, joita ruvettiin kutsumaan fotoneiksi, valohiukkasiksi. Mitä fotonit ovat syntynsä ja kuolonsa välissä, on oikeastaan turha kysy- mys, sillä aina kun fotonin havai- taan, se myös julmasti murhataan. Kiistattomasti todetut sähkömag- neettiset aallot selittyivät sitten suurten fotonimäärien joukkoko- kousina.

Selvin osoitus valon kvantti- luonteesta lienee valosähköinen il- miö, jonka selittämisestä Einstein sittemmin sai Nobelin palkinnon. Tämä on tapahtuma, jossa yksityi- nen fotonin aineen elektronin tör- mätessään vapauttaa sen atomien kahleista ja antaa sille mahdolli- suuden toimia vaikkapa sähkövir- ran osana. Tämän ilmiön joka-

päiväinen sovellus on esim. valo- tusmittari, jonka toimintaperiaate on yksinkertainen. Mitä enemmän valoa, sitä enemmän fotoneja ja si- tä enemmän myös potkut saaneita elektroneja ja sen myötä suurempi sähkövirta, joka mitataan.

Mikä sitten on fotonien kehto? Ratkaisu piilee jo Maxwellin teori- assa, joka kertoo, että sähkö- ja magneettikenttien lähteinä toimi- vat sähkövaraukset. Synnytys on helppo, aina kun sähkövaraus muuttaa liiketilaansa syntyy foto- neja eli sähkömagneettista sätei- lyä. On aivan sama, onko varattu hiukkanen atomissa pyöriä elek- troni vai sähköiseksi silitelty kolli- kissa, aina kun liiketila muuttuu, tuloksena on fotoneja.

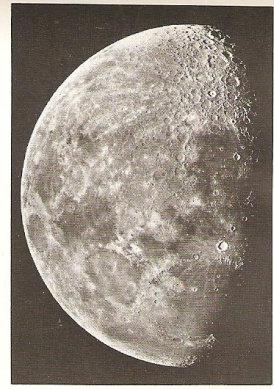
Vastavasti valokvantit voivat kuolla vain törmätessään varattui- hin aineen alkeishiukkasiin, täl- löin ne jättävät perintönään tör- mäyksen uhrille energiansa ja lii- kemääränsä, mikä näkyy hitusten baleitin muuttuneina kuvioina.

Koreografian muuttumista me ihmisetkin käytämme hyväksem- me. Jostain kappaleesta lähteneet fotonit aiheuttavat silmämme verkkokalvolle törmätessään kemi- allisia muutoksia näköhermojem- me päissä, ja viesti, sekin sähköi- nen, kulkee aivoihimme, — me näemme. Samoin kameroidemme hienojen linssisysteemien läpi fil- mille tupsahtavat fotonit jättävät kemiallisen jäljen, jonka hokut- telemme esiin huljuttelemalla fil- miä sopivissa nesteissä. Olemme myös oppineet (kiitos rauhaa ra- kastavan Albert Einsteinin) pai- mentamaan fotoneja preussilaises- sa kurissa ja järjestyksessä. Pystym- me lasereissamme synnyttämään tahdissa marssivien yksiväristen foto- nien pataljoonia. Näiden joukko-osastojen valossa otetuista hologrammikuista kerrotaan laa- jasti muissa tämän numeron kir- joituksissa.

Fotoneilla on toki eräs paljon tärkeämpikin tehtävä kuin ilkeyk- sissään potkiskella pieniä ainepal- losia. Nykyinen kuvamme aineen rakenteesta on sellainen, että kaik- ki ainakin mikromaailmassa tär- keät rakentavat ja hajottavat voi- mat eli vuorovaikutukset syntyvät hiukkasten "kirjeenvaihdon" kautta. Nämä kirjeet eivät ole mi- tään kakkosluokan kolmipäiväisiä virkakirjeitä vaan vuorovaikutus- kenttien kvantteja, joita tuhkatie- heään vaihdellaan. Näin fotonit työllistetään sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukka- siksi, joita varatut alkeishiukkas- toisilleen paikkivat joutuen kyte- tyiksi toistensa vuorovaikutuspii- riin. Atomien pysyvyydestä ja meidän ihmistenkin rakennesasi- na olevien monimutkaisten atomi- ryppäiden, molekyylien, ominai- suuksista saamme näin ollen kiit- tää fotoniliimaa, valoliisteriä, joka antaa aineelle olemassaolomme kannalta välttämättömän ryhdin.

