Tentamen Optica

19 februari 2008, 14:00 uur tot 17:00 uur

Zet je naam en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 8 opgaven eerst eens door. De opgaven kunnen in willekeurige volgorde gemaakt worden.

Opgave 1
De optiek van de Hubble telescoop is zo goed dat zijn hoekoplossend vermogen dicht bij de diffractielimiet ligt. In de telescoop bevindt zich een spiegel met een diameter van 2,4 meter.

a) Wat is het hoek oplossend vermogen van de Hubble telescoop bij een golflengte in het ultraviolet van 115 nm?

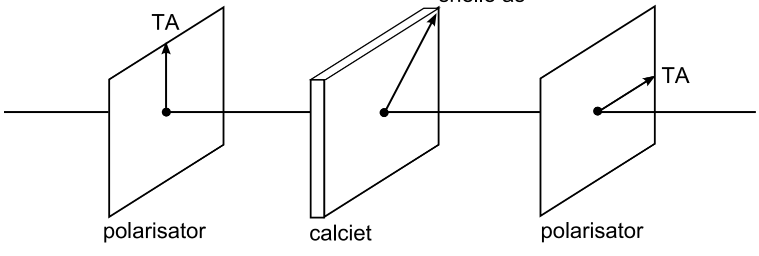
b) Betelgeuze is een ster die zich op 427 lichtjaar van ons vandaan bevindt. Een jaar bevat $3,15 \times 10^7$ seconden. Haar diameter is ongeveer 800 keer de diameter van de zon. De diameter van de zon is 1,39 miljoen kilometer. Kan de diameter van Betelgeuze gemeten zijn met behulp van de Hubble telescoop? Motiveer je antwoord met een berekening.

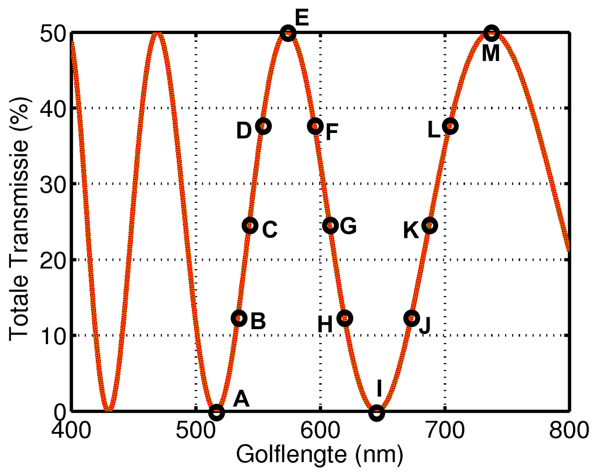
Opgave 2
We willen de dubbele breking van een plaatje calciet weten. Hiervoor plaatsen we het plaatje tussen twee gekruiste polarisatoren, zoals getekend in de eerste figuur. De snelle as van het calciet maakt een hoek van 45 graden met de transmissie assen (TA) van de polarisatoren. De dikte van het calciet plaatje is 15 μm. We beschijnen de eerste polarisator met wit ongepolariseerd licht. Het gemeten spectrum achter de tweede polarisator is gegeven in de tweede figuur.

a) Het plaatje werkt voor bepaalde kleuren als een half-lambda-plaat en voor bepaalde andere kleuren als een kwart-lambda-plaat. In het gemeten spectrum zijn punten A tot en met M aangegeven. Welke punten horen bij een half-lambda-plaat? En welke bij een kwart-lambda-plaat? Motiveer je antwoorden.

b) Punt B ligt op een golflengte van $533,8$ nm. Punt J ligt op een golflengte van $673,0$ nm. Bereken het brekingsindexverschil van calciet.

c) We draaien de tweede polarisator 45 graden tegen de klok in ten opzichte van de afgebeelde situatie. Hoe zal het spectrum achter de tweede polarisator er nu uit zien?

