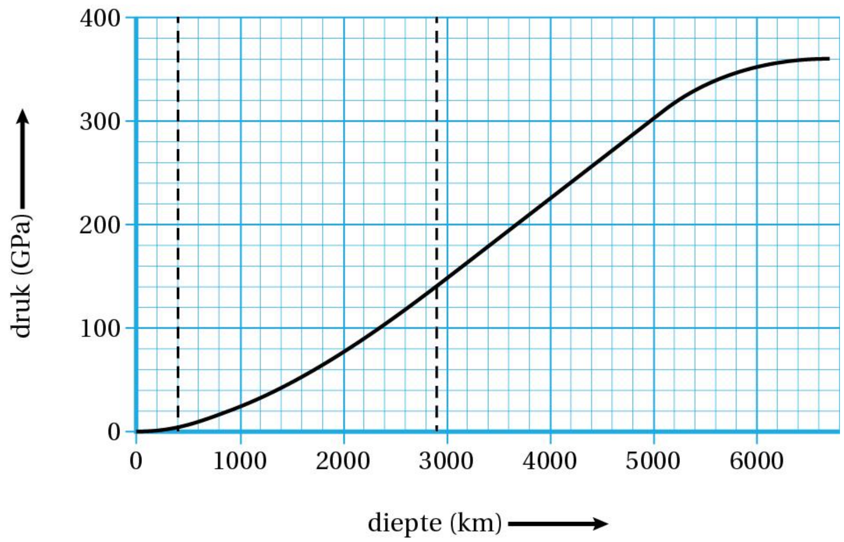
B.1 Inwendige van de aarde

Opgave 1

a De druk in de buitenmantel is lager dan de druk in de binnenmantel.
De deeltjes in de buitenmantel worden daardoor minder op elkaar gedrukt.
De buitenmantel is daardoor meer vervormbaar dan de binnenmantel.

b Zie figuur B.1. *Opmerking: eerste verticale stippellijn klopt niet, want die moet op 40 km staan i.p.v. 400 km*



Figuur B.1

c De oppervlakte per pixel bereken je uit de totale oppervlakte van het scherm en het totaal aantal pixels.

$A_{scherm} = \ell \cdot b$
ℓ = 8,86 cm = $8{,}86 \cdot 10^{-2}$ m (Afstemmen eenheden)
b = 4,98 cm = $4{,}98 \cdot 10^{-2}$ m (Afstemmen eenheden)
$A = 8{,}86 \cdot 10^{-2} \times 4{,}98 \cdot 10^{-2} = 4{,}41228 \cdot 10^{-3}$ m^2

Totaal aantal pixels = $1136 \times 640 = 7{,}2704 \cdot 10^5$

Oppervlakte per pixel: $\dfrac{4{,}41228 \cdot 10^{-3}}{7{,}2704 \cdot 10^{5}} = 6{,}06882 \cdot 10^{-9}$ m^2

Afgerond: = $6{,}07 \cdot 10^{-9}$ m^2

d De massa bereken je met de formule voor de zwaartekracht.
De zwaartekracht bereken je met de formule voor de druk.

$$p = \frac{F_{zw}}{A}$$

p = 360 GPa = $360 \cdot 10^9$ Pa (Aanpassen eenheden)
$A = 6{,}07 \cdot 10^{-9}$ m^2 (Zie vraag a)

$$360 \cdot 10^9 = \frac{F}{6{,}07 \cdot 10^{-9}}$$

$F_{zw} = 2{,}1852 \cdot 10^3$ N

$F_{zw} = m \cdot g$
g = 9,81 m/s^2
$2{,}1852 \cdot 10^3 = m \cdot 9{,}81$
$m = 2{,}2275 \cdot 10^2$ kg
Afgerond: m = 223 kg

Opgave 2

a r_{aarde} = 6,371·10^6 m (BINAS tabel 31)
m_{aarde} = 5,972·10^{24} kg (BINAS tabel 31)

b De dichtheid bereken je met de formule voor de dichtheid.
Het volume van de aarde is het volume van een bol.

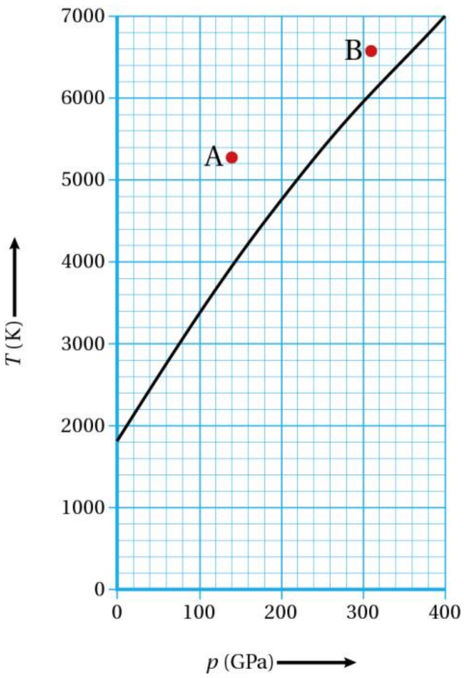
$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ (Zie BINAS tabel 36B)
r = 6,371·10^6 m
$V = \frac{4}{3}\pi \times (6{,}371 \cdot 10^6)^3$
V = 1,0832·10^{21} m^3