Maailman nopein

Vaikka Einstein kehitti valon kvanttiteorian ja saattoi näin osal-



Kuu, etäisyys 380 000 km, runsas valosekunti. Kuvattu 23. 2. 1896.

taan alkuun koko nykyaikaisen kvanttifysiikan, hänen lempilap- sensa oli kuitenkin suhteellisuus- teoria tai oikeastaan teorit. Valon sielutieteeseen suhteellisuusteori- akin perustuu. Se esteettinen nä- kemys, joka toimi klassisessa me-

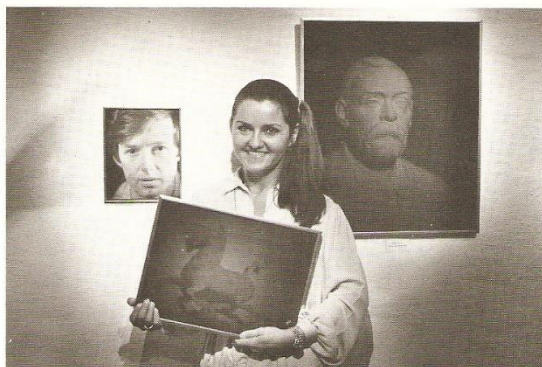
kaniikassa, ei enää ollutkaan sopu- soinnussa uuden sähkömagneetti- sen teorian kanssa. Aivan kuten maalaustaitteessa ällöttävän im- pressionistisen värimystiikan oli väistyttävä rajumman ilmaisuuden tieltä, oli myös vanhan "galileilai- sen" teorian tehtävä tilaa uudelle.

Tämän uuden teorian erääksi peruspostulaatiksi tuli se, että valo etenee aina samalla huimalla no- peudellaan n. 300 000 km/s. Me mittaamme valolle aina tämän no- peuden liukummepa me tai valo- lähde miten ja millä nopeudella tahansa. Tämän uuden, hyvin ko- keellisestikin varmennetun tosi- asian jälkeen ei mikään enää ole avaruudessa ja ajassa näyttänyt samalta kuin ennen. Kahden ta- pahtuman samanaikaisuus on muuttunut suhteelliseksi käsit- teeksi, ainoa mikä enää on varmaa on, että jokainen tapahtuma on it- sensä kanssa samanaikainen.

Ystävällemme valolle suhteelli- suusteoria soi etuoikeuden olla tä- män maailman nopein kulki. Täällöin se tuli olemaan myös rau- hattomin, se ei koskaan voinut le-

HOLOGRAMMI

Galleristi Mona Forsberg esittelee Lasergruppen Holografionin tuottamaa Kansoun hevosta pohjoismaiden ainoassa hologrammigalleriassa, Tukholmassa. Hologrammina seinällä holograafikko Per Skande.



Holografia — värin maailma on nimeltään ensimmäinen värihologramminäyttely, joka avataan 17. huhtikuuta Euroopan johtavassa galleriassa Lontoon Covent Gardenin Light Fantasticissa. Galleria on itse kehittänyt värihologrammin menetelmän ja myös tuottanut näyttelyn kuvat.

Galleriat

Hologrammigalleriat ovat usein syntyneet ensimmäisten suurten hologramminäyttelyiden jälkiselvittelyissä. Niiden takana ovat tutkijat ja heidän lähipiirinsä. Gallerioilla on joskus laboratorioita, jotka etsivät kaupallisia sovelluksia ja tuottavat hologrammeja myyntiin ja mainostarkoituksiin.

