Uitwerkingen § 1

Opgave 1
a. Waar
b. Waar
c. Niet waar
d. Waar
e. Waar
f. Niet waar

Opgave 2
a.
De punten P en Q liggen op twee golfbergen. De golven uit A en B versterken elkaar dus.
b.
Twee golflengtes (want 4λ - 2λ = 2λ).
c.
2 : 1 (denk hierbij aan het superpositiebeginsel in de linker figuur).

Opgave 3
AQ – AP = 12,0 cm – 8,4 cm = 3,6 cm
2·λ = 3,6 cm
λ = 1,8 cm

Opgave 4
a.
Het weglengteverschil tussen L_1M en L_2M is nul. De golven komen dus in fase bij M aan.
b.

$$L_1P = \sqrt{3{,}00^2 + 10{,}0^2} = 10{,}44 \text{ m}$$

$L_2P = 10{,}00$ m
$L_1P - L_2P = 0{,}44$ m = 44 cm
c.

$$\frac{3}{2}\lambda = 0{,}44 \text{ m} \text{ dus } \lambda = 0{,}293 \text{ m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{332 \text{ m/s}}{0{,}293 \text{ m}} = 1133 \text{ Hz} = 1{,}13 \text{ kHz}$$

d.
De amplitude van L_1 in P is kleiner dan die van L_2 in P want $L_1P > L_2P$. Er is dus geen volledige uitdoving.

Uitwerkingen § 2

<u>Opgave 1</u>
a.
$$I = \frac{P}{A} = \frac{1{,}0\,\text{mW}}{2 \cdot 10^{-6}\,\text{m}^2} = 0{,}5\,\text{kW/m}^2$$
b.
10 keer
3,2 keer (= wortel 10)

<u>Opgave 2</u>
a.
2 : 1
b.
4 : 1
c.
De amplitude en de intensiteit zijn nul.

<u>Opgave 3</u>
a.
$$I = \frac{P}{A}$$
b.
$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$
c.
4
d.
2

<u>Opgave 4</u>
2
1,41 (= wortel 2)

Uitwerkingen § 3

<u>Opgave 1</u>

a.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\ \text{m/s}}{3{,}00\ \text{kHz}} = 0{,}114\ \text{m}$$

b.

$$\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{a} = \frac{0{,}114\ \text{m}}{0{,}400\ \text{m}} \Rightarrow \alpha = 16{,}6°$$

c.

$$x = L \cdot \tan(\alpha) = 11{,}0 \cdot \tan(16{,}6°) = 3{,}28\ \text{m}$$

d.

In $\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$ stellen we α gelijk aan 90º. Dan is sin(α) = 1.

Dan geldt:

$$n = \frac{a}{\lambda} = \frac{0{,}40\ \text{m}}{0{,}114\ \text{m}} = 3{,}5\ .$$

Uiteraard moet n een geheel getal zijn. De derde orde dus (n = 3).

<u>Opgave 2</u>

a.

Manier 1: $\tan(\alpha) = \frac{0{,}060\ \text{m}}{2{,}6\ \text{m}} \Rightarrow \alpha = 1{,}3°$

Manier 2: $\alpha = \frac{0{,}06\ \text{m}}{2{,}6\ \text{m}} = 0{,}023\ \text{rad}$

Manier 2 gaat alleen op bij kleine hoeken en dat is hier duidelijk het geval!
Beide gevonden hoeken zijn gelijk want 0,023 x (360º/2π) = 1,3º.

b.

Uit $\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$ volgt $a = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{3 \cdot 550\ \text{nm}}{\sin(1{,}32°)} = 72\ \mu\text{m}$.

c.

Uit $\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$ volgt het volgende.

Als λ kleiner wordt, wordt α kleiner. De afstand tussen de maxima wordt dan ook kleiner.

d.

Uit $\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$ volgt het volgende.

Als a kleiner wordt, wordt α groter. De afstand tussen de maxima wordt dan juist groter.

Uitwerkingen § 4

<u>Opgave 1</u>
a.
$$\sin(\alpha) = \frac{n \cdot \lambda}{a}$$
b.
Het aantal bronnen N komt niet in de formule voor.
c.
De maxima worden smaller en hoger.

