

Michelsonova interferometrija

Uvod

Svetlobo lahko opišemo kot tok fotonov ali kot elektromagnetno valovanje. V slednjem opisu, ko je svetloba opisana kot potujoče valovanje, pride do zanimivih učinkov. V primeru, ko se dve valovanji z enako frekvenco združita, pride do pojava, ki mu rečemo interferenca. Ker imata valovanji enako frekvenco, le drugačno smer, amplitudo ali fazo, vplivata drug na drugo. Valovanji se namreč seštejeta (superponirata). Npr. pri svetlobi je odmik jakosti električnega polja v določenem času in določenem kraju vsota prvega valovanja in drugega valovanja. Recimo, da je y nihajoča količina. Potem lahko zapišemo interferenco dveh valovanj z frekvenco ω , amplitudama a_1 in a_2 ter fazama φ_1 in φ_2 :

$$y = a_1 \cdot \sin(\omega t - \varphi_1) + a_2 \cdot \sin(\omega t - \varphi_2) \quad (1)$$

Slednji izraz lahko zapišemo kot

$$y = A \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

z amplitudo

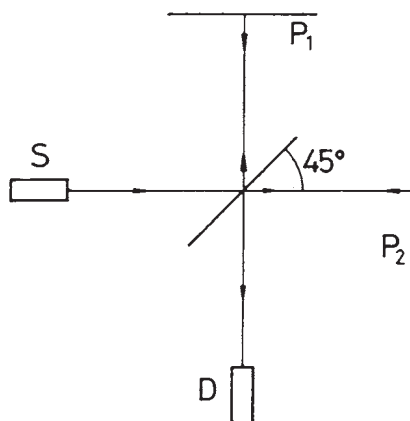
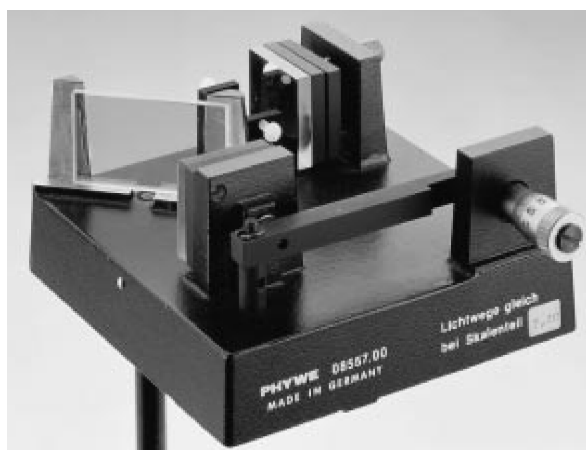
$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cdot \cos(\delta) \quad (3)$$

in fazo

$$\delta = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (4)$$

Vidimo, da nastane zaradi interference novo valovanje, ki ima enako frekvenco, le amplituda (A) in faza (δ) se spremenita. Pojav interference izgine, če se faza in amplituda vpadnih valovanj spremenijo, kar je običajno pri navadnih svetilih (sonce,

žarnice, ...). Zaradi tega potrebujemo za opazovanje interference koherentne vire valovanja, kot je npr. laserska svetloba. Najpogosteje srečamo He-Ne laser, ki izseva svetlobo z valovno dolžino 632nm. Žarek koherentne svetlobe razdelimo na dva žarka s polpropustnim ogledalcem. Tako dobimo dve potujoči valovanji z popolnoma enako frekvenco, ki potujeta po različnih poteh. Ko ti valovanji znova združimo, pride do pojava interference.



Slika 1: Michelsonov interferometer (levo) in shematski prikaz poti valovanja (desno).

Na sliki 1 je prikazana fotografija Michelsonovega interferometra. Desno je shematični prikaz. Vidi se polpropustno stekelce, ki se nahaja pod kotom 45 stopinj in razdeli laserski žarek na dva dela. Žarka nato nadaljujeta pot ločeno in se od ogledalc (P1 in P2) odbijeta nazaj. Nato se na žarka ponovno združita in tvorita interferenčno valovanje. Izvor žarka je označen z (S), detektor pa (D).

Električno polje svetlobna vala na poti od polpropustnega zrcalca do zrcalc P1 in P2 lahko opišemo kot

$$E_1 = E_0 \cdot \sin(k_1 x_1 - \omega t - \varphi_1) \quad \text{in} \quad E_2 = E_0 \cdot \sin(k_2 x_2 - \omega t - \varphi_2) \quad (5)$$

kjer sta x_1 in x_2 krajevne dolžine (poti) posameznih žarkov in k_1 in k_2 valovna vektorja žarkov, določena s frekvenco ω in hitrostjo svetlobe c ($k = \omega/c$). Iz p enačb (2-4) lahko zapišemo krajše

$$E_1 = E_i \cdot \sin(\omega t - \Delta\varphi - \delta)$$

$$E_i^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cdot \cos(\Delta\varphi + \delta) \quad (6)$$

$$\Delta\varphi = k_2x_2 - k_1x_1$$

Slednji izraz za $\Delta\varphi$ vsebuje člene, ki so odvisni od prepotovane poti valovanja. V primeru, ko je hitrost svetlobe v obeh krakih enaka in velja $k_1=k_2$, potem se zadnja enačba poenostavi v

$$\Delta\varphi = k\Delta x, \text{ kje je } \Delta x = x_2 - x_1 \quad (7)$$

Ker detektor zazna intenziteto svetlobe (I), ki je sorazmerna z E_i^2 , izmerimo na detektorju

$$I = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cdot \cos(k\Delta x + \delta) \quad (8)$$

