Pulsar
3e editie
natuurkunde

5 vwo
uitwerkingen

Auteurs
Leo te Brinke
Ton van den Broeck
Peter Brussaard
Sjef Buil
Dick Hoekzema
Joost Massolt
Aartjan van Pelt
Rene van der Veen
Jaap Vreeling
Paul Zuurbier

Eindredactie
Lieke Heimel
Jan Penterman

Noordhoff Uitgevers bv

Inhoud

7 Energie omzetten 6
Introductie 6
7.1 Energiesoorten 6
7.2 Optrekken en afremmen 8
7.3 Méér arbeid 10
7.4 Zuinig met energie 12
Toepassing 13
Proefwerkopgaven 15

8 Trillingen 16
Introductie 16
8.1 Trillingen 16
8.2 Trilling en kracht 17
8.3 Trillen en meetrillen 19
8.4 Fase en snelheid 20
Toepassing 22
Proefwerkopgaven 23

9 Golven 25
Introductie 25
9.1 Lopende golven 25
9.2 Staande golven 26
9.3 Elektromagnetisch spectrum 28
9.4 Dataverkeer 29
Toepassing 30
Proefwerkopgaven 31

10 Elektromagnetisme 33
Introductie 33
10.1 Magneetvelden 33
10.2 Elektromagneten 34
10.3 De lorentzkracht 36
10.4 Elektromagnetische inductie 38
Toepassing 40
Proefwerkopgaven 43

11 Elektrische velden 44
Introductie 44
11.1 Elektrische lading 44
11.2 Het elektrische veld 44
11.3 Elektrische energie en spanning 46
11.4 Versnellen en afbuigen 47
Toepassing 48
Proefwerkopgaven 51

12 Atoomfysica 52
Introductie 52
12.1 Warmtestraling 52
12.2 Fotonen 54
12.3 Het spectrum als streepjescode 55
12.4 Rekenen aan spectraallijnen 56
Toepassing 57
Proefwerkopgaven 59

13 Straling 60
Introductie 60
13.1 Straling in soorten 60
13.2 Doordringend vermogen 62
13.3 Radioactief verval 63
13.4 Activiteit 65
13.5 Straling en risico's 67
Toepassing 70
Proefwerkopgaven 72

14 Kern- en deeltjesfysica (keuze SE) 73
Introductie 73
14.1 Deeltjesreacties en behoudswetten 73
14.2 Massa en energie 75
14.3 Subatomaire deeltjes 76
14.4 Onderzoeksmethoden 77
14.5 Drie symmetrieën 79
14.6 Het standaardmodel 80
Toepassing 81
Proefwerkopgaven 82

15 Biofysica (keuze SE) 84
Introductie 84
15.1 Spraak en gehoor 84
15.2 Afbeeldingen en zicht 86
15.3 Warmte en lichaamstemperatuur 86
15.4 Druk in je lichaam 88
Toepassing 90
Proefwerkopgaven 92

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 7
Energie Omzetten

Introductie

1 Enkele manieren: rillen, bloed verplaatsen van huid naar binnenste van lichaam, haartjes op de huid recht omhoog zetten ('kippenvel').

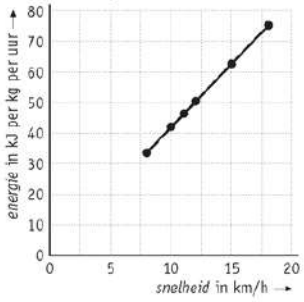
2 Als je weinig beweegt hoeft je lichaam weinig voedingstoffen te verbranden om je lichaam te laten bewegen. Dit verbranden zorgt er juist voor dat je opwarmt.

3 Eigen antwoord

4 Mogelijke antwoorden:
- Als je meer gaat bewegen, wordt vet omgezet in spierweefsel. Hierdoor neemt ook je ruststofwisseling toe. Dus ook als je niet beweegt, val je nog af. (als je tenminste niet meer gaat eten)
- Verder zorgt de toename van spierweefsel er ook voor dat je makkelijker beweegt en dus eerder geneigd bent meer te bewegen.
- Minder eten heeft bovendien tot gevolg dat je lichaam zorgvuldiger met de geringe hoeveelheid voedsel omgaat en daar meer calorieën uit haalt. Dan moet je nog minder gaan eten om nog af te vallen.
- Bovendien loop je met dieet het risico dat je voeding minder uitgebalanceerd raakt wat minder goed voor de gezondheid is.
- Veel bewegen is goed voor je hart en vaatstelsel.
- Het schijnt ook beter te zijn voor botten en gewrichten.

5 **a** Zijn lichaam kan beter tegen lage temperaturen en hoeft dus ook geen extra voedingsstoffen te gaan verbranden om warm te blijven. Daarom heeft hij stilzittend niet veel last van de kou.
b Bruinvet is een type vetweefsel dat warmte kan produceren door de oxidatie van vet. Hierdoor produceert het lichaam dus warmte en kan hij daarom langer tegen de kou.

6 Als je een grafiek maakt van de snelheid tegen de energie wordt duidelijk dat het een lineair verband is. Je kunt een rechte lijn trekken door de meetpunten.



7 Nee. Als je langzaam wandelt doe je langer over de terugreis, maar verbruik je ook minder energie per uur.

8 **a** Eigen antwoord
b Eigen antwoord

7.1 Energiesoorten

1 **a** Reken eerst de snelheid om in m/s:
90 km/h = 25 m/s. Dan de formule invullen:
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 12 \cdot 10^3 \times 25^2 = 3{,}75 \cdot 10^6$ J
$= 3{,}8 \cdot 10^6$ J
b $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ invullen:
$5{,}0 \cdot 10^{12} = \frac{1}{2} \times m \times 12000^2 = 72 \cdot 10^6 \times m$

$$m = \frac{5{,}0 \cdot 10^{12}}{72 \cdot 10^6} = 6{,}9 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

Bedenk dat 12 km/s = 12000 m/s, *maar onthoud dat het getal 12 slechts 2 significante cijfers heeft.*
c 15 g = 0,015 kg
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ invullen:
$5{,}0 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \times 0{,}015 \times v^2 = 0{,}0075 \times v^2$

$$v = \sqrt{\frac{5{,}0 \cdot 10^3}{0{,}0075}} = 8{,}2 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

2 Pulsje

3 **a** $E_z = mgh = 4{,}0 \cdot 10^4 \times 9{,}81 \times 600 = 2{,}4 \cdot 10^8$ J
b Met $2{,}4 \cdot 10^8$ J
Als er geen weerstand is wordt alle zwaarte-energie omgezet in kinetische energie.
c $1{,}1 \cdot 10^2$ m/s = $3{,}9 \cdot 10^2$ km/h
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ invullen:
$2{,}35 \cdot 10^8 = \frac{1}{2} \times 4{,}0 \cdot 10^4 \times v^2 = 2{,}0 \cdot 10^4 \times v^2$

$$v = \sqrt{\frac{2{,}35 \cdot 10^8}{2{,}0 \cdot 10^4}} = 1{,}1 \cdot 10^2 \text{ m/s in het dal.}$$

d De skiër komt met dezelfde 110 m/s aan in het dal. Boven op de helling heeft de skiër alleen zwaarte-energie:
$E_z = mgh = 80 \times 9{,}81 \times 600 = 4{,}7 \cdot 10^5$ J
Al deze zwaarte-energie is in het dal omgezet in kinetische energie.
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ *invullen:*
$4{,}7 \cdot 10^5 = \frac{1}{2} \times 80 \times v^2 = 40 \times v^2$

$$v = \sqrt{\frac{4{,}7 \cdot 10^5}{40}} = 1{,}1 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

Je kunt dit ook zien als je eerst de formule $E_k + E_z$ *= constant invult:*
$E_k + E_z$ *(boven)* $= E_k + E_z$ *(beneden)* $\rightarrow$
$mgh = \frac{1}{2}mv^2$

© Noordhoff Uitgevers bv

Je kunt nu links en rechts delen door m.
Met andere woorden: alleen de hoogte en de waarde van g bepalen de snelheid waarmee je beneden komt, de massa speelt geen rol voor de uitkomst.

4 $6{,}5 \cdot 10^{13}$ J
Het hoogteverschil is 6 m.
Het volume water dat uitstroomt bedraagt:
$V = Ah = 55 \cdot 10^6 \times 6 = 3{,}3 \cdot 10^8$ m³
De massa van dat water = dichtheid × volume:
$m = \rho \cdot V = 998 \times 3{,}3 \cdot 10^8 = 3{,}3 \cdot 10^{11}$ kg.
De gemiddelde hoogte van het water is 20 m.
De vrijkomende zwaarte-energie bedraagt:
$E_z = mgh = 3{,}3 \cdot 10^{11} \times 9{,}81 \times 20 = 6{,}5 \cdot 10^{13}$ J

5 Pulsje

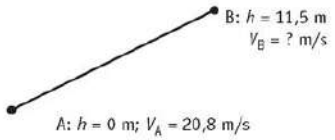
6 Pulsje

7 11 m/s = 39 km/h
Er is niet gegeven hoe zwaar de auto is, maar bij opdracht 3 heb je gezien dat de massa er niet toe doet. Je kunt dus gewoon doen alsof de auto een massa heeft van 1 kg.
Zie de 'Zo doe je dat':
Maak een schets en noem het punt waar de auto van de kade afrijdt A en waar hij in het water plonst B.
Het nulniveau kies je bij het wateroppervlak.
Schrijf alle gegevens erbij.
In A: $v = 30$ km/h $= 8{,}33$ m/s $\rightarrow E_k = \frac{1}{2}mv^2 =$
$0{,}5 \times 1 \times 8{,}33^2 = 34{,}7$ J
$h = 2{,}4$ m $\rightarrow E_z = mgh = 1 \times 9{,}81 \times 2{,}4 = 23{,}5$ J
In B: $h = 0$ m dus $E_z = 0$ J
De totale energie is $34{,}7 + 23{,}5 = 58{,}2$ J
dus E_k in B is 58,2 J
$58{,}2 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2 \rightarrow v^2 = 116{,}4 \rightarrow v = 10{,}8 =$
11 m/s (= 39 km/h)

8 De massa weet je niet, maar die zal waarschijnlijk weer wegvallen uit de vergelijkingen. In de formule laat je m staan. De beginenergie is in alle drie de situaties even groot namelijk een kinetische energie ter grootte $\frac{1}{2}m\,5^2 = 12{,}5 \times m$ en een zwaarte-energie met een waarde van $mgh = m \times 9{,}81 \times 15 = 147 \times m$. Totaal is dat een energie van $160 \times m$. Op de grond is dat omgezet in kinetische energie, waarbij v de snelheid op de grond is.
De massa valt weer weg in het linker en rechterdeel van de vergelijking:
$160 \times m = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 160 = \frac{1}{2}v^2 \rightarrow v^2 = 319$
$\rightarrow v = 18$ m/s (= 64 km/h)

9 a 18 m
In A: $v = 75$ km/h $= 20{,}8$ m/s; $h = 0$ m.
In B: $v = 32$ km/h $= 8{,}9$ m/s; $h = ?$ m.
Stel nu de massa op 1 kg en vul in:
E_k (in A) $= E_k + E_z$ (in B)
$\frac{1}{2}v_A^2 = \frac{1}{2}v_B^2 + gh \Rightarrow$
$\frac{1}{2} \times 20{,}8^2 = \frac{1}{2} \times 8{,}9^2 + 9{,}81 \times h \Rightarrow$
$h = \dfrac{217{,}01 - 39{,}51}{9{,}81} = 18$ m

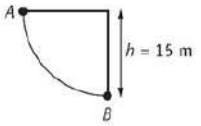
b 14 m/s (= 52 km/h)
De snelheid waarmee het treintje de looping verlaat is de snelheid in punt A, omdat A het begin én het einde van de looping is.
Dus:



De totale energie is nog steeds 217 J;
de zwaarte-energie in B is $E_z = mgh =$
$1 \times 9{,}81 \times 11{,}5 = 112{,}8$ J
dus $E_k = 217 - 112{,}8 = 104{,}2$ J
$\frac{1}{2} \times 1 \times v^2 = 104{,}2 \rightarrow v = 14{,}4$ m/s $= 14$ m/s
(= 52 km/h)

10 Pulsje

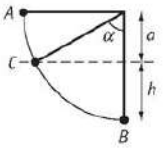
11 a



Noem de meest linkse stand van het schip A en de onderste stand B. Als hij precies 90° draait is het hoogteverschil 15 m.
In A:
$E_z = mgh = 2{,}5 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 15 = 3{,}68 \cdot 10^5$ J $= 3{,}7 \cdot 10^5$ J

b 17 m/s
In A:
$E_z = 3{,}68 \cdot 10^5$ J en $E_k = 0$ J
In B:
$E_z = 0$ J
dus E_k moet $3{,}68 \cdot 10^5$ J zijn
$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = 3{,}68 \cdot 10^5$ J
$\frac{1}{2} \times 2{,}5 \cdot 10^3 \times v^2 = 3{,}68 \cdot 10^5$ J $\rightarrow v = 17{,}2 =$
17 m/s.
Ook hier mag je de massa wegdelen of op 1 kg stellen.

c $\alpha = 70°$

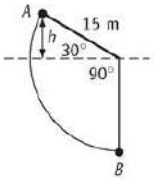


Noem het gezochte punt C.
Om de hoek te kunnen berekenen moet je eerst de hoogte weten.
Ook in C is de totale energie $3{,}68 \cdot 10^5$ J
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}5 \cdot 10^3 \times 10^2 = 1{,}25 \cdot 10^5$ J
dus $E_z = 3{,}68 \cdot 10^5 - 1{,}25 \cdot 10^5 = 2{,}43 \cdot 10^5$ J
$mgh = 2{,}43 \cdot 10^5$ J $\rightarrow h = 9{,}9$ m
De hoek α in de getekende driehoek kun je berekenen met behulp van de cosinus:
de aanliggende zijde a is $15 - 9{,}9 = 5{,}1$ m
dus $\cos\alpha = a/s = 5{,}1 : 15 = 0{,}34 \rightarrow \alpha = 70°$.

d Je berekent weer eerst de zwaarte-energie.
Daarvoor moet je eerst de hoogte h berekenen:
$\sin 30° = h/15$ dus: $h = 15 \times \sin 30° = 7{,}5$ m.

© Noordhoff Uitgevers bv

De hoogte van punt A boven punt B is 15 m + 7,5 m = 22,5 m.



$E_z = mgh = 2{,}5 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 22{,}5 = 5{,}52 \cdot 10^5$ J
In het onderste punt (B) geldt:
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}5 \cdot 10^3 \times v^2 = 5{,}52 \cdot 10^5$ J
$v^2 = 441{,}45$ en $v = 21$ m/s
De snellere methode:

$E_z = E_k$	*energieën gelijk stellen ...*
$mgh = \frac{1}{2}mv^2$	*... en massa m wegstrepen*
$gh = \frac{1}{2}v^2$	
$v^2 = 2gh = 2 \times 9{,}81 \times 22{,}5 = 441{,}45$	
$v = 21$ m/s	

12 a Potentiële energie (veerenergie)
b 5,1 m
Ga er van uit dat alle kinetische energie wordt omgezet in zwaarte-energie.
$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow \frac{1}{2}v^2 = gh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{100}{19{,}62} = 5{,}1$ m

De uitkomst betekent dat de springer zijn zwaartepunt 5,1 m hoger kan brengen. Omdat zijn zwaartepunt zich circa 1 m boven de grond bevindt tijdens zijn aanloop, kan hij zijn zwaartepunt op een hoogte van 6,1 m brengen. De rest is een kwestie van techniek.
c $E_{veer} = 1{,}25 \cdot 10^3$ J
Maak weer gebruik van het gelijk blijven van de som van kinetische en potentiële energie:
$\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_B^2 + E_{veer} + mgh$

$\frac{1}{2} \times 70 \times 10^2 = \frac{1}{2} \times 70 \times 5^2 + E_{veer} + 70 \times 9{,}81 \times 2$

$3500 = 875 + E_{veer} + 1373$
$E_{veer} = 3500 - 875 - 1373 = 1252$ J $= 1{,}25 \cdot 10^3$ J
d De veerenergie is niet afhankelijk van de massa van de springer, maar van de eigenschappen (veerconstante) van de veer. Omdat de zwaarte-energie en de kinetische energie beide evenredig zijn met de massa van de springer, moet je de massa weten om de veerenergie uit te kunnen rekenen.

13 Pulsje

14 407 km/h
Binas tabel 96: massa van een nijlpaard is 3000 kg. massa huismus is 35 g.
$\frac{1}{2}m_{nijlpaard}v^2 = \frac{1}{2}m_{mus}v^2$ invullen:
$\frac{1}{2} \times 3000 \times 5^2 = \frac{1}{2} \times 35 \cdot 10^{-3}v^2$
$v^2 = 37500/0{,}0175 = 2142857$
$v = 1464$ m/s $= 5270$ km/h $= 5{,}3 \cdot 10^3$ km/h

15 a $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 12 \cdot 10^3 \times 25^2 = 3{,}75 \cdot 10^6$ J $= 3{,}8 \cdot 10^6$ J
b Toename zwaarte-energie is gelijk aan:
$E_z = mg\Delta h = 12 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 25 = 2{,}94 \cdot 10^6$ J
Van de kinetische energie die je bij vraag a hebt uitgerekend blijft na het omhoog gaan van de trein, nog een deel over: $3{,}75 \cdot 10^6$ J $- 2{,}94 \cdot 10^6$ J $= 0{,}81 \cdot 10^6$ J $= 8{,}1 \cdot 10^5$ J.
Die overblijvende energie wordt door de remmen omgezet in warmte.
c Bij het optrekken kan de zwaarte-energie (heuveltje af) weer gebruikt worden om op gang te komen.
d $E_k = E_z$
$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$
$\frac{1}{2}v^2 = gh$
$v^2 = 2gh = 2 \times 9{,}81 \times 25 = 491$
$v = 22$ m/s

16 a De hoogte van de Mount Everest is 8848 m. De gemiddelde temperatuur lees je af uit de grafiek: −42 °C
b Op 0 m is de temperatuur 15 °C
Op 8000 m is de temperatuur −37 °C
Conclusie: bij een stijging van 8000 m daalt de temperatuur met 52 °C.
Per 100 m stijging is dat: 52/80 = 0,65 °C per 100 m.
c Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de bewegingsenergie.

