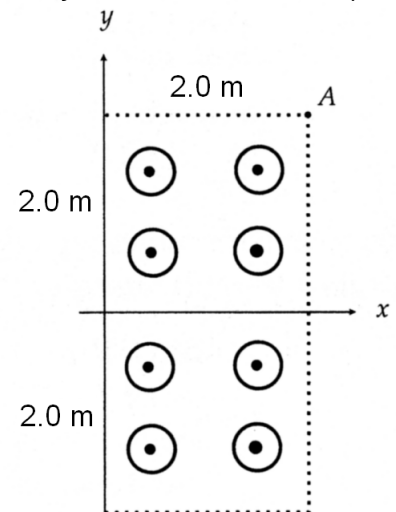


## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H27 – Magnetische velden en krachten

1. In de figuur is een uniform magnetisch veld gericht volgens de positieve z-as. Een elektron gaat het magnetische veld ter hoogte van de oorsprong binnen met een snelheid gericht volgens de positieve x-as en verlaat het magnetische veld in het punt A na een tijdsinterval van  $0,63 \mu\text{s}$ . Wat is de grootte van het magnetische veld?

- A.  $18 \mu\text{T}$
- B.  $14 \mu\text{T}$
- C.  $28 \mu\text{T}$
- D.  $34 \mu\text{T}$
- E.  $227 \mu\text{T}$



2. In een bepaald type van massaspectrometer worden de ionen eerst versneld over een potentiaalverschil  $V$  vooraleer ze een magnetisch veld binnentreden dat loodrecht staat op hun snelheid waardoor ze afgebogen worden volgens een halfcirkelvormige baan met straal  $R$ . Een detector registreert waar de ionen terecht komen na een halve cirkel te hebben afgelegd, zodat  $R$  experimenteel kan bepaald worden.

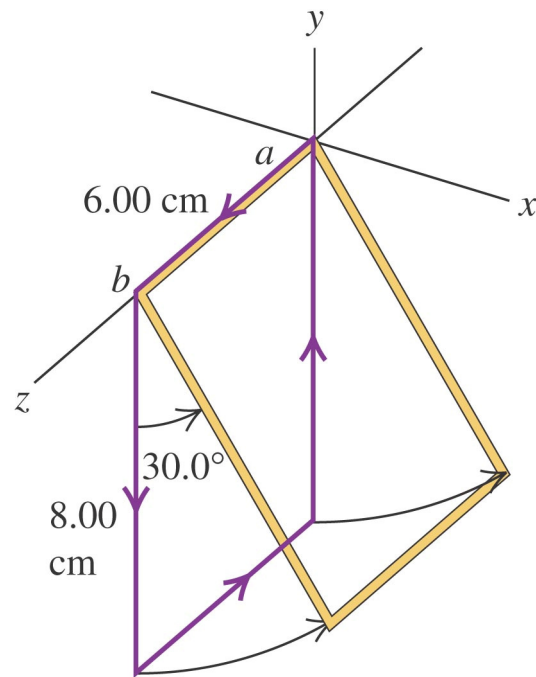
- (a) Stel een uitdrukking op voor de massa van het ion als functie van  $B$ ,  $V$ ,  $R$  en  $q$ .
- (b) Welk potentiaalverschil is nodig opdat voor één maal geïoniseerde  $^{12}\text{C}$ -atomen  $R = 50,0 \text{ cm}$  in een  $0,150 \text{ T}$  magnetisch veld?
- (c) Bereken voor dezelfde waarden van  $v$  en  $B$  als in (b) de separatie ter hoogte van de detector van  $^{12}\text{C}$ - en  $^{14}\text{C}$ -isotopen.

3. Beschouw een rechtshandig assenstelsel met een homogeen elektrisch veld  $\mathbf{E}$  in de  $+y$ -richting en een homogeen magnetisch veld  $\mathbf{B}$  in de  $+z$ -richting. Een deeltje met massa  $m$  en lading  $q$  vertrekt vanuit rust in de oorsprong.

- (a) Toon aan dat de snelheid op elk ogenblik gelijk is aan  $(2qEy/m)^{1/2}$ .
- (b) Toon aan de maximale snelheid van het deeltje gelijk is aan  $2E/B$ .

4. Op een cirkelvormige plastic ring met straal  $R$  zit een positieve lading  $q$ , homogeen verdeeld over de omtrek van de ring. De ring wordt in rotatie gebracht om de symmetrie-as loodrecht op het vlak van de ring, met hoeksnelheid  $\omega$ . Bereken de grootte van het magnetische krachtmoment op de ring als die zich bevindt in een uniform magnetisch veld met sterkte  $B$  evenwijdig met het vlak van de ring.

5. De rechthoekige winding heeft een massa van 0,15 g per centimeter en kan wrijvingsloos roteren om de  $z$ -as. Een stroom van 8,2 A loopt in de aangeduide zin. Er wordt een magnetisch veld aangelegd in de  $y$ -richting waardoor het vlak van de winding een hoek van  $30^\circ$  gaat maken met het  $yz$ -vlak. Bepaal de grootte en de zin van het aangelegde magnetische veld.



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley

H 27

$$1) \quad q \cancel{v} B = \frac{m v^2}{R}$$

$$B = \frac{m v}{q R}$$

$$= \frac{m v 2 \pi}{q T}$$

$$= 14 \mu T$$

$$2a. \quad \left. \begin{array}{l} m = \frac{q B R}{v} \\ \frac{m v^2}{2} = q V \end{array} \right\} \Rightarrow m = \frac{q B^2 R^2}{2 V}$$

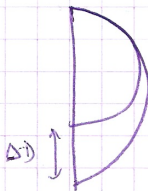
$$b. \quad m(^{12}C) = 12 \text{ amu}$$

$$= 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$V = \frac{q B^2 R^2}{2 m}$$

$$= 2,26 \cdot 10^4 \text{ V}$$

c.



$$\Delta D = 2 \sqrt{\frac{2 V m_1}{q B^2}} - 2 \sqrt{\frac{2 V m_2}{q B^2}}$$

$$= 8,67 \text{ cm}$$

$$3) a. \quad q E y = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 q E y}{m}}$$

$$b. \quad q E - q v B = - \frac{mv^2}{R}$$

$$= - q E \quad (2y = R)$$

$$v_{max} = \frac{2 E}{B}$$

$$4) \quad I = \frac{q}{T} = \frac{q \omega}{2 \pi}$$

$$\mu = I \pi R^2$$

$$\tau = I \pi R^2 B$$

$$= \frac{q \omega R^2 B}{2}$$

$$5) \quad \mu = I \cdot A = 0,04$$

$$\tau_E = \mu \times B$$

$$\tau_E = \tau \text{ ~~elektrisch~~ magnetisch field}$$

$$= 0,04 B \sin(60)$$

$$\tau_g = \tau \times F$$

$$= 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 0,04 \cdot \sin(30) \cdot 9,8$$

$$= 8,232 \cdot 10^{-4}$$

$$\sum \tau = 0 \Rightarrow B = 0,024 \text{ T}$$

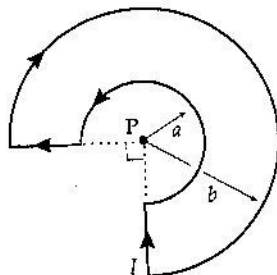


## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H28 – Bronnen van magnetische velden

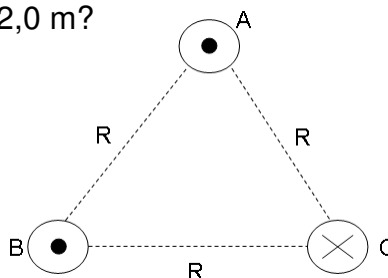
1. Wat is de grootte van het magnetische veld in het punt P als  $a = R$  en  $b = 2R$ .

