

FP2–V6. Ogib svjetlosti na pukotini i interferencija svjetlosti

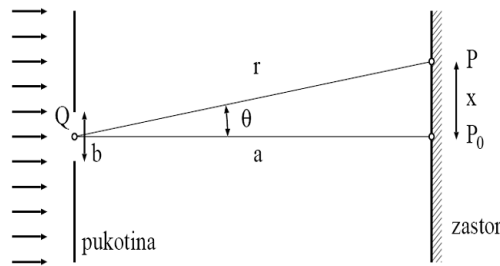
Ključni pojmovi

Ogib svjetlosti, ogibni minimumi i maksimumi, interferencija svjetlosti, optička razlika putova, Fresnelova biprizma

I. TEORIJSKI UVOD

Ogib svjetlosti

Ogib svjetlosti objašnjavamo Huygensovim principom, prema kojemu se svaka točka valne fronte svjetlosti ponaša kao izvor novog sfernog vala. Dakle, princip ogiba nigdje u sebi na sadržava nužnost postojanja pukotine. Međutim, na pukotini se ogib najbolje primjećuje.



Slika 1: Ogib na pukotini.

Ogib na pukotini

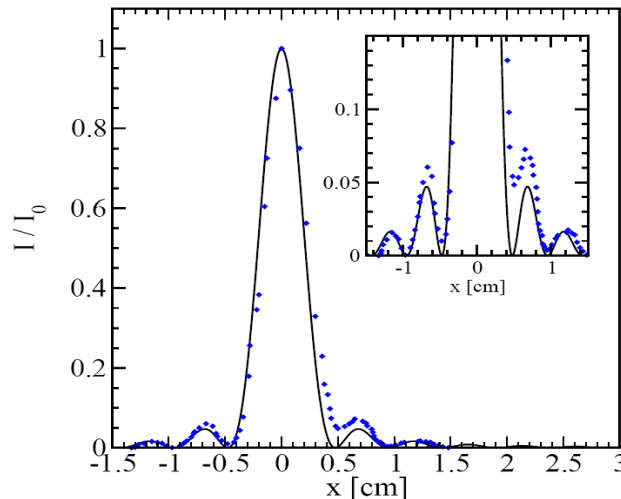
Na zastoru iza pukotine nastaje ogibna slika koja je rezultat interferencije svih novih valova nastalih ogibom (Slika 1). Raspodjela intenziteta svjetlosti na zastoru (Slika 2) dan je izrazom:

$$I(x) = I_0 \left(\frac{\sin(\alpha \sin \theta)}{\alpha \sin \theta} \right)^2 \quad (1)$$

gdje je $\alpha = \pi b/\lambda$, b je širina pukotine, λ je valna duljina svjetlosti, a θ je kut upada na zastor. Kut upada određen je sa $\sin \theta = x/\sqrt{x^2 + a^2}$, gdje su $x = \overline{PP_0}$ i $a = \overline{QP_0}$ udaljenosti označene na Slici 1. Ogibni minimumi nalaze se u točkama P_n^{\min} na zastoru, danima uvjetom:

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_n^{\min} = n\pi; \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

Kada je udaljenost između izvora i zastora velika u usporedbi sa skalom x : $a \gg x$, taj uvjet vodi na $x_n^{\min} \approx n\lambda/b$, što omogućava određivanje širine pukotine mjerenjem položaja uzastopnih ogibnih minimuma.



Slika 2: Raspodjela intenziteta svjetlosti duž ogibne slike na pukotini.

Ogibni maksimumi određeni su relacijom:

$$\tan\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_n^{\max}\right) = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_n^{\max} \quad (3)$$

Centralni maksimum odgovara kutu upada $\theta_0^{\max} = 0$, a maksimumi višeg reda su približno na pozicijama danim sa $\theta_n^{\max} \approx (2n + 1)\pi/2$, $n \neq 0$, tako da vrijedi:

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_n^{\max} \approx \pm \frac{2|n| + 1}{2} \pi; \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (4)$$

Gdje je predznak pred razlomkom jednak predznaku od n . Za položaje maksimuma ovo podrazumijeva: $x_n^{\max} \approx \pm(2|n| + 1)a\lambda/2b$. Prema tome, širinu pukotine možemo odrediti i mjereći položaje ogibnih maksimuma relativno prema centralnom maksimumu.