7.2 Optrekken en afremmen

17 45 km/h
Bereken eerst de verrichte arbeid:
$W = F \cdot s = 3 \times 1{,}5 = 4{,}5$ J
Deze arbeid wordt omgezet in kinetische energie:
$4{,}5 = \frac{1}{2} \times 0{,}058 \times v^2 \Rightarrow$

$v = \sqrt{\frac{4{,}5}{0{,}029}} = 12{,}46 = 12$ m/s $= 45$ km/h

18 a 1,1 kN
E_k (begin) = 0 J (de kogel staat stil)
E_k (eind) $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7{,}26 \times 14{,}5^2 = 763{,}2$ J
De toename is 763,2 J, dus de arbeid ook:
$763{,}2 = F \cdot s = F \times 0{,}75 \rightarrow F = 763{,}2/0{,}75 = 1018 = 1{,}0 \cdot 10^3$ N
b Ten eerste verleng je de afstand waarover je kracht uitoefent op de kogel. Ten tweede maak je gebruik van je schouder- en rug- en beenspieren, die veel sterker zijn dan je armspieren, waardoor je een grotere kracht kunt uitoefenen.

19 a v (begin) = 100 km/h = 27,8 m/s
E_k (begin) $= \frac{1}{2}mv^2 = 3{,}28 \cdot 10^5$ J
E_k (eind) = 0 J
de afname van E_k, dus de arbeid is $3{,}28 \cdot 10^5$ J
$3{,}28 \cdot 10^5 = F \cdot s = F \times 40 \rightarrow F = 8{,}2 \cdot 10^3$ N
b 10 m
Nu is $v_{begin} = 13{,}9$ m/s $\rightarrow E_k$ (begin) $= \frac{1}{2}mv^2 = 8{,}20 \cdot 10^4$ J
de arbeid is nu dus $8{,}20 \cdot 10^4$ J
$8{,}20 \cdot 10^4 = F \cdot s = 8{,}20 \cdot 10^3 \times s \rightarrow s = 10$ m
c De kinetische energie bij 50 km/h is 4 maal zo klein als bij 100 km/h; de (negatieve) arbeid die nodig is om de auto te stoppen is dus ook 4 maal zo klein. Bij dezelfde remkracht is dan ook de remafstand 4 maal zo klein, dus 40 : 4 = 10 m

20 a 8,3 kN
54 km/h = 15 m/s
v (begin) = 54 km/h = 15 m/s

© Noordhoff Uitgevers bv

E_k (begin) = $\frac{1}{2}mv^2$ = $1{,}24 \cdot 10^5$ J
E_k (eind) = 0 J
De afname van E_k, dus de arbeid is $1{,}24 \cdot 10^5$ J.
$1{,}24 \cdot 10^5 = F \cdot s = F \times 15 \rightarrow F = 8250 = 8{,}3 \cdot 10^3$ N

b 0,67 s
De auto legt gemiddeld 10 m af voordat de bestuurder begint met remmen. De reactietijd bedraagt dus $t = s/v = 10/15 = 0{,}67$ s

c 24 km/h
Voordat de bestuurder nu begint met remmen zijn er 0,87 s verstreken. De auto legt in die tijd $s = vt = 0{,}87 \times 15 = 13$ m af. De auto wordt daarna 12 m afgeremd voordat de voetganger wordt geraakt. De (negatieve) arbeid is dan $F \cdot s = 8250 \times 12 = 99 \cdot 10^3$ J
E_k (begin) was $1{,}24 \cdot 10^5$ J
dus E_k (eind) = $1{,}24 \cdot 10^5 - 99 \cdot 10^3 = 25 \cdot 10^3$ J
$25 \cdot 10^3 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1{,}1 \cdot 10^3 \times v^2 \rightarrow v = 6{,}7$ m/s
(= 24 km/h)

21 a 26 m/s
De netto voorwaartse kracht bedraagt 95 − 14 = 81 kN. Daaruit volgt:
$W = F \cdot s = 81 \cdot 10^3 \times 500 = 405 \cdot 10^5$ J
E_k (begin) = 0 J dus E_k (eind) = $405 \cdot 10^5$ J
$\frac{1}{2}mv^2 = 405 \cdot 10^5 \rightarrow \frac{1}{2} \times 120 \cdot 10^3 \times v^2 = 405 \cdot 10^5$
hieruit volgt $v = 26$ m/s (= 94 km/h)

b Op 2,0 km afstand
Om de snelheid te verdubbelen moet vier maal zo veel arbeid worden verricht want E_k is dan vier maal zo groot. Als de netto kracht gelijk blijft, moet de verplaatsing dus vier maal zo groot zijn.

22 a 24 m/s
$E_z = mgh = 1200 \times 9{,}81 \times 30 = 3{,}53 \cdot 10^5$ J
Al deze zwaarte-energie is beneden omgezet in kinetische energie.
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ invullen:
$3{,}53 \cdot 10^5 = \frac{1}{2} \times 1200 \times v^2 = 600 \times v^2$

$$v = \sqrt{\frac{3{,}53 \cdot 10^5}{600}} = 24{,}3 = 24 \text{ m/s}$$

b $6 \cdot 10^4$ J
In plaats van $3{,}53 \cdot 10^5$ J is er in werkelijkheid $E_k = 0{,}5 \times 1200 \times 22{,}1^2 = 2{,}93 \cdot 10^5$ J bewegingsenergie na 30 m vallen.
Er is dus $0{,}6 \cdot 10^5$ J = $6 \cdot 10^4$ J verloren gegaan.

c 2 kN
De weerstandskracht verricht de negatieve arbeid, die bij b berekend werd: $W = Fs \Rightarrow 60000 = F \times 30$, dus $F = 2000$ N = 2 kN gemiddeld.

23 a $1{,}1 \cdot 10^3$ J
Bereken eerst de totale afstand die je de stang moet verplaatsen. Om de auto 25 cm omhoog te krikken moet je 250/4 = 62,5 keer de stang omlaag duwen. Daarbij legt je hand een afstand van $62{,}5 \times 0{,}20 = 12{,}5$ m af. De verrichte arbeid is dan $W = Fs = 90 \times 12{,}5 = 1125$ J = $1{,}1 \cdot 10^3$ J.

b 4,5 kN
Volgens de gulden regel is de kracht zoveel maal groter als de verplaatsing kleiner is. Per slag gaat de auto 200/4 = 50 maal minder omhoog dan je hand. De kracht is dus 50 maal zo groot, dus 4500 N
Je kunt ook de verrichte arbeid delen door de verplaatsing: 1125 : 0,25 = 4500 N = 4,5 kN.

24 a $W = Fs = 120 \times 0{,}30 = 36$ J

b 90 cm
De drie touwdelen die over de katrollen lopen moeten elk 30 cm korter worden. Je moet dus 90 cm touw inhalen.

c 40 N
De afstand waarover je moet trekken is drie maal zo zo groot geworden; de kracht die je nodig hebt is dan drie keer zo klein: geen 120 N maar slechts 40 N.

25 Pulsje

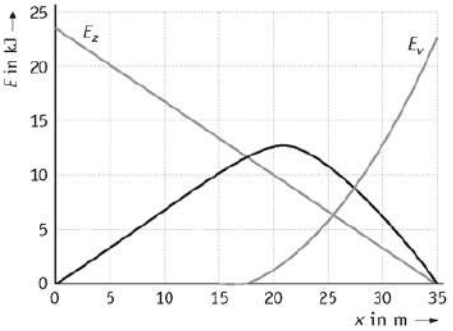
26 a De zwaartekracht (naar beneden) en de veerkracht van het elastiek (naar boven) omdat het tussen R en S uitrekt.

b In punt S. De snelheid verandert niet want die is maximaal. De versnelling is dus nul en er is evenwicht van de twee krachten ($F = ma$). Dezelfde redenering geldt ook voor punt E.

c Tussen R en S is de beweging versneld. De zwaartekracht is in dit deel groter dan de veerkracht van het elastiek. De maximale snelheid heeft Koos pas in punt S.

d Tussen S en D is de beweging vertraagd. De zwaartekracht is in dit deel kleiner dan de veerkracht van het elastiek. De snelheid wordt kleiner totdat Koos in punt D snelheid 0 heeft.

e De zwaarte-energie wordt eerst volledig omgezet in kinetische energie totdat het elastiek uitrekt na 15 m. Vanaf dat moment gaat een deel van de afnemende zwaarte-energie naar de veerenergie. De kinetische energie neemt nog toe tot punt S, daarna neemt de kinetische energie af doordat het elastiek Koos afremt. Na 35 m vallen is alle zwaarte-energie omgezet in veerenergie en is de kinetische energie weer nul.



f In punt S is de snelheid maximaal. De afstand waarbij de kinetische energie maximaal is, lees je af uit de grafiek: 21 m.

27 Hieruit kun je afleiden dat de baan van Pluto geen cirkel is. Bij een cirkel met de Zon in het middelpunt, staat de zwaartekracht steeds loodrecht op de planeetbaan. De zwaartekracht kan dan niet remmen of versnellen en de snelheid blijft constant (in grootte).

© Noordhoff Uitgevers bv

7.3 Meer arbeid

28 Pulsje

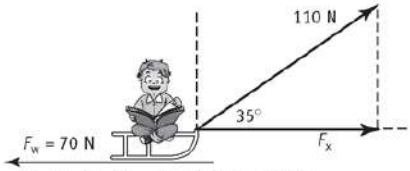
29 a Na 100 m is de fietser 4,0 m gedaald. De arbeid is dan gelijk aan de zwaartekracht maal de gedaalde afstand: $W = F \times s = mg \times s = 80 \times 9{,}81 \times 4{,}0 =$ 3139 J = 3,1 kJ

b De bewegingsenergie op het moment dat de fietser stopt met trappen is: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 80 \times 36 =$ 1440 J. Hoe ver stijgt hij daarmee in verticale richting? De bewegingsenergie wordt dan helemaal omgezet in zwaarte-energie:
$mgh = 1440$
$80 \times 9{,}81 \times h = 1440$
$h = 1{,}835$ m
Hoeveel meter rijdt de fietser dan door? Dat bereken je met een verhoudingstabel:

afstand	100 m	25 m	25 × 1,835
hoogteverschil	4,0 m	1,0 m	1,835

De afstand die de fietser nog aflegt is 25 × 1,835 = 46 m.

30 a De arbeid is de kracht in de bewegingsrichting maal de afstand. De kracht in de bewegingsrichting is $F_x = 110 \times \cos 35° = 110 \times 0{,}82 = 90$ N.



$W = F \times S = 90 \times 20 = 1800$ J = 1,8 kJ.

b De (negatieve) arbeid van de weerstandskracht: $W = F \times s = -70 \times 20 = -1400$ J = −1,4 kJ.

c De toename van bewegingsenergie is 1800 J − 1400 J = 400 J. Deze toename is omgezet in bewegingsenergie:
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 400$ J
$\frac{1}{2} \times 40 \times v^2 = 400$ J
$v^2 = 20$ en $v = 4{,}5$ m/s.

d Toename bewegingsenergie: $F_x \times 20 - 70 \times 20$
Bij een hoek van 25° wordt dat:
$110 \cos 25° \times 20 - 70 \times 20 = 594$ J en de snelheid die daarbij hoort: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 594$ J
$\frac{1}{2} \times 40 \times v^2 = 594$ J
$v^2 = 29{,}7$ en $v = 5{,}4$ m/s.
Bij een hoek van 45° wordt dat:
$110 \cos 45° \times 20 - 70 \times 20 = 156$ J en de snelheid die daarbij hoort: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 156$ J
$\frac{1}{2} \times 40 \times v^2 = 156$ J
$v^2 = 7{,}8$ en $v = 2{,}8$ m/s.
Conclusie: moeder kan het beste de slee trekken met een zo klein mogelijke hoek.

31 a Het aantal hokjes onder de kromme is 60.

b Eén hokje is 0,2 kN bij 2,5 m. Eén hokje stelt een arbeid voor van 200 × 2,5 = 500 J. De arbeid over 25 m is 60 × 500 = 30000 J = 30 kJ.

c Trek lijnstuk *AB* zodanig dat de kracht die bij het lijnstuk hoort ongeveer de gemiddelde kracht is van 0 tot 25 m. Die lijn ligt ongeveer bij 1,2 kN. Het antwoord wordt dan: 1,2 × 25 = 30kJ

32 a De arbeid die de veerkracht verricht, is gelijk aan het oppervlak onder de grafiek: $\frac{1}{2}$ × basis × hoogte = 0,5 × 0,05 × 10 = 0,25 J.

b Deze veerenergie wordt omgezet in bewegingsenergie: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0{,}25$ J.
$\frac{1}{2} \times 0{,}005 \times v^2 = 0{,}25 \rightarrow v^2 = 100 \rightarrow v = 10$ m/s.

c De veerenergie wordt nu omgezet in zwaarte-energie: $mgh = 0{,}25$ J $\rightarrow 0{,}005 \times 9{,}81 \times h = 0{,}25 \rightarrow h = 5{,}1$ m.

d Zo'n erwt gaat best hard: 10 m/s = 36 km/h.

33 a We gebruiken weer eens een verhoudingstabel:

kracht	4,0 N	0,04 N	0,04 × 15 N
uitrekking	1,0 m	1,0 cm	15 cm

De kracht die nodig is, is 0,04 × 15 N = 0,60 N.

b 0,045 J
De veerenergie reken je uit met de formule:
$E_v = \frac{1}{2}Cu^2 = 0{,}5 \times 4{,}00 \times 0{,}15^2 = 0{,}045$ J.

c 21 m/s
De bewegingsenergie is dan gelijk aan de veerenergie:
$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}045 \rightarrow \frac{1}{2} \times 0{,}00020 \times v^2 = 0{,}045 \rightarrow$
$0{,}00010 \times v^2 = 0{,}045 \rightarrow v^2 = 0{,}045/0{,}0001 = 450 \rightarrow$
$v = 21$ m/s.

34 a 19 J
De maximale kracht op het einde is 194 N. In het begin is die kracht 0 N, want kracht is evenredig met de uitrekking. De gemiddelde kracht tijdens die 20 cm uitrekking is de helft van 194 N is 97 N.
Arbeid $W = F_{gemiddeld}\, s = 97 \times 0{,}20 = 19{,}4$ J = 19 J.

b 40 m/s
De bewegingsenergie van de steen is gelijk aan de arbeid die je hebt verricht om hem 20 cm uit te rekken: 19,4 J.
De bewegingsenergie die de steen krijgt bij het wegschieten bedraagt:
$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 0{,}024 \times v^2 = 19{,}4 \rightarrow v = 40$ m/s.

c $v = 39$ m/s
De kinetische energie is nu voor een deel omgezet in zwaarte-energie $mgh = 0{,}024 \times 9{,}81 \times 6 = 1{,}41$ J.
Van de bewegingsenergie van 19,4 J blijft nog over 19,4 − 1,41 = 18 J.
Dat komt overeen met de snelheid:
$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 0{,}024 \times v^2 = 18$ J.
$0{,}012 \times v^2 = 18 \rightarrow v^2 = 18 / 0{,}012 = 1500$ en $v = 39$ m/s.

35 a De gemiddelde kracht F_{gem} is 2,3 N.

b De arbeid die ze dan verricht is:
$W = F_{gem}s = 2{,}3 \times 0{,}20 = 0{,}46$ J.

c De veerenergie in het elastiek is gelijk aan de arbeid die Carthy heeft moeten verrichten om het 20 cm uit te rekken, dus 0,46 J.

36 a De auto die hoort bij de minst spitse boog. In die grafiek lees je af dat de botsafstand groter is (0,47 m) dan in de andere grafiek (0,31 m). Bij een grotere botsafstand hoort een langere botstijd. Een langere tijd die nodig is om tot stilstand te komen, duidt op een betere kreukelzone.

© Noordhoff Uitgevers bv

b Antwoord B: het oppervlak onder de kromme is de arbeid die de 'remkracht' heeft verricht en die arbeid is weer gelijk aan de kinetische energie van de auto. Door hokjes te tellen bepaal je dat oppervlak onder de grafiek.

37 a Tot een uitrekking van ongeveer 0,62 m is de grafiek een rechte lijn. Dus tot 0,62 m voldoet het touw aan de wet van Hooke.

b 30 kN/m
De veerconstante is de kracht die nodig is om het touw 1,0 m uit te rekken: $C = F/u = 6000/0{,}20 = 30000$ N/m = 30 kN/m.

c 600 J
De energie die daar voor nodig is, is de veerenergie van het uitgerekte touw:
$E_v = \frac{1}{2}Cu^2 = 0{,}5 \times 30000 \times 0{,}2^2 = 600$ J.

