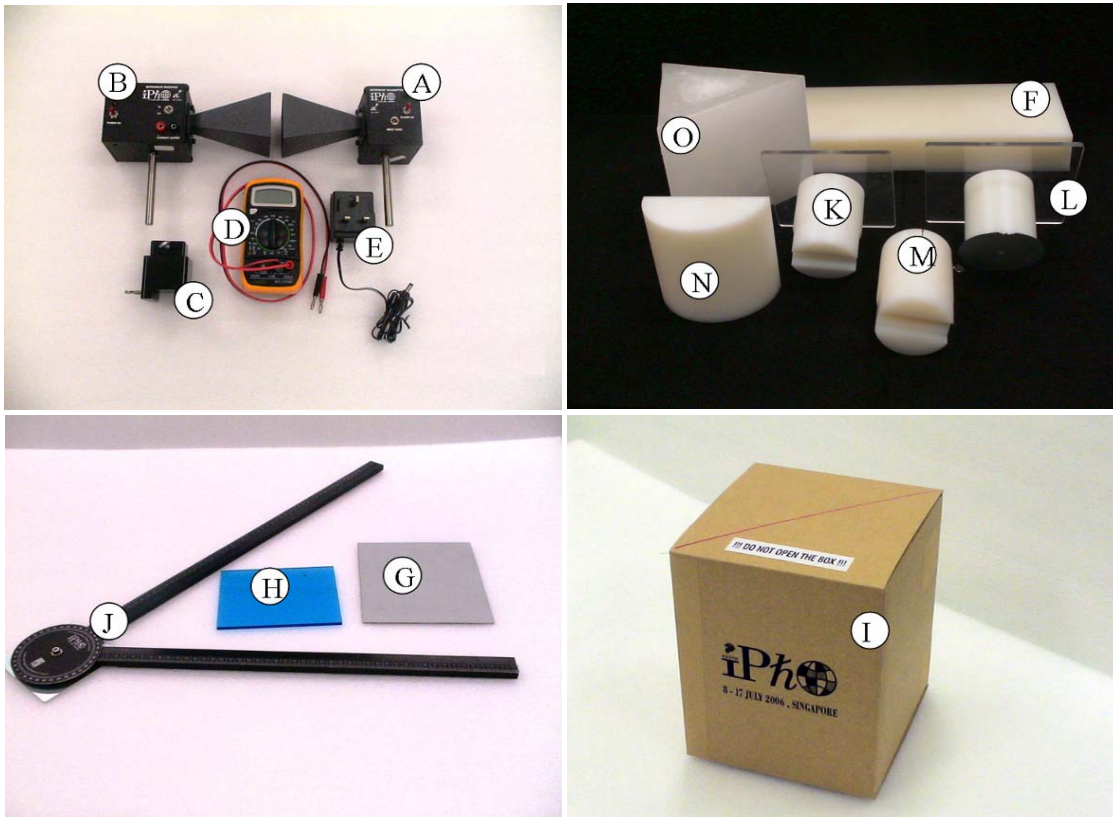


De 37<sup>e</sup> Internationale Natuurkunde Olympiade  
Singapore  
Practicum-toets  
Woensdag 12 juli 2006