- A.  $9\mu_0 I / 16R$
- B.  $3\mu_0 I / 16R$
- C.  $\mu_0 I / 4R$
- D.  $3\mu_0 I / 4R$
- E.  $3\mu_0 I / 8R$



2. De figuur toont de dwarsdoorsnede van 3 parallelle draden, die elk een stroom van 20 A dragen. De stromen in de draden A en B zijn gericht uit het blad, terwijl de stroom in draad C gericht is in het blad. Wanneer de afstand R gelijk is aan 5,0 mm, wat is dan de grootte van de kracht op een stukje van draad A met lengte 2,0 m?

- A. 23 mN
- B. 64 mN
- C. 32 mN
- D. 46 mN
- E. 55 mN



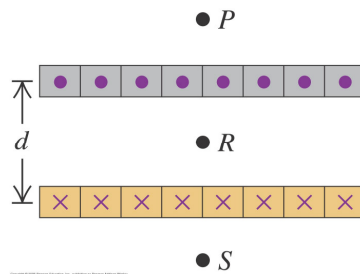
3. Een lange draad heeft een straal groter dan 4,0 mm en draagt een stroom uniform verdeeld over zijn dwarsdoorsnede. Veronderstel dat de grootte van het magnetische veld gelijk is aan 0,285 mT op een punt 4,0 mm van de as van de draad en 0,200 mT op een punt 10 mm van de as. Wat is dan de straal van de draad?

- A. 4,6 mm
- B. 7,1 mm
- C. 5,3 mm
- D. 12 mm
- E. 10 mm

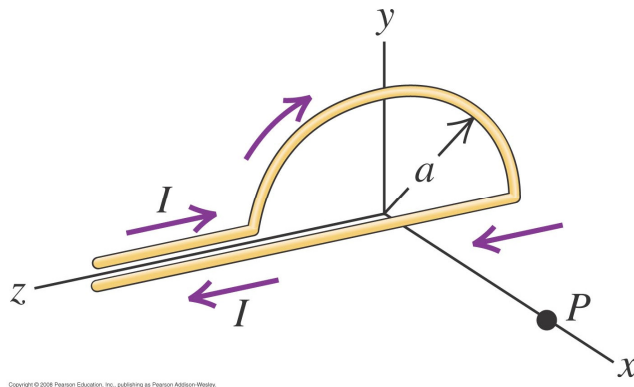
4. Door een lange solenoïde (diameter = 5,0 cm, 960 windingen/m) loopt een stroom gelijk aan 300 mA. Een oneindig lange draad bevindt zich langs de as van de solenoïde en draagt een stroom gelijk aan 12 A. Wat is de grootte van het magnetische veld op een punt 2,0 cm van de as van de solenoïde?

- A. 0,41 mT
- B. 0,48 mT
- C. 0,38 mT
- D. 0,56 mT
- E. 0,36 mT

5. Lange, rechte geleiders die elk een stroom  $I$  uit het vlak van het blad voeren, worden naast elkaar gelegd zodat ze een oneindig stroomvlak vormen (zie figuur). Een tweede oneindig stroomvlak ligt een afstand  $d$  onder het eerste en is er evenwijdig mee. Het tweede stroomvlak voert stroom in het vlak van het blad. Elk stroomvlak telt  $n$  geleiders per lengte-eenheid. Bereken de grootte en de richting van het magnetische veld in de punten  $P$ ,  $R$  en  $S$ .



6. Een geleider in de vorm van een halve cirkel met straal  $a$  ligt in het  $yz$ -vlak met het krommingsmiddelpunt in de oorsprong (zie figuur). De geleider voert een stroom  $I$ . Bereken het magnetische veld in het punt  $P$  op een afstand  $x$  van de oorsprong.



## H 28

$$\begin{aligned}
 1) \quad B_a &= \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2} \\
 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{3\pi/2} \frac{I a d\theta}{a^2} \\
 &= \frac{3 \mu_0 I}{8 a}
 \end{aligned}$$

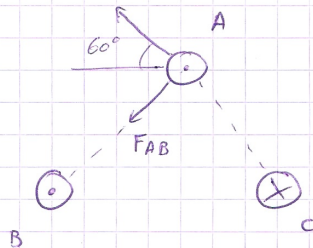
$$\begin{aligned}
 B_b &= \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{3\pi/2} \frac{I b d\theta}{b^2} \\
 &= \frac{3 \mu_0 I}{8 b}
 \end{aligned}$$

$$B = B_a - B_b \quad (\text{Gegengerichtete Ströme})$$

$$= \frac{3 \mu_0 I}{8} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

$$= \frac{3 \mu_0 I}{16 R}$$

2)



$$F_{AB} = F_{AC}$$

$$= \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20^2 \cdot 2}{2\pi \cdot 0,005}$$

$$= 0,032 \text{ N}$$

$$F = 2 F_{AB} \cos 60$$

$$= F_{AB}$$

$$3) \quad r < R$$

$$B = \frac{\mu_0 I r}{2 \pi R^2}$$

$$= \frac{4 \pi \cdot 10^{-7} I \cdot 0,009}{2 \pi R^2} = 0,285$$

$$r > R$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$$

$$= \frac{4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot I}{2 \pi \cdot 0,01} = 0,2$$

$$I = 10 \text{ kA}$$

$$\Rightarrow R = 5,3 \text{ mm}$$

$$4) \quad B_{\text{spool}} = \mu_0 I n$$

$$= 4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,3 \cdot 960$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-4}$$

$$B_{\text{drad}} = \frac{\mu_0 I}{2 \pi d}$$

$$= \frac{4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot 12}{2 \pi \cdot 0,02} = 1,2 \cdot 10^{-4}$$

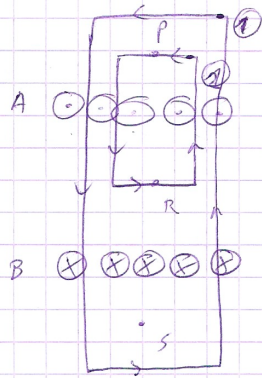
$$B_{\text{spool}} \perp B_{\text{drad}}$$

$$\Rightarrow B = \sqrt{B_s^2 + B_d^2}$$

$$= 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$



5)



$$\textcircled{1} \quad \oint B \, dl = 0 = B_P \cdot l - B_B \cdot l$$

$$B_P = B_B$$

$$\textcircled{2} \quad \oint B \, dl = \mu_0 I$$

$$= \mu_0 I_L \cdot l$$

$$2 B l = \mu_0 I_L l$$

$$B = \frac{\mu_0 I_L}{2}$$

$\Rightarrow$  onafh. van afstand

$$B_P = B_A - B_B$$

$$= 0 = B_B$$

$$B_R = \frac{2 \mu_0 I_L}{2}$$

$$= \mu_0 I_L$$

6) rand stück

$$B_{x,1} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^\pi \frac{I a^2 d\theta}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\mu_0 I a^2}{4(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$B_{y,1} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^\pi \frac{I a r \sin \varphi d\theta}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$= - \frac{\mu_0 I a r}{2\pi(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

recht stück

$$B_{y,2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-a}^a \frac{I x dl}{(l^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\mu_0 a I}{2\pi r(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$B_y = B_{y,1} + B_{y,2}$$

$$B_x = B_{x,1}$$

## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

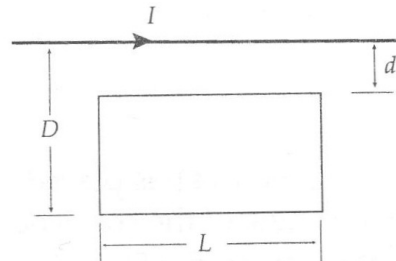
### H29 – Elektromagnetische inductie

1. Een metalen staaf (lengte = 80 cm) draait met een constante hoeksnelheid van 10 rad/s rond één van zijn uiteinden. Een uniform magnetisch veld van 2 mT maakt een hoek van 30 graden met het draaivlak. Hoe groot is het potentiaalverschil tussen de 2 uiteinden van de staaf?

