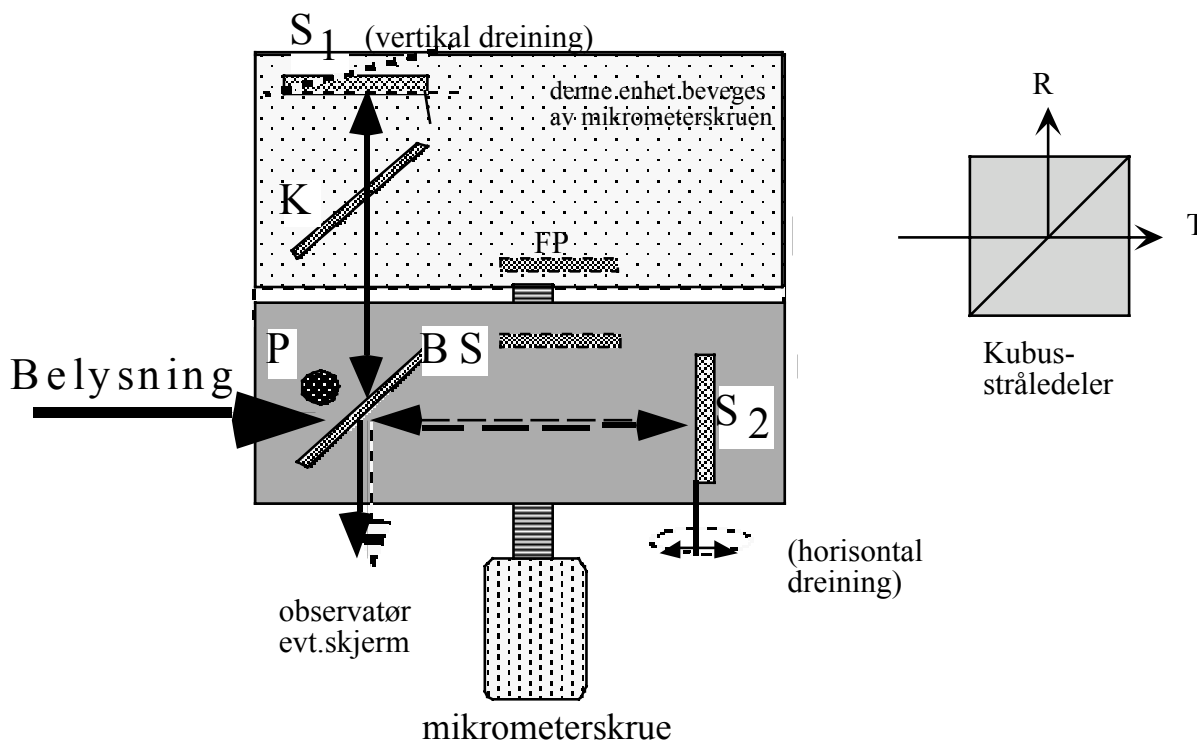


## O - 2.

# INTERFEROMETRI og KOHERENS.

Det er satt opp 5 Michelson interferometre – noen av interferometrene har også Fabry-Perot interferometre påmontert. I denne oppgaven skal vi se på forskjellige sider ved optisk interferometri og tilhørende måletekniske anvendelser.



Figur 1.

Interferometeret er tegnet opp noe forenklet på figur 1. FP er et Fabry-Perot interferometer som står på et par instrument. Lysbølgen fra kilden deles i to separate like sterke bølger ved refleksjon og transmisjon gjennom det halvveis gjennomsiktige speilet (stråledeleren) BS. Som lyskilder skal vi bruke laser, glødelampe og spektrallampe, Den reflekterte bølgen går først igjennom en såkalt kompensatorplate K. Denne platen er nøyaktig like tykk som stråledeleren slik at det blir lik glassvei i de to løypene. På et av interferometrene er BS og K erstattet med en kubus stråledeler som vist til høyre på figur 1. Vi ser at kubus-stråledeleren gir lik glassvei ved transmisjon og refleksjon uten bruk av kompensatorplate. Lyset reflekteres deretter av speilet S<sub>1</sub>, går tilbake gjennom K og treffer BS hvor halvparten transmitteres til observasjonsrommet .