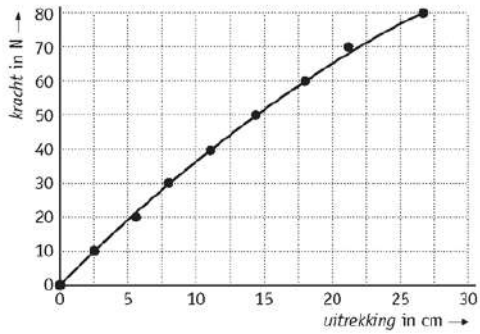
d Bereken eerst de kinetische energie die de vallende klimmer krijgt na een val van 4,0 + 0,52 = 4,52 m.
Die kinetische energie is gelijk aan de afname van zwaarte-energie: $mg\Delta h = 90 \times 9{,}81 \times 4{,}52 = 3991$ J.
Het touw neemt die energie op doordat het uitrekt.
De veerenergie van het touw is dan 3991 J.
$E_v = \frac{1}{2}Cu^2 = 0{,}5 \times 30000 \times u^2 = 3991$ J
$u^2 = 3991 / 15000 = 0{,}266$
$u = 0{,}52$ m

e $u = 0{,}029$ m
De veerkracht ($F_v = Cu$) is dan gelijk aan het gewicht van de klimmer: $Cu = mg$.
$30000 \times u = 90 \times 9{,}81$
$u = 0{,}029$ m

f 7,9 g
De vertraging bereken je met de snelheidsafname Δv en de remtijd Δt die voor die afname nodig is. Na 4,0 m vrije val is de snelheid van de klimmer:
$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow \frac{1}{2}v^2 = gh \rightarrow v^2 = 2gh = 2 \times 9{,}81 \times 4 = 78{,}5 \rightarrow v = 8{,}9$ *m/s*. De snelheidsafname Δv bij het afremmen door het touw is 8,9 m/s.
De remtijd Δt bereken je als volgt:
De gemiddelde snelheid tijdens het afremmen is de helft van de maximale snelheid: 4,45 m/s.
De remtijd Δt is dan de remafstand (0,49 m) gedeeld door de gemiddelde snelheid (4,45 m/s):
$\Delta t = 0{,}49 / 4{,}45 = 0{,}115$ s.
De versnelling kun je nu uitrekenen:
$a = \Delta v / \Delta t = 8{,}9 / 0{,}115 = 77$ m/s²
1g = 9,81 m/s² en 77 m/s² = 77 / 9,81 = 7,9 g

g Bij dezelfde kracht rekt touw B 2 keer zo ver uit als touw A. Touw A is 2 keer zo "stug" en de veerconstante van touw A is dan ook twee keer zo groot als die van touw B. De eerste uitspraak is juist.
Beide touwen knappen bij dezelfde maximale kracht F_{max}. Touw A is dan 0,44 m uitgerekt en touw B 0,88 m.
De veerenergie bij die maximale kracht:
touw A $\frac{1}{2}2Cu^2 = C \times 0{,}44^2 = 0{,}1936 \times C$
touw B $\frac{1}{2}Cu^2 = 0{,}5 \times C \times 0{,}88^2 = 0{,}3872 \times C$
De energie in touw B is het dubbele:
0,3872 / 1,936 = 2.
De tweede uitspraak is juist.

h

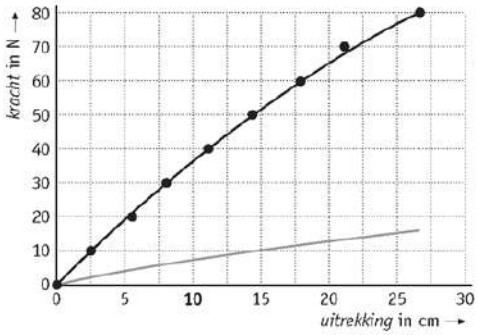


i 5 N: $C = \frac{F}{u} = \frac{5{,}0}{1{,}2} = 4{,}2$ N/cm

60 N: $C = \frac{F}{u} = \frac{60}{18} = 3{,}3$ N/cm

j De vislijn wordt slapper. Er is minder kracht nodig voor een uitrekking van 1 cm.

k De lijn die hoort bij de draad van 10 m is grijs. Een 5 keer zo lange draad betekent een 5 keer zo slappe veer.



l De hoeveelheid opgenomen energie kan berekend worden door het oppervlak onder de grafiek te bepalen tot 80 N. Dit is te benaderen met een driehoek: $\frac{1}{2} \times 80 \times 0{,}265 = 10{,}6$. De hoeveelheid opgenomen energie is dus 10,6 J. De vislijn kan dus 10 J opnemen voordat hij knapt.
Door een driehoek te gebruiken onderschat je de energie zelfs een beetje, het werkelijke oppervlak is groter.

38 a De banden moeten veel grip hebben, anders blaast de wind de kar achteruit.

b Als het waait, draait de bovenste as met de wijzers van de klok mee. Het elastiek brengt die draaiing over op de wielen zodat de wagen naar links beweegt.

c De windkracht verricht positieve arbeid. De snelheid van de kar neemt namelijk toe.

d Een zeilboot die laveert tegen de wind.

© Noordhoff Uitgevers bv

7.4 Zuinig met energie

39 $1{,}6 \cdot 10^4$ L
Reken eerst uit hoeveel seconde een vlucht van 1000 km duurt: reistijd = 1000 km / 900 km/h = 1,11 uur = 1,11 × 3600 = 4000 s. Je houdt geen rekening met start, landing, op snelheid komen en het afremmen van het vliegtuig.
De hoeveelheid kerosine is dan:
10 mL × aantal stoelen × aantal seconde =
10 × 400 × 4000 = 16000000 mL = 16000 L = $1{,}6 \cdot 10^4$ L.

40 Een snelheid van 413 km/h = 115 m/s.
Er geldt: $P = Fv$
$885 \cdot 10^3 = F \times 115$ en $F = 885 \cdot 10^3 / 115 = 7{,}7 \cdot 10^3$ N

41 0,077 L/s
Het vermogen van de auto bij topsnelheid is 885 kW. Dit is het nuttige vermogen. Het totale vermogen is dan $\frac{885}{35} \times 100 = 2529$ kW. Per seconde verbruikt de motor dus $2{,}529 \cdot 10^6$ J energie. De verbrandingswarmte van benzine is $33 \cdot 10^9$ J/m³, oftewel $33 \cdot 10^6$ J/L. Het verbruik van de auto is $\frac{2{,}5 \cdot 10^6}{33 \cdot 10^6} = 0{,}077$ L/s

42 Ja dat klopt. Bij 50 km/h = 13,8 m/s lees je af uit de grafiek dat de rolweerstand (de horizontale lijn) groter is dan de luchtweerstand. Op de autobaan is de snelheid 120 km/h = 33 m/s en bij die snelheid zie je in de grafiek dat de luchtweerstand een stuk groter is dan de rolweerstand.

43 a Kijk in de grafiek bij 1100 kg: de rolweerstand is daar 130 N. Invullen in de formule geeft:
$F_{rol} = c_r \cdot m \cdot g \rightarrow 130 = c_r \times 1100 \times 9{,}81$
$c_r = \frac{130}{1100 \times 9{,}81} = \frac{130}{10791} = 0{,}012$

b De eenheid aan de linkerkant is N. De eenheid van mg is ook newton, want mg is het gewicht en dat is ook een kracht. c_r heeft derhalve geen eenheid.

c De zachte banden vervormen meer waardoor de rolweerstand toeneemt. Het motorvermogen moet dan ook toenemen om een bepaalde snelheid te halen. De weerstandskrachten zijn immers toegenomen. Meer motorvermogen wil zeggen: meer brandstof.

d 1) Minder massa zorgt voor minder rolweerstand: zie figuur 7.46.
2) Een lichte auto heeft minder kracht nodig om te versnellen en minder kracht is minder benzineverbruik.

44 a 458 N
De totale weerstand is de rolweerstand plus de luchtweerstand: $100 + \frac{1}{2}\rho\, c_w A v^2 = 100 + 0{,}5 \times 1{,}29 \times 0{,}40 \times 1{,}8 \times (100/3{,}6)^2 = 100 + 358 = 458$ N.

b 14,4 km
De arbeid die verricht moet worden om 1 km (1000 m) met de auto te rijden is:
$W = Fs = 458 \times 1000 = 458000$ J.
Eén liter benzine levert aan nuttige energie:
0,20 × 33000000 J = 6600000 J.
Aantal km op 1 L benzine:
6600000 / 458000 = 14,4 km.

45 Pulsje

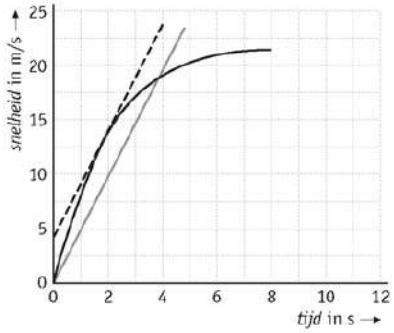
46 Pulsje

47 a Een luchtschip vliegt veel lager dan een vliegtuig en dichter bij de aarde is de dichtheid van de lucht groter. Een vliegtuig vliegt in ijlere lucht.

b Voor de luchtweerstand geldt $\frac{1}{2}\rho\, c_w A v^2$ en voor het energiegebruik $P = Fv$.
Je rekent eerst de weerstandskracht F_w uit die gelijk is aan de voortstuwende kracht F van de motoren.
$P = Fv$ invullen geeft $3533000 = F\,(135/3{,}6)$
$3533000 = F\,(37{,}5)$ en $F = F_w = 94213$ N.
Vervolgens reken je de c_w-waarde uit met de eerst genoemde formule:
$F_w = 94213 = \frac{1}{2}\rho\, c_w A v^2$ alles invullen:
$94213 = \frac{1}{2} \times 1{,}29 \times c_w \times 1320 \times 37{,}5^2$
$94213 = 1197281 \times c_w$
$c_w = 94213 / 1197281 = 0{,}079$

48 a Na 7,5 s. De snelheid neemt dan niet meer toe. De luchtweerstand is dan gelijk aan de zwaartekracht op het voorwerp: $F_l = F_z = mg = 0{,}200 \times 9{,}81 = 1{,}96$ N = maximale luchtweerstand

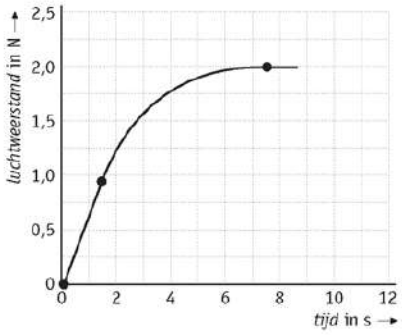
b 1,7 s
Als de luchtweerstand de helft van de maximale waarde is, is de nettokracht de helft van de zwaartekracht op het vallende voorwerp.
$F_{netto} = 1{,}96 - \frac{1}{2} \times 1{,}96 = 0{,}98$ N
De versnelling van het vallende voorwerp is dan geen 9,81 m/s² meer zoals in het begin van de val maar de helft van 9,81 m/s² is 4,91 m/s².
Trek in de grafiek de lijn die hoort bij een versnelling van 4,91 m/s² en kijk waar de kromme even steil loopt als de lijn met die vaste versnelling van 4,91 m/s². Zie tekening.



De doorgetrokken lijn is de lijn die hoort bij een versnelling van 4,91 m/s², na 4,0 s is de snelheid dan namelijk 19,6 m/s. Verschuif de doorgetrokken lijn totdat hij aan de kromme raakt. De gestippelde lijn valt samen met de kromme na 1,7 s. Na 1,7 s is de steilheid van de kromme gelijk aan 4,91 m/s². Na 1,7 s is de luchtweerstand de helft van de maximale waarde.

© Noordhoff Uitgevers bv

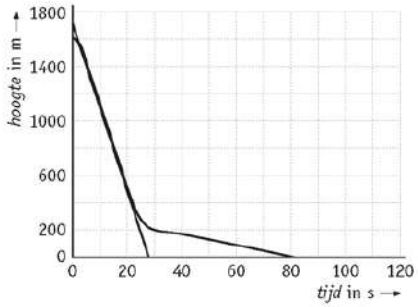
c Op tijdstip $t = 0$ is de luchtweerstand 0, op $t = 1{,}7$ s is de luchtweerstand 0,98 N en na 7,5 s is de luchtweerstand maximaal: 1,96 N.



49 a Bij het optrekken wordt kinetische energie opgebouwd:
$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \times 6 \cdot 10^5 \times (130/3{,}6)^2 = 3{,}91 \cdot 10^8$ J.
Het compenseren van weerstandskracht F_w over een afstand s van 197 km kost ook energie:
$W = F_w s = 50000 \times 197000 = 9{,}85 \cdot 10^9$ J.
In totaal is dat voor die ene rit: $3{,}91 \cdot 10^8 + 9{,}85 \cdot 10^9 = 1{,}0 \cdot 10^{10}$ J.

b Per stop is dat $3{,}91 \cdot 10^8$ J. Zie vraag a) En dat 15 keer: $15 \times 3{,}91 \cdot 10^8 = 5{,}9 \cdot 10^9$ J.

50 a 62 m/s
De steilheid van de plaatsgrafiek is de snelheid van de parachutist. Teken de raaklijn in punt dat hoort bij het tijdstip $t = 12$ s.



Voor de raaklijn geldt dat de hoogte afneemt met 1700 m in 27,5 s. De snelheid die bij de raaklijn hoort is: $v = 1700 / 27{,}5 = 62$ m/s. De snelheid na 12 s is dus ook 62 m/s.

b De snelheid is redelijk constant rond het tijdstip $t = 12$ s. De nettokracht is dus 0 en dat wil zeggen dat de weerstandskracht gelijk is aan de zwaartekracht:
$F_z = F_w = mg = 90 \times 9{,}81 = 8{,}8 \cdot 10^2$ N.

c Voor de luchtweerstand geldt: $F_w = \frac{1}{2}\rho\, c_w A v^2$.
Alle grootheden invullen:
$8{,}8 \cdot 10^2 = 0{,}5 \times 1{,}29 \times c_w \times 0{,}52 \times 62^2$
$8{,}8 \cdot 10^2 = 1289 \times c_w$
$c_w = 8{,}8 \cdot 10^2 / 1289 = 0{,}68$

d De arbeid die de weerstandskracht heeft verricht, heeft er voor gezorgd dat alle zwaarte-energie is omgezet in warmte. De gevraagde arbeid is gelijk aan de zwaarte-energie op $t = 0$ s.
$E_z = mgh = 90 \times 9{,}81 \times 1600 = 1{,}4 \cdot 10^6$ J

51 a $v_r = 1{,}25\sqrt{l_w} = 1{,}25 \times \sqrt{17} = 5{,}15$ m/s
Binas: 1 zeemijl = 1852 m (tabel 5)
5,15 m/s = 18540 m/uur = 18540/1852 zeemijl/uur = 10 zeemijl/uur = 10 knoop

b 1 knoop = 1852 m/uur = 1852/3600 m/s = 0,514 m/s
Wil je in de formule de snelheid in knopen invullen dan vermenigvuldig je eerst met 0,514 want de snelheid in m/s is de snelheid in knopen maal 0,514.
v (*in knoop*) $\times 0{,}514 = 1{,}25\sqrt{l_w}$
Formule ombouwen:
v (*in knoop*) $\times \frac{0{,}514}{1{,}25} = \sqrt{l_w}$
v (*in knoop*) $\times 0{,}411 = \sqrt{l_w}$
Links en rechts kwadrateren:
v^2 (*in knoop*) $\times 0{,}411^2 = l_w$
$l_w = v^2$ (*in knoop*) $\times 0{,}17$
Controleren met de gegevens van vraag a):
$l_w = 10^2 \times 0{,}17 = 17$ m. Klopt!

Toepassing

Opgave 1 Vallend kogeltje

1 0,15 m/s
De snelheid is gelijk aan de helling van de lijn want het diagram is een afstandsdiagram (s,t-diagram). De lijn gaat door de punten (0,35 s, 60 cm) en (1,1 s, 71 cm). De helling van de lijn is dan:
$(0{,}71 - 0{,}60)/(1{,}1 - 0{,}35) = 0{,}11/0{,}75 = 0{,}15$ m/s.
De snelheid 65 cm onder punt A is 0,15 m/s.

2 De snelheid is in dat punt al geen 0 m/s meer. Dat zie je aan het feit dat de raaklijn in (0,0) niet horizontaal loopt. Op tijdstip $t = 0$ s heeft het kogeltje al een snelheid.

3 50 cm
Het kogeltje raakt de olie op tijdstip $t = 0{,}25$ s want vanaf dat moment neemt de snelheid af tot $t = 0{,}35$ s en daarna blijft de snelheid in de olie constant. Op $t = 0{,}25$ s is de afstand onder punt A 50 cm.

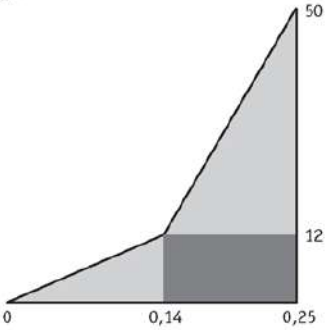
4 26
Voor de 'vloeistofweerstand' F_v geldt:
$F_v = \frac{1}{2}\rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$
In de olie is de beweging eenparig (zonder versnelling). Het gewicht in de olie van het kogeltje is gelijk aan de weerstand F_v in de vloeistof.
Gewicht kogeltje in olie is dan:
$0{,}90 \times mg = 0{,}90 \times 0{,}00051 \times 9{,}81 = 4{,}50 \cdot 10^{-3}$ N.
De doorsnede A van het kogeltje is
$A = \pi r^2 = \pi \times (0{,}25 \cdot 10^{-2})^2 = 1{,}96 \cdot 10^{-5}$ m².
Dit alles vul je in in de formule:
$4{,}50 \cdot 10^{-3} = 0{,}5 \times 0{,}80 \cdot 10^3 \times c_w \times 1{,}96 \cdot 10^{-5} \times 0{,}15^2$
$4{,}50 \cdot 10^{-3} = 1{,}76 \cdot 10^{-4} \times c_w$
$c_w = 4{,}50 \cdot 10^{-3} / 1{,}76 \cdot 10^{-4} = 26$.

Opgave 2 Golf

5 $1{,}3 \cdot 10^2$ Hz
De laatste flits is op het moment dat de bal geraakt wordt en dat is de 34e flits. Er zijn dus 33 intervallen in 0,25 s. Dat zijn $33 \times 4 = 132$ flitsen in 1,0 s. De frequentie is 132 Hz.

© Noordhoff Uitgevers bv

6 4,3 m
De lengte van de weg is de oppervlakte onder het *v,t*-diagram.



De oppervlakte is linker driehoek + rechthoek + bovenste driehoek = 0,5 × 0,14 × 12 + 0,11 × 12 + 0,5 × 0,11 × (50 – 12) = 0,84 + 1,32 + 2,09 = 4,25 = 4,3 m.

7 0,30
De bewegingsenergie van het uiteinde van de club is $\frac{1}{2}mv^2$ = 0,5 × 0,450 × 50^2 = 563 J.
De bewegingsenergie van de bal is
$\frac{1}{2}mv^2$ = 0,5 × 0,085 × 63^2 = 169 J.
rendement = energie bal / energie club = 169 / 563 = 0,30 (30%)

8 67 J
De bewegingsenergie van de club na de slag is
$1/2mv^2$ = 0,5 × 0,450 × $38{,}1^2$ = 327 J
Voor de slag was de energie 563 J.
Na de slag 327 + 169 = 496 J
Er is dus in warmte omgezet: 563 – 496 = 67 J.

Opgave 3 Auto

9 De massa van de auto bereken je met de formule
$F_r = c_r \cdot m \cdot g$
In de grafiek lees je af dat die kracht 100 N is en c_r = 0,012.
Invullen levert op:
100 = 0,012 × *m* × 9,81
m = 100 / (0,012 × 9,81) = 100/0,11772 = 849 kg = $8{,}5 \cdot 10^2$ kg.

