

Naam: .....

## **Golven en optica, Richtlijnen bij het examen**

De duur van het examen is 4u. Er zijn 2 theorievragen en 2 oefeningen. Elke vraag heeft deelvragen en de punten per deelvraag zijn aangegeven. De extra informatie die u bij de oefeningen mag gebruiken mag u enkel bij u hebben als u ALLES wat met het theoriegedeelte te maken heeft, hebt ingediend: opgaven, antwoordbladen en OOK eventueel gemaakt klad. Wat u niet bij de theorie hebt ingediend kan niet worden gequoteerd. Zolang u het gekleurde opgaveblad voor theorie niet hebt ingediend, MAG U DE EXTRA DOCUMENTATIE VOOR DE OEFENINGEN (syllabus, rekenmachine) NIET BIJ U HEBBEN!

Deel uw tijd wijs in. Veel succes.

### **Voor de start van het examen**

SCHAKEL GSM/Smartphone/Smartwatch/... (elektronische communicatiemiddelen) UIT EN HOUD DIE NIET BIJ U OP HET EXAMEN. Plaats alle materiaal dat u niet mag bij u hebben (jassen, tassen, GSM, cursus, rekenmachine) vooraan in het auditorium, en kom een geruit dubbel blad met uw naam ophalen (dit is ook een antwoordblad!). Bij het eerste deel van het examen mag u enkel schrijf- en tekengerei, en iets te eten en/of te drinken bij hebben. Bij het eerste deel van het examen mag er GEEN REKENMACHINE gebruikt worden. Tijdens het volledige examen mag het formularium gebruikt worden dat op uw plaats ligt. SCHRIJF HIER NIET OP A.U.B., dit wordt gerecycleerd!

**CHECK OF U PAPIER, SCHRIJF- EN TEKENGEREI, EEN FORMULARIUM BIJ U HEBT, EN NIETS WAT NIET TOEGELATEN IS!**

### **Tijdens het examen**

U hebt 4 dubbele geruite bladen: NEEM VOOR ELKE VRAAG EEN APART DUBBEL BLAD ! Schrijf op elk van deze bladen uw naam! Schrijf ook uw naam op elk van beide vragenbladen (vooraan of achteraan, of beide).

Het examen is SCHRIFTELIJK, u kunt niet verder mondeling toelichten. Lees de vragen goed, verklaar in uw antwoorden de symbolen die u gebruikt (en niet in de vragen gedefinieerd zijn), verantwoord tussenstappen in redeneringen, maak duidelijke figuren, ... Dit geldt voor de theorie en de oefeningen. Bij de oefeningen wordt niet alleen op eindresultaat maar ook op methode gequoteerd. Maakt in uw antwoorden ook duidelijk HOE u de oefeningen oplost.

Klaar met theorie? Dien dan de twee theorievragen in, samen met alle klad en het GEKLEURDE BLAD MET THEORIEVRAGEN. Daarna mag u het toegelaten cursusmateriaal en uw rekenmachine nemen, laten controleren en beginnen met (of verder werken aan) de oefeningen.

Als u met de oefeningen klaar bent, dien dan de antwoordbladen, klad en vragen voor de oefeningen in. Dien ook het formularium en alle lege (klad) bladen die u nog zou hebben in.

Voor toiletgebruik tijdens het examen: steek uw hand op, vraag aan iemand die toezicht houdt en ga enkel als u toestemming krijgt.

Extra papier nodig? Vraag dit aan een persoon die toezicht houdt.

Naam: .....

**THEORIEVRAAG 1**

Een vlakke elektromagnetische golf met elektrische veldcomponent

$$\vec{E}_i(\vec{r}, t) = E_{i,0} \vec{e}_{E,i} \sin(\vec{k}_i \cdot \vec{r} - \omega t)$$

valt in op het vlakke scheidingsoppervlak tussen twee lineaire, isotrope, homogene en niet-magnetische ( $\mu_r = 1$ ) materialen, met brekingsindices  $n_1 = \sqrt{\epsilon_{r,1}}$  en  $n_2 = \sqrt{\epsilon_{r,2}}$ .