På samme vis blir lysbølgen som opprinnelig ble transmittert av BS, reflektert av speil  $S_2$  og sendt mot observasjonsrommet etter refleksjon fra BS.

Når vi bruker laser som lyskilde bruker vi en spredende skjerm i observasjonsrommet for å se interferensmønsteret.

Lyspæren og spektrallampen er typiske utstrakte kilder og vi kan observere interferensmønsteret ved å se på kilden gjennom interferometret, men for å få en jevnere og mer behagelig belysning lønner det seg å sette den spredende skjermen mellom lyskilden og interferometret.

### **Justering av interferometret:**

Vinklene mellom de interferende bølgene kan justeres ved at vi dreier speil 1 og 2 om henholdsvis horisontal- og vertikalaksen slik antydnet på figur 1.

For å grovinnstille interferometret plasserer vi en siktepinne P (f.eks. en blyant) i belysningløypen. Når interferometret er ute av justering, vil vi se flere bilder av denne siktepinnen når vi ser inn i interferometret. Vi justerer da speilene inntil alle bildene av pinnen faller sammen. Når vi så bruker en kulebølge fra laseren som belysingskilde, vil vi forhåpentligvis se et interferensmønster på skjermen som vi da kan optimalisere ved å finjustere på speilene.

For å observere interferensfenomenene må speilene være stilt slik at vi kan løse opp interferensstripene med øyet. Hvis vi antar at to planbølger interferer under en vinkel  $\phi$  er avstanden  $d$  mellom stripene gitt ved:

$$d = \lambda / (2 \sin \phi / 2) \approx \lambda / \phi \quad (1)$$

Dette gir stripeavstanden i et plan som ligger normalt på halveringslinjen mellom bølgeretningen. Tilnærmelsen gjelder for små vinkler. Ligger observasjonsplanet ikke normalt på halveringslinjene kan vi fremdeles bruke lign. 1 med en cosinusprojeksjon ned på planet. Lign. 1 kan også brukes til å finne den **lokale** stripeavstanden for eksempel ved interferens mellom kulebølger.

### **Forskyving av interferometret.**

Lysveien til bølge 1 varieres ved å forskyve den delen av interferometerbordet som K og  $S_1$  står på. Vi bruker da mikrometerskruen som ved hjelp av en meget presis mekanisk utvekslingsmekanisme gjør oss i stand til å forflytte speilet med sub-mikrometers presisjon.

Avstanden mellom speilene kan varieres i fine og grove trinn:

Ved **grovforflytting** løsnes skruen på toppen og bakre del (kalt vogna) av interferometret kan da føres frem og tilbake manuelt. Vi forskyver vogna rimelig kontrollert ved å hvile albuene på bordet og føre vogna med begge hendene.

Ved **finjusterering** festes skruen og vogna forflyttes ved å skru på mikrometerskruen.

***NB! Den mekaniske overføringsmekanismen forminsker avstanden som dere leser av på skruen med en faktor 1 : 50.***

## **1. Interferens m/ideell koherens (laser). Bølgefrontkrumning.**

To kulebølger som kommer fra samme **monokromatiske punktkilde** (dvs.en laser) vil interferere **overalt** hvor de overlapper. Husk at planbølger kan betraktes som kulebølger med uendelig stor radius.

Ved interferens mellom to kulebølger vil det resulterende interferensmønster -det vil si kurvene for lysmaksima og minima - være formet som hyperboloider i rommet. Når vi plasserer en skjerm i overlappingsvolumet for å betrakte interferensen, vil skjermbildet være avhengig av hvordan hyperboloidene skjærer gjennom skjermen

Vi skal her konsentrere oss om to viktige spesialtilfeller:

### **1.1 Punktkildene $P_1$ og $P_2$ ligger bak hverandre i observasjonsretningen**

Mønsteret blir her en sirkulær struktur hvor sirklene blir tettere og tettere utover - såkalt soneplatestruktur- se figur 2. Mønsterets størrelse vil være avhengig av både krummingen til bølgene, avstanden mellom punktkildene og lysets bølgelengde .

