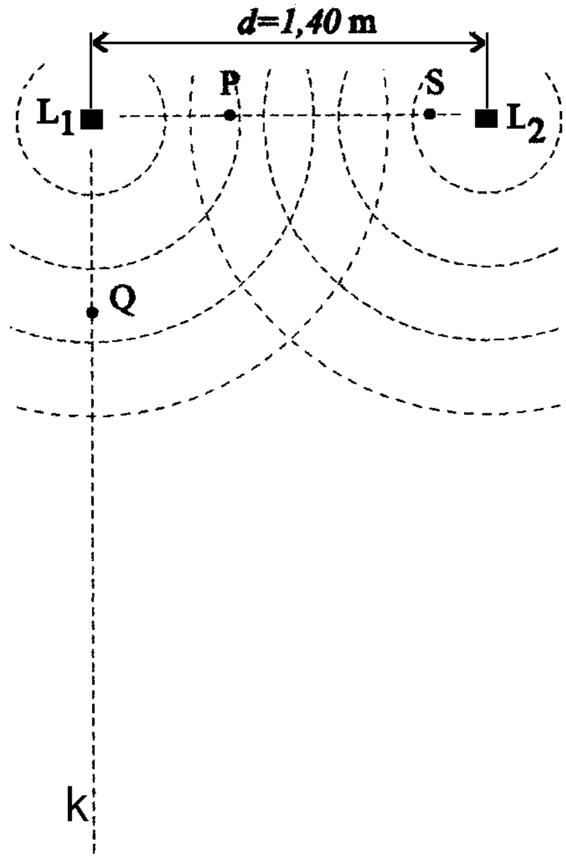
Naam: ______________________________________ Klas: ______

Toets Eenvoudige interferentie- en diffractiepatronen VWO (versie A)

<u>Opgave 1</u>

Twee kleine luidsprekers L_1 en L_2 hebben een onderlinge afstand van *d* = 1,40 m. Zie de figuur hiernaast (niet op schaal!). De twee luidsprekers zijn in fase aangesloten op een toongenerator, die een sinusspanning voortbrengt. De golflengte van de geluidsgolven is 0,800 m. De geluidssnelheid is 340 m/s. De luidsprekers zenden in alle richtingen evenveel geluid uit.



a.

Bereken de frequentie van de toongenerator.

Een aantal knooplijnen (eigenlijk knoopvlakken) loopt tussen L_1 en L_2. Op de verbindingslijn L_1L_2 ligt punt P. Dit punt ligt 50 cm rechts van L_1 (niet op schaal getekend in de figuur).

b.

Toon aan dat punt P op een knoopvlak ligt.

Punt S is het meest naar rechts gelegen punt op L_1 L_2, dat op een knoopvlak ligt.
c.
Bereken de afstand van L_1 tot S. Advies: ga uit van het midden van lijnstuk L_1L_2 en werk stapsgewijs naar rechts.

Op de lijn k loodrecht op L_1L_2 ligt een punt Q. De golven uit L_2 komen precies één trillingstijd later aan in Q dan de golven uit L_1
d.
Bereken de afstand tussen L_1 en Q.

Opgave 2

Onder water bevinden zich vier hydrofoons (onderwatermicrofoons) op een rechte lijn en op een onderlinge afstand a van 6,0 cm. Op grote afstand bevindt zich een geluidsbron die een geluidssignaal voortbrengt met een frequentie van 100 kHz. De geluidssnelheid bedraagt in water 1500 m/s.

a.

Bereken de golflengte van het geluid.

De geluidsbron wordt door de hydrofoons gehoord onder een hoek van 30º. De signalen van de hydrofoons worden bij elkaar opgeteld en daarna hoorbaar gemaakt.

b.

Toon met een berekening aan dat het resulterende geluid sterk is.