**Lees dit eerst!**



1. Voor de practicumtoets is 5 uur beschikbaar.
2. Het experiment bestaat uit 4 onderdelen die in totaal 20 punten waard zijn.
3. Gebruik uitsluitend de door de organisatie ter beschikking gestelde apparatuur.
4. Schrijf je oplossingen op het schrijfpapier. Deze zullen beoordeeld worden.
  - Gebruik uitsluitend de voorkant van het papier
  - Begin elk deel op een apart vel papier
  - Schrijf bovenaan elk papier het volgende:
    1. Het deelnummer (**Part No.**) voor het betreffende deel
    2. Het pagina nummer (**Page No.**)
    3. Het totale aantal pagina's (**Total No. Of Pages**) gebruikt voor de betreffende vraag
    4. Je landcode (**Country Code**) en je studentcode (**Student Code**)
  - Druk je bondig uit – beperk het gebruik van tekst tot een minimum. Gebruik zo veel mogelijk vergelijkingen, getallen, symbolen, figuren en grafieken.
  - Zet een kruis door alle beschreven bladen die niet nagekeken hoeven te worden. Neem deze bladen ook niet op in de nummering van de bladen.
5. Gebruik bij elke vraag het antwoordblad om je uiteindelijke antwoord in het juiste hokje te zetten. Geef de antwoorden met het juiste aantal significante cijfers. Vergeet niet om de eenheden te noteren.
6. Leg aan het eind alle bladen in de *juiste volgorde*:
  - het *antwoordblad*,
  - daarna de *beschreven bladen* die nagekeken moeten worden en
  - de grafieken die nagekeken moeten worden en
  - de beschreven bladen en grafieken die je niet nagekeken wilt hebben.
  - leg de ongebruikte bladen en de opgaven onderop.
7. Bevestig alles met een paperclip.
8. Laat alles op je tafel achter. Je mag **niets meenemen** uit de examenhal.

## Onderdelenlijst






Label	Onderdeel	Aantal	Label	Onderdeel	Aantal
○,A	Microgolffzender	1	○,I	Roosterstructuur in een verzegelde doos	1
○,B	Microgolfontvanger	1	○,J	Hoekmeter (goniometer)	1
○,C	Houder voor zender / ontvanger	2	○,K	Prismahouder	1
○,D	Digitale multimeter	1	○,L	Draaitafel	1
○,E	Gelijkspanningsbron voor zender	1	○,M	Lens- / spiegelhouder	1
○,F	Plaat die als dunne film dienst doet	1	○,N	Vlak-cilindrische lens	1
○,G	Spiegel (metalen plaat)	1	○,O	Prisma gemaakt van paraffine	2
○,H	Halfdoorlatende spiegel (beam splitter, blauw perspex)	1		Blu-Tack (om halfdoorlatende spiegel vast te zetten)	1 pakje
	Schuifmaat (krijg je apart)	1		30 cm meetlat (krijg je apart)	1

Let op :

- Het uitgezonden vermogen van de microgolفزender ligt binnen de standaard veiligheids grenzen. Kijk echter nooit rechtsreeks van dichtbij in de zender als deze aanstaat.
- Maak de doos I , I met het rooster niet open.
- De prisma's , O die van paraffine gemaakt zijn, zijn kwetsbaar.

Let op:

- Het uitgangssignaal van de microgolfontvanger (CURRENT OUTOUT) is evenredig met de AMPLITUDE van de microgolf.
- Gebruik de microgolfontvanger steeds in de stand: LO.
- Verander de schaal van de multimeter niet tijdens het opnemen van een meetserie.
- Zet de componenten die je tijdens een bepaalde meting niet gebruikt zo ver mogelijk uit de buurt om eventuele interferentie zo klein mogelijk te houden.
- Gebruik in je tekeningen steeds de labels , A, , B, , C, .... om daarmee de verschillende componenten aan te duiden.

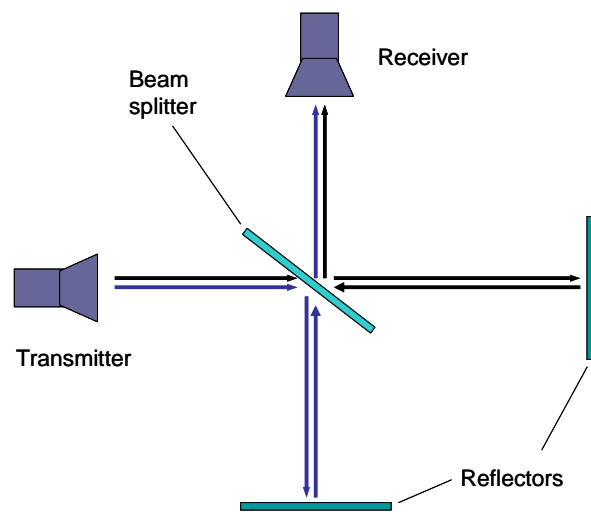


De digitale multimeter moet gebruikt worden met de draden in de op de foto aangegeven posities. In dit experiment moet je de schaal '2m' gebruiken.