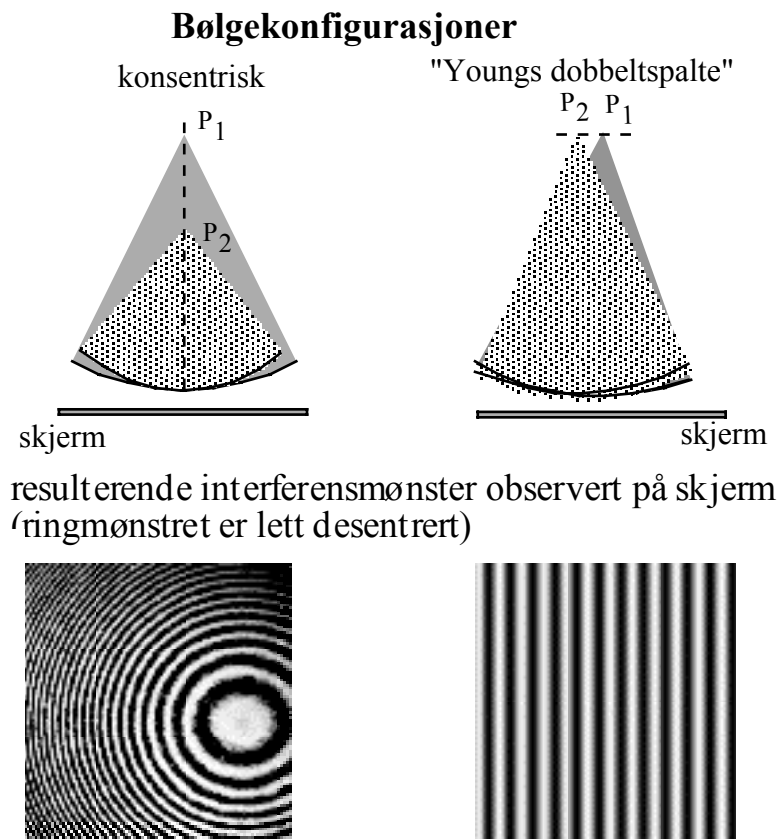
Det kan være interessant å merke seg at en filmregistrering av en slik soneplate vil virke som en linse slik nevnt i oppgave 1 – og at denne egenskapen også danner grunnlaget for den tredimensjonale avhbildning i holografi.

Ved **null** veilengdeforskjell vil bare en interferens"stripe" (egentlig interferensorden) sees uansett hvor stor krumming bølgene har. En interferensorden i denne sammenheng betyr at vi vil ha jevn belysning over feltet - om feltet er lyst eller mørkt eller noe midt i mellom vil være avhengig av den absolutte faseforskjellen mellom bølgene.

**Denne egenskapen skal vi bruke til å bestemme tilnærmet null veilengdeforskjell og dermed hvor vi skal begynne å lete etter hvittlysinterferens**

På grunn av at optikken i våre interferometre ikke er helt perfekt, det totale bølgefrontavviket er i størrelsesorden  $1 - 2 \lambda$  vil vi ikke få fullstendig jevn lysfordeling over hele feltet -spesielt ut i kantene er avvikene tydelige på enkelte av interferometrene.

Ved plan belysning, dvs. at belysningsbølgen har sitt sentrum i uendelig avstand, vil vi alltid ha rette striper uansett avstanden mellom speilene i interferometret. Dette er en mye brukt metode til kontrollere at lyskilden gir ut planbølger, også kalt kollimert lys.



figur 2

**1.2. Punktkildene ligger i samme avstand fra observatøren men med skiftet sideveis posisjon** slik vist til høyre på figur 2,.

