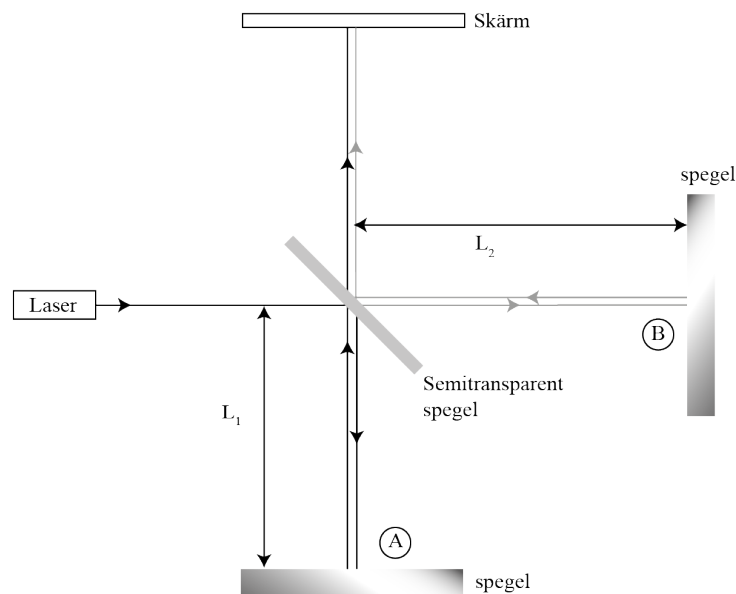


INTERFEROMETERN

1 Inledning

1.1 Michelson-interferometer

Figur 1 visar principen för hur en Michelson-interferometer fungerar. Apparaturen består av en laser, en semitränsparent spegel, två plana speglar och en skärm. Den inkommande plana vågen delas upp av den semitränsparenta spegel i två vågor A och B. Dessa vågor reflekteras tillbaka av speglarna till den semitränsparenta spegeln där de återförenas till en enda vågfront. Vågfronten fortskrider mot skärmen på vilken ljusets interferens kan observeras.



Figur 1. Funktionsprincipen för Michelson-interferometer.

Då ljuset färdas efter rutt A har det gått sträcka s_1 och brytningsindexet är n_1 ; då ljuset färdas efter rutt B är motsvarande storheter s_2 och n_2 . Då är fasskillnaden då ljusvågorna återförenas:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 s_1 - n_2 s_2), \quad (1)$$

där λ_0 är ljusets våglängd i vacuum. Produkten ns i ekvation (1) kallas för den optiska vägen. Ifall den optiska vägen är en multipel av våglängden, är fasskillnaden en multipel av 2π och det är frågan om konstruktiv interferens. Då skillnaden i den optiska vägen är $(N + \frac{1}{2})\lambda_0$ är det frågan om destruktiv interferens.

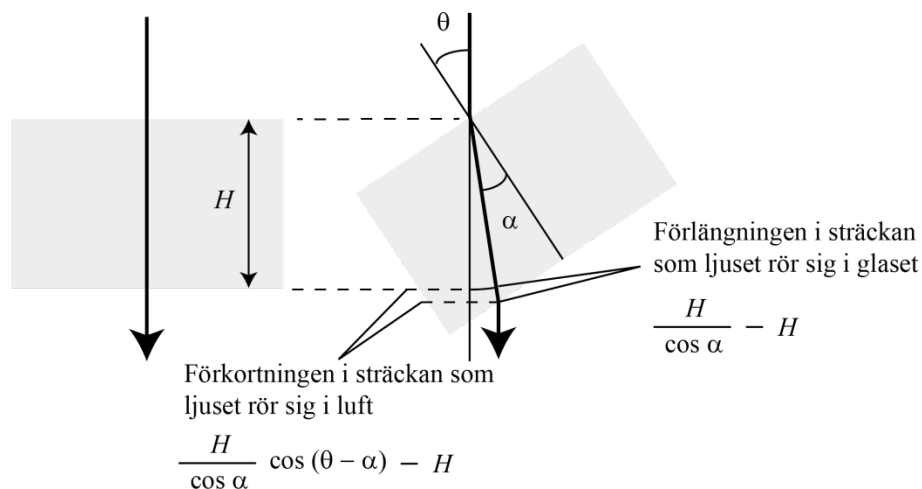
Ifall sträcka L_1 i Michelson-interferometern ökar med en halv våglängd, ökar sträcka s_1 med en våglängd. I detta fall kommer en hel period att kunna observeras på skärmen, t.ex. så att skärmen går från att vara mörk till att bli ljus till att igen vara mörk. Spegeln position kan därmed bestämmas med en noggrannhet som är mindre än det använda ljusets våglängd. Om brytningsindexet på rutt B (eller A) förändras (t.ex. då lufttrycket ändras), men speglarnas avstånd och brytningsindexet på rutt A (eller B) hålls konstant, orsakar på samma sätt en förändring i storleksordningen av en våglängd en hel period. På detta sätt kan brytningsindexets noggrannhet uppskattas till $\Delta n_2 = \frac{\lambda_0}{s_2}$.