Hierbij ontstaat een doorgelaten golf in het tweede medium

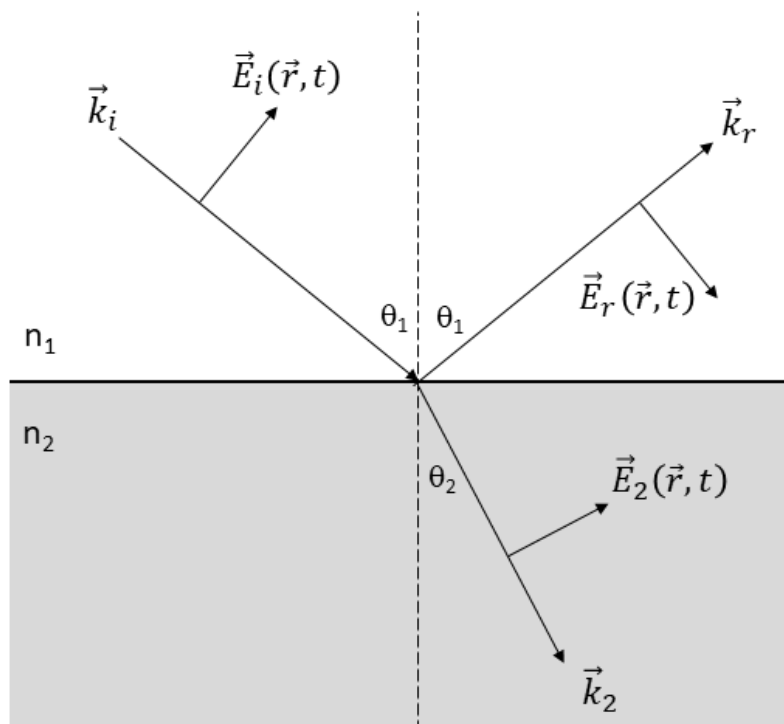
$$\vec{E}_2(\vec{r}, t) = E_{2,0} \vec{e}_{E,2} \sin(\vec{k}_2 \cdot \vec{r} - \omega t)$$

en een gereflecteerde golf in het eerste medium

$$\vec{E}_r(\vec{r}, t) = E_{r,0} \vec{e}_{E,r} \sin(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \omega t).$$

Al deze golven zijn lineair gepolariseerd in het invalsvlak, zoals aangegeven in onderstaande figuur. Verder mag ook als gegeven worden beschouwd dat  $\theta_i = \theta_r = \theta_1$  (de reflectiewet).

- Geef de richting en de zin van de magnetische inductiecomponent  $\vec{B}$  van deze drie golven aan op de figuur, verwoord ook hoe deze componenten gericht zijn en hoe groot ze zijn. Verklaar je antwoord, je hoeft hierbij niets te bewijzen. (/1.0)
- Formuleer en bewijs de wet van Snel voor deze golf. Formuleer ook het principe dat (of de principes die) je hierbij gebruikt. (/1.5)
- Bereken de transmissiecoëfficiënt  $T = E_{2,0}/E_{i,0}$ . Leg de uitgangspunten en tussenstappen duidelijk uit. (/2.5)



Naam: .....

**THEORIEVRAAG 2**

Voor een gecollimeerde lichtbundel die loodrecht invalt op een buigingsrooster vind je de volgende intensiteitsverdeling op een scherm op grote afstand:

$$I = I_0 \left[ \frac{\sin(\pi p \sin \theta / \lambda)}{\pi p \sin \theta / \lambda} \right]^2 \left[ \frac{\sin(N \pi q \sin \theta / \lambda)}{\sin(\pi q \sin \theta / \lambda)} \right]^2$$

- a) Wat is de betekenis van de parameters  $p$ ,  $q$ ,  $N$  en  $\theta$ ? Maak een schets ter verduidelijking en duid de symbolen aan. (/0.5)
- b) Welke uitdrukking krijg je voor de intensiteit  $I$  bij  $\theta = 0^\circ$  en wat is de betekenis hiervan? (/0.5)
- c) Wat betekent de orde  $n$  van het diffractiepatroon? Bepaal hiervoor een uitdrukking. (/0.5)
- d) Veronderstel dat het maximum van tweede orde waargenomen wordt bij een hoek  $\theta$  van  $60^\circ$ . Verklaar waarom bijgevolg het maximum van derde orde niet waargenomen kan worden. (/0.5)
- e) Veronderstel dat het maximum van eerste orde waargenomen wordt onder een hoek  $\theta = 15^\circ$ . Waaraan moeten  $p$  en  $q$  voldoen zodat de waargenomen intensiteit nul is op de berekende positie van het maximum van tweede orde? (/0.5)
- f) Toon aan dat het scheidend vermogen van een rooster ( $R = \lambda / \Delta\lambda$ ) gegeven wordt door  $R = Nn$ . Leg duidelijk uit waarom je bepaalde veronderstellingen maakt in je afleiding. (/2.5)

Naam: .....