$\rho = \frac{m}{V}$
m = 5,972·10^{24} kg
$\rho = \frac{5{,}972 \cdot 10^{24}}{1{,}0832 \cdot 10^{21}}$
ρ = 5,5132·10^3 kg/m^3
Afgerond: ρ = 5,513·10^3 kg/m^3

c De kern bestaat uit ijzer en nikkel, maar de mantel niet.
De mantel bestaat uit materiaal met een kleinere dichtheid.
Het volume van de kern maakt maar een relatief klein gedeelte uit van het totale volume van de aarde.
Gemiddeld komt de dichtheid van de hele aarde daardoor veel lager uit dan de dichtheid van de kern.

Opgave 3

a In figuur B.2 zie je de punten A en B.
Punt A hoort bij 140 GPa en t = 5000 °C = 5273 K.
Punt B hoort bij 310 GPa en t = 6300 °C = 6573 K.



Figuur B.2

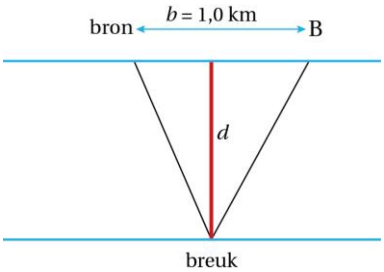
Het ijzer in de buitenkern bevindt zich in de fase van het diagram dat boven de grafiek ligt.
Die fase heeft een hoge temperatuur bij een lage druk en is daarom de vloeistoffase.

Opgave 4

a De diepte van de breuk bereken je met de stelling van Pythagoras.
De afstand die de golf heeft afgelegd, bereken je de formule voor de snelheid.

$s = v \cdot t$
v = 2,8 km/s = 2,8·10³ m/s (Afstemmen eenheden)
t = 4,3 s
s = 1,204·10⁴ m

Zie figuur B.3. De afstand bron-breuk-B is gelijk aan $s = 1{,}204 \cdot 10^4$ m.



Figuur B.3

Volgens de stelling van Pythagoras geldt voor de diepte d :

$d^2 + \left(\tfrac{1}{2}b\right)^2 = \left(\tfrac{1}{2}s\right)^2$

$s = 1{,}204 \cdot 10^4$ m
$b = 1{,}0$ km $= 1{,}0 \cdot 10^3$ m (Afstemmen eenheden)

$d^2 + \left(\tfrac{1}{2} \times 1{,}0 \cdot 10^3\right)^2 = \left(\tfrac{1}{2} \times 1{,}204 \cdot 10^4\right)^2$

$d = 5{,}999 \cdot 10^3$ m
Afgerond $d = 6{,}0 \cdot 10^3$ m

b Tussen de breuk en het aardoppervlak kan een verstoring zitten.
Hierdoor komt de uitgezonden trilling niet goed bij de breuk aan of
de weerkaatste trilling bereikt de geofoon niet.

B.2 Bewegingen van de aarde

Opgave 5

a *Trillingsrichting*
Longitudinale golven: de uitwijking is in de bewegingsrichting van de golf.
Transversale golven: de uitwijking is loodrecht op de bewegingsrichting van de golf.

Medium
Longitudinale golven kunnen zich voortplanten door vaste stoffen en vloeistoffen.
Transversale golven kunnen zich alleen voortplanten door vaste stoffen.

Snelheid
Longitudinale golven verplaatsen zich sneller dan transversale golven.

b De golflengte bereken je met de formule voor de golfsnelheid.

$v = f \cdot \lambda$
v = 3,4 km/s = 3,4·10^3 m/s (Afstemmen eenheden)
f = 1,2 Hz
$3{,}4 \cdot 10^3 = 1{,}2 \cdot \lambda$
$\lambda = 2{,}833 \cdot 10^3$ m
Afgerond: $\lambda = 2{,}8 \cdot 10^3$ m

Opgave 6

Een logaritmische schaal betekent dat elke toename van 1 punt op de schaal van Richter een vergroting met een factor 10 op de seismograaf tot gevolg heeft.
De sterkte neemt met 7 punten toe; de uitwijking neemt dus met een factor 10^7 toe.
De uitwijking is $10^7 \times 1{,}0 \cdot 10^{-6} = 10$ m.

Opgave 7

a De afstand tot het epicentrum ligt vast.
De richting naar het epicentrum is onbepaald.
Het epicentrum ligt daarom op een cirkel met het meetstation als middelpunt.

b Twee meetstations leveren twee elkaar snijdende cirkels op.
Een van de twee snijpunten is het epicentrum.
Een derde meetstation levert nog een cirkel op die door een van de twee snijpunten gaat.
Daarmee ligt de plaats van het epicentrum vast.

