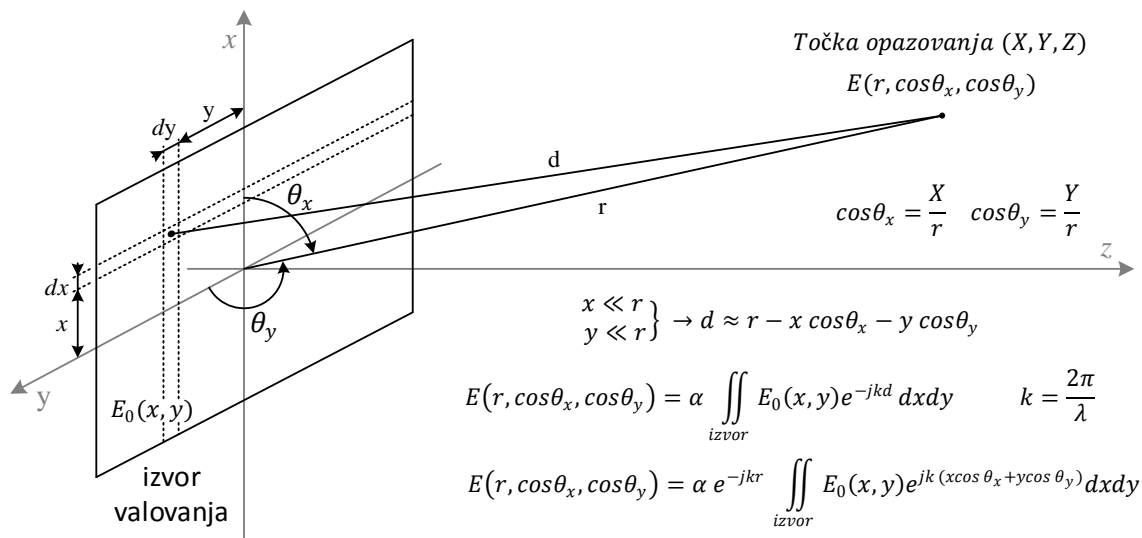


Poskusi z optično Fourier-jevo transformacijo

Optična Fourier-jeva transformacija

Matematična povezava med porazdelitvijo izvorov valovanja in smerjo sevanja valovanja ustreza Fourier-jevi pretvorbi, kot je to prikazuje Slika 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.



Slika 1: Matematična povezava Fourier-jeve pretvorbe.

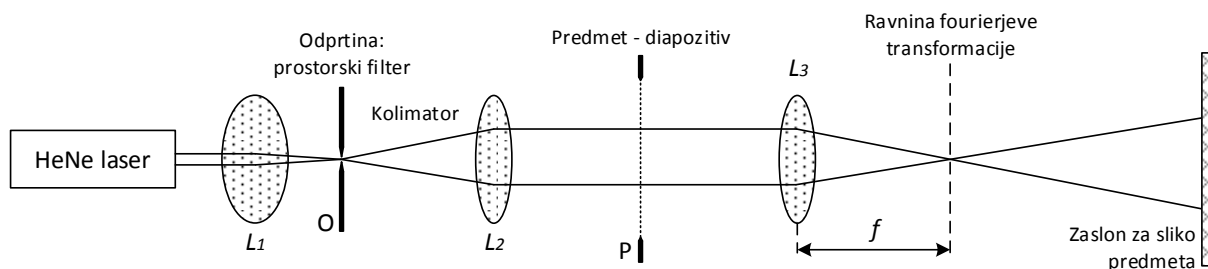
Smerni diagram zvočnika je torej Fourier-jeva pretvorba amplitude nihanja membrane. Smerni diagram antene je Fourier-jeva pretvorba porazdelitve toka na anteni. Smerni diagram svetila je Fourier-jeva pretvorba porazdelitve svetlosti vira.