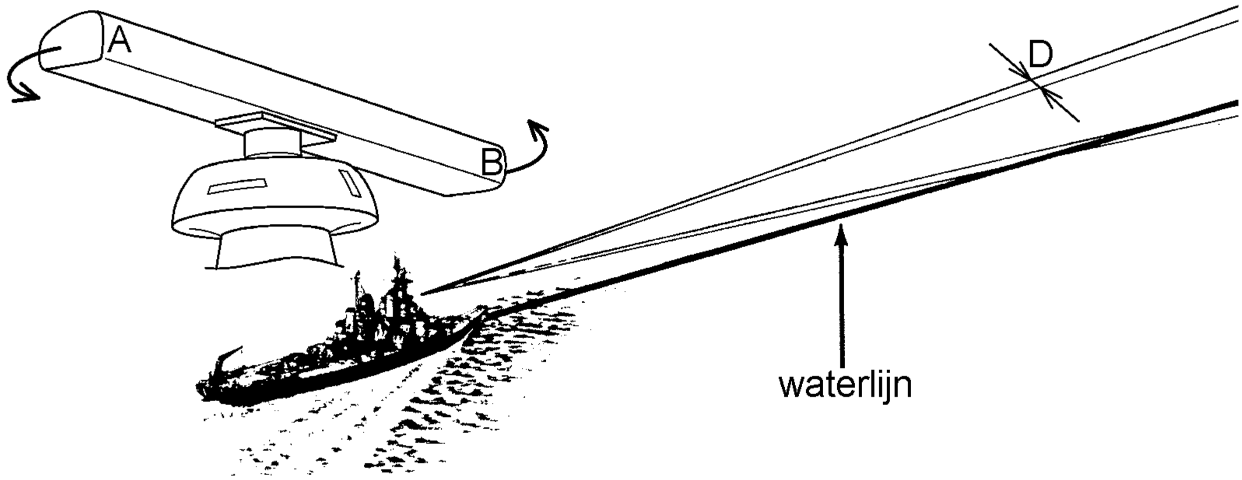
Afstand a tussen de hydrofoons wordt nu verkleind. De geluidsbron blijft op dezelfde plaats (onder een hoek van 30º) en blijft geluid van dezelfde frequentie uitzenden. In eerste instantie wordt het resulterende signaal van de hydrofoons veel zwakker. Bij een bepaalde afstand a treedt er echter weer een maximum in het resulterende geluid op.

c.

Bereken bij welke afstand a er weer een maximum optreedt.

Opgave 3

Op schepen bevindt zich vaak een (ronddraaiende) radarantenne, zoals in de onderstaande figuur (links) is weergegeven. In de figuur is de door deze antenne uitgezonden bundel schematisch getekend door middel van vier rechte lijnen. Zoals te zien is, blijft de bundel in het horizontale vlak smal. De horizontale bundelbreedte D wordt door de lengte AB van de radarantenne bepaald. Hoe langer AB is, des te smaller de bundel is.



De radarbundel bestaat uit EM-golven waarvan de snelheid in lucht $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s bedraagt. In deze opgave kun je ervan uitgaan dat de lijn AB bestaat uit secundaire bronnetjes die allemaal met dezelfde frequentie en amplitude trillen en in fase zijn. De formules bij buiging door één spleet zijn hierop van toepassing.

Beschouw een radarantenne die 1,5 m lang is (dus AB = 1,5 m) en werkt met een golflengte van 3,0 cm.

a.

Bereken de frequentie van de radarstraling.

b.

Bereken de bundelbreedte D (uitgedrukt in meter) op een afstand van 500 m. Op deze afstand is er reeds sprake van het ‘verre veld’. Neem de beide eerste orde buigingsminima als grenzen van de bundel. Laat de zijlobben dus buiten beschouwing.

Stel nu dat de frequentie van de radargolven wordt veranderd. De golflengte en de bundelbreedte veranderen dan natuurlijk ook. Neem aan dat de nieuwe bundelbreedte (gerekend tussen beide eerste orde buigingsminima) op een afstand van 500 m gelijk is aan 50 m. Stel verder dat er twee kleine (even sterk reflecterende) objecten op een afstand van 500 m van de radarantenne verwijderd zijn. Hoe groot moet de onderlinge afstand tussen deze objecten dan minimaal zijn om deze van elkaar te kunnen onderscheiden? Kies uit één van de volgende mogelijkheden. Gebruik hierbij het Rayleigh-criterium dat in het lesmateriaal werd toegepast bij het berekenen van de hoekresolutie van het menselijk oog.

c.

10 m
25 m
40 m
50 m
75 m
100 m

Opgave 4

Een laserstraal wordt gericht op een tralie met 500 lijnen per millimeter. Op een 5,00 m verder gelegen muur ontstaat een stippenpatroon. De afstand tussen de nulde orde stip en tweede orde stip bedraagt 2,60 m.

a.

Toon aan dat de golflengte van het laserlicht 461 nm bedraagt.

Vervolgens wordt het tralie vervangen door een diafragma met een enkele spleet waarvan de breedte 2,50 μm is. Op de muur ontstaat nu een diffractiepatroon.

b.

Bereken de afstand tussen het centrale maximum en het eerste orde minimum op de muur.