### OEFENING 1

Een heel eenvoudig blaasinstrument in een optocht heeft een luchtkolom met een open en een gesloten uiteinde. Bij 20°C produceert het een grondtoon van 165 Hz.

- a) Bepaal de lengte van de kolom van dit blaasinstrument. Bepaal ook de frequentie van de eerste twee boventonen van dit instrument. (/0.5)
- b) Dit instrument trok ook in de winter mee in de optocht bij een buitentemperatuur van 5°C. Bepaal de grondfrequentie van het instrument onder die omstandigheden. (/0.5)

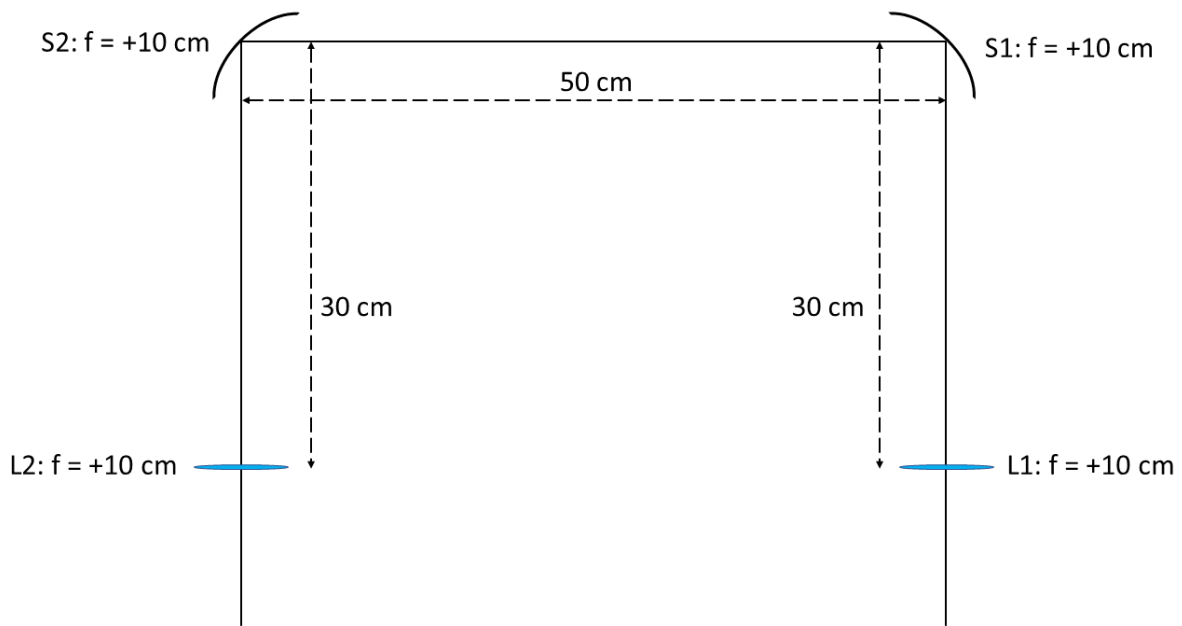
Voor de rest van de oefening mag opnieuw met de grondtoon van het blaasinstrument bij 20°C gewerkt worden (165 Hz). Je mag er ook vanuit gaan dat het instrument in het midden van de optocht is opgesteld (in het midden van de breedte van de weg die de optocht volgt).

- c) De optocht verplaatst zich met een snelheid van 4 km/u in een rechte straat naar het kruispunt met een voorrangsweg toe. In deze tweerichtingsstraat, die de straat waarin de optocht zich bevindt op grote afstand van de optocht snijdt onder een hoek van 60° (snijden onder 90° betekent dat de straten loodrecht op elkaar staan), geldt een snelheidsbeperking van 50 km/u. Voertuigen in deze straat horen het instrument enkel als ze op het kruispunt zijn. Bepaal de maximale en de minimale grondfrequentie die chauffeurs die zich aan de snelheidslimiet houden horen van dit instrument. (/2)
- d) De optocht draait een 3 m brede straat in met aaneengesloten hoge bebouwing. De muren van de gebouwen mogen als perfect reflecterende harde wanden worden beschouwd (scheidingsvlak tussen het "ijle medium" lucht en het "dichte medium" muur). Een toeschouwer die op 10 m van waar de optocht de straat binnentreedt in het midden van de straat staat (op 1.5 m van beide muren dus), hoort naarmate de optocht nadert modulaties in de geluidsterkte, omdat het geluid hem niet alleen rechtstreeks bereikt, maar ook na reflectie op de muren. De optocht houdt halt op de verste afstand van de waarnemer in die straat, waarvoor het rechtstreekse geluid van het blaasinstrument en het geluid na één reflectie op de muren op de plaats van de waarnemer elkaar maximaal versterken. Bepaal die afstand. Schets de situatie. (/2)

