

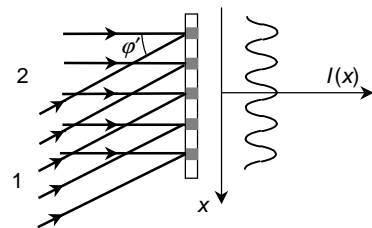
6. OPTINĖ HOLOGRAFIJA

Optine holografija vadinamas šviesos bangų struktūros užrašymo ir atkūrimo metodas, grindžiamas koherentinių šviesos pluoštelių difrakcija ir interferencija. Kaip ir fotografijoje ji užtikrina tiriamųjų objektų atvaizdų užrašymą, saugojimą ir atkūrimą. Tačiau įprastoji fotografija pateikia tik plokščią tūrinio objekto atvaizdą, kuris matomas tik iš tam tikros vietos. Apžiūrint fotonuotrauką negalima pažiūrėti už daiktų, esančių priekiniame plane. Holografija įrašo ir atkuria ne dvimatį apšvietos skirstinį nuotraukos plokštumoje, o visą informaciją apie objekto išsklaidytas šviesos bangas (apie sklidimo linkmę, amplitudę, fazę, bangos ilgį, poliarizaciją). Iš hologramos atkurtos šviesos bangos sukuria realaus daikto iliuziją – matomas erdvinis daikto atvaizdas. Artimi ir tolimi daiktai matomi vienodai ryškiai. Keičiant stebėjimo vietą galima matyti daikto įvairias detales.

Hologramoje įrašomas interferencinis vaizdas, susidaręs susikirtus objekto išsklaidytajai šviesos bangai su koherentine pamatine banga. Šis interferencinis vaizdas fiksuoja visą informaciją apie daikto bangos amplitudę ir fazę. Hologramos apšvietimas banga, tapacia pamatinei bangai, sukuria difrakcines bangas, viena kurių yra daikto išsklaidytosios bangos kopija. Ši banga, patekusi į stebėtojo akį, sukelia tokius pat pojūčius, kaip ir žiūrint į daiktą tiesiogiai.

Holografijos principus lengviausia paaiškinti nagrinėjant nesudėtingus objektus. Paprasčiausias yra plokščiosios bangos holografinis užrašymas ir atkūrimas.

Tarkime, kad iš daikto sklindanti plokščioji banga 1 krinta į fotografinę plokštelę kampu φ' (6.1 pav.). Momentinis šviesos virpesių fazių pasiskirstymas plokštelės paviršiuje priklauso nuo bangos krypties, bet šviesai jautriame sluoksnyje užrašomas tik vidutinis apšvietos skirstinys, susidaręs eksponavimo metu ir plokštelė vienodai pajuoduoja. Iš pajuodimo laipsnio sprendžiama apie šviesos virpesių amplitudes, bet informacijos apie jų fazes nėra, todėl nusakyti plokštelę veikiančios bangos 1 krypties negalima.



6.1 pav. Plokščiosios bangos hologramos sukūrimas

Tarkime, kad tuo pačiu metu į fotografinę plokštelę kartu su daikto banga 1 krinta jai koherentinė plokščioji pamatinė banga 2. Abi bangos interferuoja ir fotografinės plokštelės paviršiuje susidaro tarpusavyje lygiagrečios stacionarios interferencinės juostelės, orientuotos statmenai brėžinio plokštumai. Intensyvumo pasiskirstymas išilgai x ašies išreiškiamas taip:

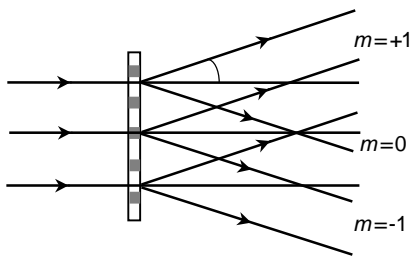
$$I(x) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos [k \Delta(x)] ;$$

čia $k = 2\pi/\lambda$ – bangų skaičius, $\Delta(x) = x \sin\varphi'$ – jų eigos skirtumas.

Atstumas tarp gretimų juostelių

$$d = \frac{2\pi}{k \sin \varphi'} = \frac{\lambda}{\sin \varphi'}$$

Taigi, holograma yra savotiška difrakcinė gardelė, kurios praleidimas išreiškiamas sinusine funkcija. Hologramos interferencinių juostelių struktūroje yra visa informacija apie daikto bangos fazę.