Maailman hologrammikeskukseksi pidetään New Yorkin Museum of Holography, joka perustamisestaan 1976 lähtien on näyttelyiden lisäksi kouluttanut holograafikkoja ja tuottanut hologrammeja. Se lähti liikkeelle New Yorkin Kansainvälisen valokuvakeskuksen ICP:n järjestämästä kunnianhimoisesta tieteen ja taiteen saavutuksia yhdistävästä hologramminäyttelystä. Sen jälkeen monet johtavatkin valokuvagalleriat ovat järjestäneet hämmästyttäviä näyttelyitä vetonauloiksi ilman taiteellisia tai tieteellisiä tavoitteita.

Ensimmäinen — ja vuoteen 1984 mennessä ainoa — Suomessa järjestetty hologramminäyttely oli Neuvostoliiton kulttuuri- ja tiedekeskuksessa 1981. Samana vuonna Kuva ja Kamera -tapahtumassa osoituksena perinteisen valokuvataiteen kiinnostuksesta Kuva-Sampo Oy esittäytyi hologrammiasatolla. Suomalaisia hologrammeja esiteltiin 1982 osana Säätytalon Fysiikka -82 näyttelyä, jonka kansansuosio — 25 000 katsojaa viikossa — johti tiedekeskushankkeen syntymiseen.

RUOTSI

Hologram Gallery, Drottninggatan 100, Tukholma.

ENGLANTI

Light Fantastic Gallery of Holography, 48 South Row, Covent Garden, Lontoo.

Science Museum, South Kensington, Lontoo.

White Light, 9a Kensington Gardens, Brighton Sussex.

The RPS National Centre of

Photography, The Octagon, Milsom Street, Bath.

SAKSAN LIITTOTASAVALLA
Museum für Holographie und Neue Visuelle Medien, Pletschmuhlenweg 7, Pulheim, Köln.

Hol 3, Kurfürstendamm 103, Berliini.

Holographic Gallery, Amalienpassage 89, München.

Fielmann Lichtgalerie, Holstenstrasse 19, Kiel.

Fielmann Lichtgalerie, Mönkebergstrasse 29, Hampuri.

RANSKA

Le Musée Français de l'Holographie, Forum des Halles, Pariisi.

SVEITSI

Holos Art Gallery, Barre Pascal, Geneve.

Galerie für Holographie, Basel.

HOLLANTI

Hologram Gallery, Prinsengracht 675, Amsterdam.

Hologram Europe, Merckthoef 3, Eindhoven.

BELGIA

Hologram Europe, 137 avenue Voltaire, Bryssel.

YHDYSVALLAT

Museum of Holography, 11 Mercer Street, New York.

Gallery 1134, Fine Arts Research & Holographic Center, 1134 West Washington Street, Chicago.

Holos Gallery, 1792 Haight Street, San Francisco, California.

KANADA

Fringe Research, 1179a King Street, Toronto.

NEUVOSTOLIITTO

Jurij Denisjuk Museo, Leningrad.

Kirjoittajat ja kuvaajat

Mikko Pekari, kuvatoimittaja TV2, Laterna Magica hologramminäyttelyn kokoaja.

Aapo Pekari, elokuvaaja, toimittaja, Bonvision, Tukholma.

Erkki Saksa, erikoistoimittaja TV2.

M. C. Escher (1898—1971), hollantilainen taiteilija. Saavutti vain harvan katsoja tai taiteentuntijan elinaikanaan. Ymmärtäjät ja virikkeenantajat olivat matemaatikkoja ja tiedemiehiä, joiden kautta maine on jatkuvasti kasvanut. Escherin elämäntyö voidaan jakaa pääpiirteissään kahteen kauteen: Hän matkusti nuorena paljon ja kuvat pohjaavat todellisuuteen, josta hän maagisella perspektiivillään loi hämmästyttäviä ja hämmästyttäviä kuvia. Vanhempana taiteilijan matkat suuntautuivat sisäänpäin ja kuvat saivat entistä mystisemmän luonteen. M. C. Escherin grafiikkaa on ensimmäistä kertaa esillä Suomessa Laterna Magica näyttelyssä. Kirjallisuutta: Douglas R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach — An Eternal Golden Brain*, Vintage Books, New York 1979. M. C. Escher — *Kunst och matematik*, Raben & Sjögren, Stockholm 1983. M. C. Escher — *His Life and Complete Graphic Work*, edit. J. L. Locher, Harry N. Abrams Inc. Publ., New York 1983.

