

Tentamen Optica

dinsdag 26 februari 2013

Zet je naam en studierichting bovenaan elk vel dat je gebruikt. Lees de 6 opgaven eerst eens door. De opgaven kunnen in willekeurige volgorde gemaakt worden.

Opgave 1

Om de parallelle bundel van een laser in een glasvezel te sturen wordt soms een zogenaamde 'ball-lens' gebruikt. Dit is een perfect ronde bol van glas met een relatief kleine diameter. Om het licht in de glasvezel te sturen is het voldoende om het uiteinde van de glasvezel in het brandpunt van deze 'ball-lens' te zetten. We gaan uit van een 'ball-lens' met een diameter $D = 3.0$ mm gemaakt van BK7 glas met een brekingsindex $n = 1.470$.

- Mag je deze 'ball-lens' benaderen als een dunne lens? Beargumenteer je antwoord.
- Bereken de brandpuntsafstand van de 'ball-lens'. Geef duidelijk aan hoe je deze brandpuntsafstand definieert, bijv. gemeten t.o.v. het midden van de bol.

Voor de praktische toepassing van deze ball-lens is het handiger als de optimale inkoppeling plaatsvindt als de lens in contact staat met de glasvezel. Dit kunnen we bereiken door een andere brekingsindex voor de bol te kiezen.

- Welke brekingsindex zou de 'ball-lens' moeten hebben om dit te bereiken?

Opgave 2

We proberen het sterke gele licht uit een Natrium lamp, dat volgens de literatuur bestaat uit licht met twee golflengten $\lambda = 589.99$ nm en 589.04 nm, te scheiden in zijn twee spectrale componenten. Hiervoor richten we een 10.0 mm brede evenwijdige bundel licht uit een Natrium lamp loodrecht op een 25.0 mm breed (transmissie) tralie met 600 lijnen per cm. We bestuderen de hoekverdeling van het doorgelaten licht. Dit kunnen we bereiken door te kijken in het brandvlak van een lens die op een brandpuntsafstand achter het tralie staat..

- Bereken de eerste-orde ($m = 1$) afbuighoeken van beide spectraallijnen in de beschreven geometrie.
- Bereken ook het hoekoplossend vermogen en laat zien dat de twee spectraallijnen niet individueel zijn waar te nemen in het eerste-orde interferentiepatroon.
- In welke orde zijn de twee spectraallijnen wel te onderscheiden?

Opgave 3

We gebruiken twee ideale polarisatoren. De as van de eerste polarisator is verticaal, die van de tweede polarisator is vooralsnog onbekend. Tussen de twee polarisatoren plaatsen we een $\lambda/2$ plaatje dat we kunnen draaien. We belichten de polaroids onder loodrechte inval met een monochromatische bundel licht met intensiteit I_0 , en vinden dat de doorgelaten intensiteit maximaal is als de as van het $\lambda/2$ plaatje een hoek van 20° maakt t.o.v. de verticale richting.

- a) Wat is de orientatie van de tweede polarisator?

We plaatsen een $\lambda/4$ plaatje tussen de eerste polarisator en het $\lambda/2$ plaatje. De as van dit $\lambda/4$ plaatje maakt een hoek van 45° t.o.v. de verticaal. De hoek van de as van het $\lambda/2$ plaatje blijft onveranderd en is gelijk aan 20° t.o.v. de verticaal.

- b) Bereken de doorgelaten intensiteit na de tweede polarisator.

We halen vervolgens zowel het $\lambda/2$ als het $\lambda/4$ plaatje weg.

- c) Wat is nu de doorgelaten intensiteit na de tweede polarisator? (Als je geen antwoord hebt gevonden bij vraag a), neem dan een hoek van 20° voor de as van de tweede polarisator)

Opgave 4

Een Xenon laser kan bij verschillende infrarood golflengten licht uitzenden. Een laser bestaat uit een trillholte met twee eindspiegels en een versterkend medium (in dit geval Xenon atomen). Het is de bedoeling van deze opgaven om de spiegels van de trillholte te ontwerpen. Je mag aannemen dat de spiegels vlak zijn en dat de laser een parallelle bundel creëert. Het is niet belangrijk om de laserwerking zelf te begrijpen.