- A. 5,5 mV
- B. 6,4 mV
- C. 3,2 mV
- D. 11 mV
- E. 13 mV

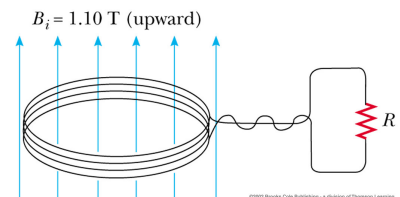
2. Beschouw een oneindig lange draad (zie figuur) waardoor een stroom  $I$  loopt. Een rechthoekig metalen raam met weerstand  $2,0 \text{ m}\Omega$  bevindt zich op een afstand  $d$  gelijk aan 1,0 cm van de lange draad. Veronderstel dat  $D$  gelijk is aan 6,0 cm en  $L$  gelijk aan 1,5 m. Welke stroom wordt geïnduceerd in het raam wanneer de stroom in de draad stijgt met een snelheid van 100 A/s?

- A. 34 mA
- B. 30 mA
- C. 27 mA
- D. 38 mA
- E. 0,50 mA



3. Een cirkelvormige spoel heeft 200 koperen windingen en een ingesloten oppervlakte van  $100 \text{ cm}^2$ . Oorspronkelijk is een uniform magnetisch veld van 1,10 T loodrecht op het vlak van de windingen gericht (zie onderstaande figuur). Daarna wordt de richting van het magnetisch veld omgedraaid. Hoeveel lading vloeit er door de spoel tijdens dit omkeren van de richting van het magnetisch veld indien  $R = 5,00 \Omega$ ?

- A. 0,88 C
- B. 0,44 C
- C. 4,40 mC
- D. 0 C
- E. kan niet bepaald worden zonder extra gegevens



4. Een lange solenoïde (straal = 3,0 cm, 2500 windingen/m) draagt een stroom gegeven door  $I = 0,30 \sin(200\pi t) \text{ A}$ , waarbij  $t$  uitgedrukt is in seconden. Wanneer  $t$  gelijk is aan 5,0 ms, wat is dan de grootte van het geïnduceerde elektrische veld op een punt 2,0 cm van de as van de solenoïde?

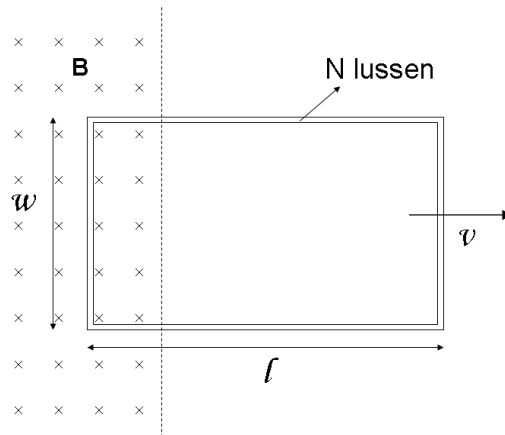
- A.  $7,4 \times 10^{-4} \text{ V/m}$
- B.  $6,4 \times 10^{-3} \text{ V/m}$
- C.  $6,9 \times 10^{-3} \text{ V/m}$
- D.  $5,9 \times 10^{-3} \text{ V/m}$
- E.  $8,9 \times 10^{-3} \text{ V/m}$

5. Een rechthoekige spoel met lengte  $\ell$  en breedte  $w$  bestaat uit  $N$  lussen en heeft een totale weerstand gelijk aan  $R$ . De spoel bevindt zich gedeeltelijk in een uniform magnetisch veld met grootte  $B$  in het vlak van het blad (zie figuur).

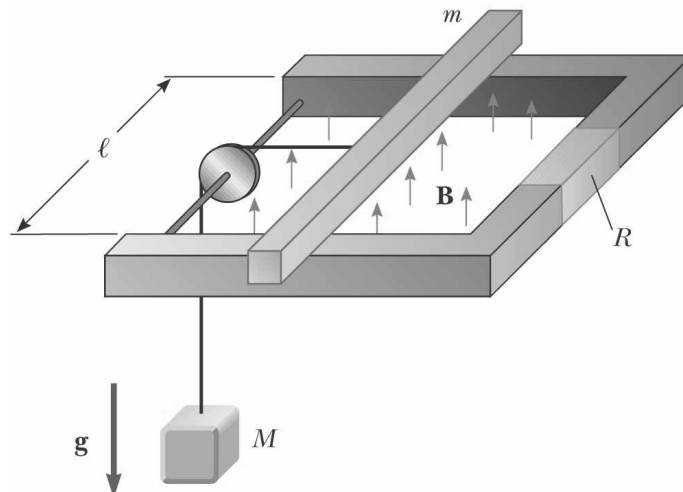
5.a. Wat is de grootte en de richting van de geïnduceerde stroom door de spoel wanneer de spoel naar rechts beweegt met een snelheid  $v$ ?

5.b. Wat is de grootte en de richting van de externe kracht die nodig is om de spoel met een constante snelheid  $v$  te laten voortbewegen?

5.c. Wat is het vermogen geleverd door deze externe kracht?



6. De staaf met massa  $m$  wordt over evenwijdige, gladde rails getrokken door een lichte kabel die over een licht, wrijvingsloos katrolwiel loopt en bevestigd is aan een massa  $M$ . Het uniforme magnetische veld heeft een grootte  $B$  en de afstand tussen de rails bedraagt  $\ell$ . De enige significante weerstand is de weerstand  $R$  die de rails verbindt. Leid een uitdrukking af die de horizontale snelheid van de staaf geeft als functie van de tijd, in de veronderstelling dat de massa  $M$  wordt losgelaten met de staaf in rust op  $t = 0$ .





$$\begin{aligned}
 1) \quad \mathcal{E} &= \int \vec{v} \times \vec{B} \, dl \\
 &= \frac{\omega d^2 B \sin 30^\circ}{2} \\
 &= \frac{10 \cdot 0,8^2 \cdot 0,002}{4} \\
 &= 3,2 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad B &= \frac{\mu_0 I}{2\pi y} \\
 \Phi &= \int_{0,01}^{0,06} \int_0^{1,5} \frac{\mu_0 I}{2\pi y} \, dx \, dy \\
 &= \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot 1,5 \cdot \ln 6 \\
 &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 \cdot \ln 6}{2\pi} \cdot 100 \, t
 \end{aligned}$$