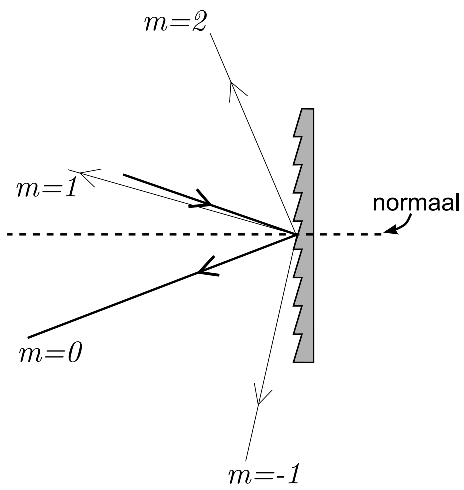




Opgave 3
Beschouw een optisch tralie met 1000 lijnen per millimeter. Het tralie wordt onder een hoek van 20 graden met de normaal van het tralie beschenen met licht van een golflengte van 600 nm in lucht.

a) Bereken de hoeken ten opzichte van de normaal van het tralie voor de vier interferentie-ordes $m = -1, m = 0, m = 1$ en $m = 2$, zoals aangegeven in de figuur.

b) We dompelen vervolgens de hele opstelling in een bak met water. Beredeneer wat er gebeurt met de hoeken van de interferentie-ordes.



Opgave 4

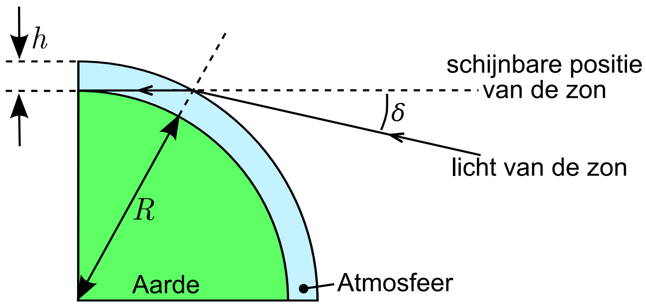
Op het moment dat de zon opkomt of onder gaat lijkt deze precies aan de horizon te staan. In werkelijkheid staat de zon dan echter onder de horizon. Deze paradox kan worden verklaard door het feit dat het zonlicht gebroken wordt als het de atmosfeer van de aarde binnendringt (zie figuur). Omdat onze perceptie is gebaseerd op het idee dat licht zich volgens rechte lijnen voortplant, zien we de zon dan onder een hoek δ ten opzichte van de werkelijke positie van de zon.

a) Maak de vereenvoudigende aannames dat de atmosfeer een uniforme brekingsindex n heeft en dat de atmosfeer zich uitstrekt tot een hoogte h boven het aardoppervlak en daar abrupt ophoudt. Laat met een berekening zien dat de hoek δ wordt gegeven door

$$\delta = \arcsin\left(\frac{nR}{R+h}\right) - \arcsin\left(\frac{R}{R+h}\right), \tag{1}$$

waarbij $R = 6378$ km de straal van de aarde is.

b) Bereken δ voor $n = 1,0003$, $h = 20$ km en $R = 6378$ km.



Opgave 5

a) Schets de opbouw van een eenvoudige microscoop en de bijbehorende stralengang van het voorwerp naar het ongeaccommodeerde oog. Geef in je tekening aan waar de brandpuntsafstanden van het objectief en oculair liggen.

b) Beredeneer of je het beeld omgekeerd ziet of niet.

c) Specialisten vinden vaak, naast de kwaliteit van de lensen, maar één eigenschap van de microscoop echt belangrijk: de numerieke apertuur $NA = n \sin\theta$ van het objectief. Leg (met een formule) uit waarom de numerieke apertuur van cruciaal belang is voor een microscoop.

