

## Tentamen Optica, 20 februari 2015

### 1. Galileo telescoop

Een Galileo telescoop (of piratenkijker) heeft als voordeel ten opzichte van een gewone telescoop dat hij het beeld niet omdraait. Dit komt omdat de Galileo telescoop is samengesteld uit één positieve en één negatieve lens, terwijl een gewone telescoop twee positieve lenzen bevat.

- Teken de stralengang in een Galileo telescoop van een inkomende bundel evenwijdig aan de optische as. Geef daarbij duidelijk aan waar de foci zich bevinden en op welke afstand de lenzen staan. (2 punten)
- Teken ook de stralengang van een inkomende bundel die een kleine hoek maakt ten opzichte van de optische as. Gebruik hiervoor een andere kleur of stippellijnen, of maak een tweede figuur voor de duidelijkheid. (2 punten)
- Wat is het verband tussen de hoekvergroting  $M$  van een Galileo telescoop en de brandspuntsafstanden van de lenzen? (1 punt)

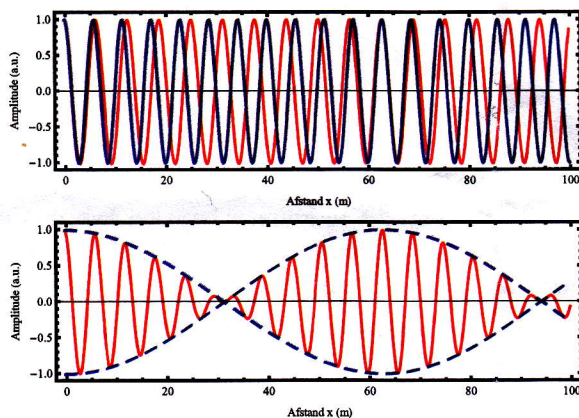
### 2. Massieve bol als lens

Een massieve bol van transparant materiaal met een brekingsindex  $n = 2.10$  staat in lucht en wordt verlicht door een puntbron aan de voorkant van de bol. De bol heeft een diameter van 10.0 cm en de puntbron staat zo ver voor de bol dat het licht precies op de achterkant van de bol gefocuseerd wordt. Vlak voor de bol staat een diafragma dat 2.0 cm open staat.

- Hoe ver staat de puntbron vanaf de voorkant van de bol? (3 punten)
- Bereken de openingshoek (centrum tot rand) van het licht dat aan de achterkant van de bol naar buiten treedt, in de paraxiale benadering. (1 punt)

### 3. Interferentie tussen twee lopende golven

De onderstaande figuur toont de zweving die ontstaat door optelling van twee naar rechts lopende golven met iets verschillende golfvector  $k_1 = 1.0 \text{ m}^{-1}$  (rood) en  $k_2 = 1.1 \text{ m}^{-1}$  (blauw) en bijbehorende hoekfrequenties  $\omega_1$  en  $\omega_2$ . De beweging van deze combinatie van golven beschrijven we met twee snelheden: een fasesnelheid  $v_{fase}$  en een groepsnelheid  $v_{groep}$ .



- (a) Hoe is de fasesnelheid zichtbaar in de beweging? (1 punt)
- (b) Leg uit waarom de fasesnelheid beschreven wordt door de formule  $v_{fase} \approx \omega/k$  voor  $k_1 \approx k_2$ . (1 punt)
- (c) Hoe is de groepsnelheid zichtbaar in de beweging? (1 punt)
- (d) Leg (met een korte afleiding) uit waarom de groepsnelheid beschreven wordt door de formule  $v_{groep} \approx d\omega/dk$  voor  $k_1 \approx k_2$ . (2 punten)

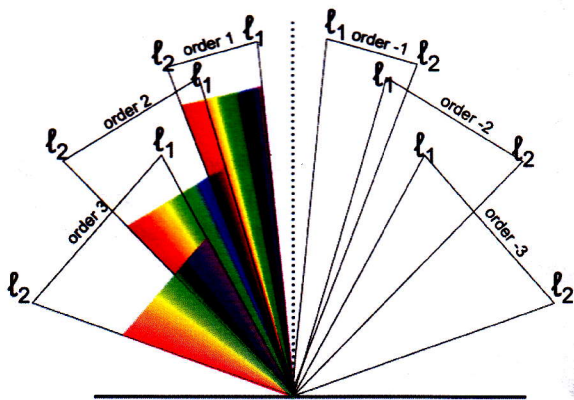
#### 4. 3D bioscoopbril

Om een 3D film te zien heb je een speciale bril nodig waarbij het linker glas enkel linkshandig gepolariseerd licht doorlaat en het rechter glas enkel rechtshandig gepolariseerd licht (of andersom al naar gelang de conventie). Het glas van deze bril bevat hiervoor een combinatie van een polarisator en een dun dubbelbrekend kristal.