Man Ray (1890—1976), amerikkalainen dadaiteilija ja valokuvaaja, vuodesta 1921 eli ja työskenteli Ranskassa.

Henri Cartier-Bresson, ranskalainen valokuvaaja, "ratkaisevan hetken" käsitteen luoja. (Kts. Valokuva 11/1976).

Laszlo Moholy-Nagy (1895—1946), unkarilaissyntyinen taiteilija, valokuvaaja ja taideteoreetikko. (Kts. Valokuva 1/84).

Taneli Eskola, valokuvaaja, arvostelija-apurahana 1984.

Aleksandr Rodshenko (1891—1956), neuvostoliittolainen taiteilija ja valokuvaaja.

Kaarina Launo, FK, toiminut kotimaisen kirjallisuuden assistenttina Tampereen yliopistossa. Kirjallisuuskatsauksia ja kritiikkiä lehdistössä ja televisiossa. Tutkimuksen erityisalue: lyriikka. Harrastus: valo.

Wayne E. Garcia, graafikko, hologrammitaiteilija, Tukholma. Etsii uusia perspektiivejä matematiikan ja taiteen suhteista.

Matti Saario, valokuvaaja, taiteilijaprofessori 1972—78, kuvateosten ja näyttelyiden tekijä, Valokuva-lehden päätoimittaja 1976—.

Rauno Hämäläinen, FT, Joensuun korkeakoulun fysiikan professori. Toiminut opettajana ja tutkijana Turun, Helsingin ja Jyväskylän yliopistoissa sekä Joensuun korkeakoulussa. Siirtyi ydinfysiikasta optisen fysiikan tutkimukseen 1972.

Esko Alasaarela, TkT, ollut mukana Oulun yliopiston sähkötekniikan osaston ultraääniholografia-tutkimuksessa alusta (1974) lähtien, tällä hetkellä tutkimuksen johtajana.

Raimo Keskinen, FT, dosenttina Helsingin yliopistossa. Opetus- ja tutkimustehtävissä Oulun, Jyväskylän ja Helsingin yliopistoissa. Erikoisalana klassinen mekaniikka, yleinen suhteellisuusteoria ja biofysiikka. Kansantajuistanut tutkimusalaansa mm. kirjoittamalla teoksiin Mustaa-aukkoa etsimässä, Alkeishiukkasten maailma, Einstein — tutkija ja ihminen sekä Kosmologian maailmankuva. □

HOLOGRAFIA

Holografia on tallennusmenetelmä, joka käyttää hyväkseen paitsi kappaleesta heijastuvan valon aallonpituuden ja intensiteetin, myös aallon eri vaiheet. Koska tällä tavoin voidaan tallentaa pienimmätkin epämuodostumat, kuten tulelme näkemään, tämä menetelmä soveltuu myös määrättyihin aineettarikommattoman tarkastuksen sovellutuksiin.

Valolähde

Jotta heijastuvan valon vaiheen sisältöä voitaisiin käyttää hyväksi, valolähteen on emittoitava valoa, jonka vaihehuhe on aina sama. Laseri on valolähde, joka täyttää tämän ehdon; se emittoi koherenttia valoa. Vain monokromaattinen valo eli valo, jossa on yksi tai muutamia aallonpituuksia, voi olla koherenttia.