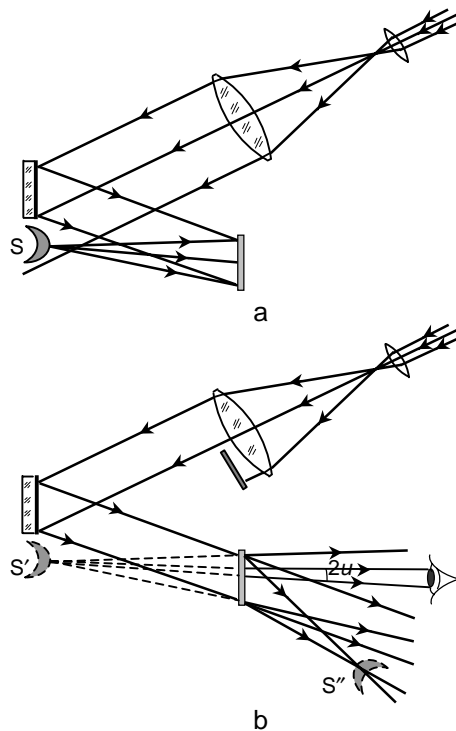
6.2 pav. Plokščiosios bangos atkūrimas holograma

Nesunku suprasti, kaip iš tokios hologramos galima atkurti joje įrašytą daikto bangą. Į hologramą nukreipiama atkuriančioji banga (6.1.2 pav.), tapati pamatinei bangai 2, kuri buvo naudota užrašymo metu. Jai difragavus nuo hologramos – sinusinio praleidimo gardelės – susidaro trys plokščiosios bangos. Viena jų atitinka pagrindinį $m = 0$ eilės maksimumą ir sklinda krintančiosios bangos kryptimi. Kitų dviejų bangų pagrindinių maksimumų eilė $m = \pm 1$. Holografijoje svarbiausia yra $m = 1$ eilės banga, kurios kryptį φ nusako tokia sąlyga:

$$d \sin \varphi = \lambda$$

Kadangi $d = \lambda / \sin \varphi'$, tai $\varphi = \varphi'$, t. y. šios bangos kryptis ir kitos charakteristikos yra tokios pat kaip ir daikto bangos 1 įrašant hologramą. Apžiūrint hologramą į akį patekusi difragavusi atkuriančioji banga sukelia tokį pat pojūtį, kaip ir tiesiogiai žiūrint į daiktą.

Sudėtingo objekto holograma sukurama jį apšvietus koherentinės lazerio spinduliuotės pluoštelium. Pagal Furjė (*Fourier*) teoremą objekto išsklaidytą bangų lauką sudaro plokščiosios bangos. Kiekviena gardelė, interferuodama su pamatine lazerio skleidžiama banga, fotografinėje plokštelėje sukuria savitą būdingos orientacijos ir periodo interferencinių juostelių sistemą. Hologramą sudaro difracinių gardelių visuma. Atkūrimo metu kiekviena jų sudaro ją atitinkančią pradinę elementariąją plokščiąją bangą ir sukuria pagrindinį difracinį maksimumą $m = 1$. Visos atkurtos elementariosios bangos turi tokį pat amplitudžių ir fazių santykį, koks buvo užrašant hologramą. Jos visos sudaro objekto išsklaidytą šviesos lauką, t. y. ten, kur



6.3 pav. Hologramos įrašymo (a) ir vaizdo atkūrimo (b) schema

anksčiau buvo daiktas, sukuriamas jo menamasis atvaizdas.

Viena iš hologramos užrašymo ir vaizdo atkūrimo schemų pavaizduota 6.3 pav. Lazero spindulių pluoštas, papildomai išplėstas optine sistema, nukreipiamas į objektą ir į greta esantį veidrodį. Nuo veidrodžio atsispindėjusi banga ir daikto išsklaidytos bangos koherentiškos, todėl atsispindėjusioji banga naudojama kaip pamatinė. Atkūrimo metu tiesiai perėjusi banga ir difragavusios bangos, kuriančios menamąjį S' ir tikrąjį S'' atvaizdą, yra išskirtos erdvėje, todėl be trukdymų galima pamatyti menamąjį atvaizdą.

