

# Tentamen Optica

20 februari 2007

Zet je naam, studentennummer en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 6 opgaven eerst eens door.

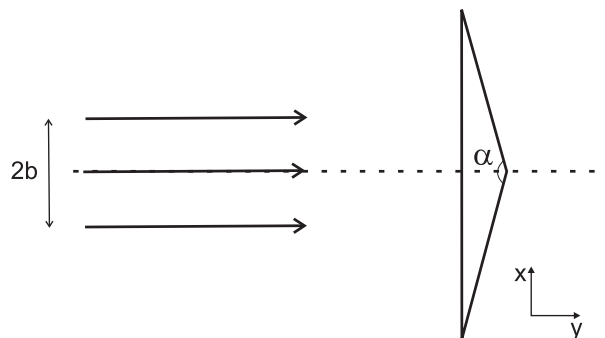
## Opgave 1

We beschouwen de breking van geluid aan een luchtballon met een straal van  $R = 1.5$  m en voeren hiervoor het volgende experiment uit: twee personen die zich op gelijke afstand  $s$  van het centrum van de luchtballon bevinden, met de ballon midden tussen hen in, ontdekken dat ze elkaar heel goed kunnen verstaan, haast alsof ze direct naast elkaar staan.

- Met welk gas zou jij de ballon vullen voor dit experiment, helium of koolstofdioxide, en waarom? De relevante geluidsnelheden zijn  $v = 965$  m/s voor Helium,  $v = 259$  m/s voor koolstofdioxide, en  $v = 343$  m/s voor lucht.
- Op welke afstand  $s$  werkt het beschreven experiment optimaal met het door jouw gekozen gas? Gebruik de dunne lens benadering.
- Geluid is het beste te horen als het op een zo klein mogelijk punt wordt samengebracht. Werkt dit experiment beter voor de lage tonen of voor de hoge tonen? Verklaar je antwoord aan de hand van een formule.

## Opgave 2

We belichten een glazen biprisma van Fresnel (brekingsindex  $n = 1.5$ , tophoek  $\alpha = 179^\circ$ ) met een evenwijdige bundel afkomstig uit een HeNe laser  $\lambda = 633$  nm), van breedte  $2b$ .



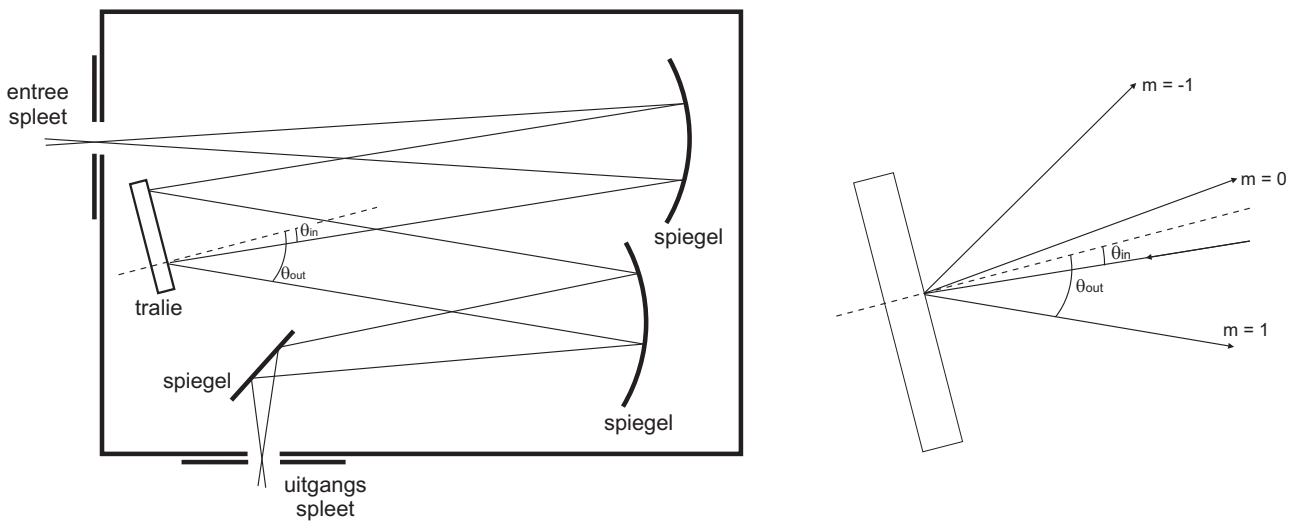
- Schets de stralengang van de inkomende evenwijdige bundel door het prisma en de uitgaande bundel(s).
- Schets hoe het intensiteitspatroon er op 3 verschillende afstanden achter het scherm uitziet: (i) vlak achter het biprisma, (ii) op de plek waar de meeste interferentie plaatsvindt, (iii) heel ver

weg. Houd steeds rekening met de breedte van de bundel(s). Geef in je figuur van onderdeel (a) aan waar deze vlakken precies liggen.