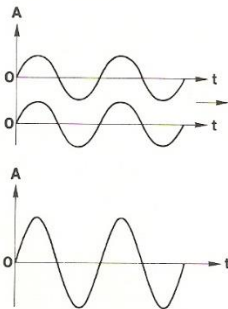
Kullakin lasertyypillä on oma tunnusomainen aallonpituutensa:

helium-neon laseri	6,328 Å
rubiinilaseri	6,943 Å
neodymilaseri	10,600 Å

Riippuen väliaineesta, jonka kautta laseri toimii, puhutaan kaasulaserista (esim. He-Ne), ki-delaserista (esim. rubiinilaseri) tai kiinteäntilalaserista (esim. Ga-As).

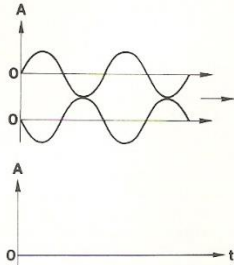
Valotusmenetelmä

Interferenssi syntyy, kun kaksi aallonpituudeltaan samanlaista aaltoa saapuu yhdessä määrättyyn pisteeseen. Kun nuo kaksi aaltoa samanaikaisesti saavuttavat suurimman amplitudinsa ja yhtälailla samanaikaisesti läpäisevät nolla-amplitudin, intensiteetti kasvaa (ks. kuva A). Aaltojen sanotaan olevan vaiheessa.



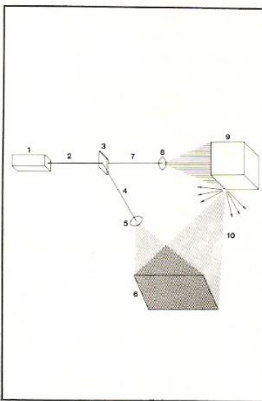
Kuva A. Kaksi vaiheessa olevaa värähtelyä vahvistavat toistaan; tuloksena on amplitudiltaan kaksinkertainen värähtely.

Kun molempien aaltojen värähtelyn amplitudi on suurimmillaan, mutta vastakkaisesti ja ne myös läpäisevät samanaikaisesti nolla-amplitudin (ks. kuva B), aallot kumoavat toisensa ja häipyvät kokonaan. Tässä tapauksessa aaltojen sanotaan olevan vastavaiheessa.



Kuva B. Kaksi vastavaiheessa olevaa värähtelyä kumoavat toisensa, tuloksena on värähtelyn häipyminen (nolla-amplitudi).

Näin käy esimerkiksi silloin, kun toisen aallon kulkema matka on parittoman määrän puoliallonpituuksia pitempi kuin toisen aallon kulkema matka. Kun kaksi monokromaattista valoaaltoa, jotka ovat kulkenneet eri teitä, yhdistetään yhdeksi säteeksi, saattaa ilmetä kaikkia eri väliasteita suurimmasta mahdollisesta intensiteetistä täydelliseen häipymiseen.



Kuva C. Holografisen valotuksen perusasetelma.

Agfa-Gevaertin holografiaa varten tarkoitettu Holotest-valikoima sisältää seuraavat tuotteet

	Emulsio	Levyt	Filmit
10E75	He-Ne- ja rubiinilaseri	ilman antihalokerrosta	antihalokerroksella
8E75HD	argon- ja kryptonilaseri	ilman antihalokerrosta	antihalokerroksella
8E56HD	argon- ja kryptonilaseri	antihalo emulsiolla	—
10E56	argon- ja kryptonilaseri	ilman antihalokerrosta	antihalokerroksella

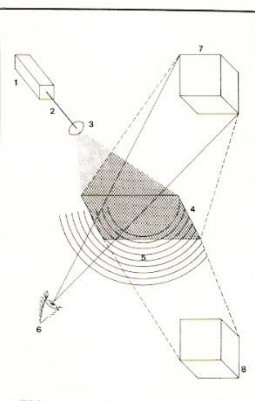
Kuva E.

Kuva C kertoo holografian valotusmenetelmän periaatteen. Laseri (1) emittoi koherenttia valosädetä (2), jonka puoliksi läpinäkyvä peili (3) osittain päästää lävitseen ja osittain heijastaa. Heijastunut säde (4), jota kutsutaan referenssisäteeksi, heijastuu linssin (5) läpi valokuvaukselliselle emulsiolle (6).