Denne bølgekonfigurasjonen er analogt med det vi har i Youngs interferensforsøk hvis vi i stedet for en dobbeltspalte bruker to små hull. Når vi opererer med små vinkler (paraksialt) vil vi få rette interferensstriper, såkalte tilt striper som vist på figuren. Vi bruker ofte slike tilt striper som referansetriper hvis vi ønsker å måle størrelse og retning på små avvik – dette vil da ses som lokale krumning av de rette linjene hvor krumningsretningen indikerer om avviket er et tillegg eller et fratrekk i den optiske veglengden. Dette er helt analogt med at et høydedrag og en bekkedal vil gi motsatt krumming i høydekotene på en fjellside når vi betrakter et kart.

**EKSPERIMENT med generell interferens.**

## **Utstyr:**

\*He-Ne laser med mikroskoplinse som skrur på laseren for generering av kulebølge. For å lage planbølger må vi bruke en \*ekstra linse slik at vi kan lage et teleskopisk system – i praksis betyr dette at vi bruker ekstralinsen til å endre krummingen av kulebølgen til en plan fasefront.

\*Mattskive for observasjon av interferensmønster og til spre / dempe belysningen.

\*2 lineærpolarisatorer i rammer.

\*Hullblender med forskjellig hulldiametre

***Grovinnstill interferometret ved bruk av en siktepinne, f.eks. en liten skrue eller spissen på en blyant.***

***Send laserlys inn på interferometret og observer mønsteret på skjermen.***

***Juster speilene slike at dere har et sentrert mønster.***

***Varyer avstanden mellom speilene og observer forandringer i mønsteret.***

Øk avstanden mellom speilene, pass på at mønsteret hele tiden er sentrert, inntil maksimal avstand. Kollimer kulebølgen ved å bruke ekstra linsen og observer hvordan interferensmønsteret blir "grovere" og tilslutt fyller hele aperturen ved perfekt kollimering. Ved perfekt kollimering vil interferensmønsteret være uavhengig av avstanden mellom speilene.

### **1.3.Polarisasjon vs. interferens**

***Still inn interferometret slik at dere har minst mulig striper over feltet med kulebølge.***

***Sett en polarisator i hver løype og overbevis dere om at ortogonale polarisasjonstilstander***

***ikke interfererer.*** Her kan det være nødvendig å etterjustere speilene litt for å få et rimelig grovt interferensmønster etter at polarisatorene er satt inn da disse ikke er planparallele plater. Interferensmønsteret dere observerer med en polarisator i løypa er et kart over tykkelsesvariasjonene i polarisatoren med koteavstand bestemt av lysets bølgelengde.

### **1.4.Laserspeckle.**

**Ta bort polarisatorene og sett mattskiven i laserbelysningen foran inngangen til interferometret – evt. kan dere see direkte på mattskiven uten å gå veien gjennom interferometret. Legg merke til at lyset i mønsteret synes å virke "kornet". Du kan observere hvordan kornene blir grovere ved å se på mønsteret gjennom stadig mindre hulldiameter.**

*Dette er et interferensfenomen som oppstår når lyset fra en koherent kilde reflekteres fra -eller transmitteres via en ikke-plan flate. Det reflekterte lyset gir opphav til en komplisert bølgefront med store fasevariasjoner som ved interferens går over til tilfeldige intensitetsvariasjoner –korn (internasjonal betegnelse -speckle). Når du begrenser synsvinkelen blir specklene grovere i følge ligning 1.*

## 2. Longitudinal og romlig koherens.

For optimal interferens ønsker vi å bruke en lyskilde som er en punktkilde og som sender ut lys med bare en frekvens (monokromatisk) . Laseren er som nevnt en meget god tilnærming til en monokromatisk punktkilde, mens vanlig lyskilder kan sees på som en samling polykromatiske punktkilder som ikke er koplet i lysutsendelsen. Resultatet blir både romlig og spektralt inkoherent lys som vil reduserer graden av interferens.

### 2.1. Romlig koherens.

Når lyskilden er en utstrakt kilde, vil hvert punkt på kilden kun interferere med seg selv. Interferensmønstrene fra alle punktkildene vil summere seg sammen på intensitetsbasis og resultatet blir et interferensmønster med dårlig kontrast - som det vil bli vist i forelesningene er det en Fourierrelasjon mellom kontrast og kildens vinkelutstrekning. Ved bruk av en utstrakt kilde vil vi i praksis bare se interferensmønsteret i bildet av kilden hvor bølgene fra punktkildene går sammen til separate punkt igjen.

