

VAJA 24. - POSKUSI Z OPTIČNO FOURIER-JEVO TRANSFORMACIJO

24.1. Optična Fourier-jeva transformacija

Matematična povezava med porazdelitvijo izvorov valovanja in smerjo sevanja valovanja ustreza Fourier-jevi pretvorbi, kot je to prikazano na sliki 24.1. Pojav lahko opazujemo pri katerikoli vrsti valovanja, ne glede na to, ali gre za vzdolžno (longitudinalno) valovanje ali prečno (transverzalno) valovanje. V tem zadnjem slučaju pojav Fourier-jeve pretvorbe tudi ni odvisen od polarizacije valovanja.

Smerni diagram zvočnika je torej Fourier-jeva pretvorba amplitude nihanja membrane. Smerni diagram antene je Fourier-jeva pretvorba porazdelitve toka na anteni. Smerni diagram svetila je Fourier-jeva pretvorba porazdelitve svetlosti vira.

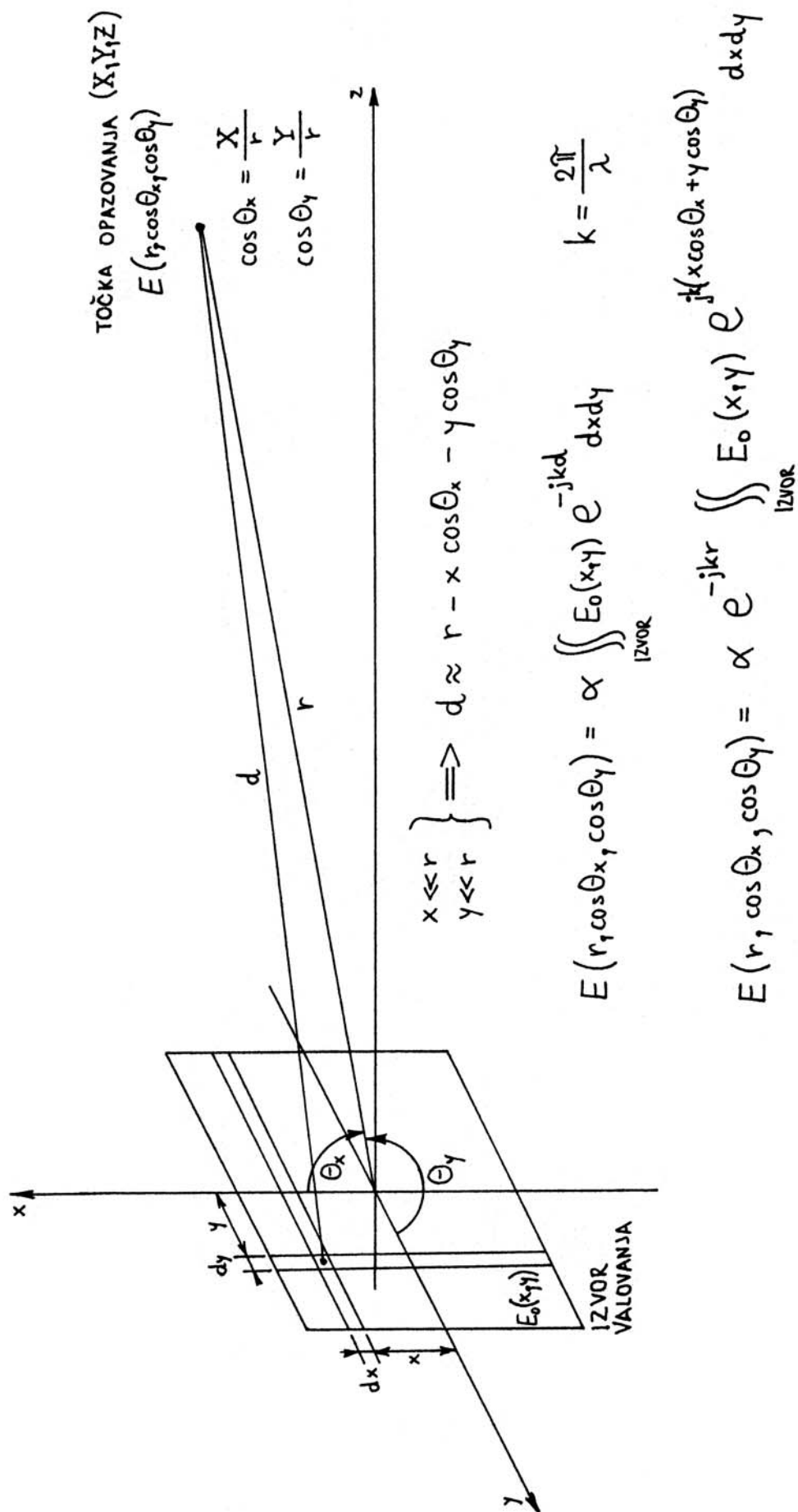
Ker opazimo Fourier-jevo pretvorbo šele v smernem diagramu, to je v daljnem polju zvočnika, antene ali svetila, pojav najlažje opazujemo, če si izberemo primerno majhno valovno dolžino. Z uporabo vidne svetlobe z valovno dolžino okoli 600 nm lahko naredimo več zanimivih poskusov na nekaj metrski mizi v laboratoriju.

