

Tentamen Optica

21 februari 2006

Zet je naam, studentennummer en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 7 opgaven eerst goed door en licht je antwoord altijd toe.

Opgave 1

We kennen allemaal het beeld van een zwemmende vis in een ronde vissekom die er soms groot en soms klein uitziet en soms zelfs even weg lijkt te zijn. We willen dit verschijnsel kwantitatief beschrijven. Hiervoor beschouwen we een bolvormige visseskom met straal R , een klein visje dat overal in dit aquarium kan zwemmen, en een waarnemer op voldoende grote afstand ($\gg R$). De brekingsindex van water is $n = 1.33$. De dikte van het glas mag je verwaarlozen.

- De vis zit vlak tegen de achterwand, dus op een afstand van ongeveer $2R$ achter het voorvenster. Schets waar je denkt de vis waar te nemen (=beeld van de vis), op basis van twee fundamentele stralen.
- Bereken waar je denkt de vis waar te nemen.
- Bereken de vergrotingsfactor als de vis zich vlak tegen de achterwand bevindt.
- Wat is de vergrotingsfactor als de vis zich vlak achter het voorvenster bevindt?
- Schets in welke gebieden van de ronde vissekom de vis “onzichtbaar” is. (hint: redeneer terug vanuit de waarnemer met behulp van evenwijdige stralen)

Opgave 2

We voeren het klassieke experiment van Young uit met twee spleten met ruwweg dezelfde spleetbreedte. Hiervoor belichten we de spleten met voldoende monochromatisch ($\lambda \approx 633$ nm) en ruimtelijk coherent licht en beelden we het licht dat door de spleten komt met een lens af op een scherm dat zich in het brandvlak van deze lens bevindt. Onze ideale dunne lens heeft een brandpuntsafstand van $f = 25$ cm, een diameter van 25 mm en bevindt zich op een afstand van 50 cm van de spleten. Op het scherm zien we een patroon van maxima en minima waarvan de intensiteit langzaam afloopt naar de randen. De afstand tussen de genoemde strepen is 0.4 mm, maar de strepen op afstanden vanuit het midden die veelvoudig zijn van ± 2 mm ontbreken steeds.

- Wat is de afstand tussen de twee spleten?
- Wat is de breedte van de spleten?

Opgave 3

De opnamekwaliteit van digitale camera's is verrassend goed, ondanks het feit dat de lenzen van deze camera's toch veel kleiner zijn dan die van de ouderwetse "analoge" camera's. Veel kleiner kunnen cameralenzen ook niet meer worden, omdat de diffractie een serieuze limiet stelt aan de haalbare resolutie. Om een scherpe afbeelding te krijgen moet men natuurlijk ook de nodige aandacht besteden aan de vorm van de lenzen. Simpele biconvexe of planoconvexe lenzen, die bestaan uit twee tegen elkaar aansluitende bolsegmenten, geven soms teveel sferische aberratie.

- De pixels van de CCD-camera zijn $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. Wat moet de diameter van de lens minimaal zijn om het kleinst mogelijke detail te kunnen afbeelden. Gebruik voor $\lambda = 550 \text{ nm}$ en een $f = 15 \text{ mm}$ lens.
- Omschrijf (i) de fysische oorzaak in relatie tot de wet van Snellius en (ii) de invloed van sferische aberratie op de afbeelding.

Opgave 4

We gebruiken een optisch tralie met 8000 lijnen/cm en een breedte van 1 cm.

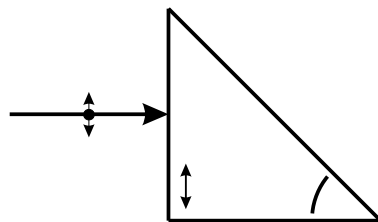
- Welke ordes zijn zichtbaar als het tralie onder een hoek van 30° t.o.v. de normaal met licht met een golflengte van 589 nm wordt aangelicht?

We belichten nu het tralie onder loodrechte hoek van inval.

- Geef een formule voor de hoekdispersie. Bereken welke consequenties een verandering van de hoekdispersie heeft op het spectraal oplossend vermogen.
- In welke orde zijn de Natrium lijnen (bij $\lambda = 589.0$ and 589.6 nm) net voldoende onderscheidbaar.

Opgave 5

Voor een polarisatie experiment krijg je de beschikking over een bron die on gepolariseerd licht met een golflengte van 500 nm uitzendt, en een blok dubbelbrekend materiaal, met brekingsindices $n_o = 1.501$ en $n_e = 1.499$. We gebruiken een deel van het materiaal om een polarisator te maken. Deze bestaat uit een driehoekig gesneden blok van het dubbelbrekend materiaal.



- a) Bereken de minimale en maximale waarde voor de hoek α om volledig lineair gepolariseerd licht te laten uittreden in de geschetste geometrie. Laat in een schets zien onder welke hoek deze bundel de zelfgebouwde polarisator typisch verlaat.

Na het op maat snijden van de blokken voor de polarisator, blijkt dat je nog twee dunne vierkante plaatjes over hebt, waarvan de optische as precies in het vlak van de plaatjes ligt. De plaatjes hebben een dikte van 0.875 mm en 1.3125 mm.

- b) Welke van deze twee plaatjes gedraagt zich als een $\lambda/2$ plaatje? Motiveer je antwoord met een berekening.

We plaatsen de zelfgemaakte elementen nu achter elkaar achter de lichtbron. De (doorlatende) optische as van de lineaire polarisator staat horizontaal. De snelle assen van de daaropvolgende $\lambda/2$ plaat en $\lambda/4$ plaat maken beiden een hoek van $+45$ graden met de horizontale as.

- c) Geef de polarisatie toestand van het licht na ieder element.

Opgave 6

In het boek “Introduction to Optics” van Pedrotti and Pedrotti is de transmissie berekend van een Fabry-Perot interferometer die bestaat uit twee spiegel met intensiteit reflectiviteit R die zich op een afstand d van elkaar bevinden. Uit een uitgebreide optelsom van alle interfererende bijdragen volgt voor de transmissie

$$T(\delta) = \frac{1}{1 + F \sin^2(\delta/2)} \quad ; \quad F = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (1)$$

We beschouwen nu een Fabry-Perot met spiegels met $R = 0.99$ die zich op een afstand $d \approx 1$ mm van elkaar bevinden, en belichten het geheel met licht met een golflengte $\lambda \approx 600$ nm.

- a) Geef een uitdrukking voor δ in bovenstaande formule.
- b) Schets de transmissie als functie van de spiegelafstand d en geef daarin de maat voor de periodiciteit, uitgedrukt in λ , voor de horizontale as duidelijk aan. Deze periodiciteit heet ook wel “free spectral range”.
- c) Bereken de volle breedte op halve hoogte (FWHM) van de transmissie maxima t.o.v. de “free spectral range”.
- d) Deze breedte is een maat voor het golflengteverschil, dat nog net oplosbaar is met de beschreven Fabry-Perot interferometer. Hoe groot is dit golflengteverschil onder de beschreven condities?

Opgave 7

We bouwen een Mach-Zehnder interferometer met twee ideale spiegels en tweede bundelsplitters, die beide 80% van het licht doorlaten en 20% reflecteren. Het licht kan in twee verschillende richtingen de interferometer verlaten.

- a) Schets de interferometer, met de twee uitredende bundels.
- b) Bereken voor beide richtingen de verhouding tussen de maximale intensiteit I_{\max} en de minimale intensiteit I_{\min} .