10 0,40
De luchtweerstandscoëfficiënt bereken je met de formule: $F_w = \frac{1}{2}\rho c_w A v^2$.
Neem het punt *F* = 700 N en *v* = 37 m/s en vul de gegevens in in de formule.
$700 = \frac{1}{2} \times 1{,}29 \times c_w \times 2{,}0 \times 37^2$
$700 = 1766\ c_w$
c_w = 700 / 1766 = 0,40

11 100 km/h = 100 / 3,6 = 27,8 m/s
De rolweerstand bij die snelheid is 100 N.
De luchtweerstand bij die snelheid is 400 N.
De totale weerstand is 500 N en dat is ook de kracht die de motor moet uitoefenen.

12 De arbeid is kracht maal afstand:
W = *F* × *s* = 500 N × 1000 m = 500000 J = $5{,}0 \cdot 10^5$ J.
Per 1 km is dat $5{,}0 \cdot 10^5$ J.

13 20%
Ga uit van een afstand van bijvoorbeeld 100 km.
Het benzineverbruik is dan 7,7 L en dat geeft een totale energie van $7{,}7 \times 33 \cdot 10^6 = 2{,}541 \cdot 10^8$ J. De arbeid die de motor moet verrichten voor de 100 km is $100 \times 5{,}0 \cdot 10^5$ J = $5{,}0 \cdot 10^7$ J.
Het rendement is:

$$\frac{arbeid}{energietotaal} = \frac{5{,}0 \cdot 10^7}{2{,}541 \cdot 10^8} = 0{,}20 = 20\%$$

14 32 m/s
De totale wrijvingskracht is 640 N. De luchtweerstand is 100 N minder omdat de rolweerstand 100 N is. F_w = 540 N. Uit de grafiek lees je af dat bij die luchtweerstand een snelheid hoort van 32 m/s.

15 9,7 L per 100 km
De arbeid die de motor nu moet verrichten per 100 km is:
W = *F* × *s* = 640 N × 100000 m = 64000000 J = $6{,}4 \cdot 10^7$ J. Het rendement is nog steeds 20% en dat betekent dat er 5 maal meer energie de motor in moet: $5 \times 6{,}4 \cdot 10^7$ J = $3{,}2 \cdot 10^8$ J.
1 L benzine levert nog steeds $33 \cdot 10^6$ J.
Aantal liter dat nodig is om $3{,}2 \cdot 10^8$ J energie te produceren:
$3{,}2 \cdot 10^8$ J / $33 \cdot 10^6$ J = 9,7 L.
Het benzineverbruik bij deze snelheid is 9,7 L per 100 km.

Opgave 4 Model van energieomzetting

16 Computeropdracht

17 Computeropdracht

18 Computeropdracht

19 Computeropdracht

Opgave 5 Sprinkhaan

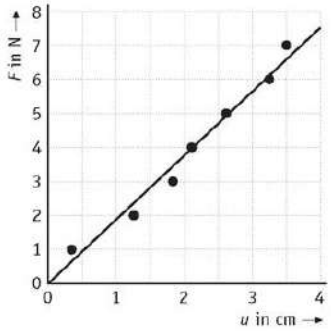
20 De kinetische energie bij het loskomen, is helemaal omgezet in zwaarte-energie in het hoogste punt op 1,0 m.
Dit geeft de volgende energie vergelijking:
$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$
vereenvoudigen: $\frac{1}{2}v^2 = gh$
en invullen:
$\frac{1}{2}v^2 = 9{,}81 \times 1{,}0 = 9{,}81$
$v^2 = 19{,}6$
v = 4,4 m/s

21 *v* = 4,8 m/s
De snelheid is de steilheid van de raaklijn aan de grafiek op het tijdstip *t* = 0,25 s. Die steilheid is 4,8 m/s.

© Noordhoff Uitgevers bv

22 De parabool is dan niet symmetrisch in geval van luchtweerstand. De valtijd is 1,25 – 0,75 = 0,50 s. De stijgtijd van de sprinkhaan duurt: 0,75 – 0,25 = 0,50 s. De luchtweerstand is dus verwaarloosbaar want het stijgen duurt even lang als het vallen.

23 De zwaarte-energie is mgh = 0,0062 × 9,81 × (1,22 + 0,04) = 0,0766 J.
Die 4,0 cm moet erbij geteld worden omdat de zuignap 4,0 cm was ingedrukt en t_1 hoort bij de situatie waarin de sprinkhaan al 4,0 cm omhoog is gekomen, zie figuur 7.73.
De veerenergie bepaal je uit de oppervlakte onder de (F, u)-grafiek van 0 tot 4,0 cm. Om deze oppervlakte te kunnen bepalen moet een rechte lijn door de meetpunten worden getrokken.



De veerenergie is dan:
$\frac{1}{2}$ × 0,040 × 7,5 = 0,15 J.
rendement = 0,0766/0,15 = 0,51 (51%)

Proefwerkopgaven

1 a 9,0 m/s
Gebruik het principe dat de door de (netto, voorwaartse) kracht van 45 N verrichte arbeid wordt omgezet in kinetische energie:
$W = F \cdot s$ = 45 × 50 = 2250 J,
dus E_k = 2250 J = $\frac{1}{2}mv^2$

$$v = \sqrt{\frac{2250}{27{,}5}} = 9{,}0 \text{ m/s}$$

b 18 N
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ = 0,5 × 55 × 7² = 1347,5 J
er is dus 2250 – 1347,5 = 902,5 J 'verdwenen':
de weerstandskracht heeft 902,5 J negatieve arbeid verricht:
902,5 = $F_w \cdot s = F_w \times 50 \rightarrow F_w$ = 902,5 : 50 = 18 N.

Of: E_k = 1347,5 J dus $W = F_{netto} \cdot s$ = 1347,5 J
$\rightarrow F_{netto}$ = 1347,5 : 50 = 27 N
de weerstandskracht is dus 45 – 27 = 18 N

c Rolweerstand en luchtweerstand.

2 a Via veerenergie (buiging van de polsstok)

b 5,05 m
Je mag aannemen dat: E_z (boven) = E_k (beneden)
$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow 80 \times 9{,}81 \times h = 0{,}5 \times 80 \times 8{,}8^2$

$$h = \frac{0{,}5 \times 8{,}8^2}{9{,}81} = 3{,}95\text{m}$$

Zijn zwaartepunt kan 3,95 m hoger komen dus op 3,95 + 1,10 = 5,05 m

c 2,6 · 10³ J
$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ = 0,5 · 80 × 8² = 2560 J = 2,6 · 10³ J

d De arbeid die door de matras wordt verricht op de atleet wordt gegeven door het oppervlak onder de groene lijn. Omdat de groene lijn niet recht is, benaderen we de groene lijn door een rechte lijn door de punten {0 cm;0 N} en {45 cm;13 · 10³ N}. Het oppervlak onder deze lijn bedraagt 0,5 × 0,45 × 13 · 10³ = 2925 J = 3 · 10³ J.
De gevraagde arbeid is negatief omdat de kracht tegen de beweging in werkt.

e Er moet meer arbeid worden verricht omdat tijdens het inveren van de matras nog steeds over 45 cm zwaarte-energie wordt omgezet in kinetische energie van de atleet.

f Nu wordt de arbeid, die door de matras op de atleet wordt verricht, gegeven door het oppervlak onder de rode lijn. Dit oppervlak is veel kleiner dan het oppervlak onder de groene lijn, dus de atleet krijgt veel minder kinetische energie omhoog, dan waarmee hij neerkwam. Zijn snelheid is dus (gelukkig) ook veel kleiner.
De oppervlakte tussen de groene en de rode lijn geeft dus de energie weer die bij het in- en weer uitveren van de matras is omgezet in warmte.

3 a 80 N
De rolweerstand is dat deel van de totale weerstand dat onafhankelijk is van de snelheid.
Bij v = 0 m/s kun je de rolweerstand dus aflezen uit de grafiek.

b $F_w = \frac{1}{2}\rho c_w A v^2$. Kijk in de grafiek bij 20 m/s. De totale weerstand is 400 N. De rolweerstand is en blijft 80 N. De luchtweerstand is dan 320 N. Vul alle gegevens in in de formule:
320 = $\frac{1}{2}$ × 1,29 × c_w × 2,1 × 20²
320 = 542 × c_w
c_w = 320 / 542 = 0,59

c 5,4 kW
v = 60 km/h = 16,7 m/s
Lees bij deze snelheid de totale weerstand af:
F = 300 N $P = F \cdot v$ = 300 × 16,7 = 5,0 · 10³ W = 5,0 kW

d 52 km/h
Er kan 0,82 × 60 MJ = 49,2 MJ nuttige arbeid verricht worden over een afstand van 200 km = 2,0 · 10⁵ m.
Bereken F uit $W = F \cdot s$

$$F = \frac{49{,}2 \cdot 10^6}{2{,}0 \cdot 10^5} = 246 \text{ N}$$

Lees v af uit de grafiek: v = 14,5 m/s = 52 km/h

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 8
Trillingen

Introductie

1 Een roterend voorwerp is uit balans wanneer de massa ongelijk verdeeld is ten opzichte van de draaias. Bij een autowiel kun je massa bijplaatsen in de vorm van loodjes zodat het massamiddelpunt verschuift en wel op de draaias ligt. Je kunt natuurlijk ook massa *verwijderen* maar bij een autoband ligt dat niet voor de hand.

2 4500 rpm = 4500 omwentelingen per minuut = 75 omwentelingen per seconde. Eén omwenteling is hetzelfde als één trilling. Dus 75 Hz is ook de trilfrequentie.

3 De telefoon trilt 0,60 s en vervolgens 0,65 s niet. Totaal duurt elke 'periode' dus 1,25 s. Er zijn in 30 s dan $\frac{30}{1,25}$ = 24 periodes. Tijdens elke periode trilt de telefoon 0,60 s, dus de telefoon trilt totaal: $24 \times 0,60 = 14,4$ s.

4 De capaciteit is 1440 mAh = 1,440 Ah. De stroomsterkte bij een spanning van 3,7 V en een vermogen van 98 mW is: $P = U \cdot I$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{98 \cdot 10^{-3}}{3,7} = 0,0265 \text{ A}$$

$$\frac{1,440}{0,0265} = 54 \text{ h}$$

5 De vibratiemotor brengt nauwelijks lucht aan het trillen. Een trilling is pas hoorbaar wanneer deze voldoende lucht in trilling brengt. Een tafelblad brengt door zijn grote oppervlakte wel voldoende lucht in trilling. Een hand is zacht en brengt de lucht niet in trilling.

6 a Het ritme wordt voelbaar door de trillers in rijen (van beneden naar boven bijvoorbeeld) te activeren volgens het dominante ritme van de muziek.
b Melodieën worden weergegeven door het aantal trillers dat meedoet als een vlek te laten toenemen, of door het oppervlak van trillers die actief zijn over het lichaam te laten verschuiven.

7 Eigen antwoord

8.1 Trillingen

1 a Eigen antwoord
b Eigen antwoord

2 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,025} = 40$ Hz

3 Elke periode legt de bal een afstand af van $4A$.
$f = 2$ Hz = 120 trillingen/minuut.
Totale afstand = $4 \times 0,15 \times 120 = 72$ m.

4 a $f = 84/60 = 1,4$ Hz
b $s = v \cdot t = v \cdot T$
$v = 126/3,6 = 35$ m/s
$T = 1/1,4 = 0,714$ s
De lengte van één stuk rails is dan:
$35 \times 0,714 = 25$ m.
c Wanneer de stukken rails dezelfde lengte hebben en de snelheid van de trein constant is, gaat het om een periodieke beweging. Er is geen evenwichtsstand, dus het is geen trilling.

5 a $T_1 = 1/1,67 = 0,60$ s. $T_2 = 1/1,25 = 0,80$ s.
Een halve periode (de tijd van evenwichtsstand naar evenwichtsstand) is dan respectievelijk 0,30 s en 0,40 s. Elke 1,2 sec hebben beide blokjes een geheel aantal halve trillingen gemaakt en komen beide blokjes dus tegelijk door de evenwichtsstand. Per minuut gaan ze 60/1,2 = 50 maal tegelijk door de evenwichtsstand.
b Elke 1,2 s heeft het ene blokje 3 halve trillingen uitgevoerd en het andere blokje 4 halve trillingen. Dit betekent dat ze allebei vanaf een andere kant komen en in tegengestelde richting door de evenwichtsstand gaan. Na 2,4 s hebben ze allebei een geheel en even aantal halve trillingen uitgevoerd en gaan ze in dezelfde richting (omhoog) door de evenwichtsstand. Dit is 60/2,4 = 25 keer per minuut.

6 a Op het scherm zijn $2\frac{1}{4}$ periodes zichtbaar in 10 hokjes. Elk hokje is 2,5 μs. De periode is dan

$$T = \frac{10 \times 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{2,25} = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,11 \cdot 10^{-5} \text{ s}} = 90 \text{ kHz}$$

De amplitude is 4 hokjes, elk hokje is 2,5 mV.
$A = 4 \times 2,5 = 10$ mV
b Het hele scherm bestaat uit 10 hokjes horizontaal, dit moet overeenkomen met T. Elk hokje moet dan overeenkomen met $\frac{T}{10} = \frac{1,11 \cdot 10^{-5} \text{ s}}{10} = 1,11 \cdot 10^{-6}$ s.
De instelling moet dan 1,1 μs/div zijn.
c Oorspronkelijke instelling: 2,5 μs/div, dus 25 μs voor het hele scherm.
$T = 25$ μs in dit geval en dus $f = 40$ kHz.

7 a $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,0 \cdot 10^3} = 1,0$ ms

b 10 hokjes voor 2 periodes, dus 10 hokjes komt overeen met 2,0 ms.
De instelling is dan 0,20 ms/div
c De amplitude van het signaal wordt groter, dus de verticale instelling moet aangepast worden. Het aantal volts per hokje moet groter worden.

© Noordhoff Uitgevers bv

8 Nee, de software maakt een vertaling van de klanken die je uitspreekt en maakt daar woorden van. Het is niet van belang hoe hard je de klanken uitspreekt.

9 **a** spanning
b Meet bijvoorbeeld vanaf de bovenkant van de puls.
$3T = 9{,}8 - 8{,}2 = 1{,}6$ s
$T = 1{,}6/3 = 0{,}53$ s
$f = 60/0{,}53 = 113 = 1{,}1 \cdot 10^2$ slagen per minuut

8.2 Trilling en kracht

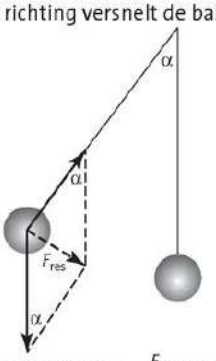
10 Nee, het is geen *harmonische* trilling omdat de kracht niet evenredig is met de uitwijking. De veerkracht van de bal verdwijnt wanneer deze los komt van de grond. Het *(u,t)*-diagram is niet sinusvormig. Dit is zelfs geen trilling, want er is geen evenwichtsstand.

11 **a** $C = \frac{F}{u} = \frac{24}{4{,}0} = 6{,}0$ N/cm
$C = \frac{F}{u} = \frac{24}{0{,}040} = 6{,}0 \cdot 10^2$ N/m
b $u = \frac{F}{C} = \frac{33}{600} = 0{,}055\ m = 5{,}5$ cm

12 $u = 15{,}0 - 12{,}0 = 3{,}0$ cm $= 0{,}030$ m
$F = C \cdot u = 50 \cdot 0{,}030 = 1{,}50$ N
$m = \frac{1{,}50}{9{,}81} = 0{,}15$ kg

13 Pulsje

14 **a** De resulterende kracht op de bal is loodrecht op het touw, want in die richting beweegt de bal, en in die richting versnelt de bal.



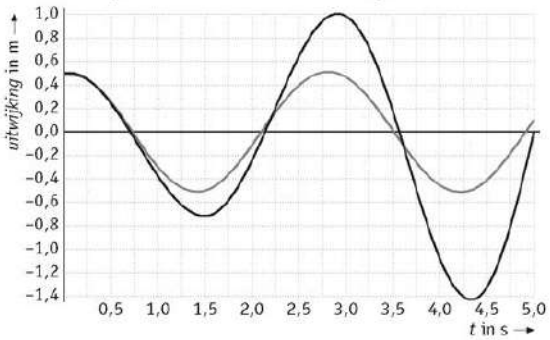
Er geldt $\sin\alpha = \frac{F_{res}}{F_z}$ (volgens de onderste driehoek)
$F_{res} = F_z \cdot \sin\alpha = m \cdot g \cdot \sin\alpha$
In de tekening is de uitwijking naar links en de F_{res} naar rechts. F_{res} en u zijn tegengesteld gericht, vandaar een – teken. Dus: $F_{res} = -m \cdot g \cdot \sin\alpha$.
b Volgens de wet van Hooke geldt: $F = -C \cdot u$.
De uitwijking moet dus recht evenredig zijn met de kracht. De uitwijking kan ook weergegeven worden door de hoek die de slinger maakt met de verticaal, maar nu is de kracht evenredig met de *sinus* van deze hoek. De wet van Hooke geldt dus niet.
c De uitwijking u is recht evenredig met de hoek α, hoe groter de hoek, hoe groter de uitwijking. Voor kleine hoeken is $\sin\alpha$ gelijk aan α (met α in radialen) en geldt: $F_{res} = -m \cdot g \cdot \alpha$. De resulterende kracht is dus recht evenredig met de uitwijking.

15 **a** $F_{veer} = C \cdot u = 200 \times 0{,}15 = 30$ N
$F_z = m \cdot g = 5{,}1 \times 9{,}81 = 50$ N
Om het blok stil te houden moet er dus 50 N op het blok werken. De veer zorgt voor 30 N, de hand moet dus $50 - 30 = 20$ N leveren.
b Wanneer je je hand rustig zou laten zakken totdat de veer stil hangt wordt de uitrekking van de veer: $u = \frac{F}{C} = \frac{50}{200} = 0{,}25$ m. Dit is de evenwichtsstand. Wanneer je je hand snel wegtrekt schiet het blokje dit punt voorbij en gaat het trillen rond dit punt. De amplitude is dan $0{,}25 - 0{,}15 = 0{,}10$ m.
c - De kracht F van je hand wordt groter omdat de veer minder meehelpt bij kleinere uitrekking.
- De trillingstijd T blijft hetzelfde. Die is onafhankelijk van A.
- De amplitude wordt groter omdat de beginuitwijking groter is.