Ker spada tudi Fourier-jeva transformacija med interferenčne pojave, za lažje opazovanje uporabimo kvaliteten izvor svetlobe. Medsebojna faza posameznih izvorov se ne sme spreminjati, zato mora imeti svetilo zadosti veliko prečno koherentno dolžino. Svetilo mora imeti tudi zadosti veliko vzdolžno koherentno dolžino, da enostavno opazujemo interferenčni pojav.

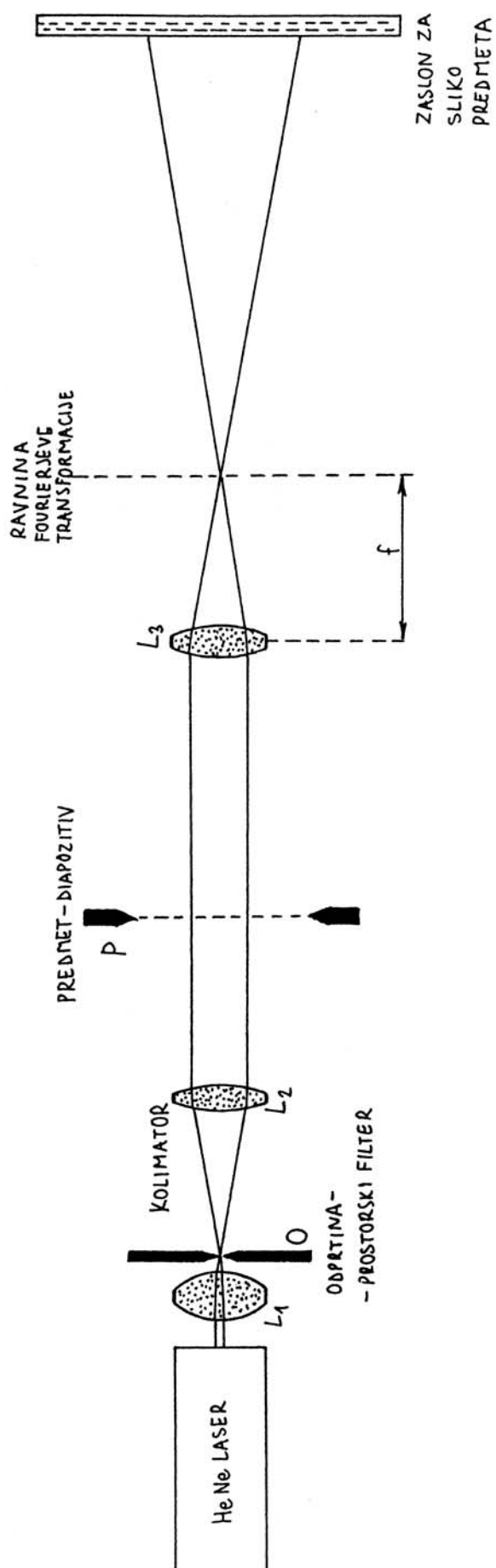
Omenjenim zahtevam za svetilo ustreza helij-neonski laser (glej sliko 24.2). Ker daje takšen izvor na svojem izhodu snop svetlobe premera okoli 1mm, uporabimo za razširitev snopa kolimator, sestavljen iz leč L1 in L2. Med leči kolimatorja namestimo zaslonko z majhno odprtino – prostorsko sito, ki očisti snop raznih nepravilnosti. Na tem mestu pravzaprav že uporabimo optično Fourier-jevo pretvorbo tako, da očistimo snop svetlobe višjih prostorskih harmonikov.