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. Ker daje takšen izvor na svojem izhodu snop svetlobe premera okoli 1mm, uporabimo za razširitev snopa kolimator, sestavljen iz leč L1 in L2 (Slika 2). 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 čim več svetlobe. Tej zahtevi se najbolj približa diapozitiv (v običajnem okvirčku).

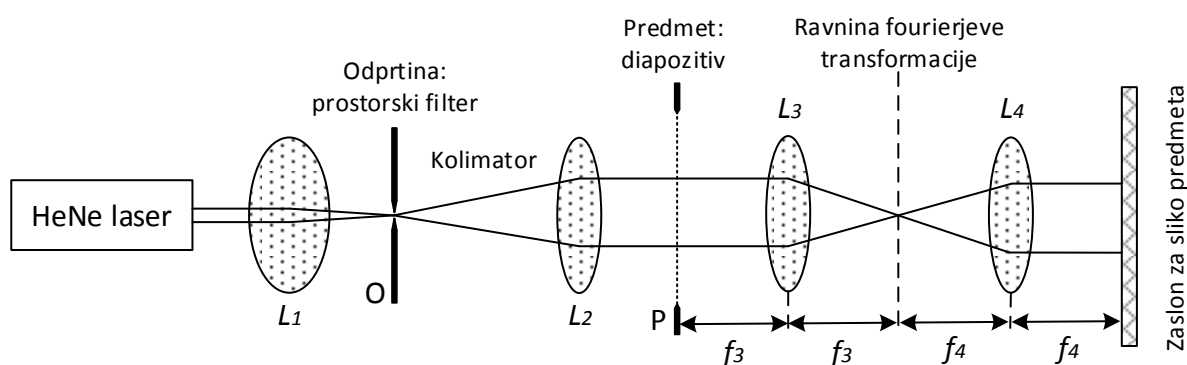


Slika 2: Optična Fourier-jeva transformacija z eno samo lečo.

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 L_3 . 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.

S primerno izbiro razdalje med predmetom in lečo L_3 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 L_4 , kot je to prikazano na Sliki 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!



Slika 3: Optična Fourier-jeva transformacija z dvema lečama.

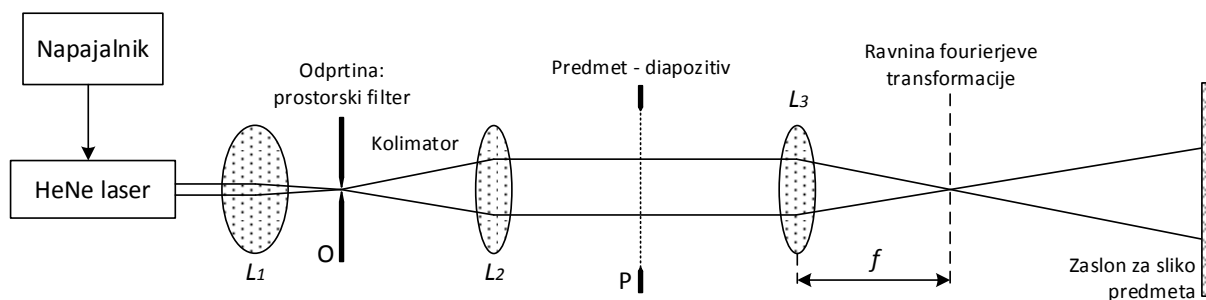
Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