- c) Bereken de hoek waaronder de bundels elkaar kruisen.
- d) We plaatsen een scherm op positie (ii), dat wil zeggen daar waar de meeste interferentie plaatsvindt, en observeren het intensiteitspatroon. Geef een uitdrukking voor de afstand tussen de interferentie minima.

### Opgave 3

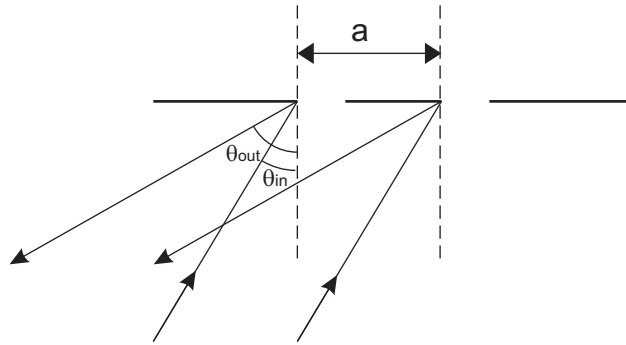
We analyseren een traliespectrometer van het hieronder geschetste ontwerp (links de volledige spectrometer, rechts een detailschets rondom de tralie). In dit apparaat wordt divergent licht uit de intreespleet met een grote holle spiegel omgevormd tot een brede evenwijdige bundel, die na reflectie aan een tralie met een soortgelijke holle spiegel wordt gefocuseerd op een uitreespleet. De instelbare hoek van het tralie bepaalt de golflengte die door de spectrometer wordt doorgelaten. De holle spiegels in de spectrometer hebben een diameter van 75 mm en een kromtestraal van 50 cm. Het optische tralie is vierkant (25 mm x 25 mm) en heeft 10000 tralielijnen per cm.



- a) Laat aan de hand van de figuur op bladzijde 3 zien dat de  $m$ -de orde diffractie van deze tralie wordt beschreven door de formule

$$a \sin \theta_{in} + a \sin \theta_{out} = m\lambda ,$$

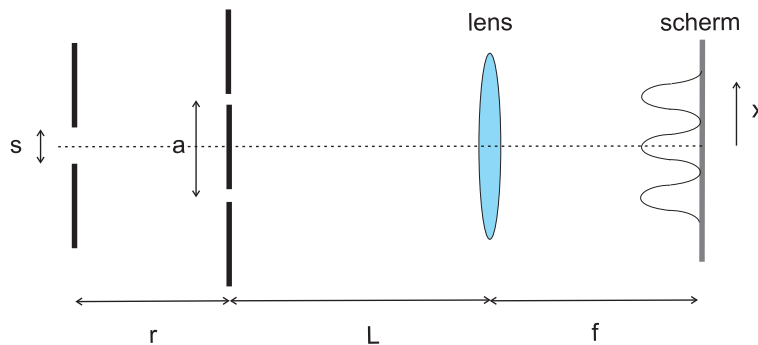
met  $\theta_{in}$  en  $\theta_{out}$  de geschetste hoek van inval en uitree en met  $a$  de afstand tussen de tralielijnen.



- b) Onder welke hoek moet het tralie ongeveer staan om de twee gele Natriumlijnen ( $\lambda \approx 590 \text{ nm}$ ) in het eerste-orde spectrum af te beelden? Gebruik de benadering  $\theta_{in} \approx \theta_{out}$ .
- c) Wat is de hoekdispersie  $d\theta_{out}/d\lambda$  in deze geometrie? Hint:  $d\theta_{out}/d\lambda = (d\lambda/d\theta_{out})^{-1}$
- d) Om voldoende spectrale resolutie te halen moeten de intree- en uittree-spleet van de spectrometer natuurlijk wel smal genoeg zijn. Als de spleten echter heel erg smal zijn is er geen winst meer te halen, aangezien het tralie dan volledig belicht wordt. Bij welke spleetbreedte loop je tegen deze diffractielimiet aan?

#### Opgave 4

We bestuderen een aantal varianten van de bekende dubbelspleet van Young (zie figuur).



In zijn meest ideale vorm, worden bij dit experiment oneindig scherpe spleten gebruikt en is ook de lichtbron oneindig scherp. In het verre veld van de belichte dubbelspleet ontstaat dan een streepvormig interferentiepatroon.

We beelden dit verre-veld patroon af op een scherm dat zich in het brandvlak van een daarvoor geplaatste lens bevindt. Het intensiteitspatroon op het scherm (als functie van de dwarspositie  $x$ ) is van de vorm

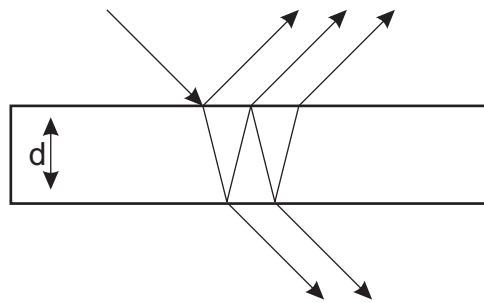
$$I(x) \propto \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right).$$

- a) Druk de periode  $\Lambda$  (in de paraxiale limiet) uit in termen van de optische golflengte  $\lambda$ , de afstand  $a$  tussen de spleten en de afstanden  $r$ ,  $L$  en  $f$  die weergegeven zijn in de figuur.