S takšnim, očiščenim snopom svetlobe želenega preseka osvetlimo predmet. Zaradi omejene moči osnovnega izvora (HeNe laserja) potrebujemo za vajo takšen predmet, ki prepušča čimveč svetlobe. Tej zahtevi se najbolj približa diapozitiv (v običajnem okvirčku).

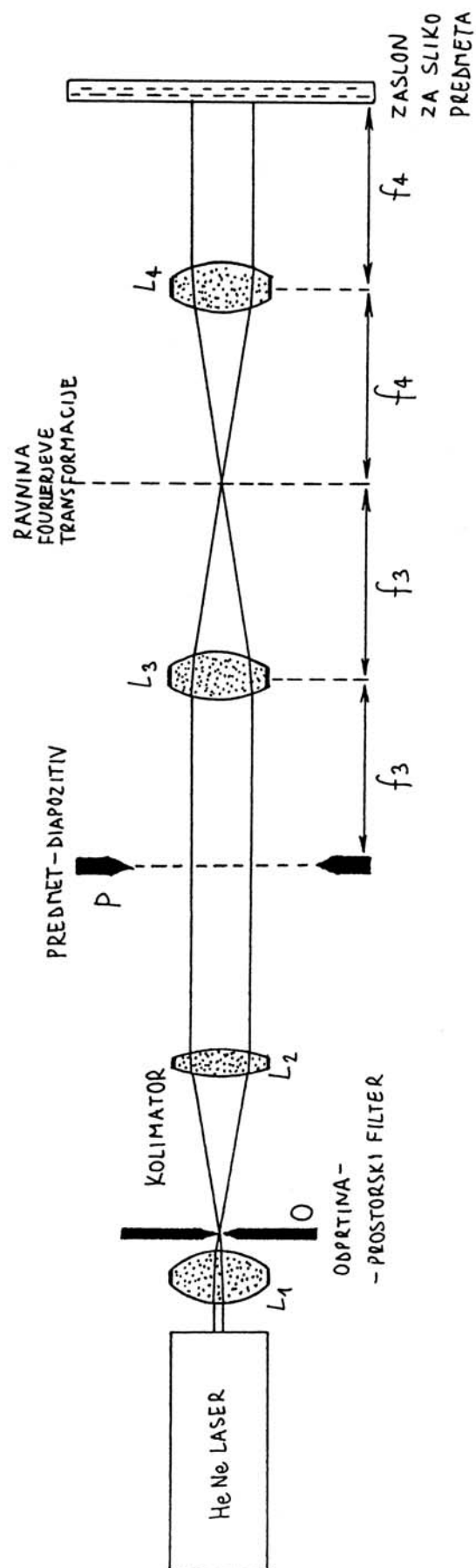
Fourier-jevo pretvorbo svetlosti predmeta dobimo kot porazdelitev svetlobe v različnih smereh. To ustreza sliki Fourier-jeve pretvorbe v neskončnosti, oziroma bolj točno v Fraunhofer-jevem področju. Da dobimo sliko Fourier-jeve pretvorbe na končni razdalji, si pomagamo z zbiralno lečo L3. Sliko Fourier-jeve pretvorbe dobimo v tem slučaju v goriščni ravnini leče. Ker ima predmet (diapozitiv) dve dimenziji, pri tem dobimo dvodimenzionalno Fourier-jevo pretvorbo.



Slika 24.1. – Dvodimenzijska Fourier-jeva transformacija pri razširjanju valovanja v prostoru.



Slika 24.2. – Optična Fourier-jeva transformacija z eno samo lečo.



Slika 24.3. – Optična Fourier-jeva transformacija z dvema lečama.

S primerno izbiro razdalje med predmetom in lečo L3 lahko dobimo v prostoru za lečo tudi povsem običajno sliko predmeta na ustreznem zaslonu. Takšna namestitev predmeta, leče in zaslona nam omogoča enostavno optično filtriranje slike: sliko opazujemo na zaslonu, med tem pa na mestu, kjer se pojavi Fourier-jeva pretvorba svetlosti predmeta, postavljamo različne ovire.

Obratno Fourier-jevo pretvorbo lahko seveda dobimo tudi na enak način kot prvo Fourier-jevo pretvorbo z uporabo dodatne leče L4, kot je to prikazano na sliki 24.3. Ker se obratna Fourier-jeva pretvorba razlikuje le v predznaku eksponentne funkcije povsem imaginarnega argumenta, dobimo po dveh zaporednih pretvorbah spet prvotno sliko predmeta, ki je zaradi zahteve po različnem predznaku v eni od obeh pretvorb obrnjena na glavo!