Als we bij $2.0 \mu\text{m}$ willen werken moeten de spiegels van de trillholte van de laser sterk reflecteren bij deze golflengte. De spiegels bestaan uit een dunne film van een materiaal met een brekingsindex $n_f = 2.0$, aangebracht op een CaF_2 substraat met een brekingsindex $n_s = 1.4$.

- a) Hoe dik moet de laag minimaal zijn voor maximale reflectie bij een golflengte van $2.0 \mu\text{m}$ (bij loodrechte inval)?

Voor ons experiment mag de Xenon laser niet gaan werken bij $2.5 \mu\text{m}$; dit kunnen we bereiken door er voor te zorgen dat de spiegels minimaal reflecteren bij een golflengte van $2.5 \mu\text{m}$.

- b) Hoe dik moet de laag minimaal zijn om bij $2.0 \mu\text{m}$ maximaal te reflecteren en tegelijk bij $2.5 \mu\text{m}$ minimaal te reflecteren?

Opgave 5

Op een zonnige middag zit je op het strand. Driehonderd meter verderop staan twee stokjes in het zand, 5.0 cm uit elkaar. Als je goed kijkt, kun je echter de twee stokjes niet apart onderscheiden; je ziet eigenlijk maar een stokje. De diameter van je pupil is ongeveer 3.5 mm. We nemen aan dat het zonlicht een gemiddelde golflengte van 550 nm heeft.

- a) Hoe dichtbij moet je komen voordat je volgens het Rayleigh criterium kunt zien of er daadwerkelijk twee stokjes staan?

Op zon zonnige dag heb je geen zin om op te staan en die afstand te lopen en besluit je verrekijker erbij te pakken. Nu kun je wel duidelijk zien dat er inderdaad twee stokjes op het strand staan, wat eerst niet mogelijk was door diffractie.

- b) Leg uit wat het effect van de *vergroting* van de kijker op het waargenomen beeld is, en laat daarmee zien dat dit niet de oorzaak ervan is dat je nu *wel* de twee stokjes kunt onderscheiden.
- c) Welke eis stel je dan minimaal aan de verrekijker en aan welke parameter? Geef zowel een kwalitatief als een kwantitatief antwoord.

Opgave 6

Metallische geleiders hebben een karakteristieke plasma hoekfrequentie ω_p . Deze plasma hoekfrequentie is een constante die typisch overeenkomt met een golflengte in het UV en is voor elke geleider anders. Voor hoekfrequenties groter dan de plasma hoekfrequentie wordt de geleider optisch transparant. De brekingsindex is afhankelijk van de hoekfrequentie en wordt voor hoekfrequenties groter dan ω_p gegeven door::

$$n = \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}, \quad \omega > \omega_p$$

Verder is gegeven de lichtsnelheid $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

- a) Geef een uitdrukking voor de fasesnelheid van een metaal voor $\omega > \omega_p$, waarbij je gebruikt maakt van bovenstaande brekingsindex.
- b) Laat zien dat de in a) gevonden uitdrukking betekent dat de fasesnelheid groter is dan de lichtsnelheid c .

De fasesnelheid in een metaal is groter dan de lichtsnelheid voor $\omega > \omega_p$. De groepssnelheid zou echter nog steeds kleiner moeten zijn dan de lichtsnelheid.

- c) Geef een uitdrukking voor de groepssnelheid als functie van de frequentie ω . (Hint: Leid eerst een verband of tussen ω^2 en k^2)
- d) Laat nu zien dat de groepssnelheid inderdaad kleiner is dan de lichtsnelheid voor $\omega > \omega_p$.