### 2.2. Longitudinal koherens (tidskoherens)

Vi skal også se på virkningen av at lyskilden sender ut lys med flere frekvenser (bølgelengder) eller har et kontinuerlig frekvensspektrum (longitudinal koherens).

Det som skjer kan kort sammenfattes som:

Hver frekvenskomponent gir et synlig interferensmønster bare ved å interferere med seg selv. Ved bare **en** frekvens er alt fryd og gammen - uansett avstand mellom speilene vil vi se et interferensmønster med full kontrast.

Ved **to** frekvenser vil vi få et overlapp av to interferensmønstre med litt forskjellig periode. Ved liten veilengdeforskjell vil de to interferensmønstrene falle sammen og vi ser full kontrast. Når avstanden øker vil de to mønstrene komme i utakt og når de er komplementære vil de gi et mønster med minimum kontrast - null hvis de to frekvenskomponentene er like sterke.

Dette fenomenet vil gjenta seg etterhvert som vi øker avstanden mellom speilene og kan betraktes som en optisk variant av svevefenomenet (beats) som er godt kjent i akustikken.

Dette resonnementet kan vi føre videre via stadig flere frekvenser inntil vi har et kontinuerlig frekvensspektrum. Her vil interferensmønsteret gå mot null kontrast ofte uten oscillasjoner. Hvor hurtig dette skjer er avhengig av spektrets bredde – jo bredere spektrum desto kortere koherensområde. Igjen vil vi formelt finne en Fouriertransformasjons-relasjon mellom spektret til lyskilden og den longitudinale koherens slik det vil bli forklart i forelesningene.

## EXPERIMENT MED TIDSKOHERENS.

### Utstyr:

\*(laser m. mikroskoplinse fra forrige forsøk)

\*Bordlampe.

\*Na-lampe m/tilpasset mattskive og blender.

### 2.3. Hvittlysinterferens.

*Skru først mikrometerskruen slik at den står omtrent midt på skalaen dvs. rundt 12 mm. Bruk først kulebølgen fra laseren og still lyskilden helt inntil interferometeret. Juster avstanden mellom speilene ved å flytte vogna manuelt inntil den sirkulære strukturen er helt borte.*

*Dere er nå svært nær null veilengdeforskjell og kan låse vogna.*

*Erstatt laseren med bordlampa og kikk inn i interferometret.*

*Skru mikrometerskruen frem og tilbake og det vil plutselig dukke opp et interferensmønster med farger.*

*Hvor mange striper kan dere se? Hvis vi antar at midlere bølgelengde i et hvittlysspektrum ligger rundt 550nm, hvor stor er koherenslengden i absolutt mål?*

*Kan dere fange dette mønsteret opp på skjermen? Hvorfor ikke? Prøv å gjøre kilden vinkelmessig mindre ved å skjerme den delvis med hendene.*

### 2.4. Optisk sveving.

Til slutt skal vi bruke Na-lampen. Lampen trenger ett par minutter før den er varm. Lyset er ganske kraftig slik at mattskiven bør plassere i sporet foran lampen. Na-linjen ( $\lambda_m = 589.3 \text{ nm}$ ) består egentlig av to bølgelengder  $\lambda_1$  og  $\lambda_2$  som ligger svært nært hverandre. Den ene bølgelengden er sterkere enn den andre. De to bølgelengdene vil interferere bare med seg selv og vi får et resulterende interferensmønster C når de to interferensmønstrene A og B med litt forskjellig periode og styrke setter seg sammen. Dette tilsvarer en optisk sveve-effekt med kontrast maksima og minima – hvis de to komponentene A og B hadde vært like sterke så ville kontrastminima vært null, dvs. ingen interferensstriper bare en jevn belysning. Se figur 3 som viser omtrent hvordan kontrasten i mønsteret vil gå ned i dette forsøket.