<u>Opgave 2</u>
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\,\text{m/s}}{700\,\text{Hz}} = 0{,}49\,\text{m}$$
Eerste orde maximum: $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{a} = \frac{0{,}49\,\text{m}}{1{,}1\,\text{m}} \Rightarrow \alpha = 26°$.

Tweede orde maximum: $\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot \lambda}{a} = \frac{2 \cdot 0{,}49\,\text{m}}{1{,}1\,\text{m}} \Rightarrow \alpha = 63°$.

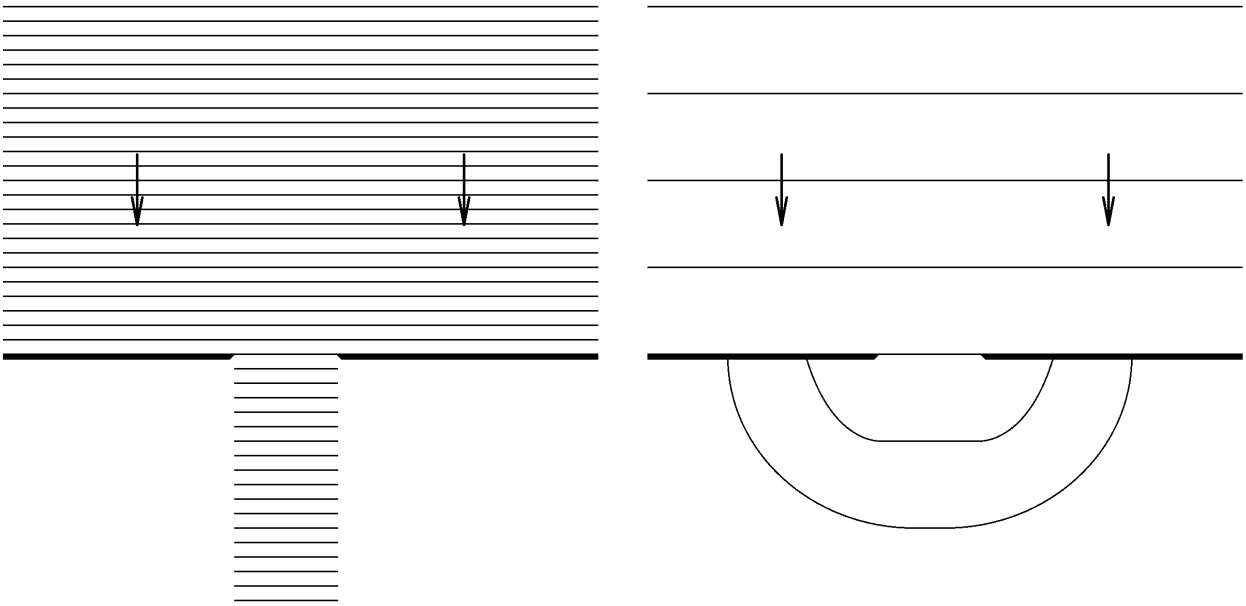
<u>Opgave 3</u>
a.
Driehoek ABP.
b.
Driehoek ABQ.
c.
$\beta = \beta$ geeft $\frac{a}{L} = \frac{\Delta}{a}$. Hieruit volgt: $L = \frac{a^2}{\Delta}$.

Omdat $\Delta \langle\langle \lambda$ volgt hieruit $L \rangle\rangle \frac{a^2}{\lambda}$.
d.
$$\frac{a^2}{\lambda} = \frac{0{,}001^2}{0{,}0000006} = 1{,}67\,\text{m}$$
De afstand moet dus veel groter zijn dan 1,67 m. Bijvoorbeeld 10 m of meer.

<u>Opgave 4</u>
a.
De afstand tussen de twee buitenste spijkers is 3a.
L moet dus veel groter zijn dan $\frac{(3a)^2}{\lambda}$.
b.
De afstand tussen de maxima wordt groter.
c.
De maxima worden hoger en smaller.

Uitwerkingen § 5

Opgave 1



Opgave 2
Hoge tonen kunnen beter gericht worden dan lage tonen omdat hoge tonen een kleinere golflengte hebben.

Opgave 3
$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{250} = 1{,}37\ \mathrm{m}$.
De golflengte is groter dan de breedte van de deur.

