

Tentamen Optica

18 februari 2005

Zet je naam en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 7 opgaven eerst eens door. De opgaven kunnen in willekeurige volgorde gemaakt worden.

De volgende natuurconstanten kunnen in het tentamen gebruikt worden: $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js, $c = 2.998 \times 10^8$ m/s, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ C²/Nm².

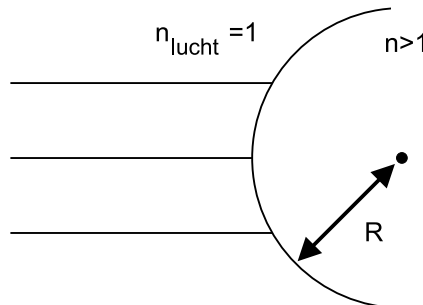
Opgave 1

De golfvergelijking voor transversale golven wordt gegeven door:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

- Wat is a voor een grootheid?
- Leid m.b.v. de gegeven golfvergelijking het verband af tussen de hoekfrequentie ω en de golflengte λ voor de golf $y = A \sin(kx - \omega t)$.
- Als een lichtgolf van de vorm van vraag b overgaat van lucht ($n_{lucht} = 1$) naar glas ($n_{glas} = 1.5$) veranderen dan de waarden van ω , k en de voortplantingssnelheid, en zo ja, hoe?

Opgave 2



Beschouw een eenwijdige bundel die vanuit lucht ($n_{lucht} = 1$) invalt op een gekromd oppervlak met kromtestraal R van een medium met brekingsindex $n > 1$ (zie bovenstaande schets).

- Schets het verdere verloop van de 3 geschetste stralen en geef daarbij duidelijk de hoeken aan zoals die in de wet van Snellius gebruikt worden.
- Leid af dat de exacte positie van het brandpunt wordt gegeven door $f = R[1 + \frac{\sin(\theta_{in})}{\tan(\theta_{in} - \theta_{uit})} - \cos(\theta_{in})]$.

- c) Gebruik de paraxiale limiet om een simpele uitdrukking voor de positie van het brandpunt af te leiden (gegeven de uitdrukking in b) met als enige variabelen R en n .
- d) Leg in woorden uit wat sferische aberratie is.
- e) Leg ook uit wat chromatische aberratie is.

Opgave 3

We kijken door een polaroid bril naar reflecties van zonlicht in een plas water. Het zonlicht zelf is on gepolariseerd.

- a) Laat met een schets zien en beargumenteer hoe de polarisatoren in de zonnebril moeten zijn georiënteerd om de schittering van reflecties aan het water zo goed mogelijk weg te nemen.
- b) Bereken voor welke invalshoek de reflectie volledig is verdwenen ($n_{\text{water}} = 1.33$) en geef de hoek aan in de schets van a). Wat is de naam van deze (speciale) hoek?

Opgave 4

Op één van de Apollo missies hebben astronauten een retroreflector op de maan geplaatst. Deze constructie van 3 spiegels, met onderlinge hoeken van 90° graden, kaatst invallend licht (na 3 reflecties) precies terug in de richting waaruit het vandaan kwam. Door vanaf aarde met een korte lichtpuls (energie $10 \mu\text{J}$, golflengte 532 nm) op de retroreflector (diameter 30 cm) te “schieten” en te meten hoe lang het licht onderweg is kan de afstand aarde-maan zeer precies worden gemeten (op zelfs cm nauwkeurig!). Om de invloed van diffractie te beperken wordt de laserbundel via een telescoop, die een diameter van 3 meter heeft, op de maan gericht.

- a) Hoe groot is de bundel op de maan? Ga uit van 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 daarin aan hoe de eerder berekende bundelgrootte precies is gedefinieerd.
- c) Geef een ruwe (orde van grootte) schatting van de fractie van de energie van het laserlicht dat de reflector raakt als de telescoop goed gericht is en leg in woorden uit waarop deze schatting gebaseerd is.
- d) Geef een ruwe (orde van grootte) schatting van het aantal fotonen per puls dat de reis naar de maan en terug overleeft, en door de telescoop op aarde weer wordt opgevangen.

Opgave 5

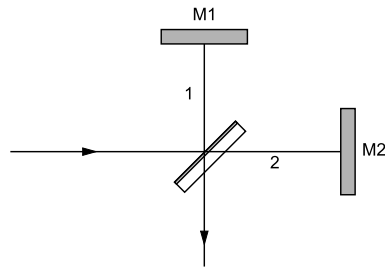
- Leg in detail uit waarom je geen kleuren meer ziet in reflectie als een zeepvlies heel dun wordt (vlak voordat het knapt).
- Schat de minimale dikte waarbij de reflectie een maximum heeft voor een golflengte van 550 nm en een brekingsindex van het zeepvlies van 1.33.
- Hoe groot is dan de intensiteitsreflectie (neem aan dat de lichtstralen loodrecht op het zeepvlies invallen)?

Opgave 6

Een tralie (breedte 5 cm, 5000 lijnen/cm) wordt gebruikt om een invallende lichtbundel in zijn kleurcomponenten te scheiden. De bundel valt loodrecht in op het tralie en belicht het tralie volledig.

- Bereken de hoek waaronder groen licht ($\lambda_1 = 500.000 \text{ nm}$) in de eerste orde wordt afgebogen.
- We willen dit licht kunnen onderscheiden van licht met een golflengte van $\lambda_2 = 500.010 \text{ nm}$. Bereken de benodigde resolutie (=kleurscheidend vermogen) van het tralie. Bereken of, en zo ja voor welke diffractie-orde, deze resolutie wordt gehaald.
- De tralie wordt in water (brekingsindex 1.33) geplaatst; bereken opnieuw de hoek waaronder licht met een golflengte λ_1 wordt afgebogen in de eerste orde.

Opgave 7



Een Michelson interferometer wordt belicht met een lineair gepolariseerde lichtbron met een golflengte $\lambda = 589 \text{ nm}$ (zie figuur). Een ideale halfdoorlatende spiegel (beam splitter) die enkel aan de voorkant reflecteert splits de inkomende bundel in tweeën. De spiegels M_1 en M_2 reflecteren 100%. Bij perfecte uitlijning hangt de intensiteit aan de uitgang van de interferometer kritisch af van de padlengtes en kan zelfs volledig verdwijnen.

- Leg uit waarom de intensiteit aan de uitgang kan verdwijnen. Welke reflectie- en transmissiewetten liggen hieraan ten grondslag?

- b) We plaatsen een plaatje in bundel 1 dat, na heen en weer gaan, 50% van de intensiteit absorbeert. Bereken de verhouding tussen de maximale en minimale intensiteit van het interferentiepatroon aan de uitgang.
- c) We verwijderen het absorberende plaatje en plaatsen nu een dubbelbrekend kwarts-plaatje in bundel 1. Wat voor een soort dubbelbrekend plaatje moet dit zijn, om de interferentie aan de uitgang te doen verdwijnen?
- d) Hoe dik moet dit plaatje minimaal zijn als $n_o = 1.5534$ en $n_e = 1.5443$?