Läpikässyt säde (7) kulkee myös linssin (8) läpi, jotta se valaisisi kappaleen täysin (9). Tämän kappaleen jokaisessa pisteessä valo heijastuu kaikkiin suuntiin ja siis myös kohti valokuvauksellista materiaalia (10).

Jokainen kappaleesta heijastuva säde kohtaa valokuvauksellisen emulsion yhdessä referenssisäteen kanssa. Koska molemmat säteet ovat lähtöisin samasta koherenttiin valon lähteestä, seurauksena on interferenssi. Säteissä ilmenee vaihe-ero näiden kahden tien välisen pituuseron mukaisesti. Jos niiden pituusero on aallonpituuksien parillinen kerrannainen, säteet vahvistavat toisiaan. Jos ero on puoliallonpituuksien pariton kerrannainen, nuo kaksi sädetä kumoavat toisensa. Näin valokuvauksellista materiaalia saadaan alueita, joissa säteilyn intensiteetti on ollut suurta tai pientä ja kehityksen jälkeen ne nähdään suurempina tai pienempinä mustumina. Tätä valokuvauksellista tulosta kutsutaan hologrammiksi.

Kuva saadaan jälleen näkyväksi (kuva D) samalla tavoin laserin (1)



Kuva D. Kuvan rekonstruointi.

kuin jonkin muun pistemäisen monokromaattisen valolähteen avulla. Lasersäde (2) hajautetaan linssin (3) avulla hologrammille (4) suurin piirtein samassa kulmassa kuin referenssisäde osui valokuvaukselliseen materiaaliin tallennuksessa. Tarkastajan silmä ei voi havaita, onko nähty kuva itse kappale vai syntyykö se säteistä, jotka taittuvat hologrammissa. Tarkastaja näkee kappaleen sen alkuperäisessä asemassa. Tämä kuva on todella kolmiulotteinen. Etualalla olevan (eli valolähteen puoleisen) oletetun kuvan (7) lisäksi on myöskin tosin kuva (8) hologrammin takana (katsojan puolella).

Kun hologrammista poistetaan pelkistyksellä hopea, saadaan vaihehologrammi. Kun tätä hologrammikuva muutetaan näkyväksi, käytetään hyödyksi vain valon vaihetta.

Sovellutukset

Hologafiassa ei kiinnosta niinkään kolmiulotteinen kuva kuin se, että sen avulla voidaan havaita ja mitata pieniäkin epämuodostumia; tällöin puhutaan holografista interferometriasta.

Tässä menetelmässä suoritetaan holografiavalotus puolella normaalista valotusajasta, sitten kappaleita rasitetaan erilaisella paineella tai lämpötilalla ja lopuksi valotetaan toinen puoli normaalista valotusajasta.

Kun aaltorintamat tehdään jälleen näkyviksi, ne synnyttävät makroskooppista interferenssiä, joka saattaa sisältää tärkeitä tietoja tarkastettavan kappaleen sisäisestä rakenteesta. Tätä menetelmää käytetään muun muassa autotengas- ja lentokoneetöissä.

Valokuvauksellinen materiaali

Hologafiassa käytettävien valokuvauksellisten materiaalien on täytettävä seuraavat erikoisvaatimukset:

(Ks. kuva E.)

- väriherkkyyden on sovittava lasersäteilylle
- erotuskyky on oltava erittäin suuri

Kehitystapahtuma

Kehityshuoneen valaistus

Suosittelavat kehityshuoneen valosuotimet:

Holotest 8E75HD ja 10E75: täydellinen pimeys

Holotest 8E56HD ja 10E56: R4 (tummanpunainen)

Kehittäminen

Kehite G3P tai Metinol U tai G 280 (1 + 4); aika 4—5 min; lämpötila 20°C.

Kiinnittäminen

Kiinnite G 321; aika 4 min.

Oy Agfa-Gevaert Ab
Teknillinen osasto/Röntgenryhmä