Ovan har antagits att den inkommande vågen är en plan våg och att speglarna är exakt vinkelräta mot ljusstrålarna. Vid detta idealfall kommer skärmens upplysning att periodiskt variera som en funktion av de optiska sträckorna. För en verklig Michelson-interferometer är speglarna ofta lite sneda och ljuset från källan är dessutom en sfärisk våg vilket leder till att interferensringar i form av ljusare och mörkare ränder syns på skärmen. Vid mittaxeln beter sig Michelson-interferometern dock som för idealfallet.

Vid tillämpningar av interferometern strävar man ofta till att långsamt och kontinuerligt ändra den optiska sträckan så denna mycket noggrant går att bestämma genom att räkna interferensringarna. Då spegel 1 eller 2 långsamt flyttas sträckan L i luft, vars brytningsindex $n_i \approx 1$, är förändringen i den optiska sträckan $2n_i L$. Då är antalet interferenslinjer som försvinner eller uppkommer

$$N = \frac{2n_i L}{\lambda_0}. \quad (2)$$

1.2 Bestämning av glasets brytningsindex



Figur 2. Ändringen i sträckan som ljuset färdas då glasskivan vänds.

Då en jämntjock glasskiva vars tjocklek är H och brytningsindex n_i vänds från sin vinkelräta position förlängs sträckan som ljusstrålen färdas i glasets samtidigt som sträckan strålen färdas i luft förkortas vilket illustreras i figur 2. På skärmen kan de N stycken interferenssträck som försvinner eller uppkommer räknas. Förändringen i den optiska sträckan fås som skillnaden i sträckorna som ljuset färdats i glasets och i luft

$$2n_i \left(\frac{H}{\cos \alpha} - H \right) - 2n_i \left[\frac{H}{\cos \alpha} \cos(\theta - \alpha) - H \right] = N\lambda. \quad (3)$$

Enligt brytningslagen är $n_i \sin \theta = n_i \sin \alpha$ och $n_i \approx 1$, ekvation (3) kan alltså skrivas som

$$n = 1 + \frac{\cos \theta + \frac{N\lambda}{4H}}{\frac{2H}{N\lambda}(1 - \cos \theta) - 1}. \quad (4)$$

1.3 Bestämning av luftens brytningsindex

Ett ämnes brytningsindex n bestäms av dess elektriska och magnetiska egenskaper som beskrivs av den relativa permittiviteten ϵ_r respektive den relativa permeabiliteten μ_r . Brytningsindexet kan bestämmas från:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}. \quad (5)$$

Ett ämnes relativa permittivitet kan bestämmas med hjälp av konstanten α som beskriver atomernas eller molekylernas elektriska polarisering samt med atomdensiteten N_a [1]:

$$\epsilon_r = 1 + \alpha N_a. \quad (6)$$

Eftersom termen $\alpha N_a \ll 1$ och luftens relativa permeabilitet är ett, kan för brytningsindexet skrivas

$$n = \sqrt{1 + \alpha N_a} = 1 + \frac{1}{2} \alpha N_a. \quad (7)$$

Atomdensiteten för luft kan bestämmas tillräckligt noggrant från idealgasens tillståndsekvation. Vid konstant temperatur beror brytningsindexet således på trycket. Genom att använda en proportionalitetskonstant C kan ekvationen för brytningsindexet skrivas

$$n = 1 + \frac{\alpha p}{2 kT} = 1 + Cp. \quad (8)$$

Vid mätningarna placeras en gaskyvetten på ruttan för den ena ljusstrålen mellan den semitransparenta och den vanliga spegeln. Ljuset rör sig på denna rutt en sträcka motsvarande två gånger H . Då luften långsamt pumpas bort från kyvetten ändras trycket från p_1 till p_2 . Samtidigt räknas antalet interferenssträckor N . Förändringen i den optiska sträckan är

$$\Delta(ns) = 2H[(1 + Cp_1) - (1 + Cp_2)] = N\lambda, \quad (9)$$

från vilket proportionalitetskonstantens värde kan bestämmas

$$C = \frac{N\lambda}{2H(p_1 - p_2)} = \frac{N\lambda}{2H\Delta p}. \quad (10)$$

Ekvation (10) kan även skrivas i formen för en rak linjes ekvation

$$N = \frac{2HC}{\lambda} \Delta p, \quad (11)$$

proportionalitetskonstanten C kan således bestämmas från ekvationens riktningskoefficient. Då konstanten C är känd kan sedan luftens brytningsindex under normaltryck bestämmas från ekvation (8).

