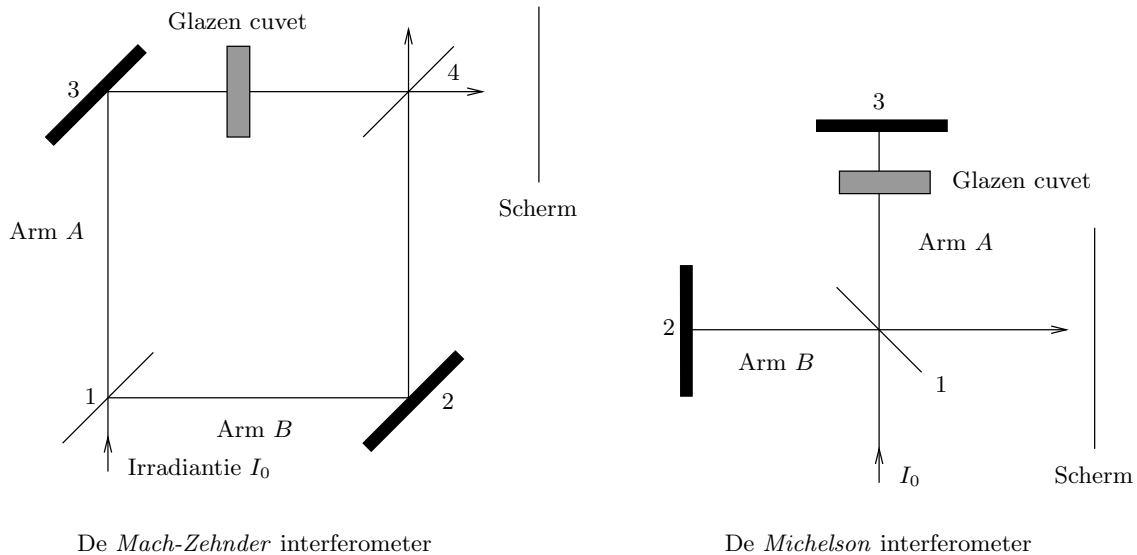


# Tentamen Optica

11 april 2002

Zet je naam, studentennummer en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 5 opgaven eerst eens door.

## Opgave 1



De Mach-Zehnder interferometer

De Michelson interferometer

In bovenstaande figuur staat de zogenaamde *Mach-Zehnder* interferometer afgebeeld. Het principe is vergelijkbaar met dat van de bekende *Michelson* interferometer, die ter illustratie ernaast is weergegeven. De spiegels 2 en 3 van de Mach-Zehnder zijn perfect reflecterend, terwijl er bij spiegels 1 en 4 ook transmissie optreedt; de (irradiantie) reflectiviteiten van deze spiegels zijn respectievelijk 0.6 en 0.5. We nemen aan dat er geen absorptie optreedt aan de vier spiegels. We kunnen de optische weglengte van arm A instellen door de druk van een gas in het glazen cuvet in te stellen.

- Wat is de zichtbaarheid ('visibility' of 'fringe contrast') van de interferentie op het scherm?
- Laat zien dat je, door alléén spiegel 4 te vervangen door een spiegel met andere reflectiviteit, de zichtbaarheid op het scherm 1 kunt maken.

We nemen nu aan dat de zichtbaarheid 1 is, en gebruiken nu lineair gepolariseerd licht. In arm B zetten we een half-lambda plaatje, of 'half wave plate', met de snelle as onder  $45^\circ$  van de (lineaire) polarisatie van het inkomende licht.

- Wat zie je op het scherm als je langzaam de optische weglengte in arm A verandert? Geef hier een verklaring voor.
- Wat voor plaatje zou je nu in arm B van de Michelson interferometer moeten zetten om deze equivalent te maken met de laatste versie van de Mach-Zehnder, en waarom?

## Opgave 2

Op een dun planparallel glasplaatje valt een monochromatische bundel licht ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ) loodrecht in. De brekingsindex  $n$  van het glas is 1.51509. Bij een temperatuur  $T = 293 \text{ K}$  is de dikte van het glasplaatje  $0.01 \text{ mm}$ .

- Schets de situatie met twee transmissie- en reflectiestralen. Om de tekening duidelijker te maken laten we de bundel onder een kleine hoek (in plaats van loodrecht) in vallen.
- Geef in het plaatje bij iedere uittredende bundel de fase aan in relatie tot de inkomende bundel.
- Bereken de amplitude-reflectiecoëfficiënt met behulp van de gegeven brekingsindex. Verklaar waarom deze positief dan wel negatief is.

We gaan het plaatje nu verwarmen, zodat het uitzet. De lineaire uitzettingscoëfficiënt van het glas is  $7.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . We nemen aan dat de brekingsindex gelijk blijft.