Interferencija svjetlosti

Pri ukrštenju svjetlosnih snopova dolazi do njihove interferencije. Efekt dolazi do naboljeg izražaja kada se radi o koherentnim snopovima svjetlosti, iste valne duljine λ . Kada radimo s dva snopa, ukupni intenzitet svjetlosti u točki koju promatramo dan je izrazom:

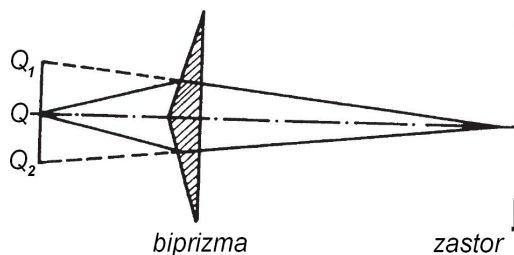
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (5)$$

gdje su I_1 i I_2 pojedinačni intenziteti dvaju izvora u toj točki, a $\delta = \phi_1 - \phi_2$ je razlika u fazi pripadnih elektromagnetskih valova. Ukupni intenzitet (5) ima maksimume u slučaju kada razlika u fazi odgovara konstruktivnoj interferenciji dva vala: $\delta = 2n\pi$, te minimume za destruktivnu interferenciju: $\delta = (2n + 1)\pi$.

Pomoću lasera i Fresnelove biprizme realiziraju se dva koherentna izvora svjetlosti (virtualni izvori Q_1 i Q_2 prikazani na Slici 3). Za standardni eksperimentalni postav (u kojem je $a \gg x$, gdje je a udaljenost virtualnih izvora od zastora, a x je udaljenost točke na zastoru u kojoj promatramo interferenciju od centralnog maksimuma), razlika Δ optičkih putova dviju zraka dana je relacijom:

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \approx \frac{x}{a} \quad (6)$$

gdje je d udaljenost između virtualnih izvora Q_1 i Q_2 . Pri tome je pripadna razlika u fazi: $\delta = 2\pi\Delta/\lambda$. Prema tome, interferencijski maksimumi na zastoru nastaju za $\Delta_n^{\max} = n\lambda$, tj. na pozicijama $x_n^{\max} = na\lambda/d$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), a minimumi za $\Delta_n^{\min} = \pm(|n| - 1/2)\lambda$, odnosno u točkama $x_n^{\min} = \pm(|n| - 1/2)a\lambda/d$ ($n = \pm 1, \pm 2, \dots$), gdje je predznak pred zagradom jednak predznaku od n .



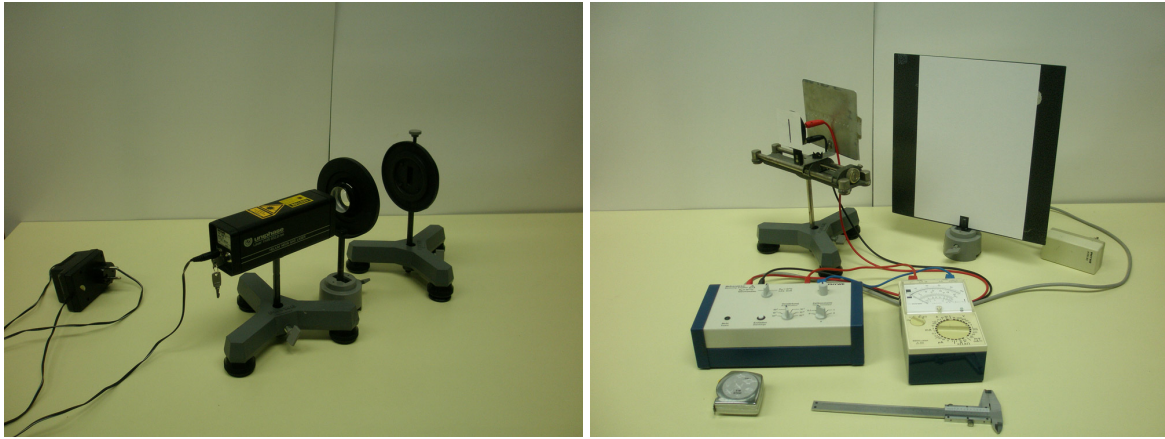
Slika 3: Interferencija svjetlosti pomoću Fresnelove biprizme – geometrija postava.

II. MJERNI UREĐAJ I MJERENJE

UPOZORENJE: Ne gledati izravno u laserski snop svjetlosti!

