

Tentamen Optica

dinsdag 14 februari 2012

Zet je naam en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 6 opgaven eerst eens door. De opgaven kunnen in willekeurige volgorde gemaakt worden.

Opgave 1

Welke van de volgende uitdrukkingen beschrijven een lopende golf? a, b en c zijn positieve constantes. Bepaal voor iedere golf ook de voortplantingssnelheid en de richting.

- a) $\Psi(x, t) = (ax - bt)^2$
- b) $\Psi(x, t) = 1/(ax^2 + b)$
- c) $\Psi(z, t) = \cos(az + bt + c)$

Opgave 2

Mensen die een sterke bril dragen lijken soms kleine of juist grote ogen te hebben, vanwege de lenswerking van het brillenglas. Een extreem voorbeeld hiervan zijn de 'jampotglazen'; sterke negatieve lenzen waardoor de ogen heel klein lijken. Op basis van de schijnbare verkleining van een oog achter zo'n lens proberen we de lenssterkte van de bril te schatten.

- a) We kijken op ruime afstand (>1 m) naar de ogen van iemand met een sterk negatieve bril. De ogen lijken door de lens gezien exact $2/3$ kleiner dan zonder bril. De echte afstand tussen de ogen en de lens schatten wij op 3.0 cm. Hoe sterk is de bril?

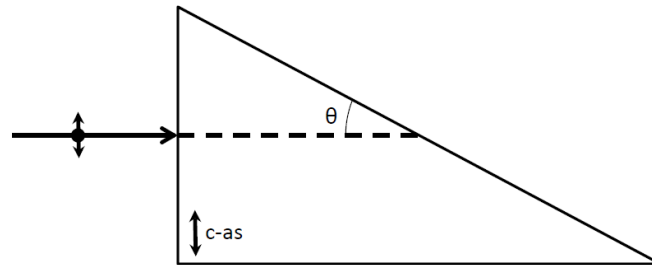
Opgave 3

Een stuk glas ($n_g = 1.45$) is bedekt met een dunne film met brekingsindex n_f .

- a) Wat is de minimale dikte van de film zodat deze als een anti-reflectie laag werkt voor loodrecht invallend licht met een golflengte $\lambda = 500$ nm als $n_f = 1.20$?
- b) Als we de film van een ander materiaal gekozen hadden met $n_f = 1.80$, wat was dan de minimale dikte van de film, zodat deze weer als anti-reflectie laag werkt?
- c) Wat is in beide gevallen de eerstvolgende golflengte waarbij beide films weer als anti-reflectie lagen werken?

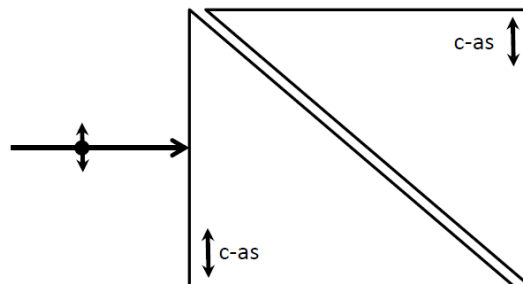
Opgave 4

We laten onpolariseerd licht loodrecht invallen op een dubbelbrekend prisma zoals aangegeven in de figuur. De richting van het inkomende licht is loodrecht op de optische as (c-as) van het prisma.



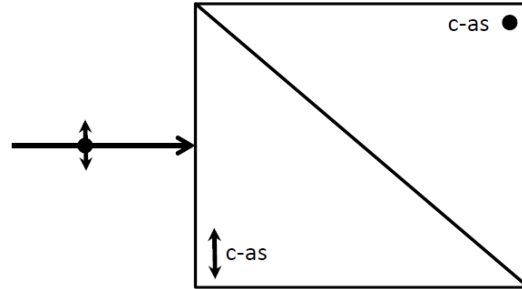
- a) Over welk bereik van de interne hoek θ is dit prisma van dubbelbrekend materiaal bruikbaar als een eenvoudige polarisator als je gebruik maakt van kalkspaat ($n_o = 1.486$ en $n_e = 1.658$ bij de gebruikte golflengte van $\lambda = 589$ nm)? Leg uit.

Een nadeel van het gebruik van een enkel prisma is dat de doorgelaten bundel er schuin uitkomt. We kunnen dit voorkomen door een tweede prisma vlak achter de eerste te plaatsen (zie figuur). Let op! Er zit een dunne luchtlaag tussen de twee prisma's. Dit type polarisator heet een 'Glan-air prisma'



- b) Waarom is deze luchtlaag nodig om deze dubbelprisma-combinatie als een polarisator te laten werken? Wat gebeurt er als de twee helften zonder lucht ertussen tegen elkaar zitten?

Er zijn ook dubbelprisma polarizatoren zonder luchtlaag. We beschouwen het zogenaamde Wollaston prisma, waarin de optische assen van de twee helften loodrecht op elkaar staan (zie figuur). De interne hoeken in een Wollaston prisma zijn dusdanig klein dat beide polarisaties worden doorgelaten en ruimtelijk gescheiden aan de achterkant uit het prisma komen. We nemen aan dat de prisma's bestaan uit een rechthoekige, gelijkbenige driehoek, dus met twee scherpe hoeken van 45° .