## Deel 1 Michelson Interferometer – bepaling van de golflengte

### 1.1 Inleiding

In een Michelson interferometer verdeelt een halfdoorlatende spiegel (beam splitter) de inkomende elektromagnetische (EM) golf in twee golven die via gescheiden wegen weer bij elkaar gebracht worden zodat ze interfereren. In figuur 1.1 is de Michelson interferometer schematisch weergegeven. Een inkomende golf loopt van de zender via twee verschillende wegen naar de ontvanger. Deze golven interfereren in de ontvanger. De sterkte van het signaal in de ontvanger hangt af van het faseverschil tussen de twee golven, dat verandert zodra het optische weglengteverschil verandert.



Figuur 1.1 Schematische tekening van een Michelson Interferometer

### 1.2 Onderdelenlijst

- 1) Microgolffzender  $\bigcirc$ ,A (*Transmitter*) met houder  $\bigcirc$ ,C
- 2) Microgolfontvanger  $\bigcirc$ ,B (*Receiver*) met houder  $\bigcirc$ ,C
- 3) Hoekmeter  $\bigcirc$ ,J
- 4) 2 spiegels (*Reflectors*) : spiegel  $\bigcirc$ ,G met houder  $\bigcirc$ ,M en ‘dunne film’  $\bigcirc$ ,F die ook als een spiegel werkt
- 5) Halfdoorlatende spiegel  $\bigcirc$ ,H (*Beam splitter*) met de draaitafel  $\bigcirc$ ,L waar de halfdoorlatende spiegel (beam splitter) opgezet wordt
- 6) Digitale multimeter  $\bigcirc$ ,D

### 1.3 Opdracht: Bepaling van de golflengte van de microgolven

[2 punten]

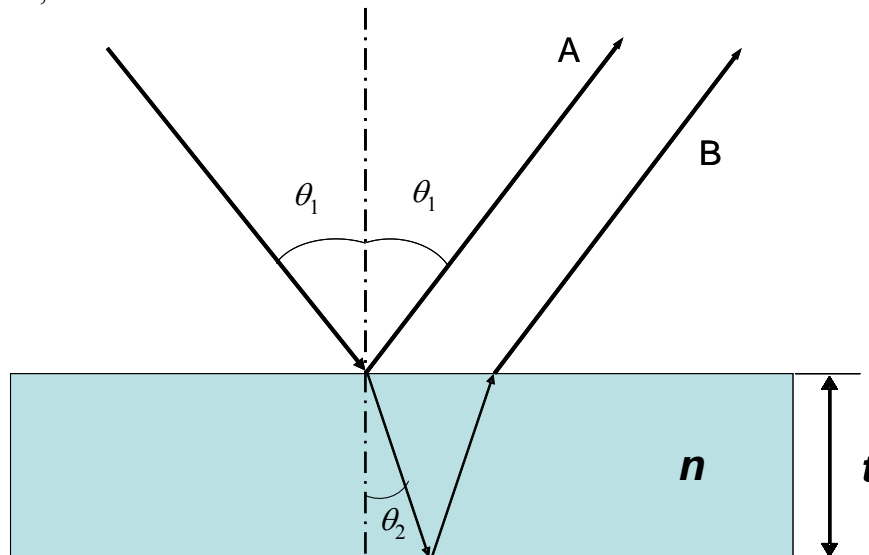
Bepaal de golflengte  $\lambda$  van de microgolven in lucht door met de componenten die in de onderdelenlijst staan een Michelson interferometer te bouwen. Doe de noodzakelijke metingen om de golflengte te bepalen met een nauwkeurigheid  $\leq 0,02$  cm.

**Merk op** dat de ‘dunne film’ halftransparant is; zorg er dus voor dat je er niet achter gaat staan, omdat dit je metingen zou kunnen beïnvloeden.