### OEFENING 2: Geometrische optica

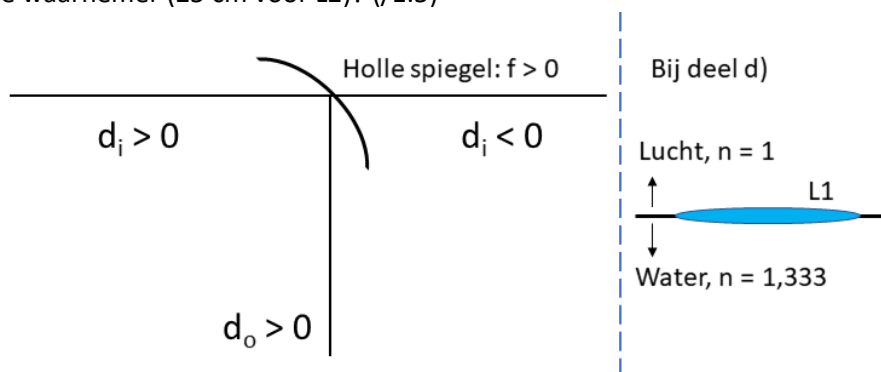
Een ingenieur ontwerpt een optisch instrument bestaande uit 2 identieke convergerende dunne lenzen en 2 identieke holle spiegels, zoals weergegeven in figuur 1. De holle spiegels zijn zo ontworpen dat ze voldoen aan de sferische spiegelvergelijkingen en geoptimaliseerd zijn voor lichtinval onder een hoek van 45° in het horizontale vlak (vlak van de tekening van de opstelling). Op die manier wordt een invallende lichtbundel onder een hoek van 90° met de invalrichting weerkaatst (elke lichtstraal voldoet echter aan de terugkaatstingswet  $\theta_i = \theta_r$ ). Voor dergelijke spiegels geldt ook  $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$ . Maar  $d_o$  en  $d_i$  liggen nu op assen die een hoek van 90° met elkaar maken. De tekenconventies voor  $d_o$  en  $d_i$  blijven gelijk: positief betekent voor het spiegelende oppervlak, negatief achter het spiegelende oppervlak. Figuur 2 (links) geeft dit nog eens grafisch weer. De twee lenzen en de twee spiegels hebben een positieve brandpuntsafstand van 10 cm.

Naam: .....



Figuur 1: Bovenaanzicht van de opstelling met 2 lenzen en 2 spiegels. Afstand tussen spiegels = 50 cm en afstanden tussen lens en spiegel telkens 30 cm.

- Bepaal de voorwerpsbrandpuntsafstand van dit volledige stelsel van optische elementen. Dit wil zeggen: op welke afstand voor lens L1 moet men het voorwerp plaatsen, opdat de lichtbundel na doorgang door lens L2 evenwijdig (=gecollimeerd) zou zijn? (/1.5)
- De ingenieur wil dit instrument gebruiken als microscoop. Hij wenst dus een virtueel eindbeeld op een afstand van 25 cm voor L2, zodat hij, met zijn oog in contact met deze lens, het eindbeeld duidelijk kan zien. Toon aan dat hij hiervoor het voorwerp op 28.18 cm (afgerond tot op 0.01 cm) voor de lens moet plaatsen. Bepaal ook de totale vergroting van het beeld (inclusief teken). (/1.5)
- De convergerende lenzen in het systeem zijn symmetrisch uitgevoerd, dit wil zeggen dat de kromtestralen van de twee brekende oppervlakken gelijk zijn. Ze zijn vervaardigd uit een glassoort met brekingsindex 1.5. Bepaal de straal van de brekende oppervlakken. (/0.5)
- Onderstel nu dat men deze opstelling zou gebruiken om beelden te vormen van voorwerpen die zich in water ( $n=1.333$ ) bevinden. Wat wordt dan de voorwerpsafstand in water, zodat het eindbeeld na L2, net zoals in deel b), virtueel is en gevormd wordt in het nabijheidsvlak van de waarnemer (25 cm voor L2)? (/1.5)



Figuur 2: Links - Stralengang bij holle spiegel, geoptimaliseerd voor invalshoeken rond  $45^\circ$ ; Rechts – voor deel d) van de vraag zit lens L1 half ondergedompeld in water.