*Bestem avstanden  $\Delta\lambda$  mellom disse bølgelengdene ved å finne avstanden  $d$  mellom to kontrastminima og bruke svevnings-relasjonen .*

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2 \Delta d} \quad (2)$$

Dette blir en temmelig usikker måling på grunn av at vi prøver å bestemme minimum /maksimum på sinusfunksjon, som kjent varierer sinusfunksjonen lite rundt maksimum og minimum. Som nevnt i forelesningen vil et Fabry-Perot interferometer være langt mer nøyaktig til slik bruk på grunn av sine skarpe maksima..



Figur 3.  
Interferensmønster ved 100, 50 og 7 % modulasjon.

### **MOIRE DEMONSTRASJONER AV INTERFERENS.**

*Det vil bli utdelt to ark på labben, det ene arket er reflekterende og det andre arket er transmitterende. Disse arkene kan dere bruke til å visualisere interferens mellom planbølger og mellom kulebølger.*

*Arkene inneholder to lineære mønstre, to sirkulære med konstant avstand mellom sirklene og tre mønstre hvor avstanden mellom sirklene minker linært utover –dvs. en soneplate.*

*De **lineære** mønstrene representerer et snitt i utbredelsesretningen til en planbølge som utbrer seg i rommet – strekene tilsvarer fasefronter. Det ene mønstret er litt forminsket som da svarer til en kortere bølgelengde. På samme vis representerer de to **sirkulære** mønstrene fasefrontene til kulebølger som sprer seg utover fra sentrum. De tre **soneplatene** representerer fasefronter i et plan normalt på utbredelsesretningen. Her betyr en forminskning av strukturen at krummingen til bølgen har økt – dvs. kulebølgens sentrum har kommet nærmere.*

*Når vi legger slik periodiske strukturer over hverandre får vi frem nye sekundære mønstre som vi kaller Moire-mønster. Vi ser ofte slike mønstre når personer på TV-skjermen har mønstrete klær – det oppstår da Moire mellom mønsteret og TV-linjene.*

*Det som er interessant for oss er at Moire mellom de vedlagte mønstre er helt analogt med intensitetsfordelingen som vi får ved interferens mellom bølger.*

### **Interferens mellom planbølger.**



Når de identiske mønstrene legges over hverandre med en liten innbyrdes vinkel får vi et nytt sekundært lineært mønster overalt hvor primærmønstrene overlapper – dette representerer nå interferensen mellom planbølgene. (på grunn av unøyaktigheter i Printereren kan de sekundære mønstrene ofte bli litt krokete). Helt i tråd med det som ligning 1 sier så ser vi at desto mindre vinkelen blir desto grovere blir dette sekundære mønsteret.

Hvis flere transparente legges over hverandre kan vi (litt mindre overbevisende) vise interferens mellom flere bølger.

Hvis du legger forminsket mønster over normalt mønster får vi frem sveving.

### **Interferens mellom kulebølger.**

Overlegging av de to samsvarende **sirkulære** mønstrene gir her interferensen i rommet hvor de to spesialtilfellene i 1.1 og 1.2 kommer tydelig fram. Igjen ser vi at desto lengre fra hverandre punktkildene ligger, desto finere blir mønsteret – igjen helt i tråd med ligning 1.

Merk i forbindelseslinjene mellom de to punktkilden vil vi ha stående bølger som er lokalt plane, dette kommer ikke direkte frem på Moireen, men kan være greit å merke seg.

Ved å legge det lineære gitter over tilsvarende sirkulære (bølgelengden skal være tilpasset, men igjen kan printereren ha gitt forvrengninger) får vi fram interferens mellom en kulebølge og en planebølge. Vi ser at vi får snittet gjennom en soneplatestruktur.

Legger dere **soneplatene** over hverandre får dere de samme interferensmønster som er nevnt i pkt. 1.1 og 1.2. To identiske soneplater forskjøvet gir rette striper rundt aksene, to soneplater som representerer forskjellig krumming gir en ny grov soneplatestruktur osv.