

Hertentamen Optica

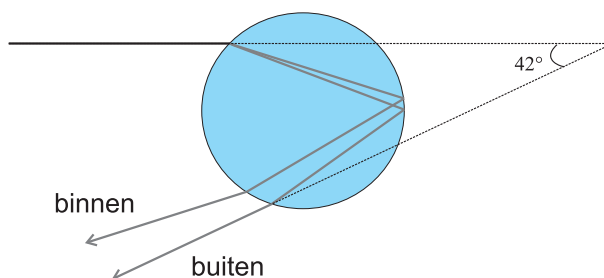
20 maart 2007

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

Opgave 1

Slechts eenmaal heeft God de natuurwetten blijvend veranderd. Hij schonk Noach de regenboog.

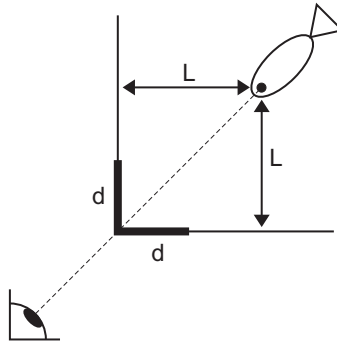
Iedereen kent het natuurverschijnsel van de regenboog, die zichtbaar is als de zon achter je schijnt en het voor je regent. Het fenomeen ontstaat door reflectie en breking van wit licht in dispersieve waterdruppels. We benaderen de regendruppels als bolletjes, zoals weergegeven in de figuur. Wanneer het inkomende witte licht en het uitgaande verstrooide licht een hoek van circa $180^\circ - 42^\circ$ met elkaar maken, treedt maximale helderheid op.



- Leg uit wat dispersie is.
- Bij benadering kunnen we aannemen dat de verschillende kleuren van de regenboog allemaal op hetzelfde punt de druppel zijn binnengegaan, zoals in de figuur het geval is. Voor water geldt dat $n(\lambda = 450 \text{ nm}) > n(\lambda = 750 \text{ nm})$. Dit leidt tot een kleurafhankelijke breking van de stralen. Welke kleur zit aan de buitenkant (zoals gedefinieerd in de figuur) van de regenboog? Leg uit.
- Onder optimale omstandigheden kan je nog een tweede, zwakkere regenboog zien. Hoe komt dit?

Opgave 2

In een rechthoekig aquarium zwemt een vis. Om het aquarium heen zit een zwart frame met een dikte $d = 5$ cm. Het glas is verwaarloosbaar dun en de brekingsindex van het water in de bak is 1:33. Op een gegeven moment bevindt het oog van de vis zich in een hoek van het aquarium, een afstand $L = 10$ cm van beide wanden af (zie tekening). Ondanks het zwarte frame kun je het vissenoog toch zien, als jouw oog zich ongeveer bevindt zoals in de tekening is aangegeven.



We nemen aan dat de paraxiale benadering (net) geldig is: $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$.

- Waarom zie je zelfs *twee* beelden van het vissenoog? Illustreer dit met behulp van een schets van de stralengang.
- Bereken de afstanden van de beelden tot de meest nabije wand van de bak.

Opgave 3

We schijnen een witte lichtbundel onder een hoek van 45° op een glazen plaatje ($n = 1.5$), waarop een laagje polymeer met een dikte van $0.8 \mu\text{m}$ en een brekingsindex $n_f = 1.35$ is aangebracht. De reflectie van dit systeem vertoont een sterke kleurafhankelijkheid.

- Voor welke golflengtes tussen 400 nm en 700 nm is de reflectiviteit maximaal?

Als we het plaatje een stuk verschuiven, komen we een kras tegen, waar het laagje polymeer dunner is. Hier meten we maximale reflectie bij golflengtes van 450 nm en 600 nm.

- Hoe diep is de kras?

Opgave 4

Tijdens één van de Apollo missies hebben astronauten een 'retroreflector' op de maan achtergelaten. Dit is een soort spiegel die een invallende lichtbundel precies terugkaatst in de richting van binnenkomst. De afstand aarde-maan kan sinds die tijd heel nauwkeurig worden gemeten. Dit gebeurt door een korte lichtpuls (energie 1 mJ, golflengte $\lambda = 532$ nm) vanuit een telescoop op aarde naar de retroreflector op de maan te sturen en precies te meten hoe lang het duurt voordat het gereflecteerde licht terugkomt bij de telescoop. De retroreflector en telescoop hebben beide een ronde opening met een diameter van respectievelijk $d_r = 1$ meter en $d_t = 5$ meter. De afstand aarde-maan is $L \approx 376.000$ km van oppervlak naar oppervlak.