16 Pulsje

17 Je kunt in de grafiek (figuur 8.20) zien dat $u(0) = 0$. In het tekstueel model is de startwaarde van de uitwijking 0,5. In figuur 8.20 is er ook een beginsnelheid. In het tekstueel model is de startwaarde van de snelheid 0.

18 **a** A = beginuitwijking = 0,5 m
b De amplitude neemt toe. De trilling versterkt.



c Er ontstaat nu wel een mooie sinus (de lichtgrijze lijn hierboven). Bij een harmonische trilling is de kracht altijd ***tegengesteld*** aan de uitwijking. Wanneer kracht en uitwijking een beetje 'uit de pas lopen' (uit fase noem je dat) is er af en toe een kracht ***in de richting van de uitwijking***. De amplitude neemt dan toe.
Een tijdstap van 0,1 seconde is te groot ten opzichte van de periodetijd. Dit 'uit de pas lopen' is dan sterk merkbaar.
d De amplitude zal veranderen. 0,5 is nu namelijk niet meer gelijk aan de uiterste stand, omdat op dit punt de snelheid niet gelijk is aan 0.
Een snelheid van 0,8 bij een uitwijking van 0,5 betekent dat de uitwijking nog groter wordt. De amplitude zal toenemen omdat *v(0)* en *u(0)* hetzelfde teken hebben. Dit betekent dat in de beginsituatie de massa rechts van het midden zit ($u > 0$) en naar rechts beweegt ($v > 0$).
e eigen antwoord

© Noordhoff Uitgevers bv

19 a $T = 4{,}0$ s

b Een startwaarde van 0,25 in plaats van 0,5 bij een snelheid van 0 betekent een kleinere amplitude van de trilling. Dit heeft geen effect op de trillingstijd.

c eigen antwoord

d De periode is nu 8,0 s. Bij een viermaal zo grote massa wordt de trillingstijd tweemaal zo groot.

e De periode is nu 4,0 s. Bij een viermaal zo grote veerconstante wordt de trillingstijd tweemaal zo klein.

f De uitwijking wordt nu alleen maar groter, aangezien de kracht nu in dezelfde richting werkt als de uitwijking.

g Bij $F = -C \cdot u^2$ heeft de kracht altijd dezelfde richting. De uitwijking zal eerst wel kleiner worden, maar aangezien de kracht dezelfde richting houdt (ook al verandert de uitwijking van richting) zal de uitwijking steeds groter worden.
Bij $F = -C \cdot \sqrt{u}$ wordt de uitwijking steeds kleiner. Zodra de uitwijking negatief wordt is de kracht niet meer te berekenen en stopt het programma.

20 a $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 0{,}30 = 2\pi\sqrt{\frac{1130}{C}}$

$\frac{0{,}30}{2\pi} = \sqrt{\frac{1130}{C}} \rightarrow \left(\frac{0{,}30}{2\pi}\right)^2 = \frac{1130}{C}$

$C = \frac{1130}{\left(\frac{0{,}30}{2\pi}\right)^2} = 5{,}0 \cdot 10^5$ N/m

b Om te voorkomen dat de auto blijft trillen. Als de auto over een hobbel rijdt blijft de auto daarna anders op en neer gaan, dit is niet prettig.

c Nieuwe massa: $1130 + 5 \times 75 + 60 = 1565$ kg.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{1565}{5{,}0 \cdot 10^5}} = 0{,}35$ s

21 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 0{,}50 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{12{,}6 \cdot 10^3}}$

$\left(\frac{0{,}50}{2\pi}\right)^2 = \frac{m}{12{,}6 \cdot 10^3}$

$m = \left(\frac{0{,}50}{2\pi}\right)^2 \times 12{,}6 \cdot 10^3 = 79{,}8$ kg

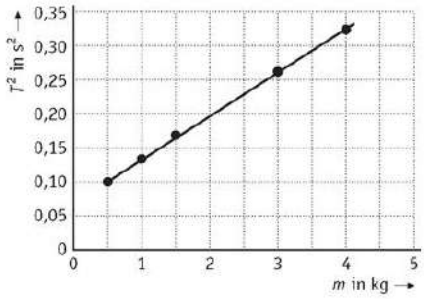
De massa van de astronaut is dus $79{,}8 - 4{,}0 = 76$ kg.

22 A. Als de veer ook massa heeft is er totaal een grotere massa aan het trillen. Dit heeft tot gevolg dat de trillingstijd groter wordt.

23 De amplitudo's hebben geen invloed op de trillingstijd, de verhouding m/C bepaalt de trillingstijd.
De juiste volgorde van klein naar groot is:
A, B, D-E, C, F

24 a Bij 10 trillingen heeft de onnauwkeurigheid in de tijdmeting minder invloed op de onnauwkeurigheid in één periodetijd. Het meten van $10T$ is dus nauwkeuriger.

b



Er is een recht evenredig verband tussen T en $\sqrt{m}$ dus ook een recht evenredig verband tussen T^2 en m.

c $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{C}m$

T^2/m is de helling van de grafiek van T^2 tegen m.

$\frac{T^2}{m} = \frac{4\pi^2}{C}$

d De helling is gelijk aan 0,064 s²/kg.

$0{,}064 = \frac{4\pi^2}{C} \rightarrow C = \frac{4\pi^2}{0{,}064} = 6{,}2 \cdot 10^2$ N/m

e De massa die op de x-as staat is de massa van het karretje. De massa van de veer zit er niet in. De trillingstijd bij $m = 0$ is in deze grafiek dus de trillingstijd van de veer zonder karretje.

f Het snijpunt met de x-as ligt bij ongeveer −1,0 kg. Deze massa is de helft van de massa van de veer. Het is de helft omdat het massamiddelpunt van de veer 'op halve kracht' meetrilt.

25 a $T_1 = 2{,}0$ s, $m = x$ kg
$T_2 = 3{,}0$ s, $m = x + 0{,}50$ kg
De veerconstante is gelijk in beide gevallen.
De trillingstijd is 1,5 keer zo groot. Dit betekent dat de massa $1{,}5^2 = 2{,}25$ keer zo groot is.
$x + 0{,}50 = 2{,}25 \cdot x \rightarrow 1{,}25x = 0{,}50 \rightarrow x = 0{,}40$ kg
De massa van het blok is dus 0,40 kg.

b $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow 2{,}0 = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}40}{C}}$

$C = \frac{0{,}40}{\left(\frac{2{,}0}{2\pi}\right)^2} = 3{,}9$ N/m

26 a De massa komt in de formule niet voor.

b $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}248}{9{,}81}} = 1{,}0$ s

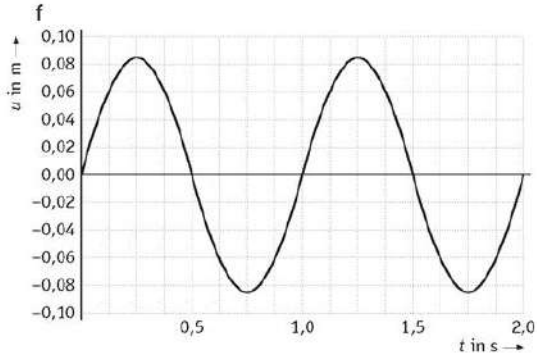
c De waarde van g is op de maan anders dan op aarde. De slingertijd is daarom niet meer 1,0 s en de klok zal niet meer goed lopen.

d Vergelijk $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ met $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$. Hieruit volgt dat $\frac{m}{C} = \frac{l}{g} \rightarrow C = \frac{m \cdot g}{l}$.

e In een kwart trillingstijd gaat de slinger van de uiterste stand naar de evenwichtsstand. Hierbij wordt een afstand van 8,5 cm afgelegd. De gemiddelde snelheid is dan:
$v_{gem} = \frac{s}{t} = \frac{8{,}5}{0{,}25} = 34$ cm/s. Door de evenwichtsstand is de snelheid ongeveer twee keer zo groot als de gemiddelde snelheid.
Dus $v = 68$ cm/s $= 0{,}68$ m/s.

© Noordhoff Uitgevers bv

f



8.3 Trillen en meetrillen

27 De frequentie blijft hetzelfde.

28 a bewegingsenergie

b $E_{k,evenwichtsstand} = E_{veer,max}$

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}CA^2$

$\frac{1}{2} \times 0{,}100 \times 1{,}0^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times A^2 \rightarrow A = 0{,}10$ m

29 a $mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 68 \times 9{,}81 \times 1{,}20 = \frac{1}{2} \times 68 \times v^2$

$v^2 = \dfrac{68 \times 9{,}81 \times 1{,}20}{\frac{1}{2} \times 68}$

$v = 4{,}85$ m/s

b In elk geval bewegingsenergie, dat is duidelijk. Er is geen veerenergie want de trampoline is nog niet ingedrukt. Zwaarte-energie is er wel want het laagste punt dat Bjorn bereikt is 30 cm indrukking van de trampoline. Het ligt voor de hand daar $h = 0$ te kiezen.
Vlak voordat Bjorn de trampoline raakt is er dus bewegingsenergie en zwaarte-energie.

c In het laagste punt is de snelheid 0 m/s. Er is dan alleen maar veerenergie. Zwaarte-energie is volledig omgezet in veerenergie. Het totale hoogteverlies is 1,20 + 0,30 = 1,50 m.

$mgh = \frac{1}{2}Cu^2 \rightarrow 68 \times 9{,}81 \times 1{,}50 = \frac{1}{2} \times C \times 0{,}30^2$

$C = \dfrac{68 \times 9{,}81 \times 1{,}50}{\frac{1}{2} \times 0{,}30^2}$

$C = 2{,}2 \cdot 10^4$ N/m

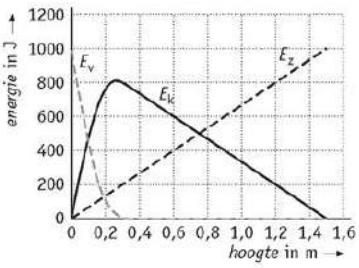
d Als Bjorn stilstaat is er evenwicht van krachten. Er geldt:

$F_z = F_v \rightarrow m \cdot g = C \cdot u$

$u = \dfrac{m \cdot g}{C} = \dfrac{68 \times 9{,}81}{2{,}2 \cdot 10^4} = 0{,}030$ m

e De trampoline levert een remmende kracht zodra deze wordt ingedrukt. Zolang de zwaartekracht groter is dan de veerkracht blijft Bjorn versnellen. Na 3,0 cm indrukking is de veerkracht groter dan de zwaartekracht en begint het afremmen.

f



30 a $[k] = \dfrac{[F]}{[v]} = \dfrac{\text{N}}{\text{m/s}} = \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$

b De richting van de wrijvingskracht is altijd tegengesteld aan de snelheid.

c Na ongeveer 3 periodes is de amplitude gehalveerd.

d Als het voorwerp nét niet meer trilt dan komt het voorwerp niet meer onder de evenwichtsstand, oftewel onder $u = 0$.
Bij $k = 2{,}5$ komt het voorwerp nét niet meer onder de lijn $u = 0$.

e Bij een overgedempte trilling komt het voorwerp ook niet onder de lijn $u = 0$ uit, maar het duurt langer voordat het voorwerp $u = 0$ heeft bereikt dan bij een kritisch gedempte trilling.

f $k = 2\sqrt{Cm} = 2\sqrt{2 \times 0{,}81} = 2{,}5$

g Voor een kleine k geldt dat $\frac{k^2}{4m^2}$ bijna nul is. De formule wordt dan: $f_d = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{m}}$.
Met $T = \frac{1}{f}$ geldt dan: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$.

31 a Je moet je op het juiste (handigste) moment afzetten.

b De trillingsenergie neemt toe.

32 a Duwen met de halve frequentie betekent dat Tieme elke twee slingeringen een duw geeft. Dat levert wel wat op. Benthe moet wat meer geduld hebben.

b De zwaarte-energie bij de maximale uitwijking is in de evenwichtsstand volledig omgezet in bewegingsenergie.

$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow gh = \frac{1}{2}v^2$

$9{,}81 \times 0{,}50 = \frac{1}{2}v^2$

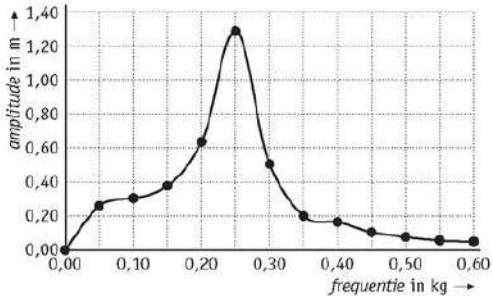
$v^2 = \dfrac{9{,}81 \times 0{,}50}{\frac{1}{2}}$

$v = 3{,}1$ m/s

33 a Het resultaat is dat er niets gebeurt. De beweging heeft geen beginsnelheid, geen beginversnelling en geen beginuitwijking. Als de frequentie van de motor $f = 0$ is, oefent de motor ook nog eens geen kracht uit.

© Noordhoff Uitgevers bv

b In het diagram zie je dat de amplitude sterk afhangt van de frequentie van het motortje.



c Bij 0,25 Hz is de amplitude maximaal.

d De eigenfrequentie van de massa aan de veer is te berekenen. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}81}{2}} = 4{,}0$ s

$f = \frac{1}{T} = 0{,}25$ Hz

Deze frequentie komt overeen met wat we in c hebben gevonden.

34 a $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{1400}{33 \cdot 10^3}} = 1{,}29$ s

b De maximale veerenergie is bereikt bij de maximale indrukking. In dit geval is dat bij 5,0 cm.

$E_v = \frac{1}{2}Cu^2 = \frac{1}{2} \times 33 \cdot 10^3 \times 0{,}050^2 = 41$ J

c Alle trillingsenergie van de uiterste stand wordt omgezet in bewegingsenergie:

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 41 = \frac{1}{2} \times 1400 \times v^2$

$v^2 = \frac{41}{700}$

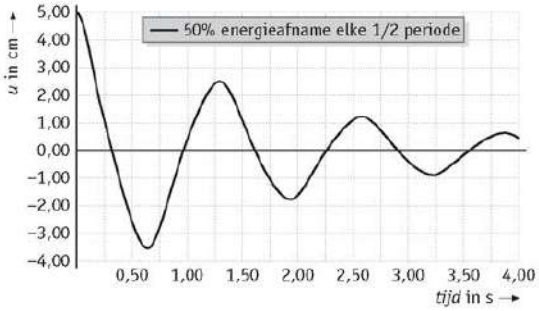
$v = 0{,}24$ m/s

d

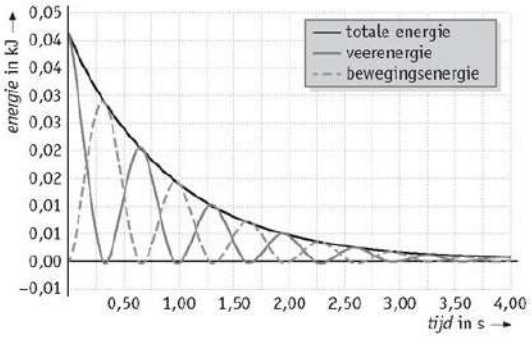
percentage	E_v in J	A in m
100,0	41,00	0,050
50,0	20,50	0,035
25,0	10,25	0,025
12,5	5,13	0,018
6,25	2,56	0,012

e $T = 1{,}29$ s

Een schets van de uitwijking voor 3 perioden:



f



35 a Het frequentieverschil is nu 2,0 Hz.

b Het verschil tussen de gitaar en de stemvork is gelijk aan 2,0 Hz. Johan weet alleen niet of hij 2,0 Hz te hoog of te laag zit.

c De frequentie van de zweving neemt toe, dat betekent dat de frequenties verder uit elkaar gaan. De gitaar is dus op een te hoge frequentie afgestemd.

d De samengestelde toon heeft een frequentie van

$f = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{443 + 440}{2} = 441{,}5$ Hz

(afgerond is dit 442 Hz)

8.4 Fase en snelheid

36 a We gaan ervan uit dat de fase om middernacht gelijk is aan nul.

$\varphi = \frac{t}{T} = \frac{8}{12{,}25} = 0{,}65$

b $\varphi = \frac{t}{T} = \frac{22}{12{,}25} = 1{,}80$

De gereduceerde fase is dan 0,80.

37 a Er zit een halve periode tussen beide hoogste standen.

$\Delta\varphi = 0{,}5$

b Tussen de maximale hoogte en de evenwichtsstand zit $^1/_4$ periode.

$\Delta t = \frac{1}{4} \times 3{,}5 = 0{,}88$ s

38 a Lucht warmt op via het aardoppervlak en via zeewater en niet alleen rechtstreeks door zonnestralen. Het kost veel tijd voordat het aardoppervlak opwarmt en voor het zeewater duurt het nog langer. Daarom duurt het wat langer voordat de luchttemperatuur de maximale dagwaarde bereikt.

b Ongeveer 45 dagen zit er tussen de minima of maxima. De periodetijd is 365 dagen.

$\Delta\varphi = \frac{45}{365} = 0{,}12$

39 a $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}50} = 2{,}0$ Hz

Je kunt T direct bepalen door de tijdsduur van 1 trilling af te lezen. Het is nauwkeuriger om voor 3 trillingen de tijdsduur af te lezen en door 3 te delen.