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = 5,38 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = 27 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad \mathcal{E} &= \int_A B \, dA \\
 &= 1,1 \cdot 200 \cdot 0,01 \\
 &= 2,2 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \int I \, dt \\
 &= \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} \, dt \\
 &= \frac{1}{R} \Delta \Phi \\
 &= \frac{2,2}{5} = 0,44 \text{ C}
 \end{aligned}$$

$$4) \quad E \cdot 2\pi r = - \frac{\partial}{\partial t} \int B \, dA$$

$$= - \frac{\partial}{\partial t} \mu_0 n I \pi r^2$$

$$E = - \frac{\mu_0 n r^2}{2r} \frac{\partial}{\partial t} I$$

$$= 5,9 \cdot 10^{-3} \, \text{V/m}$$

5) a. *wippen*

$$I = - \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$$

$$= \frac{B w v N}{R}$$

b.  $F = I \, dl \times B$

$$= \frac{B^2 w v}{R} w B N \quad (\text{rechts})$$

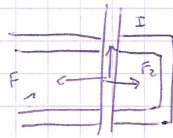
c.  $P = F \, dv$

$$= \frac{B^2 w^2 v^2 N}{R}$$

~~WIPPEN~~



6)



$$F_1 = M \cdot g$$

$$F_2 = I dl \times B$$

$$\mathcal{E} = \int v \times B dl$$

$$= v B l$$

$\Rightarrow$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{v B l}{R}$$

$$F_2 = \int_0^L \frac{v B l}{R} dl \times B$$

$$= \frac{v B^2 l^2}{R}$$

$$\sum F = - (m + M) a = \frac{v B^2 l^2}{R} - M \cdot g$$

$$(m + M) \frac{dv}{dt} + \frac{B^2 l^2}{R} v = M \cdot g$$

$$v(t) = \frac{M g R}{B^2 l^2} \left( 1 - e^{-\frac{B^2 l^2 t}{R(m+M)}} \right)$$

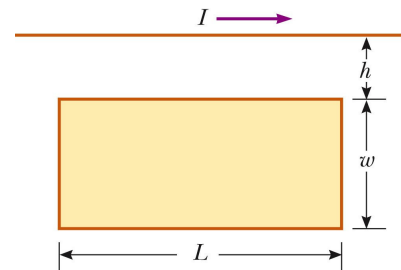
## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H30 – Inductantie

1. Beschouw twee lange coaxiale solenoïdes met verschillende doorsneden  $S_1 > S_2$ . Toon aan dat voor de wederzijdse inductantiecoëfficiënt  $M$  geldt dat  $M^2 = (S_2/S_1) L_1 L_2$ , met  $L_1$  en  $L_2$  de zelfinductantiecoëfficiënten van de twee spoelen.

2. Op een elektronische printplaat is een relatief lange (als oneindig lang te beschouwen) rechte geleider gedrukt evenals een geleidende rechthoekige kring. Rechte geleider en rechthoekige kring liggen in hetzelfde vlak, zoals afgebeeld in de figuur. Indien  $h = 0,250$  mm,  $w = 1,250$  mm en  $L = 3,20$  mm, hoeveel bedraagt dan de wederzijdse inductantie tussen beide geleiders?

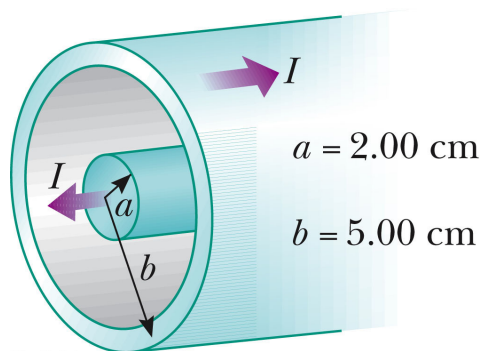
- A. 0,575 nH
- B. 0,801 nH
- C. 1,030 nH
- D. 1,147 nH
- E. 1,602 nH



3. Stel een uitdrukking op voor de equivalente inductantiecoëfficiënt  $L_{eq}$  van (a) een serieschakeling en (b) een parallelschakeling van twee spoelen met zelfinductantiecoëfficiënten  $L_1$  en  $L_2$  en wederzijdse inductantiecoëfficiënt  $M$ .

4. Een mogelijke toepassing van supergeleiders in de toekomst is het transport van elektrische energie. Een coaxiale kabel zou 1000 MW (typisch vermogen geproduceerd door een grote elektriciteitscentrale) bij een gelijkspanning van 200 kV kunnen transporteren over een afstand van 1000 km zonder verlies. De binnenste draad met straal 2,00 cm, vervaardigd uit supergeleidend  $Nb_3Sn$ , draagt de stroom  $I$  in de ene richting. De buitenste supergeleidende cilinder met straal 5,00 cm voert de stroom  $I$  terug.

- (a) Hoe groot is het magnetische veld aan het oppervlak van de binnenste geleider?
- (b) Hoe groot is het magnetische veld aan het binnenoppervlak van de buitenste geleider?
- (c) Hoeveel magnetische energie is opgeslagen in de ruimte tussen de geleiders van een 1000 km lange supergeleidende transmissielijn?
- (d) Wat is de druk die uitgeoefend wordt op de buitenste geleider?

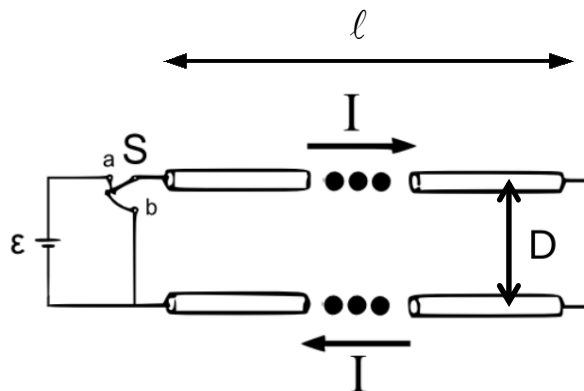




5. Twee lange rechte koperen staven met lengte  $\ell$  en straal  $r$  zijn parallel en op een afstand  $D$  (tussen de aslijnen) van elkaar opgesteld ( $\ell \gg D$ ). Aan het ene uiteinde zijn beide staven kortgesloten terwijl aan het andere uiteinde beide staven door middel van een schakelaar  $S$  kunnen worden verbonden, hetzij via een spanningsbron met emk  $\varepsilon$  ( $S$  in stand a), hetzij via een kortsluiting ( $S$  in stand b). De resistiviteit van koper bedraagt  $\rho = 1,70 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ . Onderstel dat indien de geleidende staven een stroom  $I$  voeren, deze stroom gelijkmatig verdeeld is over de dwarse doorsnede van de staven en dat er binnenin de staven geen magneetveld aanwezig is.

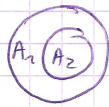
(a) Bepaal een uitdrukking voor de zelfinductantie van de stroomkring gevormd door de twee geleidende staven als functie van de bovenvermelde parameters.

(b) Indien  $S$  eerst langdurig in stand a wordt geplaatst en vervolgens op  $t = 0$  naar stand b wordt geschakeld, hoeveel bedraagt dan de energie opgeslagen in de stroomkring gevormd door de twee geleidende staven op  $t = 20 \mu\text{s}$  ( $\ell = 20,0 \text{ m}$  ;  $D = 10,0 \text{ mm}$  ;  $r = 2,00 \text{ mm}$  ;  $\varepsilon = 10 \text{ V}$ )?