Opgave 4
De breedte van de laserstraal is $\frac{3\ \mathrm{mm}}{0{,}53\ \mu\mathrm{m}} = 5660$ keer groter dan de golflengte.

Opgave 5
Omdat de geluidsbundel dan veel beter gericht kan worden.

Opgave 6
Voor de elektronen geldt:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{6}} = 0{,}18\ \mathrm{nm}$$

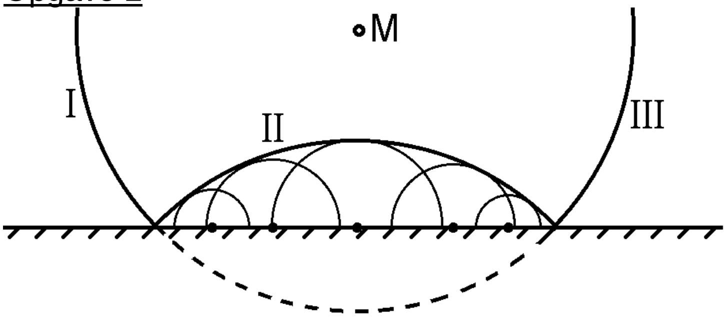
De golflengte van zichtbaar licht (500 nm) is $\frac{500}{0{,}18} = 2{,}8 \cdot 10^{3}$ keer groter.

Uitwerkingen § 6

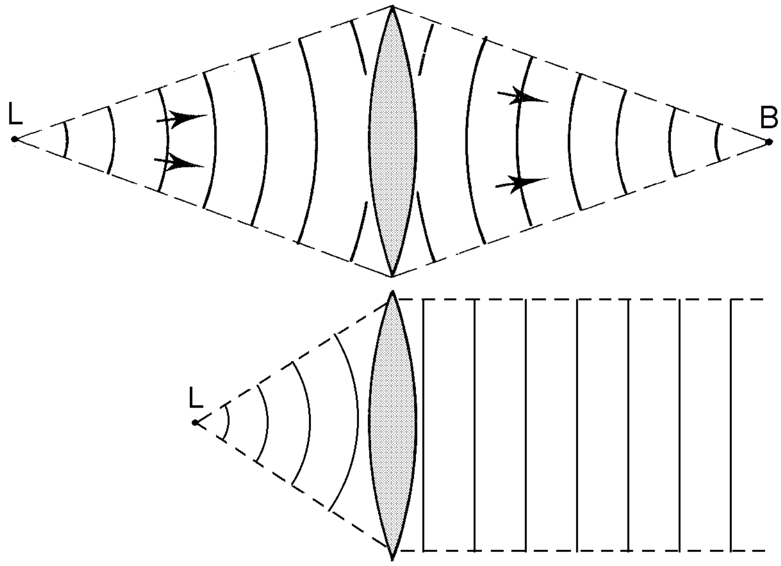
Opgave 1
Een golffront is de verzameling punten die op hetzelfde tijdstip in trilling zijn gekomen. De punten van een golffront trillen in fase met elkaar.

Golfstralen staan loodrecht op golffronten en geven de richting aan waarin de golf zich voortplant.