Opgave 5

De dichtstbijzijnde ster na de zon is Proxima Centauri. De afstand van deze ster tot de aarde bedraagt $4{,}0 \cdot 10^{16}$ m (dit is 4,2 lichtjaar) en zijn diameter bedraagt $2{,}0 \cdot 10^{8}$ m. Bereken de spatiële coherentiebreedte van het sterlicht hier op aarde bij een golflengte van 600 nm.

Antwoorden op de opgaven (VWO versie A)

Opgave 1

a.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0{,}80} = 425\,\text{Hz}$$

b.

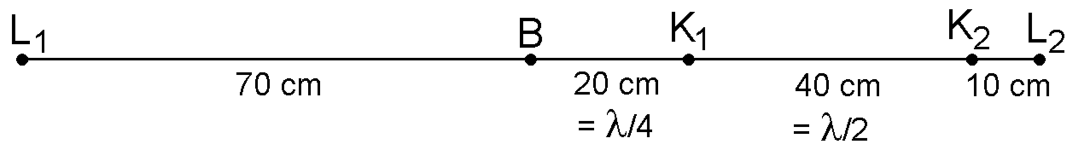
L_1P = 50 cm

L_2P = 140 cm – 50 cm = 90 cm

Weglengteverschil = 40 cm.

Dit is gelijk aan een halve golflengte.

c.



In de figuur is punt K_2 gelijk aan punt S.

Antwoord: 70 cm + 20 cm + 40 cm = 130 cm

Controle:

$L_1K_1 – L_2K_1$ = 90 cm – 50 cm = 40 cm = 0,5·λ

$L_1K_2 – L_2K_2$ = 130 cm – 10 cm = 120 cm = 1,5·λ

d.

Stel L_1Q = p

$$p^2 + 140^2 = (p+80)^2$$

$$p^2 + 19600 = p^2 + 160 \cdot p + 6400$$

$$p = \frac{19600 - 6400}{160} = 82{,}5\,\text{cm}$$

Opgave 2

a.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1500}{100 \cdot 10^3} = 1{,}5\ \text{cm}$$

b.

Er is een maximum als geldt: $\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$.

In ons geval wordt dit: $\sin(30°) = \frac{2 \cdot 1{,}5\ \text{cm}}{6{,}0\ \text{cm}}$.

De geluidsbron zit dus in het tweede orde maximum (n = 2).

c.

We zijn nu op zoek naar het eerste orde maximum (n = 1).

$\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$ wordt hier:

$$a = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{1 \cdot 1{,}5\ \text{cm}}{\sin(30°)} = 3{,}0\ \text{cm}$$

Opgave 3

a.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{3{,}0 \cdot 10^{-2}} = 10\ \text{GHz}$$

b.

$$\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{AB} = \frac{0{,}030}{1{,}5} = 0{,}020$$

Voor kleine hoeken (uitgedrukt in radialen) is de sinus van de hoek gelijk aan de hoek zelf. Er geldt dus α = 0,020 en dus 2α = 0,040.

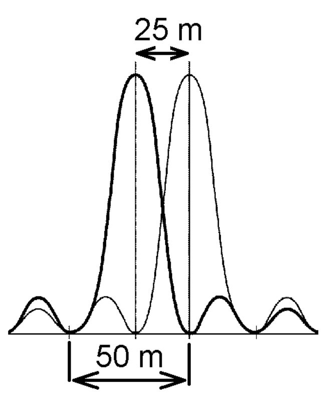
Voor de bundelbreedte D op een afstand L van 500 m geldt dus:

$D = 2\alpha \cdot L = 0{,}040 \cdot 500 = 20\ \text{m}$.

c.

25 m

Zie de figuur hiernaast.



Opgave 4

a.

$$a = \frac{1{,}00\ \text{mm}}{500} = 2{,}00\ \mu\text{m}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{x}{L} = \frac{2{,}60\ \text{m}}{5{,}00\ \text{m}} \Rightarrow \alpha = 27{,}5^\circ$$

$$\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{a \cdot \sin(\alpha)}{n} = \frac{2{,}0 \cdot \sin(27{,}5^\circ)}{2} = 0{,}461\ \mu\text{m}$$

b.

$$\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{b} = \frac{1 \cdot 0{,}461\ \mu\text{m}}{2{,}50\ \mu\text{m}} \Rightarrow \alpha = 10{,}6^\circ$$

$$x = L \cdot \tan(\alpha) = 5{,}00 \cdot \tan(10{,}6^\circ) = 0{,}938\ \text{m}$$

Opgave 5

$$B \cong \frac{\lambda \cdot D}{d} = \frac{600 \cdot 10^{-9} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{16}}{2{,}0 \cdot 10^{8}} = 1{,}2 \cdot 10^{2}\ \text{m}$$