- c) Leg met behulp van een berekening uit hoe deze polarisator werkt en bereken de hoek tussen de twee uittredende lichtstralen.
- d) Maak een tekening de lichtpaden van de twee polarisatiecomponenten door de polarisator voor de gegeven invallende lichtstraal. Geef duidelijk aan wat de polarisatie is van de beide bundels.

Opgave 5

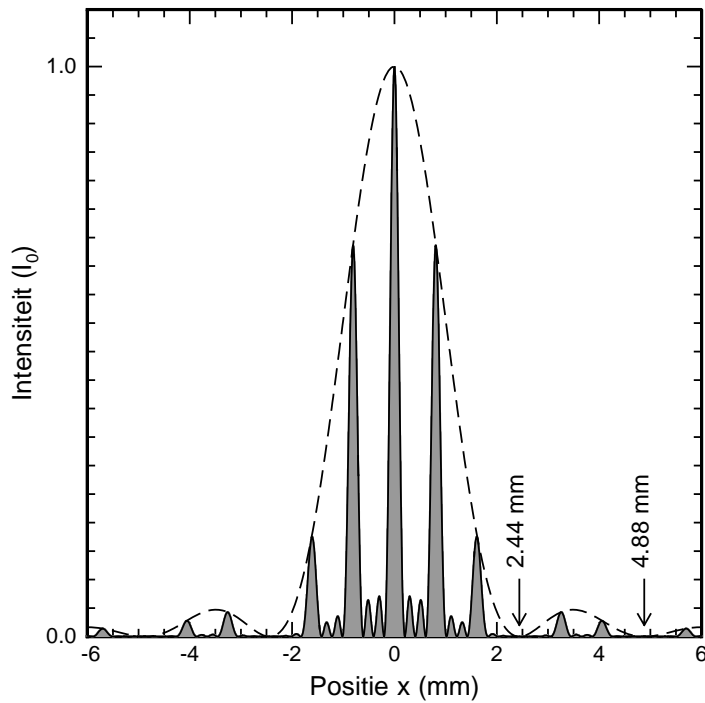
Tijdens de Apollo 14 missie hebben astronauten een retroreflector op de maan geplaatst als onderdeel van het Lunar Laser Ranging experiment. De vierkante constructie zorgt ervoor dat invallend licht precies terug gekaatst wordt in de richting waar het vandaan kwam. Door vanaf aarde een korte lichtpuls (energie $10 \mu\text{J}$, $\lambda = 532 \text{ nm}$ golflengte) op de reflector (afmetingen $45.0 \times 45.0 \text{ cm}$) te laten reflecteren kan de afstand aarde-maan zeer precies worden bepaald uit een meting van de reistijd van het licht. Om de invloed van diffractie te beperken wordt de laserbundel via een telescoop op aarde op de maan gericht. De (ronde) telescoop heeft een diameter van 0.75 meter.

- a) Hoe groot is de bundel op de maan? Ga uit van een uniforme belichting van de telescoop. De afstand aarde-maan is ongeveer $3.84 \times 10^5 \text{ km}$.
- b) Schets het verwachte bundelprofiel en geef in de tekening aan hoe de eerder berekende bundelgrootte is gedefinieerd.
- c) Geef een ruwe schatting (orde van grootte) van de fractie van de energie van het laserlicht dat de retroreflector raakt en leg in woorden uit waar deze schatting op is gebaseerd. (Neem een bundeldiameter aan van 1.0 km als je geen antwoord hebt gevonden bij vraag a)
- d) Hoe groot is de bundel op de aarde die terugkomt van de retroreflector?
- e) Geef ook een ruwe schatting van de energie in de lichtpuls dat de reis naar de maan en terug overleeft en door de telescoop wordt opgevangen. (Ter vergelijking: de energie per 532 nm photon is $3.73 \times 10^{-19} \text{ J}$) ((Neem een bundeldiameter aan van 2.0 km als je geen antwoord hebt gevonden bij vraag d)

Opgave 6

We voeren een diffractie-experiment uit met 4 spleten van gelijke breedte b op onderlinge afstand a . We belichten de spleten met een ruimtelijk coherente laserbundel uit een argon-ion laser met een golflengte van 488 nm. Het verre veld (Fraunhofer) diffractiepatroon wordt zichtbaar gemaakt in het brandvlak van een positieve lens met een brandpuntsafstand van 50.0 cm. Neem aan dat de lens direct achter de spleten staat en dat we de afstand tussen de lens en de spleten mogen verwaarlozen.

De gemeten intensiteit als functie van de positie x op het scherm ziet eruit zoals gegeven in de figuur. Het valt op dat de 3^e orde ($m = \pm 3$) maxima bij $x = \pm 2.44$ mm (en veelvouden daarvan) ontbreken in het interferentie patroon.



- Wat is de oorzaak van de minima voor $x = \pm 2.44$ mm en $x = \pm 4.88$ mm?
- Bereken de breedte b van de spleten.
- Bereken de onderlinge afstand a tussen de spleten. (Hint: Wat is de voorwaarde voor constructieve interferentie tussen alle 4 de spleten?)