Opgave 8

a De afstand van het epicentrum tot het meetstation volgt uit het tijdsverschil tussen de P- en de S-golf bij meetstation Winterswijk.

$s \approx 8 \cdot Dt$
Δt = 30,5 – 17,5 =13,0 s

$s \approx 8 \times 13{,}0 \text{km}$ = 104 km
Dus s is ongeveer 100 km

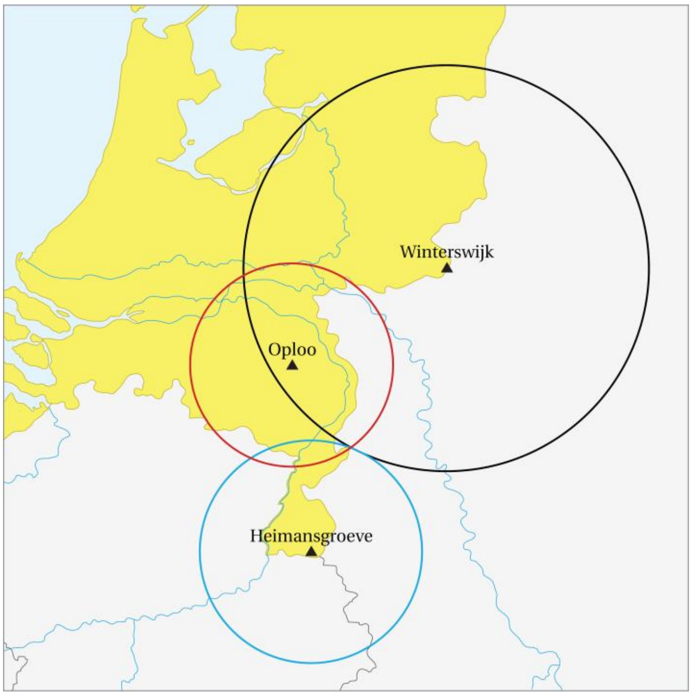
b Het epicentrum is het snijpunt van de drie cirkels met de drie meetstations als middelpunt.
De straal van de cirkels bepaal je op dezelfde manier als bij opgave a.
Winterswijk: s_W » 100 km

Heimansgroeve:
$s \approx 8 \cdot Dt$
$\Delta t = 13{,}0 - 8{,}2 = 4{,}8\ s$
$s_H \approx 38\ km$

Oploo:
$s \approx 8 \cdot Dt$
$\Delta t = 13{,}0 - 7{,}8 = 5{,}2\ s$

$s_O \approx 42\ km$
De schaalfactor van de kaart is 1 : 2 500 000, dus 1 cm komt overeen met 25 km.
r_W = 4,0 cm
r_H = 1,5 cm
r_O = 1,7 cm

De drie lijnen snijden net niet op 1 punt (zoals in figuur B.4 had gemoeten), maar dat ligt aan de meetonnauwkeurigheid. De beving zal hebben plaatsgevonden in de buurt van Roermond.
De registraties zijn afkomstig van de beving op 13 april 1992.
Die had een sterkte van 5,8 op de schaal van Richter.



Figuur B.4

Opgave 9

a De afstand AW bereken je met de stelling van Pythagoras, als α = 90°

$AM^2 + WM^2 = AW^2$
AM = WM = R = $6{,}371 \cdot 10^6$ m (BINAS tabel 31)
$(6{,}371 \cdot 10^6)^2 + (6{,}371 \cdot 10^6)^2 = AW^2$
AW = $9{,}0099 \cdot 10^6$ m
Afgerond: AW = $9{,}0 \cdot 10^6$ m

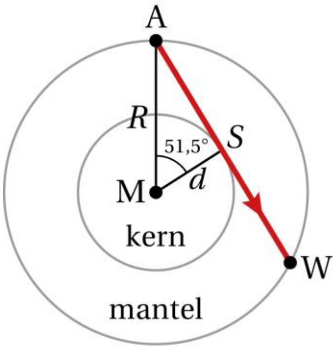
b De snelheid van de golf bereken je met de formule voor de snelheid.

$s = v \cdot t$
$s = 9{,}0 \cdot 10^6$ m
$t = 0{,}71 \cdot 10^3$ s (Aflezen bij α = 90° in figuur B17 van het katern)
$9{,}0 \cdot 10^6 = v \cdot 0{,}71 \cdot 10^3$
$v = 1{,}2676 \cdot 10^4$ m/s
Afgerond: $v = 1{,}3 \cdot 10^4$ m/s

c S-golven zijn transversale golven.
Transversale golven kunnen zich niet voortplanten in een vloeistof.
Als α = 103°, moet de golf zich door de kern voortplanten.
Dit gebeurt niet, dus is de kern in dit model een vloeistof.

d De straal van de aardkern bepaal je met de gegeven hoek en een goniometrische formule.