Sudėtingą objektą, sklaidantį koherentinę lazerio šviesą, galima laikyti taškinių spindulių, sklaidžiančių sferines bangas, aibe. Dėl tų bangų interferencijos su pamatine banga hologramoje susidaro sudėtinga viena kitą iš dalies užklojančių zoninių gardelių visuma. Objekto atvaizdo kūrimo metu pamatinei bangai difraguojant nuo tų gardelių kiekviena jų sudaro bangą, sklindančią iš taško, kur buvo atitinkamas šviesą sklaidantis daikto taškas hologramos įrašymo metu. Visos šios bangos sukuria objekto menamąjį atvaizdą. Jos nesiskiria nuo objekto išsklaidytų bangų įrašymo metu, kadangi jų amplitudžių ir fazių pasiskirstymas yra toks pat, todėl holograma visiškai atkuria objekto erdvinę sandarą ir perteikia ne tik matomą erdvinį vaizdą, bet ir sukuria paralakso reiškinių (vaizdo kitimą keičiant žiūrėjimo vietą).

Svarbi hologramos savybė yra ta, kad daikto bangą galima atkurti ir iš nedidelės hologramos dalies. Jei difrakcinės gardelės dalis uždengiama, difragavusių spindulių kryptis nepakinta, tik sumažėja jų intensyvumas ir šiek tiek išplinta pagrindiniai maksimumai. Ši išvada teisinga ir zoninei plokštei, kurios nedidelę dalį galima laikyti difrakcine gardele su išlinkusiais režiais ir besikeičiančiu periodu. Bet kuri zoninės plokštelės dalis atkuria tą pačią sferinės bangos dalį.

Kiekvienoje hologramos dalyje yra užkoduota visa informacija apie visus daikto taškus. Mažesnių matmenų hologramos skiriamoji geba mažesnė, regėjimo laukas siauresnis, nes interferuoja mažiau spindulių.

Jei atkūrimo metu šviesos pluoštelis tapatus pamatiniam hologramos įrašymo metu, tai menamasis atvaizdas yra toje pat vietoje, kur buvo daiktas, ir visiškai į jį panašus, tačiau atkuriant galima naudoti ir kitokia kryptimi sklindančią šviesą, tada menamasis S' ir tikrasis S'' atvaizdas pasislenka atitinkamu kampu.

Sukurti atvaizdą galima ir kitokio bangos ilgio negu užrašant monochromatine šviesa, tik sukurto atvaizdo tiesiniai matmenys skiriasi nuo daikto matmenų, jis yra kitokiu atstumu nuo hologramos, be to, ir pamatinė, ir atkuriančioji banga gali būti ne tik plokščioji, bet ir sferinė.

Visada, kai atkuriančioji banga netapati pamatinei, nuo hologramos difragavusių spindulių pluošteliai, kuriantys atskirų daikto taškų atvaizdus, pasidaro nebendracentriai. Sukurtajam atvaizdai būdinga sferinė aberacija, chromatizmas, koma, astigmatizmas ir distorsija (panašiai kaip ir optinių sistemų sukurtiems atvaizdams).

Nagrinėjome *plokščiąsias* (dvimates) hologramas. Jų šviesai jautraus sluoksnio storis gerokai mažesnis už įrašyto interferencinio vaizdo erdvinį periodą. Jei hologramos sluoksnio storis gerokai viršija šį periodą (atstumą tarp interferencinių juostelių), jos vadinamos *tūri-*

nėmis (trimatėmis, storasluoksnėmis) hologramomis. Tokią hologramą apšvietus baltąja šviesa atkuriamas tik vienas vaizdas. Pakeitus atkuriančiojo pluošto kryptį pakinta vaizdo atspalvis.

Natūralių spalvų atvaizdą galima gauti tada, kai vienoje tūrinėje hologramoje įrašomi interferenciniai vaizdai, susidarę apšviečiant daiktą bangomis, kurių spektrą sudaro trys pagrindinės monochromatinės dedamosios (raudona, žalia ir mėlyna), kartu sukuriančios baltosios šviesos pojūtį. Atkūrimo metu naudojant baltosios šviesos spindulį susidaro trijų spalvų trys sutapdinti daikto atvaizdai ir žmogaus akis tai suvokia kaip vieną tūrinį atvaizdą, perteikiantį natūralią daikto spalvą.