H 30

1)



$$\Phi_1 = \frac{\mu_0 N_1 I_1 A_1}{l}$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 N_2 I_2 A_2}{l}$$

$$\Phi_2 / \Phi_1 = \Phi_1 \frac{A_2}{A_1}$$

$$= \frac{\mu_0 N_1 I_1 A_2}{l}$$

$$M = \frac{N_2 \Phi_2}{I_1}$$

$$= \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_2}{l}$$

$$\Phi_1 / \Phi_2 = \Phi_2$$

$$= \frac{\mu_0 N_2 I_2 A_2}{l}$$

$$L_1 = \frac{\mu_0 N_1^2 A_1}{l}$$

$$L_2 = \frac{\mu_0 N_2^2 A_2}{l}$$

$$\left. \begin{array}{l} L_1 = \frac{\mu_0 N_1^2 A_1}{l} \\ L_2 = \frac{\mu_0 N_2^2 A_2}{l} \end{array} \right\} \Rightarrow M^2 = L_1 L_2 \frac{A_2}{A_1}$$

$$M = \sqrt{L_1 L_2} \cdot 0,9$$

$$= 3,6 \text{ mH}$$

$$2) \quad \Phi_2 = \int_0^L \int_h^{h+w} \frac{\mu_0 I_1}{2\pi y} dy dx$$

$$= \frac{L \mu_0 I_1}{2\pi} \ln\left(\frac{h+w}{h}\right)$$

$$M = \frac{\Phi_2 N_2}{i_1}$$

$$= \frac{L \mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{h+w}{h}\right)$$

$$= 1,147 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$3) \quad u_1 = \frac{L_1 i_1^2}{2}$$

$$= \frac{\Phi_1 N_1}{2 i_1}$$

$$u_2 = \frac{\Phi_2 N_2}{2 i_2}$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{\Phi_1 N_1 i_2}{\Phi_2 N_2 i_1}$$

$$= \frac{\mu_2 N_2}{\mu_1 N_1}$$

$$= \frac{N_1^2}{N_2^2} = \frac{1}{4}$$

$$u_1 = \frac{L_1 i_1^2}{2}$$

$$= \frac{N_1^2 \mu_0 A i_1^2}{2 L}$$

$$u_1 = u_2$$

$$u_2 = \frac{L_2 i_2^2}{2}$$

$$= \frac{N_2^2 \mu_0 A i_2^2}{2 L}$$



$$4) \quad I = 0,015 \text{ A}$$

$$U_R = I \cdot R$$

$$= 60 \text{ V}$$

$$U_L = U - U_R$$

$$= 180 \text{ V}$$

$$5) \quad I = 5 \text{ A}$$

$$a. \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

$$= 0,05 \text{ T}$$

$$b. \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi b}$$

$$= 0,02 \text{ T}$$

$$c. \quad u = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

$$= \frac{0,05^2 - 0,02^2}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}$$

$$= 835,6 \text{ J/m}^3$$

$$V = \pi (0,05^2 - 0,02^2) 1000 \cdot 10^3$$

$$U = u \cdot V$$

$$= 5,51 \text{ MJ}$$

$$d. \quad F = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I_1 I_2 l b d\theta}{2\pi d} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l b}{b-a}$$

$$P = \frac{F}{A}$$



a.  $\phi = \int B dA$

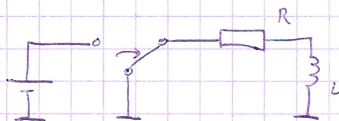
$$= l \int_0^l \int_r^{D-r} \frac{\mu_0 I}{2\pi y} dy dx$$

$$= \frac{l \mu_0 I}{\pi} \ln \left( \frac{D-r}{r} \right)$$

$$L = \frac{\phi}{I}$$

$$= \frac{l \mu_0}{\pi} \ln \left( \frac{D-r}{r} \right)$$

b.  $U = \frac{L i^2}{2}$



$$R = \frac{2 \rho l}{A} = 0,054 \Omega$$

$$L = \frac{l \mu_0}{\pi} \ln \left( \frac{D-r}{r} \right) = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

$$L \frac{dI}{dt} + RI = 0 \quad \Rightarrow \quad I(t) = I(0) e^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$I_0 = \frac{E}{R} = 185 \text{ A}$$

$$I(20 \mu\text{s}) = 167,8 \text{ A}$$

$$U = \frac{L i^2}{2} = 0,156 \text{ J}$$

## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H32 – Elektromagnetische golven

#### H33 – Licht en de wetten van de geometrische optica

1. Een 100 kW radiostation zendt elektromagnetische golven uit in alle richtingen via een antenne op de top van een berg. Wat is de intensiteit van het signaal op een afstand van 10 km?  
A.  $3 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$   
B.  $0.8 \text{ W/m}^2$   
C.  $8 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$   
D.  $2.5 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$   
E.  $8 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$
2. Op een afstand van 20 km van een radiozender vandaan, bedraagt de amplitude van het elektrische veld 0,20 V/m. Hoeveel bedraagt het totale vermogen dat door deze zendinstallatie wordt uitgezonden? Benader de zender als een puntbron die sferische golven uitzendt.  
A. 0,09 MW  
B. 0,18 MW  
C. 0,27 MW  
D. 0,53 MW  
E. 0,85 MW
3. Hoeveel elektromagnetische energie bevat 1 kubieke meter dichtbij het aardoppervlak wanneer de intensiteit van het zonlicht onder heldere hemel gelijk is aan  $1000 \text{ W/m}^2$ ?  
A.  $3,3 \times 10^{-6} \text{ J}$   
B. 3,3 J  
C. 0,003 J  
D.  $1 \times 10^{-4} \text{ J}$   
E.  $3,0 \times 10^5 \text{ J}$
4. De intensiteit van de zonnestrallen op aarde is gelijk aan  $1350 \text{ W/m}^2$ . De straal van de aarde is gelijk aan  $6,4 \times 10^6 \text{ m}$ . Welke kracht oefent deze straling uit op de aarde? Veronderstel hierbij dat alle zonnestraling geabsorbeerd wordt door de aarde.  
A.  $5,8 \times 10^8 \text{ N}$   
B.  $1,2 \times 10^9 \text{ N}$   
C.  $2,3 \times 10^9 \text{ N}$   
D.  $4,6 \times 10^9 \text{ N}$   
E.  $1,7 \times 10^{17} \text{ N}$
5. Het filament van een gloeilamp heeft een weerstand van  $150 \Omega$ . De gloeilamp is aangesloten op de enkelfasige netspanning ( $V_{\text{rms}} = 230 \text{ V}$ ) en straalt 0,5 % van het toegeleverde elektrische vermogen uit als elektromagnetische straling met frequentie  $f$ . Indien de lamp bedekt is met een filter die alle andere frequenties absorbeert, wat is dan de resulterende stralingsdruk op een perfect absorberend oppervlak op 2,00 m afstand van de lamp?  
A.  $5,09 \times 10^{-13} \text{ N/m}^2$   
B.  $1,75 \times 10^{-10} \text{ N/m}^2$   
C.  $7,63 \times 10^{-13} \text{ N/m}^2$   
D.  $1,17 \times 10^{-10} \text{ N/m}^2$   
E.  $2,34 \times 10^{-10} \text{ N/m}^2$

6. Licht dat onder een hoek van  $67,4^\circ$  (t.o.v. van de normaal) invalt op diamant, blijkt na reflectie volledig gepolariseerd. Bereken de kritische hoek voor totale inwendige reflectie in de diamant.

- A.  $32,6^\circ$
- B.  $22,6^\circ$
- C.  $24,6^\circ$
- D.  $48,8^\circ$
- E.  $41,2^\circ$

7. Het aantal totale interne reflecties in 100 meter naakte optische vezel (omgeven door lucht) met een diameter van  $50\text{ }\mu\text{m}$  en met brekingsindex 1,6 is voor een lichtstraal die de vezel centraal binnentreedt onder een hoek van  $30^\circ$  met de normaal ongeveer gelijk aan

- A. 0 (er treedt geen totale interne reflectie op voor deze straal)
- B. 2400
- C. 240000
- D. 660000
- E. 1310000

8. Lineair gepolariseerde microgolven vallen in op een polarisatiegevoelige detector die zodanig is opgesteld dat de gedetecteerde intensiteit maximaal is ( $I = I_{\text{max}}$ ). Vervolgens wordt de detector  $90^\circ$  gedraaid ten opzichte van de polarisatierichting van de invallende golven, zodat er géén signaal meer gedetecteerd wordt ( $I = 0$ ). Tenslotte plaatst men vóór de detector een tralie van evenwijdige koperdraden. Welke intensiteit wordt gedetecteerd als de koperdraden een hoek van  $45^\circ$  maken met de polarisatierichting van de microgolven?