© Noordhoff Uitgevers bv

b $u(t) = 0{,}20\ sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{0{,}50}\right) = 0{,}20\ sin\ (4\pi \cdot t)$

of: $u(t) = 0{,}20\ sin\left(360 \cdot \frac{t}{0{,}50}\right) = 0{,}20\ sin\ (720 \cdot t)$

T weet je uit vraag a. A bepaal je door de uiterste waarden af te lezen in de grafiek.

c $u(t) = 0{,}20\ sin\ (4\pi \times 0{,}40) = -0{,}19$ m
of: $u(t) = 0{,}20\ sin\ (720° \times 0{,}40) = -0{,}19$ m
Zorg dat je rekenmachine in de juiste mode staat. Controleer jezelf aan de hand van de grafiek.

d Als de fase 0,80 is dan geldt:
$0{,}80 = \frac{t}{T} = \frac{t}{0{,}50} \rightarrow t = 0{,}50 \times 0{,}80 = 0{,}40$ s
De uitwijking is dus net als bij vraag c gelijk aan $u = -0{,}19$ m

e Het vogeltje zit voor het eerst op de maximale hoogte (20 cm) na $^1/_4$ periode.
$\varphi = 0{,}25$

f 1,5 trilling later dan $\varphi = 0{,}25$
$\varphi = 1{,}5 + 0{,}25 = 1{,}75$

40 a De amplitude is 5,0 m (het gedeelte dat voor de sin staat). De '+3,0' heeft hier geen invloed op, dit geeft alleen informatie over de evenwichtsstand.
In de algemene plaatsfunctie staat binnen de sin: $2\pi \cdot \frac{t}{T}$. In de formule in de opdracht staat $\pi \cdot \frac{t}{6}$. Dit betekent dat:

$$2\pi \cdot \frac{t}{T} = \pi \cdot \frac{t}{6} \rightarrow \frac{2}{T} = \frac{1}{6} \rightarrow T = 12 \text{ h}$$

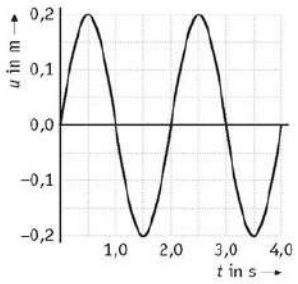
b Half 1 's nachts betekent $t = 0{,}5$ h.
$u(0{,}5) = 5{,}0 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{0{,}5}{6}\right) + 3{,}0 = 4{,}3$ m

c De boot kan een half uur na de evenwichtsstand vertrekken. Een half uur vóór de evenwichtsstand staat het water weer op dezelfde hoogte. Na een halve periode is de evenwichtsstand weer bereikt, dit is om 6 uur 's ochtends. Dus tot half 6 's ochtends kan de boot terugkeren.

41 a 2,0 s
De massa van de plank is niet gegeven dus die verwaarloos je:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{50}{500}} = 1{,}99 = 2{,}0 \text{ s}$$

b



c tussen $\varphi = {}^3/_4$ en $\varphi = 0$
Om een grotere amplitude te krijgen moet de kracht waarmee je naar de evenwichtsstand getrokken of geduwd wordt toenemen. Dat bereik je het eenvoudigst als de plank je toch al omhoog aan het duwen is. Je moet je dus beginnen met afzetten op het laagste punt, als $\varphi = {}^3/_4$, wanneer de plank juist omhoog begint te bewegen

d *tussen $\varphi = 0$ en $\varphi = {}^1/_4$*
Je komt los van de plank zodra je snelheid groter is dan de snelheid van de plank. De plank heeft zijn grootste snelheid omhoog als $\varphi = 0$, daarna gaat hij afremmen.
Zodra de vertraging groter is dan g kom je los.

e De trillingstijd is evenredig met $\sqrt{m}$. Zodra Isabel loskomt wordt m veel kleiner en T dus ook. Als T kleiner wordt, wordt f groter en trilt de plank sneller.

42 a Bij een harmonische trilling is er in de evenwichtsstand uitsluitend bewegingsenergie en in de uiterste stand uitsluitend veerenergie. De uitwijking in de uiterste stand is gelijk aan de amplitude. De snelheid in de evenwichtsstand is gelijk aan de maximale snelheid.

I. $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = \frac{1}{2}CA^2 \rightarrow v_{max}^2 = \frac{CA^2}{m} \rightarrow v_{max} = A\sqrt{\frac{C}{m}}$

De trillingstijd van een massa aan veer kun je gebruiken om de wortel kwijt te raken.

II. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{2\pi}{T}$

I + II samenvoegen: $v_{max} = 2\pi\frac{A}{T}$

b $u(t) = A \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$
$u'(t) = v(t) = A \cdot \frac{2\pi}{T}\cos\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$
Gebruik hierbij de kettingregel. De maximale waarde van de cos is 1, dus: $v_{max} = 2\pi\frac{A}{T}$.

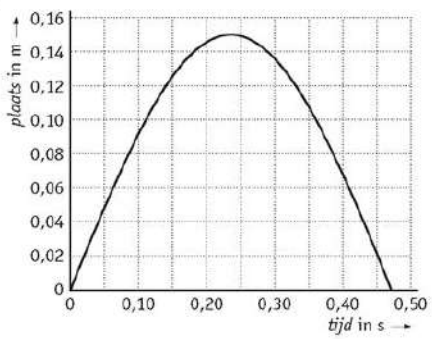
43 a $C = 1{,}1 \cdot 10^7$ N/m
$F = C \cdot u \Rightarrow 1{,}67 \cdot 10^5 = C \times 0{,}15$
$C = \frac{1{,}67 \cdot 10^6}{0{,}15} = 1{,}1 \cdot 10^7$ N/m

b 0,47 s
Je vat de botsing op als een halve periode van een harmonische trilling. Immers, tijdens de botsing geldt $F = -C \cdot u$. De contacttijd is dus de helft van de trillingstijd:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2 \times 3{,}14 \times \sqrt{\frac{2{,}5 \cdot 10^5}{1{,}11 \cdot 10^7}} = 0{,}94 \text{ s},$$

en $t_{contact} = 0{,}94/2 = 0{,}47$ s

c



Het nulpunt van de grafiek is de plek waar de trein de buffer voor het eerst raakt.

44 a In de evenwichtsstand na hoog water. Dat is om 6 h.

b $v_{max} = \frac{2\pi A}{T} = 2\pi \times \frac{5{,}0}{12} = 2{,}6\ m/h = 7{,}3 \cdot 10^{-4}$ m/s

45 a Als de ondergrond te stevig vast zit wordt de trilling van een metronoom gedempt voordat deze een volgende metronoom heeft bereikt.

b Wanneer het zwaartepunt boven het draaipunt zit is er geen kracht richting het evenwichtspunt maar daar van af. Een harmonische trilling is dan onmogelijk. (De slinger valt gewoon naar links of naar rechts en blijft daar).

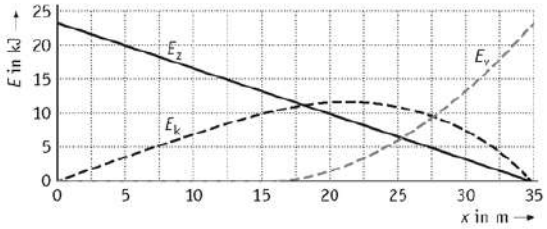
Toepassing

Opgave 1 Bungeejump

1 Er wordt zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie.
$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow \frac{1}{2}v^2 = gh$
$\frac{1}{2}v^2 = 9{,}81 \times 15 \rightarrow v = 17$ m/s

2 E is het punt waar veerkracht omhoog en zwaartekracht omlaag elkaar opheffen (evenwicht). Tussen R en E is de veerkracht kleiner dan de zwaartekracht dus treedt daar versnelling op.

3 De totale energie blijft behouden en is 23 kJ (de zwaarte energie bij x = 0).
$E_{tot} = E_z + E_v + E_k$
$E_k = E_{tot} - E_z - E_v$



4 Uiteindelijk komt de jumper stil te hangen. Dit betekent dat er wrijving moet zijn.

Opgave 2 Manen van Jupiter

5 In het begin van het diagram bewegen de manen een verschillende kant op, maar dat zegt nog niks. Wanneer je goed kijkt zie je dat beide manen van boven naar beneden in de grafiek voorlangs Jupiter gaan, en van beneden naar boven achterlangs Jupiter gaan. De manen draaien daarom in dezelfde richting.

6 In de tabel staan de afgelezen waarden en de afstand en omlooptijd volgens *Binas*.

	amplitude in 10^9 m		*periode* in dagen	
		(*Binas*)		(*Binas*)
Callisto	1,90	1,883	25/1,5 = 16,7	16,689
Ganymedes	1,05	1,070	25/3,5 = 7,14	7,155

7 De fase van Ganymedes op $t = 0$ is 0. Deze planeet bevindt zich dan aan de voorzijde van Jupiter. Ganymedes heeft dan een faseachterstand (of voorsprong) van 0,50.
Na 10 dagen:
$\varphi_{Callisto} = \frac{10}{25/1{,}5} = 0{,}60$
$\varphi_{Ganymedes} = \frac{10}{25/3{,}5} - 0{,}50 = 0{,}90$
Het faseverschil is dan 0,30.

8 Na 25 dagen uiteraard, maar ook na 12,5 dag. Dat laatste tijdstip lijkt de eerste keer te zijn dat ze weer tegenover elkaar staan.

9 Het faseverschil voor beide manen vanaf $t = 0$ is dan 1. $\frac{t}{T_G} - \frac{t}{T_C} = 1$. Met $T_G = \frac{25}{3{,}5}$ en $T_C = \frac{25}{1{,}5}$ volgt hieruit:
$t = 12{,}5$ d.

Opgave 3 Een duikplank

10 $F = C \cdot u \rightarrow C = \frac{F}{u} = \frac{9{,}81 \times 45}{0{,}129} = 3422$ N/m
$C = 3{,}4$ kN/m

11 $v_{max} = \frac{2\pi A}{T} \rightarrow A = \frac{v_{max} \cdot T}{2\pi} = \frac{0{,}9 \times 0{,}72}{2\pi} = 0{,}10$ m

12 In het hoogste punt is de snelheid 0 en de versnelling negatief. Dat is in het midden van het dalende stuk.
$T = 0{,}41$ s

13 Dat is waar de sinusfunctie van de trilling overgaat in een rechte lijn. Op dat punt wordt de vertraging minder omdat de veer van de duikplank haar niet naar beneden kan trekken.
$0{,}24 \text{ s} < t < 0{,}58$ s

Opgave 4 Een microfoonmodel

14 Elk hokje komt overeen met 50 ms. Het hele scherm (10 hokjes) is dus 500 ms. Op het scherm staan 3 volledige trillingen.
$T = \frac{0{,}500}{3}$ s
$f = \frac{1}{T} = \frac{3}{0{,}500} = 6{,}0$ Hz

15 $A = \frac{5{,}8 - 3{,}2}{2} = 1{,}3$ cm
$v_{max} = \frac{2\pi A}{T} = \frac{2\pi \times 0{,}013}{0{,}500/3} = 0{,}49$ m/s

16 De periode tijd T neemt toe met $\sqrt{m}$. De frequentie neemt dus af met $\sqrt{m}$.
De massaverhouding = 1,5 en dus neemt de frequentie af met een factor = $\sqrt{1{,}5} = 1{,}21$.
Antwoord C is juist.

17 Bij resonantie versterkt de microfoon een bepaalde frequentie heel erg. Die frequentie klinkt dan veel harder dan de andere (opgenomen) geluiden.

© Noordhoff Uitgevers bv

18 $f = 20$ Hz en $m = 0{,}00020$ kg

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$

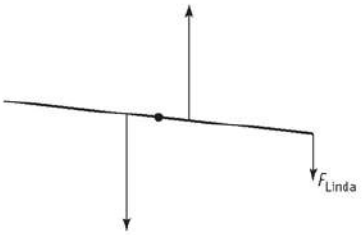
$\frac{1}{f2\pi} = \sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \frac{1}{f^2 4\pi^2} = \sqrt{\frac{m}{C}}$

$C = mf^2 4\pi^2 = 0{,}00020 \times 20^2 \times 4\pi^2 = 3{,}16$ N/m

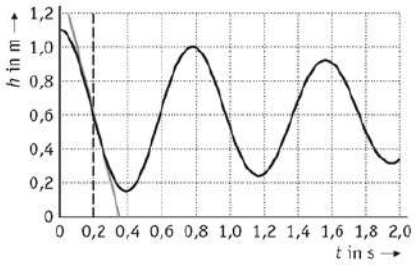
Dit is de maximale waarde die de veerconstante mag hebben.

Opgave 5 Wipwap

19 De beide veren zijn over de zelfde afstand uitgerekt dan wel ingedrukt. De grootte van de kracht van de beide veren is dus gelijk. De rechter veer wordt ingedrukt, de veerkracht werkt dus omhoog. De linker veer wordt uitgerekt, de veerkracht werkt dus naar beneden.



20 Raaklijn trekken waar de helling het grootst is.



De steilheid van de figuur op $t = 0{,}2$ s bedraagt $v = 3{,}8$ m/s.

21 Uit de tekst en uit het diagram blijkt het volgende: $C = 4{,}5 \cdot 10^3$ N/m, $T = (1{,}74 - 0{,}20)/2 = 0{,}77$ s.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{m}{C}$

$m = C \cdot \frac{T^2}{4\pi^2} = 4{,}5 \cdot 10^3 \times \frac{0{,}77^2}{4\pi^2} = 68$ kg

22 De beginamplitude = 0,50 m. De amplitude neemt ongeveer 0,10 m af in één periode. De veerenergie is $E_v = \frac{1}{2}CA^2$ waarbij A afneemt van 0,50 naar 0,40.

$\Delta E = \frac{1}{2} \times 4{,}5 \cdot 10^3 \times (0{,}5^2 - 0{,}4^2) = 2{,}0 \cdot 10^2$ J

Opgave 6 Dwars door de aarde

23 De buis moet gelijk zijn aan de diameter van de aarde:

$d = 2 \cdot r_{aarde} = 12{,}74 \cdot 10^6$ km

24 De bewegingsenergie die het pakje krijgt bij het vallen wordt voorbij het middelpunt van de aarde weer omgezet in zwaarte-energie. De hoogte die aan de overzijde van de aarde wordt bereikt is precies gelijk. De totale energie blijft behouden.

25 Eerst de tijd om in het middelpunt te komen:

$h = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow 6{,}371 \cdot 10^6 = \frac{1}{2} \times 9{,}81 \times t^2$

$t = 1140$ s

Totaal duurt het dus $2 \times 1140 = 2280 = 2{,}28 \cdot 10^3$ s.

26 De aantrekking geldt alleen wanneer de massa van de aarde zich aan één kant van het pakje bevindt, niet wanneer je het pakje omringt met evenveel massa in iedere richting. Verder is ook de dichtheid van de aarde niet constant.

27 De kracht is voortdurend naar het midden gericht en evenredig met de afstand tot het midden. Het midden is de evenwichtsstand van de trilling.

28 $F_z = m \cdot g \cdot \left(\frac{r}{R}\right) = \left(\frac{m \cdot g}{R}\right) \cdot r$ dus de evenredigheidsconstante C is $\frac{m \cdot g}{R}$.

Voor de trillingstijd bij een harmonische trilling geldt: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$

dat wordt in dit geval:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{m \cdot g}{R}}} = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}.$$

29 42,2 minuten

De trillingstijd is: $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{6{,}371 \cdot 10^6}{9{,}81}} = 5063$ s.

Van de ene kant naar de ander kant kost slechts een halve trillingstijd, dus 2532 s = 42,2 minuten.

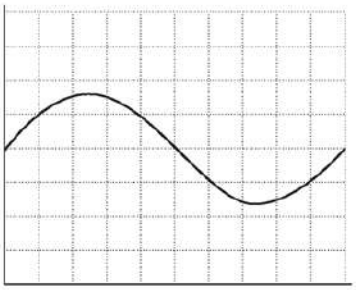
Proefwerkopgaven

1 a $2{,}5\ T = 10$ div $= 50\ \mu$s

$T = \frac{50}{2{,}5} = 20\ \mu s \rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}} = 50$ kHz

b De amplitude is 4 hokjes, oftewel $4 \times 2{,}0 = 8{,}0$ mV.

c 10 hokjes is dan 20 µs, dus je ziet precies één trilling; de amplitude van 8,0 mV is bij die schaal: 8,0 : 5,0 = 1,6 hokje



2 a De kracht moet evenredig zijn met de uitwijking.

b Ten opzichte van het laagste punt is de zwaarte-energie $mgh = 85 \times 9{,}81 \times 2{,}25 = 1876$ J = 1,9 kJ.

c In het diepste punt en in het hoogste punt is er geen bewegingsenergie. $E_{v_onder} = E_{z_boven} = 1{,}9$ kJ

d $E_{v,max} = \frac{1}{2}CA^2 \rightarrow 1{,}9 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \times C \times 0{,}25^2$

$C = \frac{1{,}876 \cdot 10^3}{\frac{1}{2} \times 0{,}25^2} = 60032 = 6{,}0 \cdot 10^4$ N/m

© Noordhoff Uitgevers bv

3 **a** De eigenfrequentie van de brommer (veren in combinatie met massa) komt overeen met de frequentie van de hobbels in de weg.

b De periode reken je uit met de snelheid.

$T = \frac{s}{v} = \frac{7{,}5}{10} = 0{,}75$ s

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \rightarrow \frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{m}{C}$

$C = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} = 125 \times \frac{4\pi^2}{0{,}75^2} = 8773 = 8{,}8 \cdot 10^3$ N/m

c $v_{max} = \frac{2\pi A}{T} = \frac{2\pi \times 0{,}050}{0{,}75} = 0{,}42$ m/s

4 **a** $u(t) = 4{,}0 \sin\left(\frac{1}{2}\pi t\right)$

Er geldt: $\frac{2\pi t}{T} = \frac{1}{2}\pi t \rightarrow \frac{2}{T} = \frac{1}{2}$

$T = 4$ s

b $\varphi = \frac{t}{T} = \frac{0{,}40}{4} = 0{,}1$

$u(0{,}4) = 4{,}0 \sin\left(\frac{1}{2}\pi \times 0{,}40\right) = 2{,}4$ m

c $E_{v,max} = \frac{1}{2}CA^2$

Twee maal zoveel energie betekent een amplitude die √2 maal zo groot is. $4{,}0 \times \sqrt{2} = 5{,}7$

$u(t) = 5{,}7 \sin\left(\frac{1}{2}\pi t\right)$.

d $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow 4 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{9{,}81}}$

$\left(\frac{4}{2\pi}\right)^2 = \frac{l}{9{,}81} \rightarrow l = 4$ m

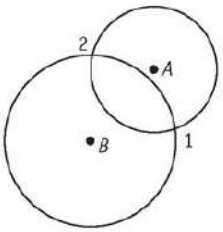
© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 9
Golven

Introductie

1 *Tijd = afstand/snelheid*
Tijd = 850/299792458 = 0,000 002 84 s = 2,84 μs.

2 **a** Zendmasten A en B ontvangen het signaal van je mobiel. Met deze ontvangen signalen kan er geen onderscheid gemaakt worden tussen plaats 1 of 2.



b Als je mobiel precies tussen beide masten inzit, raken beide cirkels elkaar. Je zit dan op het raakpunt.