Zie figuur B.5.



Figuur B.5

Teken de loodlijn MS op lijn AW.
Er geldt:

$$\cos(\angle \text{AMS}) = \frac{\text{MS}}{\text{AM}} = \frac{d}{R}$$

$R = 6{,}371 \cdot 10^6$ m (BINAS tabel 31)

$$\angle \text{AMS} = \tfrac{1}{2} \cdot \angle \text{AMW} = \tfrac{1}{2} \times 103° = 51{,}5^{\text{o}}$$

$$\cos(51{,}5°) = \frac{d}{6{,}371 \cdot 10^6}$$

$d = 3{,}966 \cdot 10^6$ m
Afgerond: $d = 3{,}97 \cdot 10^6$ m

e $s = v \cdot t$
De afstand s blijft gelijk.
De golven doen er langer over dan verwacht. Dus is t groter dan verwacht.
De golfsnelheid van de P-golven in de aardkern is dus kleiner dan die in de aardmantel.

B.3 Zwaartekrachtsveld van de aarde

Opgave 10

a De valversnelling bereken je met de lokale valversnelling en de hoogtecorrectie.
De hoogtecorrectie bereken je met de formule voor de hoogtecorrectie in de lucht.

$$\Delta g_{\mathrm{h}} = -\frac{2}{R_{\mathrm{aarde}}} \cdot g \cdot h$$

R_{aarde} = 6,371·10⁶ m (BINAS tabel 31)

g = 9,8 m/s²

h =39 km = 39·10³ m (Afstemmen eenheden)

$$\Delta g_{\mathrm{h}} = -\frac{2}{6{,}371 \cdot 10^{6}} \times 9{,}8 \times 39 \cdot 10^{3}$$

Δg_h = −0,11998 m/s²

$g_h = g + \Delta g_h$

g_h = 9,8 – 0,119998 = 9,680 m/s²

Afgerond: g_h = 9,7 m/s²

Alternatief: rekenen met $g = \frac{GM}{R^2} = 6{,}6738.10^{-11} \cdot \frac{5{,}972.10^{24}}{(6{,}371.10^{6}+39.10^{3})^2} = 9{,}7\ m/s^2$

b Er geldt: $F_{zw} = m \cdot$ g
De massa van Baumgartner blijft gelijk.
De valversnelling neemt tijdens de val toe.
De zwaartekracht op Baumgartner neemt dus tijdens de val ook toe.
Tijdens de val wordt de luchtweerstandskracht telkens weer gelijk aan de zwaartekracht.
De luchtweerstandskracht op Baumgartner neemt tijdens de val dus ook toe.
Voor de luchtweerstand geldt: $F_{\mathrm{w,l}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{\mathrm{w}} \cdot A \cdot v^2$
ρ, C_w en A veranderen tijdens de val niet.
Als de luchtweerstand tijdens de val toeneemt, dan neemt de snelheid dus ook toe.

Opgave 11

a De valversnelling op de top van de berg bereken je met de lokale valversnelling en de hoogtecorrectie in de lucht en de hoogtecorrectie op een berg.

$$\Delta g_{\mathrm{h}} = -\frac{2}{R_{\mathrm{aarde}}} \cdot g \cdot h$$

R_{aarde} = 6,371·10⁶ m (BINAS tabel 31)

g = 9,78032 m/s² (BINAS tabel 30B)

h = 5895 m

$$\Delta g_{\mathrm{h}} = -\frac{2}{6{,}371 \cdot 10^{6}} \times 9{,}78032 \times 5895$$

Δg_h = −0,018099 m/s²

$$\Delta g_{\mathrm{B}} = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot R_{\mathrm{aarde}}^2}{M_{\mathrm{aarde}}} \cdot g \cdot h$$

ρ = 2,7·10³ kg/m³	(BINAS tabel 10A)
R_{aarde} = 6,371·10⁶ m	(BINAS tabel 31)
g = 9,78032 m/s²	(BINAS tabel 30B)
h = 5895 m	
M_{aarde} = 5,972·10²⁴ kg	(BINAS tabel 31)

$$\Delta g_{\mathrm{B}} = \frac{2\pi \times 2{,}7 \cdot 10^{3} \times (6{,}371 \cdot 10^{6})^2}{5{,}972 \cdot 10^{24}} \times 9{,}78032 \times 5895$$

Δg_B = 0,0066477 m/s²

$g_K = g + \Delta g_h + \Delta g_B$
g_K = 9,78032 − 0,018099 + 0,0066477 m/s²
g = 9,76887 m/s²
De uitkomst van Δg_h moet in vier significante cijfers worden weergegeven.
Dat zijn 5 cijfers achter de komma.
De uitkomst van Δg_B moet in twee significante cijfers worden weergegeven.
Dat zijn 4 cijfers achter de komma.
g heeft 5 cijfers achter de komma.
De uitkomst moet dus in vier cijfers achter de komma worden weergegeven.
Afgerond: g = 9,7689 m/s²

b Volgens BINAS tabel 10A is de dichtheid van zand kleiner dan die van graniet.
De hoogtecorrectie Δg_B op een berg is kleiner dan berekend bij a.
. Het antwoord op vraag a is dan te groot.