- (a) Bereken hoeveel dubbele breking het kristal moet vertonen; is het een  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  of een  $\lambda$  plaatje? (1 punt)
- (b) Bereken waar het dubbelbrekende kristal moet zitten ten opzichte van de polarisator; aan de kant van het bioscoopscherm of aan de kant van je oog? (1 punt)
- (c) Over welke hoeken moeten de snelle assen van de dubbelbrekende kristallen in het linker en rechterglas gedraaid zijn ten opzichte van de transmissie-assen van de bijbehorende polarisatoren? (2 punten)
- (d) Hoe goed werkt deze 3D bril als zonnebril, oftewel welke fractie van ongepolariseerd zonlicht laat elk glas door? (1 punt)

#### 5. Optisch tralie met spectra in diffractie ordes

Het onderstaande kleurrijke plaatje toont de reflectie van wit licht bij loodrechte inval op een optisch tralie



- (a) Met welke formule kun je dit kleurrijke plaatje beschrijven. Leidt deze formule af met een duidelijke schets, waarin je de essentiële fysica aangeeft en beschrijft. (2 punten)
- (b) Hoeveel lijnen per millimeter bevat dit tralie? Om dit te kunnen bepalen heb ik alvast in de figuur afgelezen dat de 3-de orde diffractie zit bij een hoek van  $\theta = 30^\circ$  voor paarsblauw licht ( $\lambda = 417 \text{ nm}$ ) en  $\theta = 68^\circ$  voor dieprood licht ( $\lambda = 773 \text{ nm}$ ). (1 punt)
- (c) Wat bepaalt de intensiteitsverdeling over de verschillende diffractie ordes en hoe kun je deze aanpassen/optimaliseren voor je toepassing? (1 punt)



- (d) Hoe groot is de 'hoekspreiding' van de 3-de orde diffractiebundel als we het tralie belichten met een 1 mm brede monochromatische bundel met een golflengte  $\lambda = 410 \text{ nm}$ . Leg, met een schetsje of een duidelijke omschrijving, uit hoe je deze 'hoekspreiding' definiëert. (2 punten)

### 6. Interferentie in zeepvlies

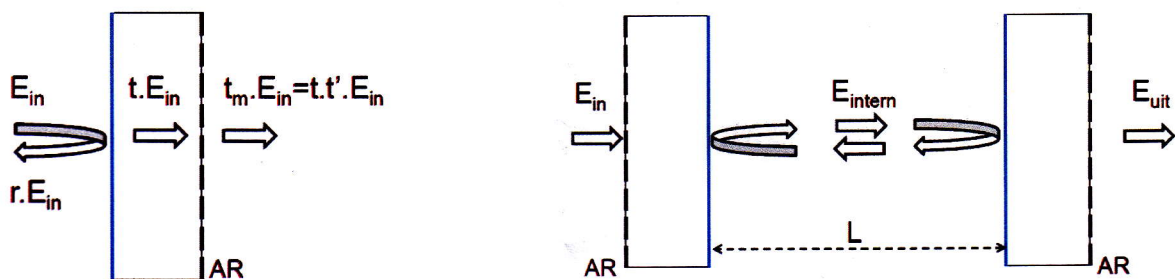
Tijdens het college hebben we gefascineerd gekeken naar de kleurrijke interferentiepatronen die zichtbaar zijn in de reflectie van wit licht aan een dun zeepvlies. Deze patronen stellen je in staat om de dikte  $d$  van het vlies te bepalen als je de golflengte  $\lambda$  van het licht weet.

- (a) Beschrijf de optredende interferentie in reflectie en leidt een formule af die aangeeft wanneer de reflectie maximaal is voor licht dat loodrecht invalt. (2 punten)
- (b) Hoe groot is de relatieve gereflecteerde intensiteit  $R = I_{\text{reflectie}}/I_{\text{in}}$  maximaal bij loodrechte inval? N.B. Gebruik  $n_{\text{zeepvlies}} = 1.34$  en verwaarloos meervoudige reflecties. (2 punten)
- (c) Tussen welke waarden varieert de relatieve doorgelaten intensiteit  $T = I_{\text{transmissie}}/I_{\text{in}}$  als functie van de dikte onder deze condities? (1 punt)

### 7. Fabry-Pérot interferometer

Een Fabry-Pérot interferometer bestaat uit twee identieke hoog-reflecterende spiegels waartussen het licht vele malen op-en-neer kaatst. Elke spiegel heeft een spiegelende kant, met een amplitudo reflectiecoëfficiënt  $r$ , en een achterkant die anti-reflectie (= AR) gecoat is en die we dus kunnen verwaarlozen. De transmissiecoëfficiënt door de hele spiegel, dus van lucht naar lucht, is  $t_m = t \cdot t' = \sqrt{1 - r^2}$ , waar de laatste gelijkheid volgt uit energiebehoud (zie linker figuur).

Onze Fabry-Pérot interferometer bestaat uit twee zulke spiegels, die evenwijdig aan elkaar staan met de spiegelende delen aan de binnenkant op een onderlinge afstand  $L$  en die we belichten met een vlakke bundel met golflengte  $\lambda$  evenwijdig aan de oppervlakte normaal van beide spiegels (zie rechter figuur). N.B. De kromme pijlen en de verschuiving in de dwarsrichting in beide figuren is enkel een 'artist impression'.



- (a) Toon aan dat de amplitudo van het veld  $E_{\text{intern}}$  dat tussen beide spiegels naar rechts loopt gelijk is aan

$$\left| \frac{E_{\text{intern}}}{E_{\text{in}}} \right| = \left| \frac{t_m}{1 - R \exp(i\delta)} \right|,$$

met  $R = r^2$  en  $E_{\text{in}}$  het inkomende veld. Met welke grootte correspondeert  $\delta$  en wat is de bijbehorende formule? (3 punten)

- (b) Wat is de maximale en minimale relatieve intensiteit  $I_{\text{intern}}/I_{\text{in}}$  van het licht dat tussen de spiegels naar rechts loopt? (1 punt)
- (c) Toon aan dat het gevonden maximum in overeenstemming is met de opmerking dat een ideale Fabry-Pérot interferometer een piek transmissie van 100% heeft, zelfs als elk van de individuele spiegels maar een kleine fractie van het licht doorlaat? (1 punt)