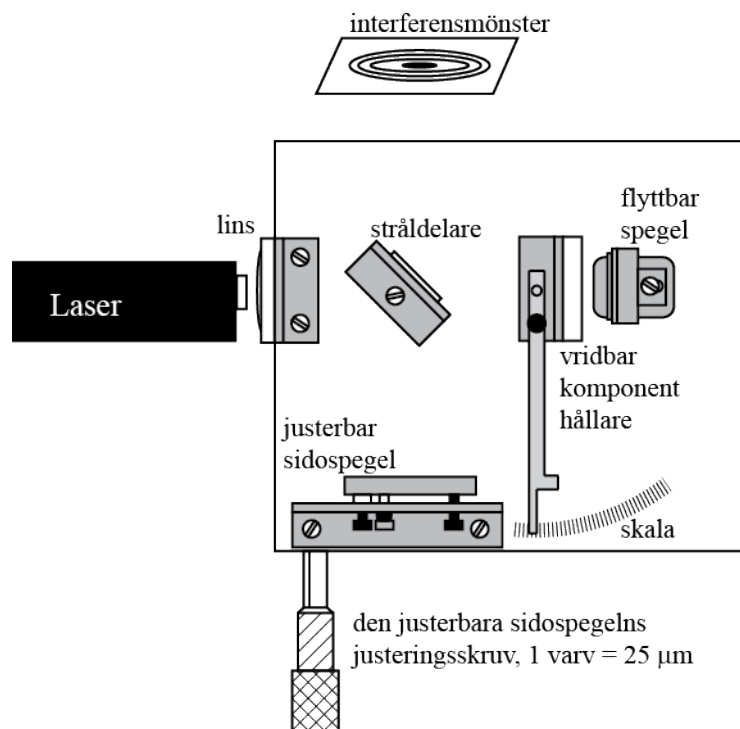
2 Målsättningar

Efter att ha utfört laboratoriearbetet

- kan studeranden förklara hur ljusets konstruktiva och destruktiva interferens föds
- kan studeranden förklara principen för en Michelson-interferometer
- kan studeranden förklara vad som menas med ett materials brytningsindex
- kan studeranden presentera mätresultaten m.h.a. en graf och anpassa en rak linje till mätdata

3 Apparatur

3.1 Apparaturens olika delar



Figur 3. Schematisk figur över Michelson-interferometern.

För att utföra mätningen behövs även:

- en mikrometerskruv (be av assistenten)

Apparaturen som används i laboriearbetet är illustrerad i figur 3. Som ljuskälla används en röd He-Ne-laser vars våglängd är 632,8 nm. Laserstrålen styrs mot en stråldelare vartefter en del av strålen reflekteras mot en sidospegel vars vinkel kan justeras med de två tumskruvarna bakom spegeln. Sidospegeln reflekterar ljuset rakt mot skärmen. En del av laserstrålen går rakt genom stråldelaren men reflekteras tillbaka av den flyttbara spegeln för att sedan reflekteras av stråldelaren mot skärmen. Den flyttbara spegeln avstånd från stråldelaren kan justeras med justeringsskruven utmärkt i figuren, ett varv på skruven svarar mot en förflyttning på 25 µm. Till mätutrustningen hör, förutom apparaturen i figuren, även en komponenthållare utrustad med en vridbar visare i vilken glasskivan eller gaskyvetten som mäts kan fästas i.

OBS! Titta aldrig rakt in i lasern eller på de reflekterade strålarna!

Håll linserna och speglarna rena (rör inte i ytorna med fingrarna!). Linspapper finns antingen på bordet (kasta inte bort pappret efter en användning!) eller hos assistenten.

Alla mätresultat och svaren på förhandsuppgifterna antecknas på svarsblanketten. Användning av blyertspenna rekommenderas. Svarsblanketten returneras slutligen åt assistenten.