## Deel 2      Dunne film interferentie

### 2.1 Inleiding

Een evenwijdige EM-golf valt op een diëlektrische dunne film, waarna één deel (straal A) gereflecteerd wordt en een ander deel (straal B) wordt gebroken (zie figuur 2.1). Straal B wordt aan de onderkant van de film gereflecteerd en verlaat, na breking, de bovenkant van de dunne film. De stralen A en B interfereren; men noemt dit dunne-film-interferentie.



Figuur 2.1 Schema van interferentie aan een dunne laag

Afhankelijk van het verschil in optische weglengte tussen straal A en B is er constructieve of destructieve interferentie. De intensiteit  $I$  hangt af van het weglengteverschil tussen de twee interfererende stralen. Het weglengteverschil hangt op zijn beurt weer af van de invalshoek  $\theta_1$  van de invallende straal, de golflengte  $\lambda$  van de straling en de dikte  $t$  en brekingsindex  $n$  van de dunne film. De brekingsindex  $n$  van de dunne film kan daarom bepaald worden uit het  $I - \theta_1$  grafiek en gebruik makend van de waarde van  $t$  en  $\lambda$ .

### 2.2 Onderdelenlijst

- 1) Microgolفزender ○,A met houder ○,C
- 2) Microgolfontvanger ○,B met houder ○,C
- 3) Vlak-cilindrische lens ○,N met houder ○,M
- 4) Hoekmeter (goniometer) ○,J
- 5) Draaitafel ○,L
- 6) Digitale multimeter ○,D
- 7) Rechthoekig stuk polymeer materiaal ○,F, dat als “dunne film” dienst doet
- 8) Schuifmaat

### 2.3 Opdrachten: bepaling van de brekingsindex van het stuk polymeer materiaal [6 punten]

- 1) Leid de uitdrukkingen af die gelden voor constructieve en voor destructieve interferentie, uitgedrukt in  $\theta_1$ ,  $t$ ,  $\lambda$ , en  $n$ . [1 punt]
- 2) Ontwerp een experiment om het uitgangssignaal S van de ontvanger te bepalen als functie van de invalshoek  $\theta_1$  (varieer  $\theta_1$  van  $40^\circ$  tot  $75^\circ$ ), waarbij alleen de componenten van onderdelenlijst 2.2 gebruikt mogen worden.

Maak van de opstelling een tekening. Geef daarin duidelijk de invalshoek en reflectiehoek aan, evenals de plaats van de dunne film op de draaitafel. Markeer alle onderdelen met gebruikmaking van de labels die op bladzijde 1 gegeven zijn.

Maak een tabel van je metingen.

Maak een grafiek van de metingen van het uitgangssignaal S als functie van de invalshoek  $\theta_1$ . Bepaal hieruit nauwkeurig de hoeken die horen bij constructieve en destructieve interferentie. [3 punten]

- 3) Neem aan dat de brekingsindex van lucht 1,00 is. Bepaal nu de orde van interferentie  $m$  in je experiment en bepaal de brekingsindex  $n$  van het polymeer materiaal. Noteer de waarden  $m$  en  $n$  op het antwoordblad. [1,5 punten]
- 4) Voer een foutenanalyse uit voor je resultaten en bepaal de fout in  $n$ . Schrijf de waarde van de fout  $\Delta n$  op het antwoordblad. [0,5 punten]

#### Opmerkingen

- *De lens moet vóór de microgolfsender geplaatst worden met de platte kant naar de zender toe om een quasi-parallelle microgolfbundel te krijgen. De afstand tussen de platte kant van de lens en de hoorn van de zender moet 3 cm zijn.*
- *Voor de beste resultaten moet de afstand tussen ontvanger en zender zo groot mogelijk zijn.*
- *Afwijkingen van een vlakke golf van de door de zender uitgezonden microgolf kunnen extra pieken in het geobserveerde patroon geven. In het voorgeschreven bereik van  $40^\circ$  tot  $75^\circ$  komen als gevolg van interferentie slechts één maximum en één minimum voor.*