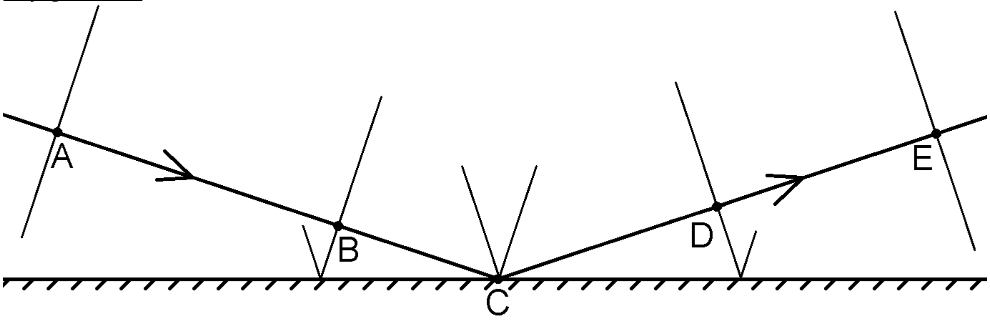
Opgave 2



Opgave 3



Opgave 4

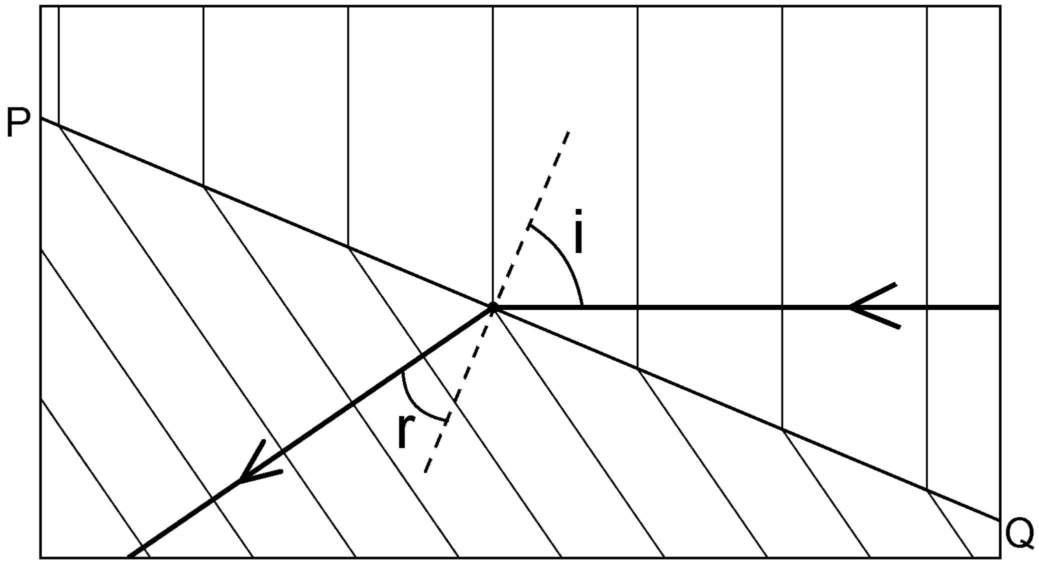


Opgave 5

a. en b.

Zie de onderstaande figuur.

Voor de hoeken geldt: i = 66º en r = 33º.



c.

$$n = \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{\sin(66°)}{\sin(33°)} = 1{,}7$$

d.

De afstand tussen de golffronten in de bovenste stof is 1,7 keer zo groot als de afstand tussen de golffronten in de onderste stof. De lichtsnelheid in de bovenste stof is dus ook 1,7 keer zo groot. De brekingsindex is dus 1,7.

Uitwerkingen § 7

Opgave 1

a.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{650} = 0{,}528\text{ m}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{b} = \frac{0{,}528}{1{,}0} \Rightarrow \alpha = 32°$$

b.

$$\lambda = b \cdot \sin(\alpha) = (1{,}0\text{ m}) \cdot \sin(90°) = 1{,}0\text{ m}$$

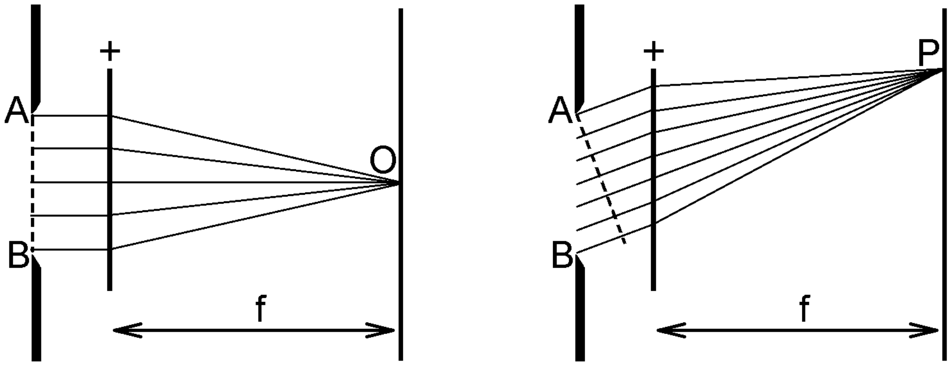
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343}{1{,}0} = 343\text{ Hz}$$

c.