3 **a** Uit het tijdsverschil tussen de tijd van de eigen klok en de tijd die het signaal bij zich heeft, berekent het apparaat de afstand tot de satelliet door dit tijdverschil te vermenigvuldigen met de lichtsnelheid.
b De tijd van de klok in de gps moet compenseren voor het tijdverschil.
c In het signaal wordt ook een code meegezonden met de naam van de satelliet.

4 Je mobiel moet eerst alle satellieten die hij ontvangt identificeren. Als hij ongeveer weet waar hij zit, weet hij ook welke satellieten bekeken moeten worden.

5 **a** Als twee bollen elkaar snijden heeft het snijvlak de vorm van een cirkel.
b Nu snijden twee cirkels elkaar. Deze snijden elkaar op twee punten.
c De vierde satelliet geeft duidelijkheid over op welk van de twee punten je mobiel zich bevindt.

6 Als andere auto's hun positie naar de satelliet zenden, kan deze informatie naar jouw gps gezonden worden. Op die manier zou je de andere auto's op het scherm van je gps geprojecteerd kunnen zien.

9.1 Lopende golven

1 2,50 Hz
Er zijn vijf golven ontstaan, dat duurt vijf trillingstijden, dus:
$5 \times T = 2{,}00 \Rightarrow T = 0{,}400 \text{ s} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 2{,}50 \text{ Hz}$

2 **a** Naar beneden.
Bij de kop van de golf is de uitwijking van de trilling naar beneden.
b 1,75
Tel het aantal golven vanaf de kop van de golf tot Q.
c 2 golflengten komt overeen met 32 mm op de foto, dus in werkelijkheid 40 × 32 = 1,28 m.
De golflengte is daar de helft van dus 0,64 m.
d 2,0 m/s
In 0,50 s worden 2,75 trillingen uitgevoerd.
Dus $T = 0{,}50/2{,}75 = 0{,}182$ s.
$v = \lambda/T = 0{,}64/0{,}182 = 3{,}5$ m/s
Slimmer: In de tekening heeft de golf 4,4 cm afgelegd; dat is in werkelijkheid 1,76 m. De golf legt dus 1,76 m af in 0,50 seconde: v = 1,76/0,50 = 3,5 m/s.
e 5,5 Hz
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}182} = 5{,}5 \text{ Hz}$ of $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3{,}5}{0{,}64} = 5{,}5 \text{ Hz}$

3 **a** De longitudinale golf gaat door het vloeibare deel van de aarde. In een vloeistof kunnen alleen aan het oppervlak transversale golven lopen. In het inwendige kunnen de deeltjes elkaar niet 'meeslepen' omdat deeltjes in een vloeistof gemakkelijk langs elkaar heen kunnen bewegen. Ze kunnen elkaar wel wegdrukken, dus een longitudinale golf kan wel door het inwendige van een vloeistof heen.
De transversale golf loopt door de aardkorst. Dat kan inderdaad, omdat in een vaste stof de deeltjes ten opzichte van elkaar een vaste positie hebben, waar ze naar teruggetrokken worden na een verstoring. Door een vaste stof kan dus wel een transversale trilling worden doorgegeven. Een longitudinale trilling kan uiteraard ook door een vaste stof heen.
b Als de snelheden gelijk zouden zijn dan zou de longitudinale golf het eerst arriveren omdat die de kleinste afstand hoeft af te leggen.

4 **a** 5,0 m
Bereken eerst de snelheid van de golf:
$v = \sqrt{g \cdot h} = \sqrt{9{,}81 \times 50} = 22$ m/s.
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{22}{25} = 0{,}89$ Hz
De snelheid bij het strand is:
$v = \sqrt{g \cdot h} = \sqrt{9{,}81 \times 2} = 4{,}4$ m/s.
$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{4{,}4}{0{,}89} = 5{,}0$ m
b Bij $h = 2{,}0$ m is $A = 0{,}75$ m, namelijk de afstand tussen de evenwichtsstand en de top.
$A = \frac{c}{\sqrt[4]{h}} \rightarrow 0{,}75 = \frac{c}{\sqrt[4]{2}} \rightarrow c = 0{,}892$
Dan is de amplitude bij 50 m diepte
$A = \frac{0{,}892}{\sqrt[4]{50}} = 0{,}335$ m
De hoogte is dus 0,67 m.

© Noordhoff Uitgevers bv

c Als de waterdeeltjes zuiver verticaal op en neer zouden gaan dan zou het water onder de dalen samengedrukt worden en onder de bergen 'uitgerekt'. Maar een vloeistof is (vrijwel) niet samendrukbaar. Dus moeten de waterdeeltjes ook in de lengterichting van de golf bewegen. (Dat merk je ook als je in de golven zwemt.)

5 0,17
$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{0{,}40}{2{,}40} = \frac{1}{6} = 0{,}17$
In woorden: de afstand is $\frac{1}{6}$ golflengte, dus het faseverschil is $\frac{1}{6}$.

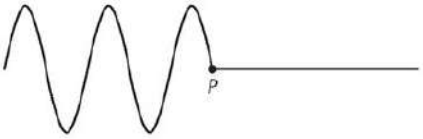
6 4,6 m
$v = 10 : 3{,}6 = 2{,}78$ m/s
$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2{,}78 = \lambda \times 0{,}60$
$\lambda = \frac{2{,}78}{0{,}60} = 4{,}6$ m

7 a 0,80 m/s
De kop van de golf legt 40 cm = 0,40 m af in 0,50 s.
Dus $v = s/t = 0{,}40/0{,}50 = 0{,}80$ m/s.

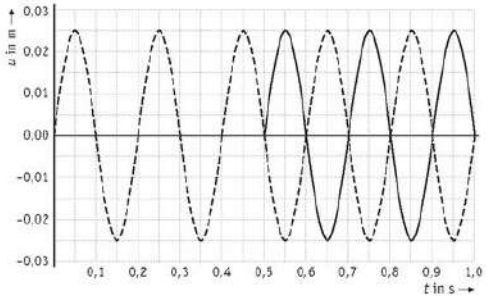
b 16 cm
$T = 1/f = 1/5{,}0 = 0{,}20$ s
$v = \frac{\lambda}{T} \Leftrightarrow \lambda = v \cdot T$
$\lambda = 0{,}80 \times 0{,}20 = 0{,}16$ m = 16 cm

c $\varphi = 2{,}5$
De golf heeft er 0,50 s over gedaan, dat is 2,5 trillingstijd. De fase van de bron is dan 2,5.
of: De afstand is 40 cm, dat is 2,5 golflengte. De fase van de bron is dus 2,5 meer dan van P. En de fase van P is op dat moment nul (hij begint net...).
In formules:
$\varphi = \frac{\Delta t}{T} = \frac{0{,}50}{0{,}20} = 2{,}5$ of
$\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{0{,}40}{0{,}16} = 2{,}5$

d Er zijn op dat moment 2,5 golven in het touw, met een berg voorop (Voorop is de rechterkant, bij de kop van de golf). Rechts van de kop is het touw nog in de evenwichtsstand.



e De bron begint op $t = 0$ met omhoog te gaan, en voert in 1,0 s vijf trillingen uit (stippellijn).
Punt P begint pas na 0,5 s en gaat vanaf dat moment precies dezelfde beweging maken als de bron (getrokken lijn). Vergeet niet te tekenen dat P de eerste 0,5 s gewoon in de evenwichtsstand is.



8 Pulsje

9 a Invullen van de formule geeft

T in °C	0	20	40
v in m/s	332	343	354

b Nee
f blijft gelijk, λ verandert, toonhoogte wordt bepaald door f.

c $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} = \frac{v}{500}$
Invullen geeft

T in °C	0	20	40
v in m/s	332	343	354
λ in m	0,664	0,686	0,708

10 a De trillingen van microfoon 1 en 2 hebben een faseverschil ½. Dan heeft de één dus een halve golflengte meer afgelegd dan de ander want beide trillingen komen van dezelfde luidspreker.
(Het faseverschil zou in principe ook 1½, 2½, 3½ etc. kunnen zijn, en het afstandsverschil 1½, 2½, 3½... golflengtes, maar dan was het niet de eerste keer dat dit beeld ontstaat).

b $3{,}56 \cdot 10^2$ m/s
De golflengte is $2 \times 0{,}178 = 0{,}356$ m.
Je kunt uit het schermbeeld ook de trillingstijd bepalen:
Er passen 5 trillingen in 5,0 ms, dus $T = 0{,}0050/5 = 0{,}0010$ s.
$v = 0{,}356 / 0{,}0010 = 356$ m/s

9.2 Staande golven

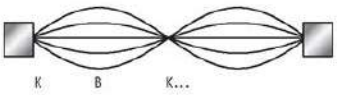
11 Eefje heeft gelijk.
In een stilstaand koord kunnen niet spontaan een berg en een dal ontstaan, want dan is er geen energie. Er is wel één moment waarop alle punten in de evenwichtsstand zijn, maar ze bewegen wel.
Er is dus wel bewegingsenergie.

12 De golven komen op één punt samen met dezelfde fase en versterken elkaar daar.

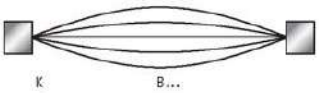
13 a Tussen twee knopen bewegen alle punten met dezelfde fase. *De amplitude verschilt wel.*

b Die punten trillen in tegenfase (faseverschil ½).
Als de punten links van de knoop omlaag gaan, gaan die rechts van de knoop omhoog en omgekeerd.

14 a



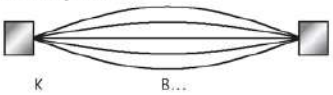
b



c Die uit b.

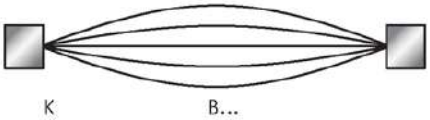
© Noordhoff Uitgevers bv

15 A is onjuist.



Bij de grondtoon is er één buik in de snaar; bij de eerste boventoon twee buiken; bij de tweede drie; enzovoorts.
B is onjuist.
De frequentie van de tweede boventoon is driemaal zo groot als die van de grondtoon.
C is juist.
$\lambda \cdot f = v$, de golfsnelheid in de snaar is constant (totdat je de snaar een andere stemming geeft door hem strakker of slapper te spannen).
D is onjuist. De golfsnelheid bij een blaasinstrument is de geluidssnelheid: die ligt vast. Dat is heel wat anders dan de snelheid van transversale golven in een snaar. *(Die kun je veranderen, bijvoorbeeld door de snaar strakker te spannen.)*

16 a Bij de grondtoon is er maar één buik.



b 60 cm is een halve golflengte
$\Rightarrow \lambda = 2 \times 0{,}60 = 1{,}20$ m
c $v = \lambda \cdot f = 330 \times 1{,}2 = 396$ m/s
d De derde boventoon heeft een 4× zo hoge frequentie: $f = 4 \times 330 = 1320$ Hz = 1,32 kHz.
e Het trillende gedeelte en dus de golflengte wordt tweemaal zo klein. De frequentie wordt dan tweemaal zo groot, omdat de golfsnelheid niet verandert.
f $4{,}7 \cdot 10^2$ N
$m^* = 3{,}0$ g/m $= 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ kg/m
$$v = 396 = \sqrt{\frac{F_{span}}{m^*}} = \sqrt{\frac{F_{span}}{3{,}0 \cdot 10^{-3}}}$$
$$396^2 = 156816 = \frac{F_{span}}{3{,}0 \cdot 10^{-3}}$$
$\Rightarrow F_{span} = 156816 \times 3{,}0 \cdot 10^{-3} = 4{,}7 \cdot 10^2$ N

17 a 0,33 m
$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 290 = 440 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{290}{440} = 0{,}66$ m
grondtoon $\ell = \frac{1}{2}\lambda = 0{,}33$ m
b Op het midden van de snaar.
Bij een tweemaal zo hoge frequentie hoort een tweemaal zo kleine golflengte, en dus een tweemaal zo korte snaar. Dus een half zo groot deel van de snaar gebruiken.
c 0,26 m
Eerst de golflengte uitrekenen:
$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 290 = 560 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{290}{560} = 0{,}52$ m
Je moet de snaar 'verkorten' tot $\ell = \frac{1}{2}\lambda = 0{,}26$ m dus je vinger moet op 7 cm van het uiteinde.
of:
De frequentie moet 560/440 = 1,27 keer zo hoog worden, dan moet de golflengte en dus de lengte van de snaar 1,27 keer zo klein worden:
0,33 : 1,27 = 0,26 m, dus 7 cm korter.

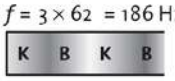
18 Pulsje

19 a De toon ontstaat in de lucht, niet in het bier.
Als er minder vloeistof in zit is de luchtkolom langer, de golflengte groter en de frequentie lager.
b Een open en een gesloten uiteinde.

c De 2e boventoon.
Het eenvoudigste patroon is 'KB' (de grondtoon); het op één na eenvoudigste is 'KBKB' (de eerste boventoon); het op twee na eenvoudigste patroon is de 2e boventoon. ($\ell = \frac{5}{4}\lambda$)

20 a 1,37 m
Van knoop tot buik:
$\ell = \frac{1}{4}\lambda$
$v = f \cdot \lambda \Rightarrow 340 = 62 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{340}{62} = 5{,}48$ m
$\Rightarrow \ell = \frac{5{,}48}{4} = 1{,}37$ m

b 186 Hz
De golflengte wordt 3 × zo klein. $\ell = \frac{3}{4}\lambda$
De frequentie wordt dan 3 × zo groot, dus
$f = 3 \times 62 = 186$ Hz



c Ja, de ventielen zijn ingedrukt.
Bij de laagste toon hoort de grootste golflengte, dus de langst mogelijke buis.

21 a 0,328 m
Vanaf de inkeping tot het uiteinde is $\ell = \frac{1}{2} \cdot \lambda$
$v = f \cdot \lambda$
$343 = 523 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{343}{523} = 0{,}656$ m
$\ell = 0{,}328$ m
van het rechteruiteinde tot de inkeping.
b De eerste vier gaatjes vanaf links moeten dicht zijn. f wordt $\frac{784}{523} = \frac{3}{2}\times$ zo groot, dus de lengte ℓ wordt $\frac{2}{3}\times$ zo groot. Meet op de foto de afstand tussen inkeping en uiteinde. Reken uit hoeveel 2/3 van deze afstand is. Pas deze afstand af vanaf de inkeping en je ziet dat de eerste vier gaatjes vanaf de inkeping dicht moeten.
Andere manier:
Op de foto is $\ell = 0{,}047$ m dus schaal 0,047 : 0,328 = 1 : 7,0
Bij de g hoort de golflengte
$v = f \cdot \lambda$
$343 = 784 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{343}{784} = 0{,}438$ m
$\Rightarrow \ell = 0{,}219$ m
Op de foto is dat 0,219/7,0 = 0,031 m = 3,1 cm. Het 5e gaatje vanaf links is open.

22 Pulsje

23 a 104 m/s
Grondtoon
$\ell = \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow \lambda = 2 \cdot \ell = 2 \times 0{,}637 = 1{,}274$ m
$v = f \cdot \lambda = 82 \times 1{,}274 = 104$ m/s

© Noordhoff Uitgevers bv

b Nummer 5
f moet 110/82 keer zo hoog worden. Dus $\frac{1}{2}\lambda$ moet 82/110 keer zo groot. Dit is 0,75 keer.
Meet op de foto de afstand van kam tot kam (5,9 cm). Dan moet je de snaar indrukken op 0,75 daarvan (van onderste kam naar boven toe). Dat is 4,4 cm, vanaf de onderste kam.
Je komt dan uit op fret nummer 5.
Het bepalen van de schaal van de foto is dus niet nodig.
Andere manier:
Op de foto is de afstand van kam tot kam 5,9 cm. De verkleining is: 5,9/63,7 = 1/10,8.
Nu de golflengte op de lage E-snaar uitrekenen:
$v = f \cdot \lambda \Rightarrow 104 = 110 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{104}{110} = 0{,}95$ m
Je moet de snaar 'verkorten' tot
$\ell = \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2} \times 0{,}95 = 0{,}475$ m
Op de foto is dat 47,5/10,8 = 4,4 cm vanaf de onderste kam.

c Behalve de grondtoon ontstaan er ook boventonen. O.a. door andere spanning op de snaar, andere m^* en andere positie t.o.v. de klankkast verschilt de sterkte van de verschillende boventonen per snaar. En dat geeft een andere klank.

d 165 Hz
De snaar wordt dan (op de foto) verkort van 5,9 naar 3,9 cm. De golflengte wordt dan 1,5 keer zo klein dus de frequentie 1,5 keer zo hoog: 165 Hz.
Een sprong met een factor 1,5 heet een terts.

24 Pulsje

25 a 3,12 m
$\ell = \frac{1}{2} \cdot \lambda$
$v = f \cdot \lambda$
$343 = 55 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{343}{55} = 6{,}24$ m
$\Rightarrow \ell = 3{,}12$ m

b 110 Hz, 165 Hz en 220 Hz
verhouding 2 :3 :4

c $\ell = {}^1/_4 \cdot \lambda$ dus half zo lang: 1,56 m

d 165 Hz, 275 Hz en 385 Hz
verhouding 3:5:7

26 Door de gitaar op een andere plaats aan te slaan, zullen grondtoon en/of boventonen harder of juist zachter klinken. Je krijgt daardoor een andere klankkleur.

9.3 Elektromagnetisch spectrum

27 De afstand van de zon tot de aarde is $149{,}6 \cdot 10^9$ m; zie *Binas* tabel 31 of 32C.
$s = ct \Rightarrow 149{,}6 \cdot 10^9 = 3{,}00 \cdot 10^8 \times t$

$t = \frac{149{,}6 \cdot 10^9}{3{,}00 \cdot 10^8} = 499\ s = 8{,}32$ minuut

28 $c = \lambda \cdot f = 402 \times 747 \cdot 10^3 = 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s

29 a $5{,}09 \cdot 10^{14}$ Hz
$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}00 \cdot 10^8 = f \times 589 \cdot 10^{-9}$

$\Rightarrow f = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{589 \cdot 10^{-9}} = 5{,}09 \cdot 10^{14}$ Hz

b $244 \cdot 10^{-9}$ m
$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 1{,}24 \cdot 10^8 = 5{,}09 \cdot 10^{14} \times \lambda$
$\Rightarrow \lambda = \frac{1{,}24 \cdot 10^8}{5{,}09 \cdot 10^{14}} = 244 \cdot 10^{-9}$ m

c $\frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1{,}24 \cdot 10^8} = 2{,}42 \times$ zo klein

d $n_{\text{diamant}} = 2{,}417$ *Binas* tabel 18
Dit suggereert een verband tussen de lichtsnelheid in een stof en zijn brekingsindex en dat is ook zo. De brekingsindex van een stof is de verhouding tussen de lichtsnelheden in vacuüm en in die stof.

