

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



# Holografija

6. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

**Avtor:** Marko Urbanč (28191096)  
**Asistent:** Martin Rigler

25.11.2021

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
1.1	Hologram ravnih valov . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Potrebsčine</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Naloge</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Navodila</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Meritve</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Obdelava podatkov</b>	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Izračuni</b>	<b>4</b>
7.1	Hologram . . . . .	4
7.2	Interferogram . . . . .	4

# 1 Uvod

Holografija je posebna vrsta fotografije, ki nam omogoči 3D slikanje predmeta. Pri navadni fotografiji zabeležimo na fotografski film (oz. naprednejše, detektor) porazdelitev gostote svetlobnega toka, ki ga seva predmet. Projekcijo dosežemo s pomočjo optične leče. Slika je jasno dvodimenzionalna.

Svetlobno valovanje nosi podatek o globinski porazdelitvi posameznih točk na površini predmeta v fazi valovanja. Pri normalni fotografiji izgubimo podatek o fazi, ker je počrtnitev film sorazmerna povprečni vrednosti kvadrata električne poljske jakosti. Pri hologramu naredimo drugače. Podatke o fazah ohranimo pravzaprav tako, da na fotografsko ploščo posnamemo interferenčno sliko med svetlobo, ki jo siplje predmet in svetlobo, ki na poti do plošče obide predmet.

Poljsko jakost obh žarkov lahko zapišemo kot:

$$\begin{aligned} E_p &= E_{p0}(x, y)e^{-i\Phi(x, y)}e^{i\omega t} \\ E_r &= E_{p0}(x, y)e^{-i\Psi(x, y)}e^{i\omega t}, \end{aligned}$$

kjer sta  $\Phi, \Psi$  fazi valovanj. Ker sta valovanji koherentni velja:

$$E(x, y) = E_p(x, y) + E_r(x, y).$$

Tako je ustrezna gostota svetlobnega toka:

$$I = (E_p + E_r)(E_p + E_r)^* = |E_p|^2 + |E_r|^2 + E_p E_r^* + E_p^* E_r.$$

Vidimo, da se na fotografsko ploščico res poleg intenzitete obeh snopov zapišeta tudi interferenčna člena, ki nosita informacijo o relativni fazi med snopoma.

## 1.1 Hologram ravnih valov

Pogledamo si lahko še hologram, kjer sta predmetni in referenčni žarek ravna valova oblike  $e^{(kr - \omega t)}$ , od katerih prvi pada na fotografsko ploščo pod kotom  $\alpha$  glede na normalo, drugi pa v smeri normale. Koordinatni sistem lahko postavimo tako, da se valovna vektorja prvega in drugega žarka zapišeta kot  $\vec{k}_p = (k \sin \alpha, 0, k \cos \alpha)$  in  $\vec{k}_r = (0, 0, k)$ . Če vzamemo še, da je fotografska plošča v ravnini  $z = 0$ , lahko intenziteto interferenčnega vzorca zapišemo kot:

$$I_{int} = C |1 + e^{ik \sin \alpha k}| = C'(1 + \cos k \sin \alpha k)$$

Hologram je kosinusna uklonska mrežica s periodo:

$$d = \frac{2\pi}{k \sin \alpha}. \quad (1)$$

Natačnejši račun s Fraunhoferjevim uklonskim integralom bi nam pokazal, da dobimo pri osvetlitvi kosinusne uklonske mrežice z ravnim valom poleg prepuščenega vala še dva uklonjena žarka prvega reda, ki sta razporejena simetrično levo in desno glede na prepuščen val.

Splošen tankoplastni hologram lahko torej razumemo kot superpozicijo kosinusnih uklonskih mrežic, ki nastanejo pri interferenci referenčnega žarka in žarkov, ki izvirajo iz posameznih točk objekta.