24.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) HeNe laser z napajalnikom in podstavkom.
- (2) Kolimator z dvema zbiralnima lečama (L1 in L2) in zaslonko z majhno odprtino - prostorskim filtrom.
- (3) Zbirko prosojnih predmetov - diapozitivov.
- (4) Zbiralno lečo za Fourier-jevo pretvorbo (L3) na podstavku.
- (5) Zaslon.
- (6) Različne ovire za filtriranje Fourierjeve transformiranke.
- (7) Klop za sestavljanje optičnih vaj.
- (8) Dodatno lečo za obratno Fourier-jevo pretvorbo (L4).

Namestitev sestavnih delov je prikazana na sliki 24.2 oziroma na sliki 24.3.

24.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Vajo sestavimo na ustrezni klopi v zaporedju, kot poteka svetlobni žarek iz izvora do zaslona. Najprej postavimo izvor - laser in sestavimo kolimator. Pri kolimatorju je najtežje pravilno nastaviti prvo lečo (L1), da zadenemo majhno odprtino v zaslonki. Drugo lečo (L2) moramo potem nastaviti tako, da dobimo snop vzporednih žarkov iz kolimatorja. Pri pravilno nastavljenih lečah kolimatorja se presek snopa ne sme spreminjati z oddaljenostjo zaslona.

Ko kolimator pravilno deluje, postavimo predmet - diapozitiv na držalu, lečo L3 (in L4) ter zaslon tako, da dobimo na zaslonu jasno sliko predmeta. Hkrati si pripravimo dodatno stojalo za zaslon na mestu, kjer se pojavlja slika Fourier-jeve pretvorbe.

Zaslon potem namestimo na mesto Fourier-jeve pretvorbe in si ogledamo rezultat za različne predmete - diapozitive. Fourier-jeva pretvorba povsem prozornega diapozitiva je povsem jasno ena sama svetla točka - enosmerna komponenta. Fourier-jeva pretvorba diapozitiva s črtastim vzorcem v eni sami smeri je raztegnjena po eni sami dimenziji. Končno, Fourier-jeva pretvorba predmeta a mrežastim vzorcem ima dve dimenziji.

Pri Fourier-jevi pretvorbi ne smemo pozabiti, da frekvenčni spekter ni odvisen samo od amplitudne porazdelitve, pač pa tudi od faze. Fourier-jeva pretvorba "matiranega" predmeta, na primer enakomerno osvetljenega lista belega papirja, zaradi naključnih sprememb faze na površini papirja proizvede zvezen spekter prostorskih frekvenc.

Zaslon prestavimo nazaj na mesto slike predmeta in preverimo pravilno nastavitve razdalj, da dobimo jasno, ostro sliko z vsemi različnimi diapozitivi.

Na koncu preizkusimo še optično filtriranje. Ko gledamo sliko predmeta na zaslonu, je v goriščni ravnini leče še vedno prisotna Fourier-jeva pretvorba svetlosti predmeta. Sliko filtriramo tako, da v goriščno ravnino leče postavljamo različne zaslonke. Če postavimo zaslonko z majhno odprtino, ki prepušča le enosmerno komponento in nizke prostorske frekvence, bo slika izgubila ostre robove. Če pa zatemnimo enosmerno komponento, bojo od slike ostali le ostri robovi.

24.4. Prikaz značilnih rezultatov

Kot rezultat vaje si skiciramo različne diapozitive in ustrezne slike dvodimenzijske Fourier-jeve pretvorbe. Pri vseh skicah si zabeležimo tudi merilo (velikost značilnih vzorcev) na slikah in pretvorbah. Zabeležimo si tudi goriščne razdalje uporabljenih leč in oddaljenosti med diapozitivom, lečami in zasloni. Končno si zabeležimo rezultat optičnega filtriranja na končno sliko, ki jo vidimo po dveh zaporednih pretvorbah in vmesnem filtriranju.

24.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Skiciraj različne diapozitive in ustrezne slike dvodimenzijske Fourier-jeve pretvorbe!
2. Izdelaj optično filtriranje slike!
3. Kakšen spekter prostorskih frekvenc da »mat« steklo?