Als de golven vanuit de uiterste punten van de opening in fase bij de waarnemer aankomen, zijn er ook punten in de opening waarvan de uitgezonden golven in tegenfase bij de waarnemer aankomen. Paarsgewijs heffen de golven elkaar dan op.

Opgave 2

a.



b.

Evenwijdige lichtstralen, afkomstig uit de spleet, komen toch in één punt samen op het scherm.

c.

$$\tan(\alpha) = \frac{4{,}0\text{ cm}}{20\text{ cm}} \Rightarrow \alpha = 11{,}3°$$

$$\sin(\alpha) = \frac{2\lambda}{b} \text{ wordt } \lambda = \frac{b \cdot \sin(\alpha)}{2} = \frac{6 \cdot \sin(11{,}3°)}{2} = 0{,}59\ \mu\text{m}$$

Opgave 3

a.

$$\sin(\alpha) = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{D} = \frac{1{,}22 \cdot 500\text{ nm}}{0{,}10\text{ mm}} \quad \rightarrow \alpha = 0{,}35°$$

b.
Hoek β in de tweede figuur is gelijk aan hoek α in de eerste figuur van de opgave.
Dus geldt: $\beta = 0{,}35^{o}$.

c.
$\sin(\alpha) = \dfrac{1{,}22 \cdot \lambda}{D} = \dfrac{1{,}22 \cdot 500\,\text{nm}}{4\,\text{mm}}$ $\rightarrow \alpha = 8{,}7 \cdot 10^{-3}$ graden = 0,52 boogminuten

Uitwerkingen § 8

Opgave 1

a.

$$\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{a} = \frac{532\text{ nm}}{1000\text{ nm}} \rightarrow \alpha = 32{,}1^{o}$$

b.

$$\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{b} = \frac{532\text{ nm}}{600\text{ nm}} \rightarrow \alpha = 62{,}5^{o}$$

Opgave 2

a.

$$a = \frac{1\text{mm}}{800} = 1{,}25\text{ μm}$$

b.

$$\lambda = a \cdot \sin(\alpha) = 1{,}25 \cdot \sin(21°) = 0{,}448\text{ μm}$$

c.

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot \lambda}{a} = \frac{2 \cdot 0{,}448\text{ μm}}{1{,}25\text{ μm}} \rightarrow \alpha = 45{,}8^{o}$$

$$\Delta x = L \cdot \tan(\alpha) = 40 \cdot \tan(45{,}8°) = 41\text{cm}$$

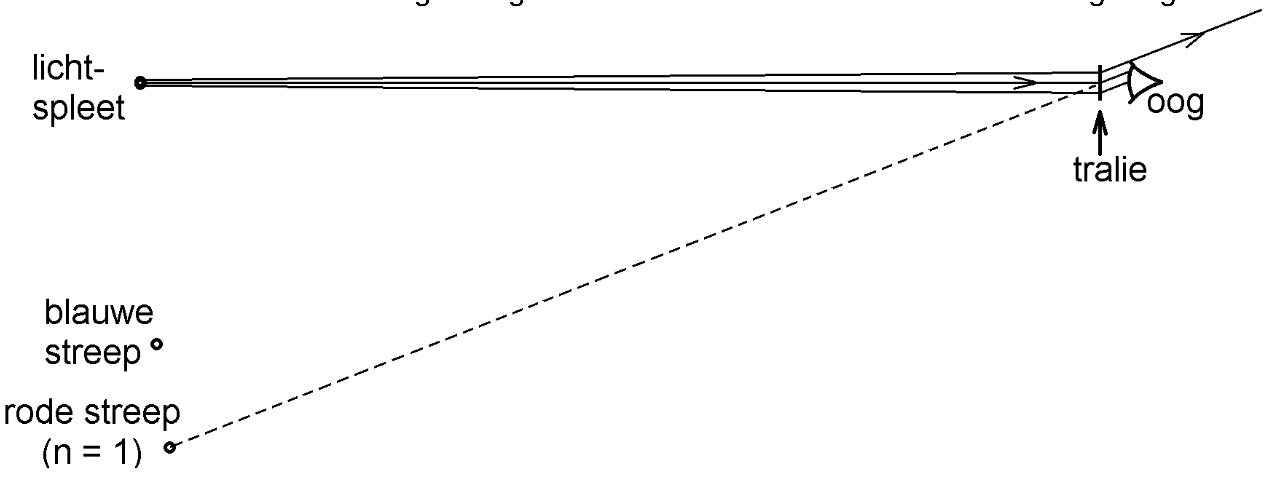
Opgave 3

a.