## Deel 3      Verstoorde Totale Interne Reflectie

### 3.1      Inleiding

Het verschijnsel ‘Totale Inwendige Reflectie’ (TIR) kan optreden wanneer een vlakke golf van een optisch dicht naar een optisch minder dicht medium gaat. De geometrische optica voorspelt dat de TIR aan het grensvlak plaatsvindt. In werkelijkheid dringt de inkomende golf in het minder dichte medium door, legt een bepaalde afstand evenwijdig aan het grensvlak af en wordt dan terug gereflecteerd naar het dichte medium (zie figuur 3.1). Dit effect kan beschreven worden met behulp van een verschuiving  $D$  van de gereflecteerde golf en is bekend als de Goos-Hänchen verschuiving.

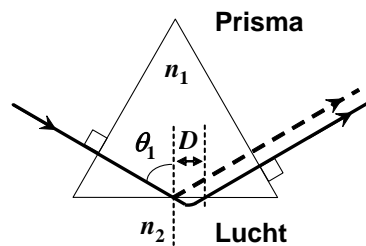


Fig. 3.1: Schets van de TIR die een Elektro-Magnetische (EM) golf ondergaat in een prisma. De verschuiving  $D$  in lucht evenwijdig aan het oppervlak is de Goos-Hänchen verschuiving.

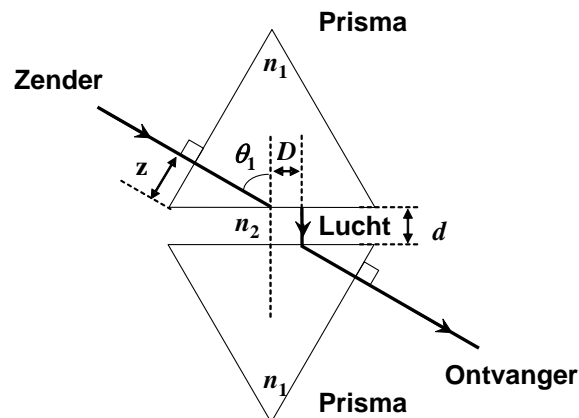


Fig. 3.2: Schets van de experimentele opstelling met de prisma's en de luchtspleet met dikte  $d$ . Verder is  $z$  de afstand van de hoek van het prisma tot de centrale as van de zender.

Als een derde medium met een brekingsindex  $n_1$  (dus gelijk aan de brekingsindex van het eerste medium) op een kleine afstand  $d$  van het eerste medium geplaatst wordt (zie figuur 3.2) vindt tunneling van de EM golf door het tweede medium plaats. Dit verschijnsel is bekend als de ‘Verstoorde Totale Interne Reflectie’ (VTIR).

De intensiteit  $I_t$  van de doorgelaten golf neemt exponentieel af met de afstand  $d$ :

$$I_t = I_0 \exp(-2\gamma d) \tag{3.1}$$

waarbij  $I_0$  de intensiteit van de inkomende golf voorstelt en  $\gamma$  gelijk is aan:

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} \sin^2 \theta_1 - 1} \tag{3.2}$$

$\lambda$  is de golflengte van de EM golf in medium 2 en  $n_2$  is de brekingsindex van lucht. Neem aan dat de brekingsindex van lucht gelijk is 1,0.



### 3.2 Onderdelenlijst

- 1) Microgolfzender  $\bigcirc$ ,A met houder  $\bigcirc$ ,C
- 2) Microgolfontvanger  $\bigcirc$ ,B met houder  $\bigcirc$ ,C
- 3) Vlak-cilindrische lens  $\bigcirc$ ,N met houder  $\bigcirc$ ,M
- 4) 2 gelijkzijdige prisma's (gemaakt van paraffine)  $\bigcirc$ ,O met houder  $\bigcirc$ ,K en draaitafel  $\bigcirc$ ,L die als houder wordt gebruikt
- 5) Digitale multimeter  $\bigcirc$ ,D
- 6) Hoekmeter (goniometer)  $\bigcirc$ ,J
- 7) Lineaal

### 3.3 Beschrijving van het experiment

Ontwerp een experiment om de intensiteit  $I_t$  als functie van de dikte  $d$  van de luchtspleet in VTIR te bepalen. Gebruik alleen de apparatuur genoemd in onderdeel 3.2.