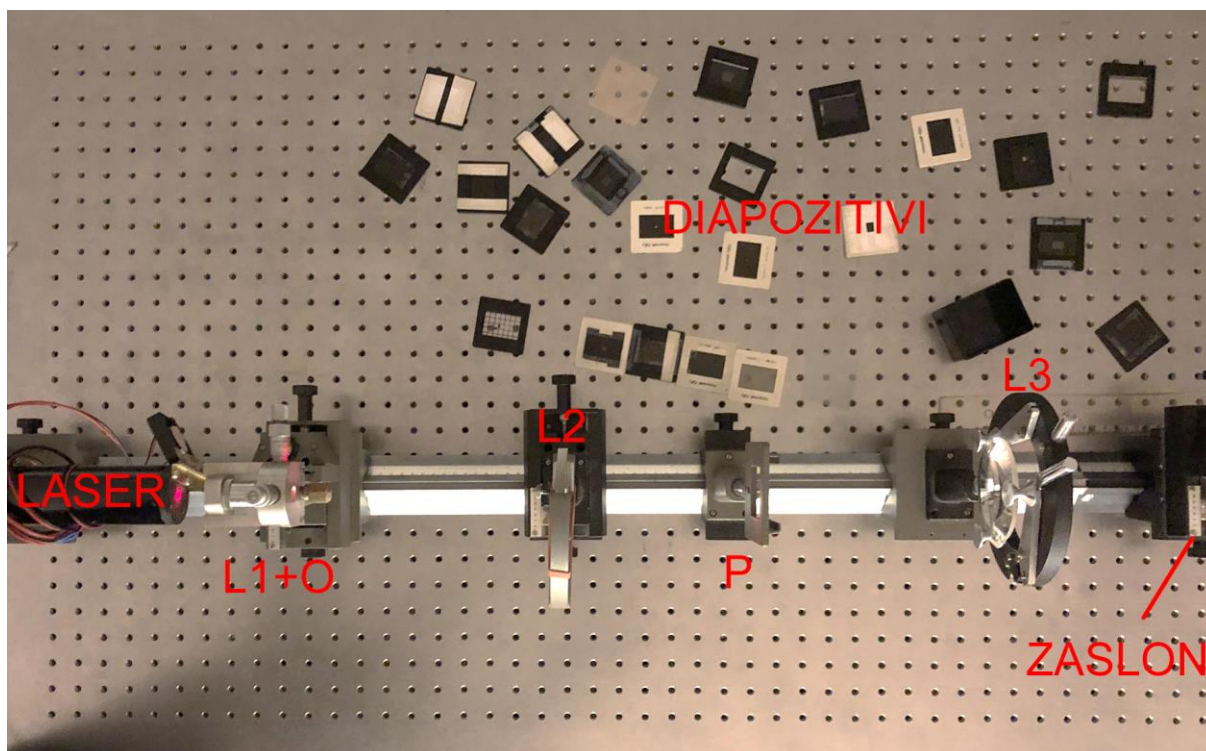
- HeNe laser z napajalnikom in podstavkom.
- Kolimator z dvema zbiralnima lečama (L_1 in L_2) in zaslonko z majhno odprtino - prostorskim filtrom.

- Zbirko prosojnih predmetov - diapozitivov.
- Zbiralno lečo za Fourier-jevo pretvorbo (L_3) na podstavku.
- Zaslona.
- Klop za sestavljanje optičnih vaj.
- Dodatno lečo za obratno Fourier-jevo pretvorbo (L_4).

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 4, razporeditev pa Slika 5.



Slika 4: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 5: Slika vezave merilnih pripomočkov

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 (L_1), da zadenemo majhno odprtino v zaslonki. Drugo lečo (L_2) 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 L_3 (in L_4) ter zaslon tako, da dobimo na zaslonu jasno sliko predmeta. 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 z 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 (enakomerno osvetljenega lista belega papirja) zaradi naključnih sprememb faze na površini papirja proizvede zvezan spekter prostorskih frekvenc. Zaslona prestavimo nazaj na mesto slike predmeta in preverimo pravilno nastavitve razdalj, da dobimo jasno, ostro sliko z vsemi različnimi diapozitivi.

Na koncu lahko 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.

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.

Naloga

1. Skicirajte različne diapozitive in ustrezne slike dvo-dimenzijske Fourier-jeve pretvorbe!
2. Kakšen spekter prostorskih frekvenc da »mat« steklo?