Opgave 12

a De bovenste spiegel moet in een vacuümkamer vallen om de invloed van de luchtweerstandskracht te minimaliseren. Dan is de resulterende kracht gelijk aan de zwaartekracht. De versnelling die het voorwerp ondervindt, is dan gelijk aan de valversnelling.

b Om te bepalen of de meting in Nederland heeft plaatsgevonden, vergelijk je de gemeten waarde van de valversnelling met de waarde van de valversnelling in Nederland.
De valversnelling bereken je met de gegeven formule.

$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
t = 0,24768 s
s = 30,00 cm = 0,3000 m (Afstemmen eenheden)
$0{,}3000 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot 0{,}24768^2$
g = 9,781 m/s²
In BINAS tabel 30B vind je dat in Nederland g > 9,8 m/s²
De meting heeft dus niet in Nederland plaatsgevonden.

Opgave 13

a De uitrekking van de veer bereken je met de formule voor de veerkracht.
De veerkracht volgt uit de zwaartekracht.
De zwaartekracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.

$F_{zw} = m \cdot g$
g = 9,8136 m/s² (BINAS tabel 30B)
m = 1,000 kg
F_{zw} = 9,8136 N

Als een massa in rust aan een veer hangt, is er evenwicht.
$F_{zw} = F_v$

$F_v = C \cdot u$
C = 39,20 N/m
F_v = 9,8136 N
9,8136 = 39,20 · u
u = 0,250346 m
Afgerond: u = 0,2503 m

b Het aantal significante cijfers bepaalt de afronding van de valversnelling.
Na afronding moet het verschil nog zichtbaar zijn.

g_R = 9,8136 m/s² (BINAS tabel 30B)
g_A = 9,8127534 m/s² (BINAS tabel 30B)
De afgeronde valversnellingen verschillen pas in de 3^e decimaal.
De uitrekking van de veer moet dan in 4 significante cijfers worden bepaald.

Opgave 14

a Gewichtsloos betekent dat de vloeistof geen krachten uitoefent op zijn omgeving.
De omgeving oefent dan ook geen krachten op de vloeistof uit.
Op de vloeistof werkt dan alleen nog de zwaartekracht.

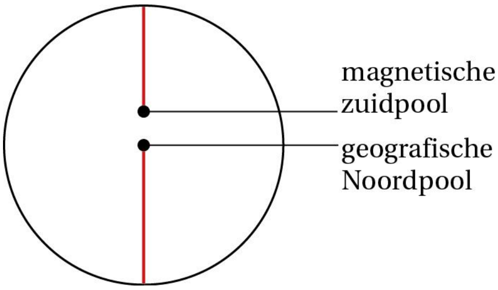
b Vanaf het moment dat de capsule los komt van de grond, werkt er alleen nog de zwaartekracht en geldt G = 0 N en is het genormaliseerde gewicht 0 N.
Zijn gewicht is dan nul.
Het diagram laat dus het hele experiment zien.

c Tijdens de vrije val werkt de zwaartekracht op de capsule. Dus is de versnelling gelijk aan g_0.
In de folder wordt bedoeld dat de afwijking in de valversnelling van de capsule gelijk is aan slechts $10^{-6} \cdot g_0$.

B.4 Aardmagnetisme

Opgave 15

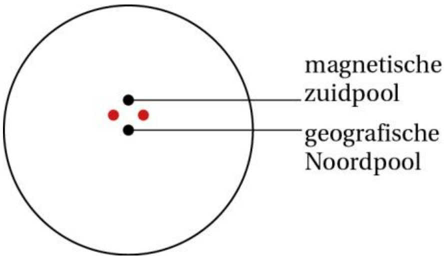
a Zie figuur B.6.



Figuur B.6

Toelichting
Als de declinatie 0º is, dan wijst de kompasnaald naar de geografische Noordpool.
Het naaldje wordt echter aangetrokken door de magnetische zuidpool.
De gevraagde punten liggen dus op een lijn door deze polen.
Het lijnstukje tussen de twee polen doet niet mee.
Daar wijst het kompasnaaldje naar de geografische zuidpool en is de declinatie 180º.

b Zie figuur B.7.