Let hierbij op:

- Gebruik één arm van de goniometer voor het uitlijnen van de prisma's.
- Let er op dat de oppervlakken van de prisma's zo goed mogelijk evenwijdig aan elkaar staan.
- De afstand tussen het oppervlak van de lens en het oppervlak van het prisma moet 2 cm zijn.
- Plaats de ontvanger zodanig dat zijn hoorn in contact is met het prisma.
- Optimaliseer de plaats van de ontvanger langs het oppervlak van het prisma om bij elke waarde van  $d$  een maximaal signaal te krijgen.
- Zet de digitale multimeter op de 2 mA schaal. Doe metingen vanaf  $d = 0,6$  cm. Stop met de metingen wanneer de aanwijzing van de multimeter minder dan 0,20 mA wordt.

### 3.4 Opdracht: Bepaling van de brekingsindex van het prisma

[6 punten]

#### Opdracht 1

[1 punt]

Schets je meetopstelling en geef bij elk onderdeel een label volgens de tabel op bladzijde 1. Geef ook de afstand  $z$  (zie figuur 3.2) aan.

#### Opdracht 2

[2,1 punten]

Vermeld je meetresultaten in een tabel. Doe je experiment twee maal.

#### Opdracht 3

[2,9 punten]

- (a) Bepaal grafisch de brekingsindex  $n_1$  van het prisma. Doe ook de foutenberekening.
- (b) Vermeld op je antwoordblad de brekingsindex  $n_1$  en de onzekerheid  $\Delta n_1$ .

## Deel 4      Microgolf diffractie aan een rooster van metalen staven: Bragg-reflectie

### 4.1      Inleiding

#### De wet van Bragg

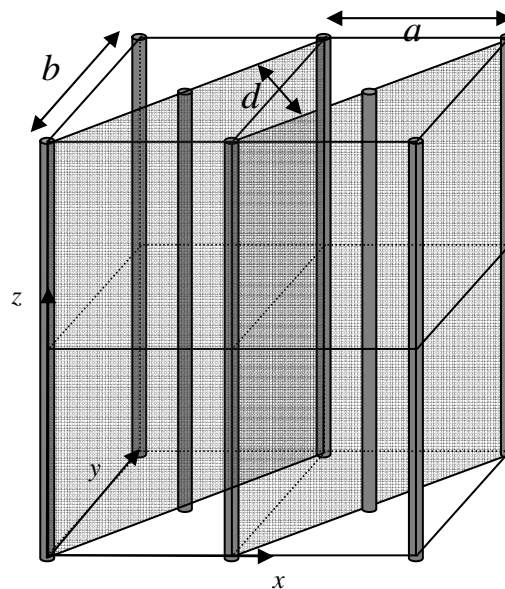
De roosterstructuur van een kristal kan worden onderzocht met behulp van de wet van Bragg,

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (4.1)$$

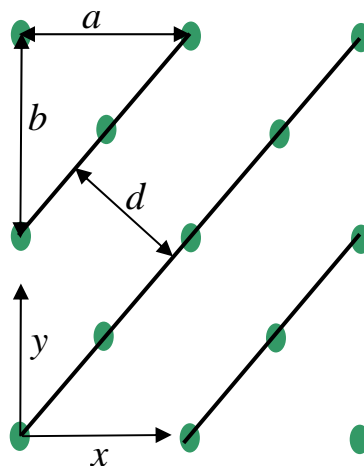
met  $d$  de afstand tussen twee evenwijdige kristalvlakken die de röntgenstraal “reflecteren”;  $m$  de orde van interferentie en  $\theta$  de hoek tussen de invallende röntgenstraalbundel en de kristalvlakken. De wet van Bragg is ook bekend als Bragg-reflectie of röntgendiffractie.