Verticaal omdat de afbuiging dan in horizontale richting is.

b.

Blauw licht heeft een kleinere golflengte dan rood licht en wordt dus minder afgebogen.



c.

Alle gekleurde strepen zijn dan naar buiten verschoven. De afbuighoeken worden namelijk groter.

Opgave 4

a.

We kijken naar de afbuighoeken α waarvoor geldt: $\sin(\alpha) = \dfrac{n \cdot \lambda}{a}$

Omdat de tralieconstante a voor alle kleuren gelijk is, hoeven we alleen maar naar de waarde van n·λ te kijken.
Voor eerste orde rood geldt: n·λ = 1·700 = 700 nm.
Voor tweede orde violet geldt: n·λ = 2·400 = 800 nm.
Conclusie: geen overlap.

b.

Voor tweede orde rood geldt: n·λ = 2·700 = 1400 nm.
Voor derde orde violet geldt: n·λ = 3·400 = 1200 nm.
Conclusie: wel overlap.

c.

Bij a = tralieconstante en b = spleetbreedte moet gelden:

$$\sin(\alpha) = \frac{3 \cdot \lambda}{a} = \frac{1 \cdot \lambda}{b}$$

Hieruit volgt dat b = a/3. Dus de tralieconstante moet drie keer groter zijn dan de spleetbreedte.

Opgave 5

a.

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{1{,}20 \cdot 10^{-24} \cdot 220} = 2{,}51 \cdot 10^{-12}\ \text{m}$$

b.

Volgens het diagram is de afstand tussen beide eerste orde maxima 60 μm.
Voor de hoek 2α tussen beide maxima, gerekend vanaf het tralie, geldt dan:

$$2\alpha = \frac{60\ \mu\text{m}}{1{,}25\ \text{m}} = 48 \cdot 10^{-6}\ \text{radialen.}$$

Dus geldt:

$$\lambda = a \cdot \sin(\alpha) = (100\ \text{nm}) \cdot \sin(24 \cdot 10^{-6}) = 2{,}4 \cdot 10^{-12}\ \text{m}.$$

Een handigheid bij de laatste berekening is dat de sinus van een kleine hoek (uitgedrukt in radialen) gelijk is aan de hoek zelf.

c.

De afwijking tussen de antwoorden op vraag a en b is klein.

Uitwerkingen § 9

Opgave 1

a.

Een scherm met twee spleten.

b.

$$\tan(\alpha) = \frac{2{,}0\ \text{cm}}{2{,}0\ \text{m}} = 0{,}01$$ → α = 0,01 rad.

$$a = \frac{\lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{500\ \text{nm}}{0{,}01} = 50\ \mu\text{m}$$

Bij deze berekening werd gebruik gemaakt van het feit dat de sinus en de tangens van een kleine hoek in goede benadering gelijk zijn aan de hoek zelf. Voorwaarde hierbij is dat de hoek in radialen uitgedrukt moet zijn.

Opgave 2

$$\tan(\alpha) = \frac{2{,}25\ \text{cm}}{5{,}5\ \text{m}} = 0{,}00409$$ → α = 0,00409 rad.

$$D = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{1{,}22 \cdot 532\ \text{nm}}{0{,}00409} = 159\ \mu\text{m}$$

Opgave 3

a.

Als het licht bijvoorbeeld vanuit twee richtingen op een rode bloedcel zou vallen, zouden er twee diffractiepatronen ontstaan. Deze diffractiepatronen zouden elkaar ten dele overlappen.

b.