Z premikanjem zrcalca P2 spreminjamo Δx in na detektorju opazujemo kako se periodično spreminja intenziteta signala. Sprememba razdalje, ki povzroči N nihajev v intenziteti ustreza izrazu $k\Delta x = 2\pi N$. Iz tega izraza izračunamo valovno dolžino svetlobe, saj velja da je hitrost svetlobe $c = \omega\lambda/2\pi$.

Michelsonov interferometer je Michelson leta 1881 uporabil (Michelson-Morleyev eksperiment), da je pokazal da je hitrost svetlobe izotropna. S tem je ovrgel teorijo etra. V tem času so namreč sklepali, da je hitrost svetlobe v smeri jug-sever različna od hitrosti svetlobe v smeri vzhod-zahod. To hipotezo so postavili na predpostavki, da se zemlja pomika z določeno hitrostjo glede na neko fiksno točko v vesolju. Imenovali so jo teorija etra. Če predpostavimo, da teorija etra velja, potem $k_1 \neq k_2$. Posledično, je izmerjena valovna dolžina laserja odvisna od postavitve eksperimenta glede na smer sever-jug. Kot med severom in določeno smerjo se imenuje azimut.

Hipoteza

Z meritvijo dolžine interferenčnih prog pokaži naslednje trditve:

- Valovna dolžina He-Ne laserja je 632 nm.
- Hitrost svetlobe izotropna in ni odvisna od obodne hitrosti zemlje.

Opis meritve

Michelsonov interferometer se nahaja na nosilni plošči kot je prikazano na sliki 1. Sestavljen je iz dveh ogledal, ki sta postavljeni pravokotno eno na drugo. Pozicija prvega ogledala je fiksna, spreminja se nagib in kot. Drugo ogledalo se nahaja na vzvodu, s katerim lahko ogledalo premikamo pravokotno na ravnino ogledala. Vzvod premikamo z mikrometerskim vijakom. Vzvod zmanjša premike na ogledalo v razmerju 1:10. Med dve ogledali je postavljeno delno posrebreno steklo. Posrebreno steklo je postavljeno pod kotom 45° , tako da loči vpadni žarek proti obema ogledaloma.

Navodila

Privij daljšo kovinsko palico v interferometer. Postavi interferometer približno 30 cm proč od laserja. Postavi lečo na približno polovico poti med laserjem in interferometrom, da razširiš laserski žarek. Pred tem poravnaj sistem. Žarek mora biti poravnan z ogledalcem, in pravokoten na drugo ogledalce. Na zaslonu opazuj izhodni žarek. Z vijaki na fiksnem ogledalcu združi žarka na zaslonu v skupno točko. Z fino nastavitvijo doseži, da bodo interferenčne proge v obliki krogov. Nato izvedi naslednje:

- Izmeri valovno dolžino laserja tako da izmeriš za koliko moraš premakniti zrcalo da premakneš za N prog. Poskusi doseči čimvečji N.
- Obrni interferometer in celotno optično klop ter ponovi meritev tako, da bodo žarki potovali v drugih smereh.
- Skupaj izvedi devet meritev pri različnih azimutih interferometra

Analiza meritev

- Statistično obdelaj meritve in izračunaj valovno dolžino laserja. Prikaži porazdelitev meritve valovne dolžine z histogramom. Na histogramu dodaj normalno porazdelitev, katere srednjo vrednost in standardni odklon določiš iz meritev.
- Prikaži na grafu valovno dolžino kot funkcijo kota interferometra. Na graf dodaj linearni model z metodo najmanjših kvadratov. Glej npr. [1] ali [2]. Poišči koeficiente in napake koeficientov linearnega modela.
- Pojasni, kako je napaka valovne dolžine odvisna od števila prešteti oslabitev. Oцени kolikšna je natančnost premika ogledalca in vzvoda.

Seznam uporabljene opreme

1. Michelsonov interferometer
2. Laser He-Ne 1.0mW, 220V AC
3. Držalo za interferometer
4. Optična leča $f=2\text{mm}$
5. Stojalo za lečo
6. Prižema za optično klop (3 kosi)
7. Optična klop dolžina 60 cm
8. Nastavljive noge za optično klop (2 kosa)
9. Kovinski zaslon (300 x 300 mm) (2 kosa)
10. Podstavek za zaslon (2 kosa)

Literatura

1. SciPy. 2013; vir: http://python4mpia.github.io/fitting_data/least-squares-fitting.html.
2. Wolfram. 2013; vir: <http://reference.wolfram.com/mathematica/ref/LinearModelFit.html>.