- b) Beschrijf hoe het interferentiepatroon verandert als de lichtbron niet oneindig scherp is, maar een eindige breedte  $s$  heeft. Hoe breed mag de lichtbron maximaal zijn om geen last te hebben van dit effect?
- c) We gaan weer terug naar de ideale puntvormige lichtbron. Echter, we beschouwen nu twee spleten met dezelfde eindige spleetbreedte  $b$ . Geef een formule voor de resulterende intensiteitsverdeling op het scherm en maak van dit patroon een schets.
- d) We beschouwen tot slot een experiment met twee ongelijke spleten, waarbij de onderste spleet 2x breder is dan de bovenste (dus spleetbreedte  $2b$  versus  $b$ ). Beschrijf **kwantitatief** wat er verandert aan de periode en de modulatie diepte *in het centrale deel van het interferentiepatroon*.

### Opgave 5

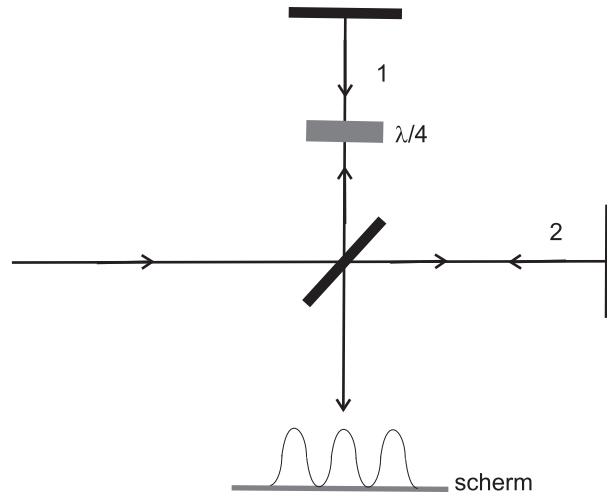
Een brede vlakke bundel van een HeNe laser (633 nm) met intensiteit  $I_0$  wordt onder een hoek van  $45^\circ$  gericht op een parallelle film met dikte  $d$ . De brekingsindex van de film is 1.414, de brekingsindex van het medium (lucht) is 1.0. In de onderstaande figuur is getekend hoe de stralen door de film worden doorgelaten en gereflecteerd.



- a) Bepaal  $r'$  en  $tt'$ , door gebruik te maken van de Stokes vergelijkingen, waarbij voor de gebruikte s-polarisatie geldt dat  $r = -0.280$ .  $r$  en  $t$  zijn de reflectie- en transmissiecoëfficiënten voor de overgang van lucht naar de film,  $r'$  en  $t'$  zijn de reflectie- en transmissiecoëfficiënten voor de overgang van de film naar lucht.
- b) Bereken de amplitude reflectiecoëfficiënten van de eerste drie gereflecteerde bundels, let hierbij goed op het + of - teken.
- c) Bereken voor deze bundels het relatieve gereflecteerde vermogen ten opzichte van de invallende bundel.
- d) Bepaal de minimale dikte van de film waarvoor de eerste drie gereflecteerde bundels elkaar zoveel mogelijk uitdoven.

## Opgave 6

We bekijken een Michelson interferometer zoals weergegeven in de figuur. Als lichtbron gebruiken we een laser van intensiteit  $I_o$  en golflengte 400 nm, die verticaal gepolariseerd licht uitzendt. De opstelling bevat een 50-50 bundelsplitser - dat wil zeggen, transmissie en reflectie bevatten beide 50% van de intensiteit. In pad 1 bevindt zich een dubbelbrekend element.



- De brekingsindices van het dubbelbrekende materiaal bedragen  $n_o = 1.486$  en  $n_e = 1.657$ . De dikte is  $100 \mu\text{m}$ . Laat zien dat dit optisch element als een  $\lambda/4$ -plaatje functioneert.
- We draaien het  $\lambda/4$ -plaatje zo dat de snelle as een hoek van  $45^\circ$  maakt met de verticaal. Vervolgens bekijken we het interferentiepatroon op scherm. Bepaal de modulatie diepte van het patroon in termen van  $(I_{min}/I_{max})$ , waarbij  $I_{min}$  en  $I_{max}$  de minimale en maximale intensiteit op het scherm zijn.
- Vervolgens plaatsen we in pad 2 een polarisator, met de transmissie as onder  $45^\circ$  met de verticaal. Bepaal opnieuw de modulatie diepte.