- Geef een formule voor de straal r van de bundel op de maan en bereken hiermee de fysische grootte van de bundel (in meters). Hint: onder de straal verstaan we de afstand tussen het centrum en het eerste diffractie-minimum.
- Geef een formule voor de fractie van het licht dat op de maan wordt gereflecteerd en bereken deze fractie voor de beschreven geometrie. Neem aan dat de intensiteit constant is over het oppervlak van de reflector en dat de reflector in het midden van de lichtbundel staat. Je mag verder aannemen dat voor de intensiteit in het centrum van de bundel geldt

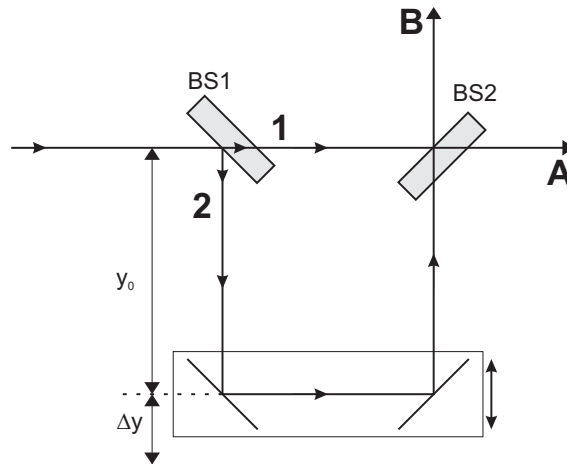
$$I_0 = \frac{P}{C\pi r^2},$$

met P het uitgezonden vermogen en de constante $C = 4/(1.22\pi)^2$.

- Geef een formule voor de fractie van het gereflecteerde licht die door de telescoop op aarde wordt opgevangen.
- Hoeveel fotonen zitten er in de uitgezonden 1 mJ puls en hoeveel fotonen worden hiervan bij terugkomst op aarde door de telescoop weer opgevangen?

Opgave 5

In de figuur is een Mach-Zehnder interferometer getekend. Deze bestaat uit twee spiegels op een translatietafel en twee bundelsplitters BS1 en BS2, die ieder 10% van de inkomende intensiteit reflecteren, en 90% doorlaten. De translatietafel kan vanuit de beginpositie verder naar achteren worden verschoven. De interferometer heeft twee uitgangen: A en B , waar de bundels die pad 1 en die pad 2 volgen interfereren.



We gebruiken een laser met een golflengte λ en een intensiteit I_0 . De fringe visibility V van een interferometer is gegeven als

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

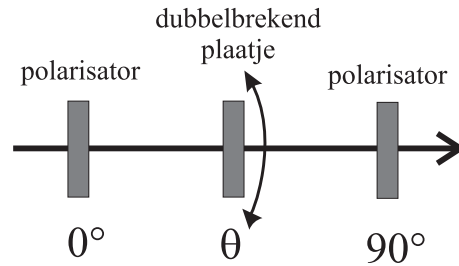
- Geef de intensiteiten van de vier bundels $A1$, $A2$, $B1$ en $B2$ vóór interferentie in termen van I_0 en laat zien dat deze intensiteiten optellen tot I_0 .
- Bereken de fringe visibility aan uitgang A en uitgang B .

Als we de translatietafel verschuiven zullen de intensiteiten in A en B periodiek veranderen. We vragen ons af wat de periodiciteit en het faseverschil is tussen deze twee oscillaties. Door de bundelsplitters zo te plaatsen als getekend, is er voor de bundels die pad 1 en pad 2 volgen, zowel aan uitgang A als aan uitgang B , geen relatief weglengteverschil door transmissie door de bundelsplitters. Let wel op de mogelijke faseverandering bij reflectie. De brekingsindex van alle gebruikte spiegels is groter dan 1. De afstand y_0 is precies een veelvoud van λ .

- Maak een schets van de intensiteit aan uitgang A en aan uitgang B als functie van Δy . Markeer op de verticale as de relevante intensiteiten en op de horizontale as de periodiciteit.

Opgave 6

We bekijken een opstelling waarin een dubbelbrekend plaatje quartz tussen twee gekruiste polarisatoren is geplaatst (zie figuur). Quartz heeft brekingsindices $n_o = 1.544$ en $n_e = 1.553$. Onze bron zendt wit licht uit en is ongepolariseerd. We zijn geïnteresseerd in de transmissie als functie van de golflengte λ van het licht.



- We zetten de transmissie assen van het plaatje onder een hoek $\theta = 45^\circ$ ten opzichte van de polarisatorassen. Bij $\lambda = 750$ nm is de transmissie maximaal, en vervolgens bij 650 nm weer. Wat is de dikte van het plaatje?
- De intensiteit van de bron bedraagt $I(\lambda) = I_o$. Teken in een grafiek de transmissie als functie van de golflengte λ , tussen 550 en 750 nm. Hint: bepaal eerst eens bij welke andere golflengtes maximale en minimale transmissie optreedt.
- Nu draaien we het plaatje quartz zodat $\theta = 90^\circ$. Schets wederom de transmissie als functie van de golflengte λ .