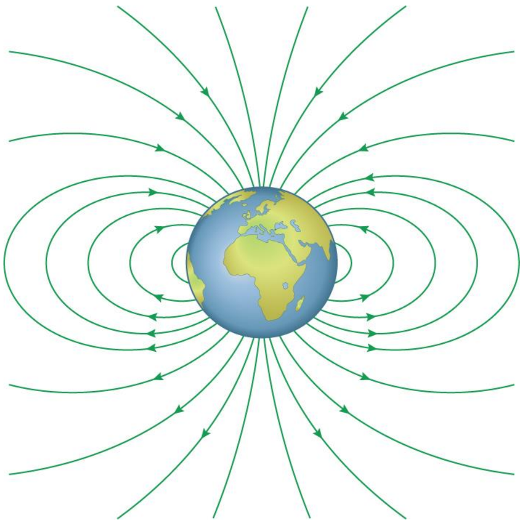


Figuur B.7

Als de declinatie 90º is, dan maakt de kompasnaald een hoek van 90º met de geografische Noordpool.
Het naaldje wordt aangetrokken door de magnetische zuidpool.
Beide polen moeten dus op de hoekpunten van een vierkant liggen.
De gevraagde punten liggen dan op de andere twee hoekpunten.

Opgave 16

a Magnetische veldlijnen lopen van de magnetische noordpool naar de magnetische zuidpool.
Dus min of meer van de geografische Zuidpool naar de geografische Noordpool.
Zie figuur B.8.



Figuur B.8

b Het naaldje wijst altijd naar de magnetische zuidpool die in de buurt van de geografische Noordpool ligt. De kompasnaald draait dus niet om bij het passeren van de evenaar.

c Een kompasnaaldje richt zich langs de raaklijn aan een magnetische veldlijn en wijst naar de magnetische zuidpool in de buurt van de geografische Noordpool. Dit is de aarde ingericht in Nederland. De kop van de spijker (de onderkant op het plaatje) gedraagt zich dus als een noordpool.

d Als de spijker vrijwel horizontaal hangt, is de inclinatiehoek 0º.
De veldlijnen van het aardmagnetisch lopen dan evenwijdig met het aardoppervlak.
Dat is het geval op de evenaar.

e Als de spijker vrijwel verticaal hangt, dan is de inclinatiehoek +90º of −90º.
Dat is het geval op de magnetische polen.

Opgave 17

a De grootte van het magnetisch veld bereken je met behulp van de stelling van Pythagoras.

$$B^2 = B_\text{h}^2 + B_\text{v}^2$$

$B_\text{h} = 1{,}9 \cdot 10^{-5}$ T
$B_\text{v} = 4{,}5 \cdot 10^{-5}$ T

$$B^2 = (1{,}9 \cdot 10^{-5})^2 + (4{,}5 \cdot 10^{-5})^2$$

$B = 4{,}884 \cdot 10^{-5}$ T
Afgerond: $B = 4{,}9 \cdot 10^{-5}$ T

b De inclinatiehoek bereken je met behulp van een goniometrische formule.

$$\tan\varphi = \frac{B_\text{v}}{B_\text{h}}$$

$B_\text{h} = 1{,}9 \cdot 10^{-5}$ T
$B_\text{v} = 4{,}5 \cdot 10^{-5}$ T

$$\tan\alpha = \frac{4{,}5 \cdot 10^{-5}}{1{,}9 \cdot 10^{-5}}$$

$\alpha = 67{,}10^\circ$
Afgerond: $\alpha = 67^\circ$

Opgave 18

a Meridianen lopen evenwijdig op de afgebeelde kaart van figuur B.31.
De kaart is echter een projectie van de bolvormige aarde op een plat vlak
In werkelijkheid lopen de medianen daarom niet evenwijdig, maar komen steeds dichter bij elkaar als je naar het noorden of naar het zuiden reist.

b Net zoals de geografische meridianen elkaar snijden in de geografische polen, snijden de geomagnetische meridianen elkaar in de magnetische noord- en zuidpool.

c Het noordelijke snijpunt van de geografische meridianen is de magnetische zuidpool.
Het kompasnaaldje wijst daar dus loodrecht de aarde in.

d Op geomagnetische evenaar lopen de veldlijnen evenwijdig aan het aardoppervlak. Zie figuur B.25 van het katern. Het kompasnaaldje staat daardoor horizontaal.
Op de geomagnetische nulmeridiaan wijst het naaldje precies naar de magnetische zuidpool.
Dus op het snijpunt van de geomagnetische evenaar en de geomagnetische 0° meridiaan staat het naaldje horizontaal en wijst in de richting van de magnetische zuidpool.

Opgave 19

a Blijkbaar zorgt de spoel voor een magnetisch veld dat tegengesteld is gericht aan het magnetisch veld van de aarde.
Bij een stroomsterkte van 115 mA zijn beide velden even groot maar tegengesteld gericht.
Het resterende veld is dan nul.
Het kompasnaaldje ondervindt geen aantrekkingskracht meer en kan daardoor in elke stand blijven staan.

b De grootte van het aardmagnetisch veld bereken je met een goniometrische formule.
De grootte van de horizontale component bereken je met het recht evenredig verband tussen stroomsterkte en magnetische veld.