3.2 Riktandet och testandet av apparaturen

1. Lasern bör vara placerad på skenorna m.h.a. en magnetisk L-hållare. Placera skenan fast i interferometerens stomme och lasern på skenan ungefär 3 cm från kanten på interferometerens stomme så att det lätt går att fästa. Avlägsna linsen framför lasern i komponenthållaren på interferometerens stomme. Kontrollera att laserstrålen är riktad i interferometerens stommes riktning med t.ex. ett papper. Ifall laserstrålen inte är rak, justera försiktigt skruven *framför* lasern tills lasern är rak.
2. Vrid stråldelaren så att den inte är framför lasern. Lyft linsen och glasskivan åt sidan. Nu finns det inga hinder framför lasern och den flyttbara spegeln. Den flyttbara spegeln måste placeras på rätt ställe för att ett tydligt interferensmönster med en passlig mängd ringar skall uppkomma. Den flyttbara spegelns plats är utmärkt med vita streck på interferometerens stomme. En passlig plats för spegelns fot är ungefär 1 mm bakom dessa streck d.v.s. längre bort från lasern. Ifall spegeln inte är där:
 - öppna skruven med vilken den flyttbara spegeln är fastsatt och flytta spegeln till den lämpliga platsen.
 - kontrollera att laserstrålen reflekteras tillbaka mot hålet i laserns grop.
 - spänn skruven på den flyttbara spegeln försiktigt så att spegeln inte flyttar på sig då skruven spänns.
3. Fäst glasskivan fast i den vridbara komponenthållaren och placera hållaren på plats. Kontrollera att komponenthållaren kan vridas oförhindrat åtminstone 10 grader. Tag bort komponenthållaren inklusive glasskivan. Vrid nu strålfördelaren så att den utgör en 45 graders vinkel i förhållande till lasern enligt figur 3 så att en del av laserstrålen reflekteras i mitten av den justerbara sidospegeln. På väggen som fungerar som en skärm borde nu flera ljuspunkter synas från vilka det lätt går att urskilja de två klaraste punkterna. Spänn fast stråldelaren i en sådan ställning så att de två klaraste punkterna är så nära varandra som möjligt.
4. Då du ändrar den justerbara sidospegelns ställning med tumskruvarna kommer en del av punkterna på väggen att rör sig medan andra hålls på plats. Flytta den klaraste punkten *som rör sig* genom att justera sidospegeln så att punkten är så noggrant som möjligt på den klaraste punkten *som hålls på plats*. Punkterna är på varandra då överlappande punkter på väggen vibrerar (=interfererar) vid enbart en liten ändring i spegelns position.
5. Sätt linsen på plats framför lasern enligt figur 3 så att laserstrålen fortfarande träffar den justerbara spegeln. Justera sidospegeln så att interferensmönstret är så symmetriskt som möjligt i enlighet med figur 3. Lägg märke till att mönstret är ytterst känsligt för skakningar och en liten knuff kan få hela mönstret att försvinna totalt. Ifall detta händer, ta bort linsen och rikta punkterna på nytt enligt föregående punkt.

4 Förhandsuppgifter

Bekanta dig med teorin som hör till arbetet i valfri fysiklärobok t.ex. [2-4], läs igenom arbetsinstruktionen och besvara frågorna nedan på svarsblanketten.

1. Förklara vad som avses med konstruktiv och destruktiv interferens.
2. Förklara hur ljusstrålarna är riktade i en Michelson- interferometer.
3. Hur stor är fasskillnaden mellan den semitransparenta spegelns och skärmens vågfronter i en Michelson-interferometer?
4. I arbetet bestäms och ritas upp interferensringarnas antal N som funktion av tryckförändringen Δp . Till de mätta punkterna anpassas en linje ($y = kx + b$). Vad är denna linjes riktingskoefficient enligt

ekvation (11)? Skriv en ekvation för k och härled från denna ekvation ett uttryck för proportionalitetskonstantens C och med hjälp av detta uttryck brytningsindexet n .

- Bestäm med hjälp av totaldifferentialen en feluppskattning för brytningsindexet för luft n från ekvationen från föregående punkt. Av variablerna bör du beakta vinkelkoefficienten k samt kyvetvens längd H .