Ogib svjetlosti

Divergentna leća žarišne daljine $f = -5$ cm postavi se ispred lasera. Razmak između leće i pukotine neka je 7,5 cm. Raspodjela intenziteta uzduž ogibne slike u smjeru okomitom na pukotinu mjeri se pomoću fotočelije, koja se može pomicati pomoću vijka po optičkoj klupici s milimetarskom skalom. Fotočelija je udaljena od pukotine 2 do 3 m, a prekrivena je zaslonom s vrlo uskom pukotinom. Ostvari se ogibna slika na jednoj polovici zaslona. Fotočelija se pomiče uzduž milimetarske skale i mjeri se fotoelektrični napon. Potrebno je također odrediti i "tamnu" vrijednost napona, tj. napon kada nema laserskog snopa. Tamna vrijednost se odbije od izmjerenog napona. Napon se mjeri pomoću vrlo osjetljivog voltmetra koji ima "10 mV" skalu, a može se koristiti i pojačalo s pojačanjem ne većim od 10^2 (primijetite da se pomoću dugmeta "0" na pojačalu



Slika 4: Ogib svjetlosti na pukotini.

tamna vrijednost napona može reducirati na nulu). Širina pukotine se podesi tako da je moguće izmjeriti varijacije napona u području centralnog maksimuma i dva sporedna maksimuma s lijeve i dva s desne strane od centralnog maksimuma. U području centralnog maksimuma mjerite za pomake od 1 mm (barem 15 točaka), a u području preostalih maksimuma za manje pomake (barem 2 puta po 10 točaka). Pri mjerenju u području sporednih maksimuma, pomoću vijka pronađite što je moguće preciznije položaje minimuma i maksimuma, a položaje očitajte pomoću pomične mjerke s preciznošću od 0,1 mm.

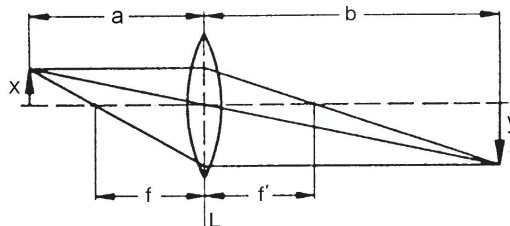
Interferencija svjetlosti

Na optičku klupu postave se laser, leća ($f = +2$ cm) i stalak s Fresnelovom biprizmom, razmaknuti za približno 20 cm. Milimetarski papir na zidu udaljenom od zrcala 2 do 3 m služi kao zastor. Laserskim snopom osvjetli se pregib prizme. Na zastoru dva novonastala snopa svjetlosti (kao iz dva virtualna izvora) dođu u interferenciju. Pojavljuju se interferentne pruge. Potrebno je izmjeriti udaljenost uzastopnih interferencijskih minimuma ili maksimuma te udaljenost biprizme od zastora.

Za određivanje udaljenosti d virtualnih izvora koristimo drugu leću, žarišne daljine $f = +30$ cm, pomaknutu od biprizme za približno 20 cm uzduž optičke osi. Žarišna daljina leće f , udaljenost predmeta od leće a , udaljenost slike od leće b te veličine predmeta i slike x i y (Slika 5) povezani su relacijama:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad \text{i} \quad \frac{a}{b} = \frac{x}{y} \quad (7)$$

Virtualni izvori Q_1 i Q_2 definiraju predmet za tu leću. Visina predmeta je $x = d$. Na zastoru se postigne realna slika. Izmjere se udaljenosti b i y . Koristeći poznatu vrijednost žarišne daljine i relacije (7) izračuna se d te udaljenost virtualnih izvora od biprizme.



Slika 5: Određivanje veličine predmeta pomoću konvergentne leće.

Zadaci

- Nadite raspodjelu intenziteta svjetlosti uzduž ogibne slike nastale na pukotini (Slika 2). Nacrtajte ovisnost $I(x)/I_0$ intenziteta o udaljenosti od centralnog maksimuma. Valna duljina svjetlosti je $\lambda = 632,8$ nm. **Položaje x_n^{\min} i x_n^{\max} ogibnih minimuma i maksimuma ne tražite temeljem najniže ili najviše mjerene točke, već ih vizualno procijenite kao da ste vlastoručno povukli glatku krivulju kroz mjerene točke.** Izračunajte širinu pukotine b iz položaja ogibnih minimuma i maksimuma, obavezno koristeći jednu jedinu instancu metode najmanjih kvadrata koju primjenjujete na zajednički skup podataka i za minimume i za maksimume (razmislite kako!).
- Odredite valnu duljinu svjetlosti lasera pomoću interferencije s Fresnelovom biprizmom. Procijenite nepouzdanosti. **Ne zaboravite izmjeriti udaljenost virtualnih izvora!**