$B_{\text{aarde,hor}} = c \cdot I$
Bij I = 60 mA is $B_{\text{aarde,hor}} = 9{,}4 \cdot 10^{-6}$ T
$9{,}4 \cdot 10^{-6} = c \cdot 60$
$c = 1{,}566 \cdot 10^{-7}$
$B_{\text{aarde,hor}} = 1{,}566 \cdot 10^{-7} \times 115$
$B_{\text{aarde,hor}} = 18{,}016 \cdot 10^{-6}$ T

$$\cos\alpha = \frac{B_{\text{aarde,hor}}}{B_{\text{aarde}}}$$
$\alpha = 67{,}5^{\circ}$
$B_{\text{aarde,hor}} = 18{,}016 \cdot 10^{-6}$ T
$$\cos(67{,}5) = \frac{1{,}8016 \cdot 10^{-5}}{B_{\text{aarde}}}$$
$B_{\text{aarde}} = 47{,}07 \cdot 10^{-6}$ T
Afgerond: $B_{\text{aarde}} = 4{,}7 \cdot 10^{-5}$ T

B.5 Afsluiting

Opgave 20

a De afstand tussen het epicentrum en het meetstation bepaal je met de formule voor de snelheid toegepast op de P- en de S-golven.
De afstand *s* is voor beide golven gelijk.
Het tijdsverschil bepaal je in figuur B.35 van het basisboek. .

$t_S - t_P = 4{,}0$ min

$s = v_P \cdot t_P$ en $s = v_S \cdot t_S$

$t_P = \dfrac{s}{v_P}$ en $t_S = \dfrac{s}{v_S}$

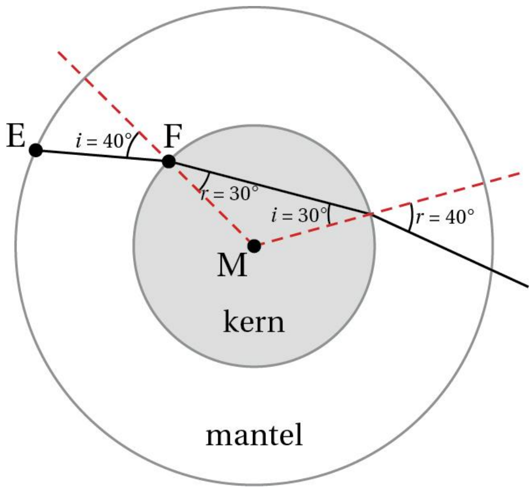
$t_S - t_P = \dfrac{s}{v_S} - \dfrac{s}{v_P}$

$v_S = 3{,}5$ km/s
$v_P = 6{,}2$ km/s
$t_S - t_P = 4{,}0$ min $= 4{,}0 \times 60 = 240$ s (Afstemmen eenheden)
$s = 1{,}928 \cdot 10^3$ km
Afgerond: $s = 1{,}9\ 10^3$ km

Opmerking
Gebruik je de formule $s \approx 8 \cdot \Delta t$ dan ontstaat $s = 8 \times 240 = 1{,}92 \cdot 10^3$ m.
Afgerond: $s = 2 \cdot 10^3$ km

b De transversale S-golven kunnen zich niet voortplanten door een vloeistof, dus niet door de kern.
Waarnemingsstations in de ‘schaduw’ van de kern, nemen dus alleen P-golven waar.
Uit de straal van de aarde, de plaats van E en de plaats van een waarnemingsstation dat nog net S-golven waarneemt, wordt hoek *α* bepaald.

c Zie figuur B.9.



Figuur B.9

De waarde van hoek *r* bij punt F bereken je met de brekingswet van Snellius.
De hoeken *i* en *r* bepaal je ten opzichte van de normaal op het grensvlak tussen kern en mantel.
Dit is de streeplijn door de punten M en F.

$\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{v_{mantel}}{v_{kern}}$

$i = 40°$ (Opmeten in figuur B.37 van het basisboek)

$$\frac{v_{\text{mantel}}}{v_{\text{kern}}} = \frac{1}{1{,}3} = 0{,}769$$

r = 29,6º
Vanwege de symmetrie komt de golf weer met hoek van 40º uit de kern.

d De golf breekt bij Q naar de normaal toe.
Dus $r < i$
Er geldt: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_{\text{i}}}{v_{\text{r}}}$

$$\frac{\sin i}{\sin r} > 1$$

Dus $\frac{v_{\text{i}}}{v_{\text{r}}} > 1$
Dus neemt snelheid af richting het oppervlak van de aarde.
Dus de snelheid neemt toe bij toenemende diepte.