5 Mätningar

5.1 Bestämmandet av glasets brytningsindex

- Gör en hypotes:** Vad händer med interferensmönstret då den flyttbara spegelns avstånd från stråldelaren långsamt förändras då regleringsskruven vrids? Motivera svaret fysikaliskt.
- Testa din hypotes:** Testa din hypotes och skriv upp dina observationer på svarsblanketten. Fundera på möjliga orsaker ifall dina observationer avviker från hypotesen.
- Skriv upp laserns våglängd λ .
- Mät glasskivans tjocklek H med en mikrometerskruv och skriv upp värdet på svarsblanketten.
- Placera glasskivan på den vridbara komponenthållaren och sätt fast dess fot i hålet reserverat för denna på interferometerens stomme. Försäkra dig om att pekaren är rak i förhållande till komponenthållaren och justera denna vid behov.
- Placera pekaren så att noll på nonius – skalan sammanfaller med noll på bordets vinkelskala.
- Ta bort linsen framför lasern. Placera en lämplig skärm (en bit papper går t.ex. bra) bakom den flyttbara spegeln (den flyttbara spegeln släpper igenom en del av ljuset). Ifall klara ljuspunkter eller andra sekundära ljuspunkter syns på skärmen, vrid på glasskivans hållare så mycket att ljuspunkterna på skärmen är möjligast nära varandra. Rikta därefter pekaren på nytt som i punkt 6. Nu bör glasskivan vara vinkelrät mot laserstrålen.
- Sätt linsen på plats. Finjustera tills du på väggen ser ett möjligast skarpt och symmetriskt interferensmönster.
- Vrid glasskivan långsamt genom att vrida pekaren och räkna hur många gånger interferensmönstrets mitt slocknar. Skriv upp antalet som tänts och vinkeln θ detta motsvarar. Märk att interferensmönstret förändras till en början långsamt. Gör mätningen åtminstone 3 gånger. Ett lämpligt antal interferensringar är t.ex. 30.

5.2 Bestämmandet av luftens brytningsindex

- Lyft komponenthållaren bort från bordet och ta lös glasskivan. Sätt fas gaskyvetten i den skruvbara komponenthållaren och placera hållaren tillbaka på bordet så att laserstrålen går vinkelrätt genom denna på samma sätt som punkt 5 i den föregående mätningen. (Pekarens nollställe behöver man inte bry sig om i denna mätning). Justera interferensmönstret så att det är så skarpt och symmetriskt som möjligt.
- Testa att handpumpen fungerar genom att pumpa lite luft bort ur kyvetten och lägg märke till hur trycket förändras. Lufta kyvetten genom pumpens ventil. Tryckmätarens visare borde nu peka på noll.
- Räkna antalet interferensringar som slocknar samtidigt som du långsamt och försiktigt pumpar luft ur kyvetten. Akta dig för att svänga på pumpen eller slangen så att kyvetten inte kommer åt att röra på sig. Skriv upp tryckmätarens värde och det antalet slocknade ringar som svarar mot trycket på svarsblanketten. Upprepa mätningen åtminstone fem gånger vid olika undertryck (t.ex. 20, 30, 40, 50, 60 kPa).
- Släck lasern och dra ut stöpseln ur eluttaget.

6 Behandling av resultaten

6.1 Bestämmandet av glasets brytningsindex

1. Beräkna från dina mätresultat glasets brytningsindex från ekvation (4).

6.2 Bestämmandet av luftens brytningsindex

1. Rita antalet slocknade interferensringar N som funktion av undertrycket Δp . Enligt ekvation (11) skall punkterna bilda en rak linje.
2. Bestäm linjens riktningskoefficient med tillhörande fel och bestäm med hjälp av den luftens brytningsindex genom att tillämpa ekvationerna (8) och (11). Gaskyvettens längd utan fönstren i gavlarna är $H = (3,0 \pm 0,1)$ cm.
3. Bestäm felet för brytningsindexet genom att använda dig av riktningskoefficientens fel samt felet för kyvettens längd. Bestäm andelen av felet på kyvettens längds och felet på riktningskoefficientens i brytningsindexets totala fel. Skriv upp resultaten på svarsblanketten.
4. Skriv ut grafen du ritat och bifoga denna till svarsblanketten.

7 Tankeställare

1. Hur skulle du bestämma felet för glasets brytningsindex?
2. Vilken faktor orsakar det största felet vid mätningen av luftens brytningsindex?
3. Vad gör linsen åt ljusstrålen? Varför är linsen nödvändig?
4. Jämför dina resultat mot värden i litteraturen.

Källor

- [1] Esim. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures on Physics II, Addison-Wesley, 1964, Luku 11.
- [2] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4th edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [3] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. painos. Pearson Education, 2011.
- [4] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9th edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.