- A.  $I = 0$
- B.  $I = 0,25 I_{\text{max}}$
- C.  $I = 0,50 I_{\text{max}}$
- D.  $I = 0,71 I_{\text{max}}$
- E.  $I = I_{\text{max}}$

### H32

$$1) \quad I = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{100 \cdot 10^3}{4\pi (10^4)^2}$$

$$= 8 \cdot 10^{-5} \frac{W}{m^2}$$

$$c) \quad I = \frac{E^2}{2c\mu_0}$$

$$= \frac{0,2^2}{2 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 5,3 \cdot 10^{-5} \frac{W}{m^2}$$

$$P = I \cdot A$$

$$= 5,3 \cdot 10^{-5} \cdot 4\pi (20 \cdot 10^3)^2$$

$$= 0,27 \text{ MW}$$

$$3) \quad u = \frac{I}{c}$$

$$= \frac{1000}{3 \cdot 10^8} = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$4) \quad P_{\text{rad}} = \frac{I}{c} = 4,5 \cdot 10^{-6} \frac{N}{m^2}$$

$$F_{\text{tot}} = P_{\text{rad}} \cdot A$$

$$= 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot (6,4 \cdot 10^6)^2 \pi$$

$$= 5,79 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$5) \quad I = \frac{P}{A} = \frac{U^2}{R 4\pi r^2}$$

$$= 0,005 \cdot \frac{230^2}{150 \cdot 4\pi \cdot 2^2}$$

$$= 0,035 \frac{W}{m^2}$$

$$P_{\text{rad}} = \frac{I}{c}$$

$$= 1,17 \cdot 10^{-10} \frac{N}{m^2}$$

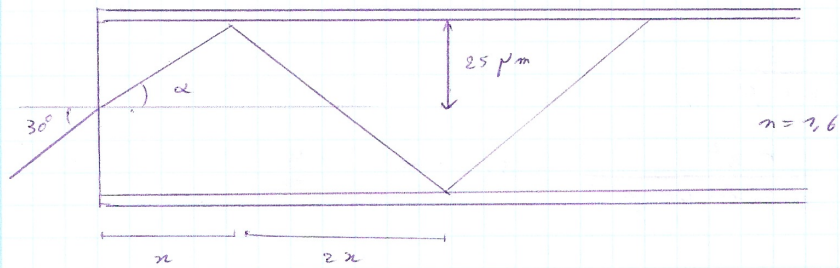


Def 6

$$\tan \theta_p = \frac{n_b}{n_a} \rightarrow \frac{n_b}{n_a} = 2,4$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_a}{n_b} \rightarrow \theta_c = 24,6^\circ$$

7)



$$\sin 30^\circ = 1,6 \sin \alpha$$

$$\alpha = 18,2^\circ$$

$$x = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{\tan 18,2^\circ}$$

$$\# \text{ reflections} = \frac{L}{2x}$$

$$= 657,567$$

8)

$$I_m \rightarrow \left| I_m \cos^2 \frac{\pi}{4} \right| \rightarrow \left( I_m \cos^2 \frac{\pi}{4} \right) \cos^2 \frac{\pi}{4} = \frac{I_m}{4}$$

## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H35 – Interferentie

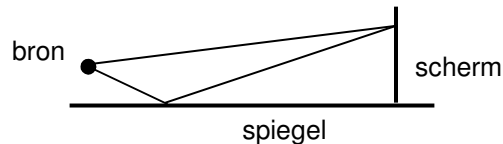
### H36 – Diffractie

1. In een dubbele-spleet-experiment is de afstand tussen de spleten 0,2 mm en de afstand tot het scherm 100 cm. Wat is het faseverschil tussen de twee interfererende golven in een punt dat 5 mm van het centrale maximum ligt? De golflengte van de gebruikte monochromatische lichtbron bedraagt 400 nm.

- A.  $90^\circ$
- B.  $180^\circ$
- C.  $270^\circ$
- D.  $360^\circ$
- E.  $160^\circ$

2. In onderstaande figuur bevindt de bron zich 1 cm boven de spiegel en op een afstand van 100 m van het scherm. Bereken de afstand van de eerste heldere franje tot de spiegel. De golflengte van het licht is 500 nm.

- A. 2,50 mm
- B. 2,00 mm
- C. 1,75 mm
- D. 1,50 mm
- E. 1,25 mm



3. Een dunne plasticfolie ( $n = 1,6$ ) wordt tussen twee glasplaten geplaatst om de transmissie in het infrarood ( $\lambda = 700$  nm) te verminderen. Welke dikte moet de folie hebben om constructieve interferentie te verkrijgen in de gereflecteerde straling?

- A. 218 nm
- B. 55 nm
- C. 109 nm
- D. 318 nm
- E. 443 nm

4. Terwijl men één van de spiegels van een Michelson-interferometer verplaatst, noteert men in een bepaald punt van het scherm een verschuiving van 92 franje-paren (anders gezegd: men ziet op die plaats 92 heldere franjes passeren). Indien een lichtbron met golflengte 550 nm wordt gebruikt, bepaal dan over welke afstand de spiegel is verplaatst.

- A.  $15,2 \mu\text{m}$
- B.  $25,3 \mu\text{m}$
- C.  $32,6 \mu\text{m}$
- D.  $37,8 \mu\text{m}$
- E.  $42,3 \mu\text{m}$

5. Vlakke ultrasoongolven ( $f = 50$  kHz) vallen in op een vlakke plaat met daarin een spleet met breedte 1 cm. Wat is de totale hoekbreedte ( $2\theta$ ) van de centrale diffractiepiek, als de snelheid van de ultrasoongolven 340 m/s bedraagt?

- A.  $42,8^\circ$
- B.  $85,7^\circ$
- C.  $23,2^\circ$
- D.  $19,9^\circ$
- E.  $39,8^\circ$

6. Licht van een natriumlamp valt in op een diffractierooster met 1000 lijnen/cm. Bereken de hoekseparatie tussen de hoofdmaxima van de tweede orde voor de twee spectraallijnen van het natriumdublet ( $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$  ;  $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$ ).

- A.  $1,21 \times 10^{-4} \text{ rad}$
- B.  $6,9 \times 10^{-3} \text{ rad}$
- C.  $0,1178 \text{ rad}$
- D.  $3,5 \times 10^{-3} \text{ rad}$
- E.  $6,0 \times 10^{-5} \text{ rad}$

7. Hoeveel lijnen moet een diffractierooster hebben om de golflengtes 400,0 nm en 400,1 nm te kunnen onderscheiden in het tweede-orde-spectrum?

- A. 200
- B. 400
- C. 1000
- D. 2000
- E. 4000

8. Beschouw een dubbelspleetexperiment met afstand  $d$  tussen de middens van de spleten, een afstand  $L$  tussen het scherm en beide spleten ( $L \gg d$ ) en invallend monochromatisch licht met een golflengte  $\lambda$ . Een dunne transparante folie met brekingsindex  $n$  en dikte  $t$  wordt over de bovenste spleet geplaatst.