#### Een rooster van metalen staven

Omdat de waarden van de golflengte van de röntgenstralen en de roosterconstante van een kristal vergelijkbaar zijn, wordt het experiment voor Bragg-reflectie met röntgenstraling uitgevoerd. Voor microgolven treedt echter diffractie op in kristalstructuren met een veel grotere roosterconstante. Deze kan met een meetlat bepaald worden.



Figuur 4.1. Een rooster van metalen staven met roosterconstanten  $a$  en  $b$  met een onderlinge afstand tussen de vlakken  $d$ .

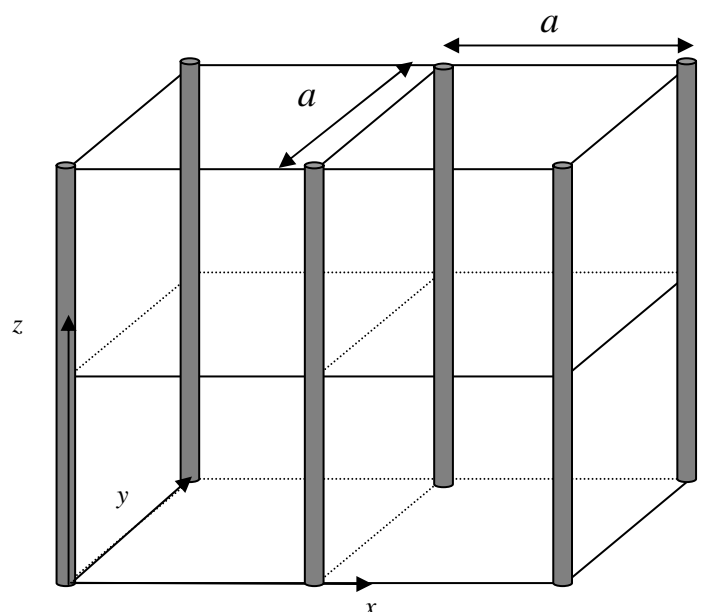


Figuur 4.2. Bovenaanzicht van het rooster van metalen staven zoals weergegeven in figuur 4.1 (niet op schaal). De lijnen stellen de vlakken voor van het rooster.

In dit experiment wordt de wet van Bragg de roosterconstante van het rooster van metalen staven te bepalen. Zo'n metaalrooster is gegeven in figuur 4.1: de metalen staven worden getoond als dikke verticale lijnen. Figuur 4.2 geeft een bovenaanzicht (omlaag kijkend langs de z-as) van het rooster van metalen staven, de punten geven de metalen staven aan en de lijnen de diagonale roostervlakken.

## 4.2 Onderdelenlijst

- 1) Microgolfzender  $\bigcirc$ ,A met houder  $\bigcirc$ ,C
- 2) Microgolfontvanger  $\bigcirc$ ,B met houder  $\bigcirc$ ,C
- 3) Vlak-cilindrische lens  $\bigcirc$ ,N met houder  $\bigcirc$ ,M
- 4) Gesloten, verzegelde doos met een rooster van metalen staven  $\bigcirc$ ,I
- 5) Draaitafel  $\bigcirc$ ,L
- 6) Digitale multimeter  $\bigcirc$ ,D
- 7) Hoekmeter (goniometer)  $\bigcirc$ ,J



Figuur 4.3: Een eenvoudig vierkant rooster

In dit experiment werk je met een **eenvoudig** vierkant rooster van metalen staven, zoals in figuur 4.3. Het rooster zit in een dichte doos. Je moet de roosterconstante van het rooster experimenteel bepalen. **MAAK DE DOOS NIET OPEN**. Je krijgt **geen punten** als na het experiment blijkt dat het zegel van de doos verbroken is.

### 4.3 Opdrachten: bepaling van de roosterconstante van het gegeven eenvoudige vierkante rooster

#### Opdracht 1 [1 punt]

Teken een bovenaanzicht van het eenvoudige vierkante rooster in figuur 4.3. Geef in de tekening de roosterconstante  $a$  aan van het rooster en de afstand  $d$  tussen de diagonale vlakken. Leid met behulp van deze tekening de wet van Bragg af.