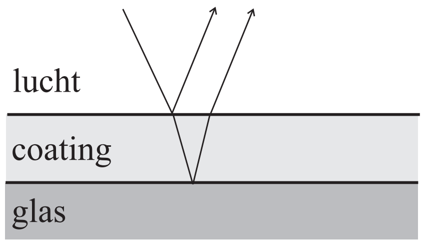
Opgave 6
Op een zonnige middag zit een visser aan de waterkant. De reflecties van het zonlicht aan het wateroppervlak zijn erg fel. Hoewel het directe zonlicht ongepolariseerd is, zijn de reflecties deels lineair gepolariseerd.

a) Bij welke invalshoek van het zonlicht op het water is het gereflecteerde licht volledig lineair gepolariseerd? Neem voor de brekingsindex van water $n = 1,33$.

Om de schitteringen van het water te onderdrukken, draagt de visser een polaroid-bril. Dit is een zonnebril die slechts één polarisatie component doorlaat.

b) Welke orientatie (horizontaal, vertikaal, of er tussen in) moet de transmissie-as van de polarisator hebben om de reflecties optimaal te onderdrukken? Leg uit.

Opgave 7
Op de glazen van een bril wordt typisch een anti-reflectie coating aangebracht, zodat de drager niet steeds de eigen ogen in het glas weerspiegeld ziet. De situatie is geschetst in de figuur. De werking van de coating is gebaseerd op interferentie tussen de reflecties van het eerste en het tweede grensvlak. Voor het gemak gaan we er in deze opgave van uit dat de coating alleen bij $\lambda = 550$ nm hoeft te werken (hoewel in wezen de coating breedbandig moet zijn over het hele zichtbare spectrum). Eveneens verwaarlozen we meervoudige reflecties binnen de coating laag. Je mag uitgaan van loodrechte inval.



De reflectie coëfficiënt voor reflectie aan twee media met brekingsindices n_1 en n_2 wordt voor loodrechte inval gegeven door

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}. \tag{2}$$

a) Leg uit waarom de keuze van de brekingsindex van de coating ($n_{coating}$) vastligt bij gegeven brekingsindex van het glas (n_{glas}).

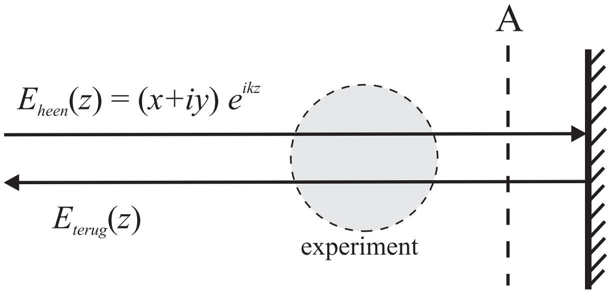
b) Laat zien dat $n_{coating} \simeq \sqrt{n_{glas}}$ een goede keuze is. Hint: neem aan dat de transmissie van lucht naar coating en terug bij benadering gelijk is aan 1.

c) De brekingsindex van het gebruikte glas is $n_{glas} = 1,78$. De fabrikant besluit daarom te kiezen voor $n_{coating} = 1,33$. Bereken de minimale dikte die leidt tot verdwijnende reflecties.

Opgave 8

Atomen kunnen worden gevangen in de buiken van een staande golf van licht. Dit principe wordt bijvoorbeeld toegepast in experimenten in de quantumelectrodynamica. In deze opgave bekijken we twee staande golven die in dit soort experimenten worden gebruikt.

De figuur geeft een schematische weergave van typische opstelling. Een monochromatische bundel licht valt in en keert terug na reflectie aan een perfecte spiegel. Het eigenlijke experiment vindt plaats op de aangegeven locatie. De heengaande bundel is circulair gepolariseerd: $\vec{E}_{heen}(z) = (\hat{x} + i\hat{y})e^{ikz}$.



a) Geef een uitdrukking voor de teruglopende golf, en voor het staande golf patroon dat ontstaat ter plaatse van het eigenlijke experiment.

b) Vervolgens plaatsen we een kwart-lamba-plaat in vlak A. Laat zien hoe nu de polarisatie in de staande golf afhangt van de plaats.