- a) Kwalitatief: Leg uit hoe en waarom het interferentiepatroon wijzigt.
- b) Kwantitatief: Noem  $y'$  de afstand waarover het nulde-orde maximum verschuift. Bereken  $y'$  voor  $d = 0,8 \text{ mm}$ ,  $L = 120 \text{ cm}$ ,  $\lambda = 700 \text{ nm}$ ,  $t = 0,025 \text{ mm}$ , en  $n = 1,40$ . Verwaarloos het effect van lichtbreking in de folie en ga er van uit dat lichtstralen loodrecht invallen op de folie.
- c) De transparante folie wordt verwijderd uit de opstelling. Schets het nieuwe intensiteitsverloop van het interferentiepatroon, wanneer de spleten een eindige breedte  $a = d/3$  hebben.

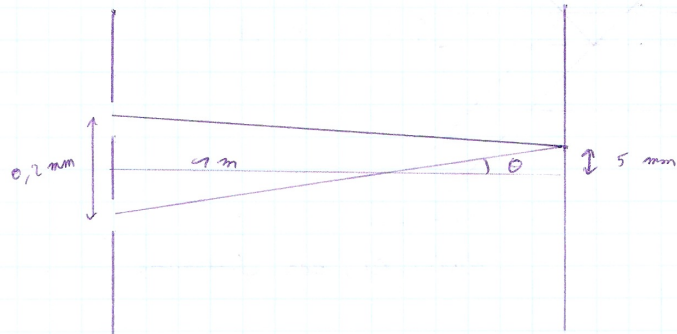
9. Het sferisch oppervlak van een platbolle lens is in contact met een dikke planparallelle glazen plaat. Het geheel is ondergedompeld in een heldere vloeistof met brekingsindex  $n_v = 1,63$ . De brekingsindex van de lens is  $n_1 = 1,50$  en deze van de glasplaat  $n_2 = 1,70$ . De kromtestraal van het bolle oppervlak van de lens is 2,00 m. Een evenwijdige lichtbundel ( $\lambda_0$  in vacuüm = 500 nm) valt loodrecht in op de vlakke zijde van de lens.

Noot: Beschouw de centrale vlek als de eerste (heldere of donkere) ring.

- a) Bereken de diameter van de vierde donkere ring van Newton in gereflecteerd licht. Is de centrale vlek helder of donker? (Formule voor ringdiameter eerst afleiden!)
- b) Bereken de diameter van de vierde donkere ring van Newton in transmissie. Is de centrale vlek helder of donker?

H 35

1)

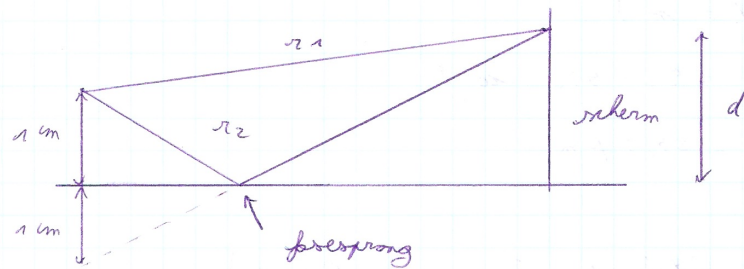


$$\sin \theta = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta d = d \sin \theta$$

$$= 2,5 \lambda \Rightarrow 180^\circ \text{ mit fase}$$

2)



$$2 d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad m=0$$

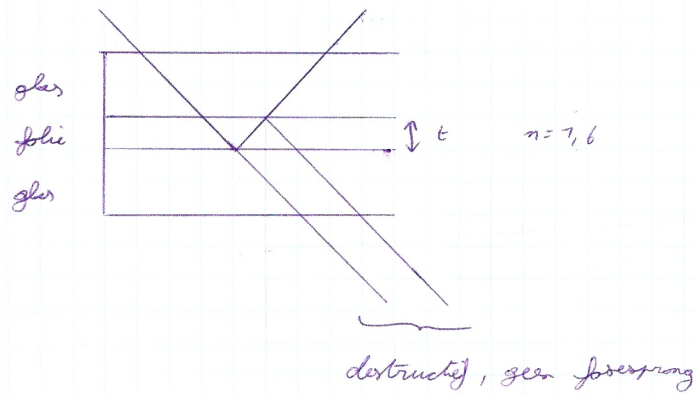
$$y = L \sin \theta$$

$$= \frac{L \lambda}{4 d}$$

$$= 1,25 \text{ mm}$$



3)



$$2t = (2m + 1) \frac{\lambda}{2n} \quad m = 0$$

$$t = \frac{\lambda}{4n}$$

$$= 109 \text{ nm}$$

4)

$$2d = m\lambda$$

$$= 92 \cdot 550 \cdot 10^{-9}$$

$$d = 25,3 \text{ } \mu\text{m}$$

5)

$$\text{destr. interferentie als } a \sin \theta = m\lambda$$

$$f = 50 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow \lambda = 6,8 \text{ mm}$$

$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$\theta = \arcsin \frac{\lambda}{a} = 42,84^\circ$$

$$2\theta = 85,7^\circ$$

$$6) \quad d = \frac{0,01}{1000} = 10^{-5} \text{ m}$$

$$d \sin \theta_1 = 2\lambda_1$$

$$\theta_1 = 0,118074 \text{ rad}$$

$$d \sin \theta_2 = 2\lambda_2$$

$$\theta_2 = 0,118195 \text{ rad}$$

$$\Delta \theta = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

$$7) \quad N \cdot m = \frac{1}{\Delta \lambda}$$

$$N = 2000$$

$$8) \quad \text{extra afgelegde optische weg} \quad \Delta t = t(n-1)$$

$$t(n-1) - r \sin \theta = 0$$

$$\sin \theta = \frac{0,025 \cdot 10^{-3} (1,5 - 1)}{0,008}$$

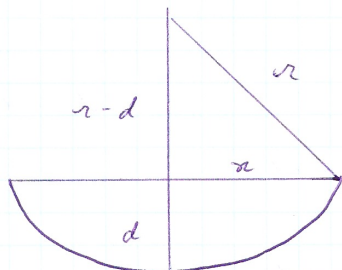
$$= 0,0125$$

$$y' = L \sin \theta$$

$$= 1,2 \cdot 0,0125$$

$$= 0,015 \text{ m}$$

9



$$x^2 = r^2 - (r-d)^2$$

$$= 2rd - d^2$$

$$\approx 2rd$$

$$2d = \frac{m\lambda}{n}$$

$$x = \sqrt{\frac{r m \lambda}{n}}$$

## OEFENINGEN NATUURKUNDE II

### H37 – Relativiteit

1. Een vliegtuig heeft een lengte van 40,0 m (gemeten op de grond, bij stilstand van het vliegtuig). Het vliegtuig vliegt met een snelheid van 630 m/s.
  - a) Bereken de relatieve lengteverandering voor een waarnemer op de grond.
  - b) Hoelang duurt het vooraleer een klok aan boord van het vliegtuig  $1,00 \mu\text{s}$  achterloopt op een aardse klok?
  
2. Passagier Pam staat in het midden van een lange treinwagon waarop aan beide uiteinden een kleine hoeveelheid springlading is vastgemaakt. De wagon passeert met een snelheid van  $0,8 c$  thuisblijver Tom die langs de sporen staat. De lichtflitsen van de ontploffingen van de springladingen bereiken Tom gelijktijdig  $1 \mu\text{s}$  na het ogenblik dat Pam hem passeert. Later vindt Tom brandmerken van de explosies op de sporen op 300 m aan weerszijden van waar hij eerder stond.
  - a) Wat is, volgens Tom, de afstand tussen de twee explosies, en op welke tijdstippen vinden die plaats relatief ten opzichte van het ogenblik dat Pam hem passeert?
  - b) Wat is, volgens Pam, de afstand tussen de twee explosies, en op welke tijdstippen vinden die plaats relatief ten opzichte van het ogenblik dat Tom haar passeert?
  