- Hoeveel moeten we het plaatje minstens opwarmen om een interferentiemaximum in transmissie te verkrijgen? Beantwoord de vraag ook voor een interferentiemaximum in reflectie.

## Opgave 3

We hebben een lens waarvan we alleen weten dat de brandpuntsafstand  $f$  positief is. Om achter de waarde van  $f$  te komen, gebruiken we *Bessel's methode*. Deze gaat als volgt. We nemen een object en plaatsen op een zeer grote afstand  $L$  daar vanaf een scherm. Nu kunnen we tussen dit object en het scherm de lens plaatsen, zodanig dat op het scherm een scherpe afbeelding ontstaat. In de situatie dat  $L > 4f$  is dit mogelijk voor precies twee posities van de lens. Voor de eerste positie geldt dat het object vergroot wordt afgebeeld en voor de tweede positie wordt het verkleind afgebeeld. De afstand tussen deze twee lensposities zullen we  $D$  noemen.

- Maak een schets voor elk van de twee posities waar de lens een scherpe afbeelding maakt, waarbij de parameters  $L$  en  $D$  aangegeven zijn.
- Verklaar met behulp van de lenzenformule waarom voor een waarde van  $L > 4f$  twee posities van de lens een scherpe afbeelding als resultaat hebben. Bereken ook hoeveel lensposities een scherpe afbeelding geven voor het geval  $L = 4f$  en wat de vergroting is.
- Wat is het verband tussen de voorwerpsafstand voor de ene lenspositie en de beeldafstand voor de andere lenspositie? Idem voor de beeldafstand voor de ene en voorwerpsafstand voor de andere lenspositie. Verduidelijk dit met behulp van de lenzenformule en controleer ook of er sprake is van vergroting in het ene geval en verkleining in het andere.
- Geef een uitdrukking voor  $f$  als functie van de voorwerpsafstand  $v$  en de beeldafstand  $b$ .
- Geef een uitdrukking voor de totale afstand tussen object en scherm  $L$  en de afstand tussen de twee mogelijke lensposities  $D$  in termen van de voorwerpsafstand en beeldafstand.

- f) Combineer de voorgaande resultaten en geef een uitdrukking voor  $f$  uitsluitend als functie van  $L$  en  $D$ . Dit is de formule voor Bessel's methode.

#### Opgave 4

Ongepolariseerd licht met een irradiantie  $I_0$  en een golflengte van 500 nm gaat door een polarisator met een horizontale transmissie-as met daarachter een polarisator met verticale transmissie-as.

- a) Hoe groot is de irradiantie na de 2<sup>de</sup> polarisator?

Tussen de twee polarisatoren plaatsen we een half-lambda plaatje waarvan de trage as onder  $45^\circ$  t.o.v. de horizontale as staat. De brekingsindices langs de twee assen van het plaatje zijn 1.430 en 1.420.

- b) Hoe groot is de irradiantie na de 2<sup>de</sup> polarisator nu?  
c) Beredeneer welke van de twee brekingsindices die van de snelle as is en welke van de trage as.  
d) Hoe groot is de minimale dikte van het half-lambda plaatje?

We halen dit half-lambda plaatje weg en zetten er een polarisator tussen; de transmissie-as hiervan staat onder een hoek van  $60^\circ$  t.o.v. de horizontale as.

- e) Hoe groot is de doorgelaten irradiantie na alle polarisatoren?

#### Opgave 5

Op een zonnige middag zit je op het strand. Driehonderd meter verderop staan twee stokjes in het zand, ongeveer 5 cm uit elkaar. Als je goed kijkt, kun je echter de twee stokjes niet apart onderscheiden; je ziet eigenlijk maar één stokje. De diameter van je pupil is ongeveer 3.5 mm. We nemen aan dat het zonlicht een gemiddelde golflengte van 550 nm heeft.

- a) Hoe dichtbij moet je komen voordat je volgens het Rayleigh criterium kunt zien of er daadwerkelijk twee stokjes staan?

Op zo'n zonnige dag heb je geen zin om op te staan en die afstand te lopen en besluit je verrekijker erbij te pakken. Nu kun je wel duidelijk zien dat er inderdaad twee stokjes op het strand staan, wat eerst niet mogelijk was door diffractie.

- b) Leg uit wat het effect van de *vergroting* van de kijker op het waargenomen beeld is, en laat daarmee zien dat dit niet de oorzaak ervan is dat je nu *wel* de twee stokjes kunt onderscheiden.  
c) Welke eis stel je dan minimaal aan de verrekijker en aan welke parameter? Geef zowel een kwalitatief als een kwantitatief antwoord.