## 2 Potrebščine

- He-Ne Laser ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ )
- Dve zrcali
- Dve leči
- Delilnik žarka
- Fotografsko ploščo
- Predmet

## 3 Naloge

- Sestaviti postavitev za snemanje in posneti hologram predmeta
- Posneti interferogram dveh ravnih valov

## 4 Navodila

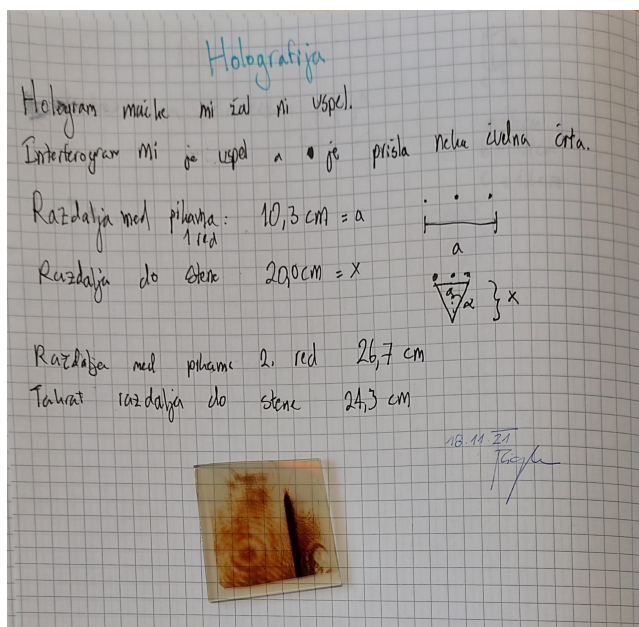
Laserski snop s pomočjo delilca razdelimo na dva žarka, ki ju razpršimo z mikroskopskima objektivoma. Naredimo predmetni žarek, ki osvetli predmet in referenčni žarek, ki predmet obide. Pravilno ju usmerimo z zrcali. Laser uporabljamo, ker je za interferenco potrebno, da je koherentna dolžina svetlobe dalša od razlike poti obeh snopov.

V drugem delu vaje je postavitev nekoliko drugačna. Postavimo oba snopa enega vzporedno na normalo fotografske ploščice in drugega pod nekim kotom  $\alpha$ . Tako lahko posnamemo inteerferogram.

V tri banjice pripravimo razvijalec, vodo in fiksir za razvijanje slike, s katerimi potem razvijemo hologram.

## 5 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.



Slika 1: Meritve v laboratorijskem dnevniku

## 6 Obdelava podatkov

Pri tej vaji je bilo nekoliko manj potrebne obdelave, kot običajno. Posledično sem vse podatke obdelal na roke.

## 7 Izračuni

### 7.1 Hologram

Hologram predmeta mi kljub trudi žal **ni** uspel. Ne razumem popolnoma zakaj saj sem bil prepričan, da sem eksperiment pravilno postavil. Na fotografski ploščici pa ni bilo videti ničesar po razvijanju.

### 7.2 Interferogram

Uspešno pa sem posnel interferogram. Ob sijanju laserja direktno na interferogram se na steni za ploščico pojavi interferenčni vzorec. Možno je bilo celo najti ojačitvi 2. reda. Za postavitev kjer se vidi samo ojačitev prvega reda sem

izmeril podatke:

$$a = (10.3 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$x = (20.0 \pm 0.1) \text{ cm}$$

kjer je  $a$  razdalja med obema ojačitvama prvega reda in  $x$  razdalja do ploščice. Za postavitev, kjer sta se videli še ojačitvi drugega reda pa sem izmeril:

$$a = (26.7 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$x = (24.3 \pm 0.1) \text{ cm}$$

Po preprosti formuli lahko izračunam kot  $\alpha$ :

$$\tan N\alpha = \frac{a}{2x}$$

kjer je  $N$  red ojačitve. Dobim kota:

$$\alpha_1 = (14.4 \pm 0.1)^\circ$$

$$\alpha_2 = (14.39 \pm 0.07)^\circ$$

Napake tu niso popolnoma natančne. Računal sem kot da kotne funkcije ohranjajo relativno napako.

Sedaj lahko iz enačbe (1) in znane valovne dolžine laserja izračunam periodo kosinusne mrežice na interferogramu. Dobim:

$$d = (2.54 \pm 0.03) \mu\text{m} \tag{2}$$