3. Een waarnemer S registreert in zijn rustassenstelsel een rode lichtflits op 1200 m afstand en kort daarna een blauwe lichtflits 720 m dicht, op dezelfde lijn. Het door S gemeten tijdsinterval tussen beide lichtflitsen bedraagt  $5,00 \mu\text{s}$ .
  - a) Wat is de relatieve snelheid t.o.v. S van een waarnemer S' die de lichtflitsen op dezelfde plaats registreert?
  - b) Welk tijdsinterval meet S' tussen de lichtflitsen?
  
- 4.. Twee ruimteschepen, elk met een eigenlengte van 20 m, vliegen elkaar voorbij in dezelfde richting in tegengestelde zin met een snelheid gelijk aan  $0,80 c$  t.o.v. het aardse assenstelsel S. De piloot van het ene ruimteschip zendt een oranje lichtsignaal (590 nm) naar de piloot van het andere ruimteschip.
  - a) Bepaal de relatieve snelheid van de ruimteschepen t.o.v. elkaar.
  - b) Bereken het tijdsinterval voor de klok van ruimteschip 1 die verstrijkt wanneer ruimteschip 2 voorbijvliegt (van boeg samenvallend tot staart samenvallend).
  - c) Wat is deze tijd in het assenstelsel van de aardse waarnemer?
  - d) Wat is de golflengte van de lichtsignalen die de piloot in het andere ruimteschip waarneemt voor en na het kruisen van de ruimteschepen?
  
5. De gemiddelde levensduur van muonen in hun rustassenstelsel bedraagt  $2,20 \mu\text{s}$ . Een laboratoriummeting aan muonen uit een deeltjesversneller levert een levensduur van  $6,90 \mu\text{s}$ . De massa van een muon is 207 maal die van een elektron.
  - a) Wat is de kinetische energie van de muonen?
  - b) Wat is de impuls van de muonen?
  
6. Tijdens een experiment treedt een positronannihilatie op, d.w.z. dat een elektron en een positron met elkaar botsen en volledig worden omgezet in twee gamma-fotonen. In het referentiestelsel van het laboratorium hebben het elektron en het positron dezelfde snelheid  $v$  en botsen ze met elkaar onder een loodrechte botsingshoek. De twee vrijgekomen fotonen hebben dezelfde energie  $E_\gamma$  en worden na de botsing uitgezonden onder een hoek van  $120^\circ$  t.o.v. elkaar.
  - a) Bepaal de snelheid  $v$  van het elektron en het positron. (Hint: maak gebruik van het behoud van impuls.)
  - b) Hoe groot is de energie  $E_\gamma$  van elk foton?
  - c) Wat was de snelheid van het positron relatief t.o.v. het elektron net voor de botsing?



1137

12)

$$l = 30 \sqrt{1 - \left( \frac{630}{3 \cdot 10^8} \right)^2}$$

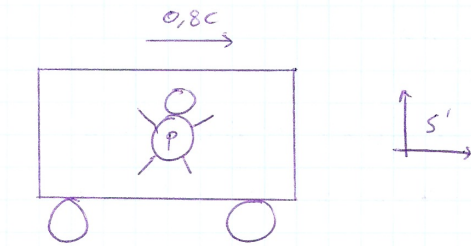
$$\frac{l_0 - l}{l_0} = 2,2 \cdot 10^{-12}$$

b)  $t - t_0 = 10^{-6}$

$$t_0 = \frac{10^{-6}}{\gamma - 1}$$

$$= 4,5 \cdot 10^5$$

2)



a

$$(x_1, t_1) = (300, 0)$$

$$\Delta x = 600$$

$$(x_2, t_2) = (-300, 0)$$

$$\Delta t = 0$$

b)

$$x' = \gamma (x - vt)$$

$$\Delta x' = \gamma (\Delta x - v \Delta t)$$

$$= \frac{600}{\sqrt{1-0,8^2}}$$

$$= 1000 \text{ m}$$

$$t_1' = \gamma \left( t - \frac{xv}{c^2} \right)$$

$$= \frac{-300 \cdot 0,8}{c \sqrt{1-0,8^2}}$$

$$= -1,33 \text{ } \mu\text{s}$$

$$t_2' = 1,33 \text{ } \mu\text{s}$$

3a)

$$\Delta x' = \gamma (\Delta x - v \Delta t) = 0$$

$$-720 - v \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 0$$

$$v = -0,48 c$$

b)

$$\Delta t' = \gamma \left( \Delta t - \frac{\Delta x v}{c^2} \right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-0,48^2}} \left( -5 \cdot 10^{-6} + \frac{720 \cdot 0,48}{3 \cdot 10^8} \right)$$

$$= -4,39 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

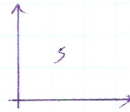
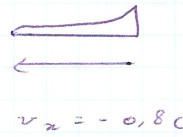
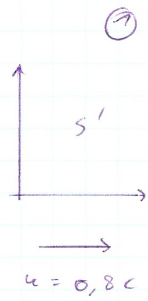
$$\text{event 1 : } (1200, 0)$$

$$\text{event 2 : } (480, 5 \cdot 10^{-6})$$

$$\Delta x = 720 \text{ m}$$

$$\Delta t = -5 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

4a)



$$v_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{v_x u}{c^2}}$$

$$= \frac{-0,8c - 0,8c}{1 + 0,64} = -0,975c$$

b) Länge von ② vanuit ①

$$l' = 20 \sqrt{1 - 0,975^2}$$

$$= 9,44 \text{ m}$$

$$\Delta t' = \frac{l_0 + l'}{v_x'} = \frac{20 + 9,44}{0,975c}$$

$$= 8,35 \cdot 10^{-8}$$

zelf

$$c) \quad \Delta t = \gamma \left( \Delta t' + \frac{u \Delta x'}{c^2} \right) \quad \Delta t' = 8,35 \cdot 10^{-8}$$

$$= 3,066 \cdot 10^{-8} \text{ s} \quad \Delta x' = -(20 + 9,44)$$

$$= 5 \cdot 10^{-8} \text{ s} \quad (\text{voor } \Delta x' = -20)$$

Prof

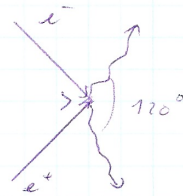
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = \frac{3}{5} l_0$$

$$\Delta t_0 = \frac{l}{u} = \frac{\frac{3}{5} l_0}{\frac{4}{5} c} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

5) zu Minerva

6) a. Behold von impuls

$$(1) \quad 2 m v \gamma \cos 45^\circ = 2 \frac{h}{\lambda} \cos 60^\circ$$



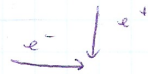
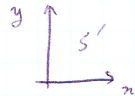
Behold von energie

$$(2) \quad 2 m c^2 \gamma = 2 E_\gamma \\ = 2 \frac{h c}{\lambda}$$

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{v}{c^2 \sqrt{2}} = \frac{1}{2c} \\ v = \frac{c}{\sqrt{2}}$$

$$b. \quad E_\gamma = \gamma m c^2 = \sqrt{2} m_e c^2 \\ = 722,8 \text{ keV}$$

c.



$e^-$  in  $S'$   
lab. in  $S$

$$v_y = -\frac{c}{\sqrt{2}}$$

$$u_y = 0$$

$$v_x = 0$$

$$u_x = \frac{c}{\sqrt{2}}$$

$$v_x' = \frac{v_x - u_x}{1 - \frac{v_x u_x}{c^2}} \\ = -\frac{c}{\sqrt{2}}$$

$$v_y' = \frac{v_y}{\gamma} \\ = -\frac{c}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{1}{2}} \\ = -\frac{c}{2}$$