Er geldt: v = f·λ. Als f niet verandert en v met een factor 1,3 kleiner wordt, wordt λ ook 1,3 keer kleiner. Dus geldt in de waterige laag: λ = 0,60 /1,3 = 0,46 μm.

c.

$$\sin(\alpha) = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{D} = \frac{1{,}22 \cdot 0{,}46\ \mu m}{8{,}0\ \mu m} = 0{,}070$$

$$r = L \cdot \tan(\alpha) = (300\ \mu\text{m}) \cdot 0{,}070 = 21\mu\text{m}$$

Diameter eerste orde minimum = 2·r = 42 μm.

Opgave 4
a.
Er geldt $\lambda / a = 0,1$. Dus is de tralieconstante tien keer zo groot als de golflengte.

b.
Er geldt $\lambda / b = 0,25$. De spleetbreedte van tralie 1 is dus vier keer zo groot als de golflengte.

c.
Er geldt $\lambda / b = 0,166$. De spleetbreedte van tralie 2 is dus zes keer zo groot als de golflengte.

d.
De spleetbreedte van tralie 1 plus de spleetbreedte van tralie 2 is gelijk aan de tralieconstante (vier plus zes is tien).

e.
Het interferentiepatroon van tralie 1 is gelijk aan dat van tralie 2, afgezien van het nulde orde maximum.

f.
De spleetbreedte van tralie 2 is 6/4 = 1,5 keer zo groot als de spleetbreedte van tralie 1. De amplitude van het doorgaande licht (bij afbuighoek = 0) is bij tralie 2 dus 1,5 keer zo groot. Voor de intensiteit is dit $1,5^2 = 2,25$ keer zo groot.

Uitwerkingen § 10

Opgave 1
a. Waar
b. Niet waar
c. Waar
d. Niet waar
e. Niet waar
f. Niet waar
g. Waar
h. Waar

Opgave 2
Deze maakt het licht spatieel coherent. Zonlicht is dat namelijk onvoldoende tenzij S1 en S2 zeer dicht bij elkaar liggen.

Opgave 3
Omdat het licht heen en weer gaat hoeft M1 maar 1 mm verschoven te worden.

Opgave 4
a.
De afstand a tussen de gaatjes is kleiner dan de spatiële coherentiebreedte.
b.
De lichtbron op een grotere afstand zetten.

Uitwerkingen § 11

Opgave 1

$$L \cong \frac{c}{\Delta f} = \frac{3\cdot 10^8}{2\cdot 10^6} = 150\ \text{m}$$

Opgave 2

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda_{min}} - \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{3\cdot 10^8}{605{,}7\cdot 10^{-9}} - \frac{3\cdot 10^8}{605{,}9\cdot 10^{-9}} = 1{,}6\cdot 10^{11}\ \text{Hz}$$

$$L \cong \frac{c}{\Delta f} = \frac{3\cdot 10^8}{1{,}6\cdot 10^{11}} = 2\ \text{mm}$$

Opgave 3

Met het kleine gaatje (pinhole) wordt de spatiële coherentie sterk verbeterd.

Opgave 4

$$B \cong \frac{\lambda\cdot D}{d} = \frac{500\ \text{nm}\cdot 384\cdot 10^6\ \text{m}}{3{,}5\cdot 10^6\ \text{m}} = 55\ \mu\text{m}$$

Opgave 5

$$D \cong \frac{B\cdot d}{\lambda} = \frac{1{,}0\ \text{mm}\cdot 20\ \text{cm}}{589\ \text{nm}} = 340\ \text{m}$$

Opgave 6

$$L \cong \frac{c}{\Delta f} = \frac{c\cdot\lambda}{\Delta\lambda\cdot f} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda\cdot\frac{f}{c}} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda\cdot\frac{1}{\lambda}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

Opgave 7

a.

Omdat $\delta = \frac{d}{D}$ geldt $\frac{\lambda}{\delta} = \frac{\lambda\cdot D}{d}$. Dit is de spatiële coherentiebreedte.

b.

Uitgaande van het midden tussen de spleten verdraait het centrale interferentiemaximum over hoek δ. Op het observatiescherm hoort daar een afstand van Aδ bij.

c.

De afbuighoeken voldoen aan $\alpha = \frac{n\cdot\lambda}{a}$. De stapgrootte van de hoek is dus $\frac{\lambda}{a}$.

Op het observatiescherm hoort hier een afstand van A·(λ/a) bij.

d.

Uit Aδ < A(λ / a) volgt dat a < λ / δ.