Opgave 20

a De snelheid bereken je uit de formule voor maximale snelheid bij een harmonische trilling.

$$v_{\max} = \frac{2\pi \cdot A}{T}$$

A = 3,0 mm = 3,0·10^{-3} m (Afstemmen eenheden)
T = 1,8 s

$$v_{\max} = \frac{2\pi \times 3{,}0 \cdot 10^{-3}}{1{,}8}$$

$v_{\max}$ = 0,1047·10^{-2} m/s
Afgerond: $v_{\max}$ = 1,0·10^{-2} m/s

b Het aardmagnetisch veld van de aarde is gericht van links naar rechts.
Dus is het magnetisch veld van de spoel in de spoel gericht van rechts naar links.
Volgens de ‘rechterhandregel’ loopt de stroom door de spoel dan van Q naar P.
Dus Q is de positieve pool.

c De grootte van het veld van de spoel bereken je met de gegeven formule.

$$B_{\text{spoel}} = 1{,}2 \times 10^{-6} \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$$

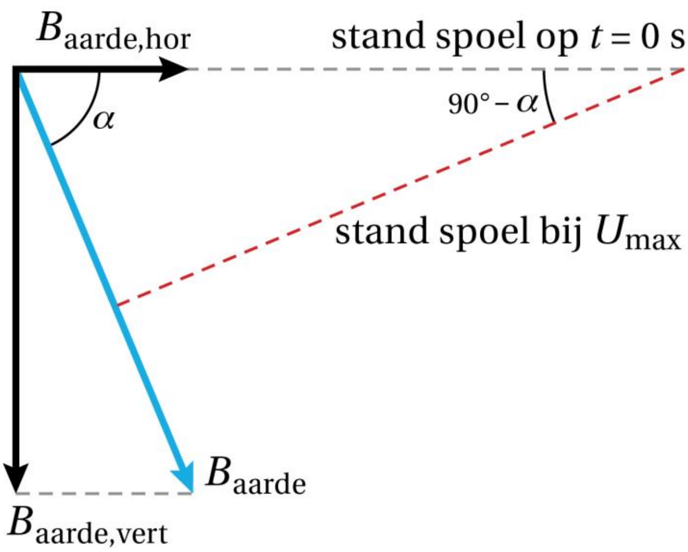
N = 1600
ℓ = 25 cm = 0,25 m (Afstemmen eenheden)
I = 2,2 mA = 2,2·10^{-3} A (Afstemmen eenheden)

$$B_{\text{spoel}} = 1{,}2 \times 10^{-6} \times \frac{1600 \times 2{,}2 \cdot 10^{-3}}{0{,}25}$$

B_{spoel} = 1,689·10^{-5} T
$B_{\text{aarde,hor}} = B_{\text{spoel}}$
Afgerond: $B_{\text{aarde,hor}}$ = 1,7·10^{-5} T

d De grootte van het magneetveld van de aarde bereken je met een goniometrische formule.
De hoek α tussen $B_{\text{aarde,hor}}$ en het aardmagnetisch veld B volgt uit het faseverschil van de inductiespanning.
Het faseverschil bereken je met de formule voor faseverschil van trillingen.
De trillingstijd bepaal je in figuur B.42 van het katern.
Het tijdverschil is de tijdsduur tot de inductiespanning maximaal is.

Als de spoel loodrecht op het aardmagnetisch veld B staat, dan is de inductiespanning maximaal. De spoel is dan over een hoek (90º − α) gedraaid. Zie figuur B.10.



Figuur B.10

t_{max} = 0,025 s (Aflezen uit figuur B.42 van het katern)

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$$

$\Delta t = t_{max} - 0 = 0{,}025$ s
$T = 0{,}32 - -0{,}07 = 0{,}39$ s

$$\Delta\varphi = \frac{0{,}025}{0{,}39}$$

$\Delta\varphi = 0{,}0641$

$$\frac{90-\alpha}{360} = \Delta\varphi$$

$\alpha = 66{,}9^{\circ}$

$$\cos\alpha = \frac{B_{\text{aarde,hor}}}{B_{\text{aarde}}}$$

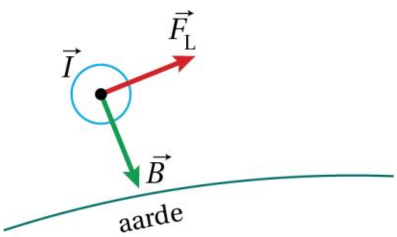
$B_{\text{aarde,hor}} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ T (Antwoord op vraag 21c)

$$\cos(66{,}9°) = \frac{1{,}7\cdot 10^{-5}}{B_{\text{aarde}}}$$

$B_{\text{aarde}} = 4{,}33 \cdot 10^{-5}$ T
Afgerond: $B_{\text{aarde}} = 4{,}3 \cdot 10^{-5}$ T

e Noorderlicht

f Zie figuur B.11.
Het proton ondervindt een lorentzkracht. De richting van de lorentzkracht volgt uit de FBI-regel. De lorentzkracht is van de aarde af gericht. Ontbind je de lorentzkracht in een component evenwijdig aan de aarde, dan is er een andere component van de aarde af gericht.



Figuur B.11