#### Opdracht 2 [5 punten]

Ontwerp een diffractie experiment, waarbij je gebruik maakt van de wet van Bragg en van het gegeven materiaal, om de roosterconstante  $a$  van het rooster te bepalen.

- (a) Schets de experimentele opstelling. Benoem alle onderdelen, gebruik de labels van pagina 1 en geef de hoek  $\theta$  tussen zender en roostervlakken aan en de hoek  $\zeta$  tussen zender en ontvanger. De diffractievlakken zijn de diagonale vlakken, die met een rode lijn op de doos worden aangegeven. [1,5 punten]
- (b) Voer het experiment uit voor  $20^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ . Geef je resultaten in een tabel op het antwoordblad en noteer zowel  $\theta$  als  $\zeta$ . [1,4 punten]
- (c) Maak een grafiek van de intensiteit van de teruggekaatste bundel als functie van  $\theta$ . [1,3 punten]
- (d) Bepaal de roosterconstante  $a$  met behulp van de grafiek en schat de meetonzekerheid. [0,8 punten]

Opmerking:

- *Voor de beste resultaten moet de zender gedurende het experiment op dezelfde plaats blijven staan. Je moet ook de afstand tussen de zender en het rooster, alsook die tussen het rooster en de ontvanger op ongeveer 50 cm houden.*
- *Gebruik alleen de diagonale vlakken in dit experiment. Je resultaten zullen niet correct zijn als je andere vlakken gebruikt.*
- *De kant van de doos met de rode lijn moet aan de bovenkant zijn..*
- *Maak voor een grotere nauwkeurigheid gebruik van de symmetrie om de plaats van de piek in de diffractie te bepalen.*

Country Code	Student Code

**Deel 1:**

1. Je meetresultaten zijn:

**For  
Examiners  
Use  
Only**

2. De golflengte  $\lambda =$

Country Code	Student Code

## Deel 2:

### Opdracht 1

Voorwaarde voor constructieve interferentie

Voorwaarde voor destructieve interferentie

### Opdracht 2

(a) Schets van de meetopstelling.

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 2:**

**Opdracht 2 (Vervolg van de vorige pagina)**

(b) Je meetresultaten in tabelvorm.

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

## Deel 2:

### Opdracht 2 (Vervolg van de vorige pagina)

(c) Teken de grafiek (op het apart bijgeleverde grafiekpapier).

(d) Invalshoek  $\theta_{\max}$ , die hoort bij constructieve interferentie

Invalshoek  $\theta_{\min}$ , die hoort bij destructieve interferentie

### Opdracht 3

Orde van interferentie,  $m =$

De brekingsindex  $n$  van de dunne film =

### Opdracht 4

$\Delta n =$

For  
Examiners  
Use  
Only



Country Code	Student Code

**Deel 3:**

**Opdracht 1**

Schets van de meetopstelling.

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 3:**

**Opdracht 2**

Je meetresultaten in tabelvorm. Voer je metingen twee keer uit.



**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 3:**

**Opdracht 2 (Vervolg van de vorige pagina)**

**For  
Examiners  
Use  
Only**


Country Code	Student Code

### Deel 3:

#### Opdracht 3

a) Teken je grafieken op het apart geleverde grafiekpapier.

b) De brekingsindex  $n_1 =$

De onzekerheid  $\Delta n_1 =$

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 4:**

**Opdracht 1**

Boven-aanzicht van het vierkante kristalrooster:



Afleiding van de wet van Bragg:

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 4:**

**Opdracht 2**

(a) Schets je meetopstelling

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 4:**

**Opdracht 2 (Vervolg van de vorige pagina)**

(b) Je meetresultaten in tabelvorm:

$\theta$ ( )	$\zeta$ ( )	

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Country Code	Student Code

**Deel 4:**

**Opdracht 2 (Vervolg van de vorige pagina)**

(c) Teken de grafiek van de intensiteit als functie van  $\theta$  op het apart geleverde grafiekpapier.

(d) Rooster constante,  $a =$

Experimentele onzekerheid,  $\Delta a =$

**For  
Examiners  
Use  
Only**