30 a Infrarode straling (ver infrarood)
0,11 mm = $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ m

b $c = \lambda \cdot f$
$3{,}0 \cdot 10^8 = f \times 1{,}1 \cdot 10^{-4} \Rightarrow f = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{1{,}1 \cdot 10^{-4}} = 2{,}7 \cdot 10^{12}$ Hz

31 a $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1800 \cdot 10^5} = 0{,}167$ m

b radiogolven

32 Ultraviolet wordt sterker gebroken.

33 Pulsje

34 Pulsje

35 Deze glassoort is geen goede keuze.
$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}00 \cdot 10^8 = 8{,}82 \cdot 10^{14} \times \lambda$

$\Rightarrow \lambda = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{8{,}82 \cdot 10^{14}} = 340 \cdot 10^{-9}$ m

Als $f > 8{,}82 \cdot 10^{14}$ Hz, dan $\lambda < 340$ nm.
De schadelijke golflengtes tussen 340 en 380 nm worden nog wel doorgelaten.

36 a Gloeilamp, kaars, ...

b De gemiddelde golflengte wordt kleiner.
De kleur verandert bij temperatuurstijging van roodgloeiend naar witgloeiend: de straling bevat een steeds groter deel van het zichtbare spectrum. Als alle kleuren erin zitten is de kleur wit. Zie *Binas* tabel 22. *In paragraaf 12.1 komt dit uitgebreid aan de orde.*

37 a De zon.
Je kunt het zien, dus is het weerkaatst zonlicht.

b Koolstofdioxide laat het ingestraalde zichtbare licht door. Dit licht wordt deels geabsorbeerd en omgezet in warmte. De uitgestraalde warmtestraling (infrarood) wordt gedeeltelijk tegengehouden door het koolstofdioxide.

38 a $c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}00 \cdot 10^8 = f \times 1{,}4 \cdot 10^{-6}$
$f = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1{,}4 \cdot 10^{-6}} = 2{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz

b Infraroodstraling; 1,4 μm = $1{,}4 \cdot 10^{-6}$ m

© Noordhoff Uitgevers bv

9.4 Dataverkeer

39 Eigen antwoord.

40 De telegraaf werkte met morsecode en dus digitaal.

41 a Analoog: hoe harder de toon, des te dieper de groef, hoe sneller de groeven wisselen, des te hoger is de toon.

b De linkerkant van de groef bevat het ene kanaal en de rechterkant van de groef het andere. Aan het einde van de naald zitten twee magneetjes die loodrecht op elkaar staan en in twee spoeltjes trillen. De bewegingen van beide groeven geven zo aparte signalen af.

42 a

256	128	64	32	16	8	4	2	1	dec.
	1	0	1	1	0	0	1	0	178

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	dec.
1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	589

b

256	128	64	32	16	8	4	2	1	dec.
1	0	0	0	1	1	1	1	0	286

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	dec.
1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	755

43 a Vermenigvuldig net als bij decimale getallen.

```
        1  0  1  1
           1  0  1   ×
        ----------
        1  0  1  1
     1  0  1  1  0  0   +
     ----------------
     1  1  0  1  1  1
```

b Deel met een gewone staartdeling.

```
1     1  0  /  1  1  1  1  \  1  0,  1
               1  1  0  -
               ---------
                  1  1  0
                  1  1  0
                  -------
                        0
```

44 a 8 bits kan $2^8 = 256$ waardes aangeven. Dat zijn de getallen 0 t/m 255, dus maximaal 255.

b 558 104 932 352 / 1024^3 = 519,776 = 519 (afgekapt)

45 a

$16^2 = 256$	16	1	decimaal
A	6	E	2670

want $10 \times 256 + 6 \times 16 + 14 = 2670$

b

$16^2 = 256$	16	1	decimaal
2	4	D	589

want $2 \times 256 = 512$
$589 - 512 = 77$
$4 \times 16 = 64$
$77 - 64 = 13 = D$

46 Stapjes van 0,02 s:
011 101 111 110 101 011 010 010 010 010 001 001 001 010 100 110 111 110 100 010 000 000 001 010 011 011 011 100

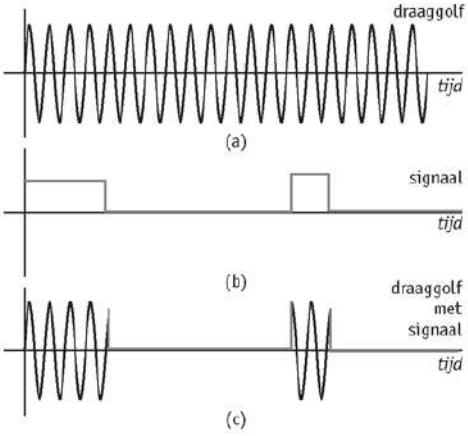
47 Pulsje

48 a $2^{16} = 65536$

b $7{,}06 \cdot 10^5$ bits/seconde
De datatransfer rate is het aantal bits per seconde, dat is gelijk aan het aantal bits per monster vermenigvuldigd met het aantal monsters per seconde:
$16 \times 44100 = 7{,}06 \cdot 10^5$ bits/seconde
Let op: een cd is een stereosignaal (linker en rechter kanaal). Als beide kanalen over één drager worden verstuurd moet je het antwoord keer twee nemen. Meestal heeft ieder kanaal zijn eigen drager (zoals de twee draden met rode en witte stekker die je achter je stereo-set gebruikt).

c $7{,}41 \cdot 10^8$ byte
70 min = $70 \times 60 = 4200$ s
$4200 \times 7{,}06 \cdot 10^5 = 2{,}96 \cdot 10^9$ bits
Dit is $2{,}96 \cdot 10^9 / 8 = 3{,}70 \cdot 10^8$ byte.
Omdat er voor stereo twee signalen nodig zijn is de totale hoeveelheid het dubbele: $7{,}41 \cdot 10^8$ byte. (Dit is 707 MB, zie opdracht 44.)

49



50 Zwakke zenders die buiten elkaars bereik zijn geplaatst, kunnen zonder probleem op dezelfde frequentie uitzenden. Als ze wel in elkaars bereik staan, beïnvloeden de zenders elkaar omdat de signalen niet precies tegelijk aankomen.

© Noordhoff Uitgevers bv

51 **a** Het gaat om radiogolven.

b Bij de hogere frequentie kan meer data verstuurd worden: de datatransfer rate is groter.

c $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1800 \cdot 10^6} = 0{,}167$ m

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^6} = 0{,}375$ m

d De grotere golflengte heeft als effect dat de golf minder snel door obstakels wordt gehinderd. Dus beter bereik voor je mobiel.

52 **a** Digitaal dataverkeer heeft veel minder bandbreedte nodig.

b De kans op storingen is veel kleiner. Bovendien kan er makkelijker gecorrigeerd worden als er toch storingen voorkomen.

53 Bij een cd is er geen fysiek contact nodig tussen de laser en de cd. De laag van de cd kan dus met een beschermende laag bedekt worden. Bovendien zijn er aan de bits op de cd corrigerende bits toegevoegd. Bij kleine foutjes kan de speler berekenen wat de juiste code moet zijn. Pas bij te veel fouten lukt dit niet meer, en speelt de cd niet meer af.

54 Bij stilte is er helemaal geen signaal meer. Met één zender zou je het hele gebied van 50 Hz tot 20 kHz kwijt zijn. Dat is natuurlijk ongewenst.
Het bereik van golven hangt ook van de golflengte af. Op bepaalde plaatsen zou je alleen nog maar de hoge frequenties horen. Juist bij kleine golflengtes is minder demping, dus op grote afstanden hoor je alleen hoge frequenties.

Toepassing

Opgave 1 Filmscène

1 Golven in water zijn transversale golven. Geluidsgolven in lucht zijn longitudinale golven.

2 A zit op een buik, want op gelijke afstand van de twee bronnen. De twee golven zijn dus in fase.

3 L_2-B = 50 × 0,037 = 1,85 m
L_1-B = 50 × 0,032 = 1,60 m
Het verschil is 0,25 m.
De golflengte is dus 0,50 m.
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343}{0{,}50} = 686$ Hz = 0,69 kHz

4 Ruud zit precies in het midden tussen de twee luidsprekers die in fase één toon uitzenden. Daar versterken de beide golven zich, zodat Ruud alles extra hard hoort. Marjan zit ook tussen de luidsprekers in, maar 20 cm uit het midden. Waar Marjans oor zit, treedt juist uitdoving op omdat daar een berg van links en een dal van rechts elkaar ontmoeten.

5 f = 0,43 kHz
Bij Ruud ontstaat een buik (B) en bij Marjan een knoop (K). BK = $\frac{1}{4}\lambda$, dus de golflengte van het geluid is 4 × 20 = 80 cm.
$f = v / \lambda$ = 343 / 0,80 = 428,75 Hz = 0,43 kHz

6 ℓ = 0,20 m
Bij een aan een zijde gesloten buis geldt:
$\ell = n \cdot \frac{1}{4}\lambda$. n is bij de grondtoon 1 en λ = 0,80 m.
$\ell = 1 \times \frac{1}{4} \times 0{,}80 = 0{,}20$ m (voor f = 300 Hz geldt ℓ = 0,29 m)

7 $v_{geluid} = 2{,}4 \cdot 10^2$ m/s
De toonhoogte is 300 Hz, de golflengte is 0,80 m. Er geldt $v_{geluid} = \lambda \cdot f = 0{,}80 \times 300 = 240$ m/s. Dat zou alleen kunnen als het extreem koud is in de bioscoop, alleen dan hoor je niks meer omdat je bevroren bent.

Opgave 2 Sopraansaxofoon

8 Voorbeeld van een antwoord:
In figuur 9.41 is af te lezen dat 9 trillingen 0,042 s duren.
Eén trilling duurt dus $\frac{0{,}042}{9} = 4{,}67 \cdot 10^{-3}$ s.
Dus geldt $f_{gemeten} = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}67 \cdot 10^{-3}} = 2{,}1 \cdot 10^2$ Hz.
In figuur 9.42 is af te lezen dat bij een buislengte van 66 cm voor een open-open buis $f = 1{,}3 \cdot 10^2$ Hz en voor een gesloten-open buis $f = 2{,}6 \cdot 10^2$ Hz. (Dus beide hypotheses worden tegengesproken.)

9 Voorbeeld van een antwoord:
Uit figuur 9.43 blijkt dat de frequenties van de boventonen een geheel aantal maal de grondtoon is (1 : 2 : 3 : 4 ...).
De frequenties van de boventonen van een open-open buis is een geheel aantal maal de grondfrequentie (1 : 2 : 3 : 4 ...) en de frequenties van de boventonen van een gesloten-open buis is een oneven aantal maal de grondfrequentie (1 : 3 : 5 : 7 ...).
(Dus hypothese a wordt tegengesproken en hypothese b wordt gesteund.)

10 Voorbeeld van een antwoord:
Opmeten in de figuur levert voor de akoestische lengte:
$L = \frac{13{,}2}{10{,}5} \cdot 0{,}66 = 0{,}83$ m. Dus $\lambda = 2 \cdot 0{,}83 = 1{,}66$ m.
Er geldt $v = \lambda \cdot f$. Invullen levert $f = \frac{343}{1{,}66} = 207$ Hz.

Opgave 3 Radarcontrole

11 Uitkomst: $f = 3{,}3 \cdot 10^{10}$ Hz
Voorbeeld van een berekening:
Uit $c = f \cdot \lambda$ volgt $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{9{,}0 \cdot 10^{-3}} = 3{,}3 \cdot 10^{10}$ Hz.

© Noordhoff Uitgevers bv

12 Slechts een klein gedeelte van de uitgezonden radargolven raakt de auto en kan worden teruggekaatst / maar een klein gedeelte van de golven die worden teruggekaatst bereiken het radarapparaat. Door het Dopplereffect wordt de golflengte kleiner (omdat de auto nadert en fungeert als bewegende bron in de richting van de waarnemer).

13 Uitkomst: $v = 90$ (km h^{-1})
Voorbeeld van een bepaling:
$\Delta T = 180 \cdot 10^{-6}$ s. Dus
$\Delta f = \frac{1}{T} = 5{,}56 \cdot 10^3$ Hz. $\Delta f = \frac{2v}{\lambda}$.
Omschrijven levert

$$v = \frac{\Delta f \cdot \lambda}{2} = \frac{5{,}56 \cdot 10^3 \times 9{,}0 \cdot 10^{-3}}{2} = 25 \text{ ms}^{-1} = 90 \text{ kmh}^{-1}$$

Opgave 4 Breedband Internet

14 De datatransfer rate wordt gemeten.

15 $17{,}6 \cdot 10^6$ bits/s $= 17{,}6 \cdot 10^6 / 8 = 2{,}2 \cdot 10^6$ B/s
Dit is $2{,}2 \cdot 10^6 / 1024^2 = 2{,}1$ MB/s.

16 $16 \times 8 = 128$ kbit/s
45 min $= 45 \times 60 = 2700$ s
Het nummer heeft dus $2700 \times 128 = 3{,}5 \cdot 10^5$ kbits.
De benodigde tijd is dus $3{,}5 \cdot 10^5 / 17600 = 20$ s (in stereo, dus 39 s).

17 De laserstraal is de draaggolf en heeft een eigen frequentie, deze frequentie verandert in het tempo van de frequentie van het signaal.

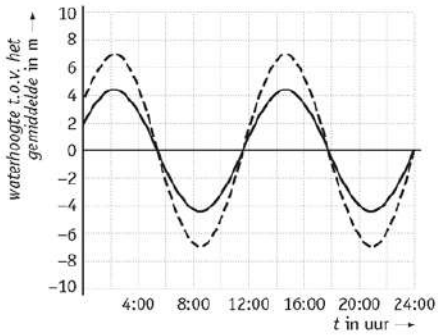
18 In de glasvezel vindt volledige terugkaatsing plaats zodat de lichtstraal opgesloten blijft in de kabel (vezel).

19 Aan het einde van de kabel zit een lichtcel, die het licht omzet in een elektrisch signaal.

Opgave 5 Getijdenresonantie

20 Uitkomst: $v_{max} = 3{,}7$ (centimeter per minuut) (met een marge van 0,5 centimeter per minuut).
Voorbeeld van een antwoord:
Er geldt: $v = \frac{\Delta u}{\Delta t}$
Aflezen uit de grafiek met een raaklijn bij $u = 0$ levert:
$v = \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{20}{16 - 7} = 2{,}22$ mh^{-1} = 3,7 centimeter per minuut.

21



22 Voorbeeld van een uitleg:
De baailengte is gelijk aan de afstand tussen een knoop en een buik en deze afstand komt overeen met een kwart golflengte. Dus is de golflengte 4 maal de baailengte.

23 Uitkomst: $v = 26{,}9$ ms^{-1}
Voorbeeld van een bepaling:
Voor de golflengte geldt:
$\lambda = 4 \times 300$ km $= 1{,}20 \cdot 10^6$ m
Voor de trillingstijd uit figuur 9.48 geldt:
$T = 12{,}4$ h $= 4{,}46 \cdot 10^4$ s
Invullen van $\lambda = v\,T$ levert:
$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1{,}20 \cdot 10^6}{4{,}46 \cdot 10^4} = 26{,}9$ ms^{-1}

24 Voorbeeld van een antwoord:
Voor een aan één kant gesloten systeem treedt de tweede resonantie op bij $L = {}^3/_4\,\lambda$. De waarde van L bij het tweede maximum is dus drie keer zo groot als bij het eerste maximum.
(Dus geldt: $L = 3 \cdot 300 = 900$ km)

25 Voorbeeld van een uitleg:
Doordat bij stijgen van de zeespiegel de golfsnelheid toeneemt, wordt ook de resonantielengte $L = {}^1/_4\,\lambda = {}^1/_4\,vT$ groter. Het maximum (verschuift dus naar rechts en) komt dichter bij de werkelijke lengte van 325 km van de Fundy baai. Hierdoor zal de versterkingsfactor in de Fundy baai toenemen, waardoor het getijdenverschil groter wordt. De bewoners aan de baai maken zich dus terecht ongerust.

Proefwerkopgaven

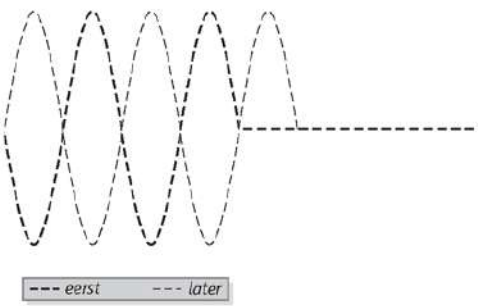
1 a 10 Hz
Er zijn 2,0 trillingen gemaakt in 0,20 s, dus
$T = 0{,}10$ s en $f = 1/T = 1/0{,}10 = 10$ Hz

b 6,0 cm
Er passen 0,75 golflengten op 4,5 cm, dus
$\lambda = 0{,}045/0{,}75 = 0{,}060$ m = 6,0 cm

c 0,60 m/s
$v = \lambda \cdot f = 0{,}060 \times 10 = 0{,}60$ m/s

d omhoog
Bij de kop van de golf, rechts, is de uitwijking vlakbij de kop positief, dus de bron is omhoog bewegend begonnen.

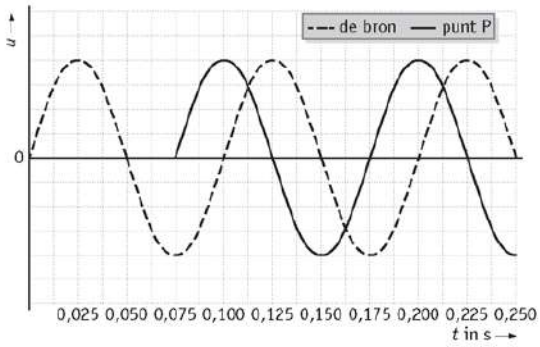
e



In 0,050 s voert de bron een halve trilling uit.
De golf is dus een halve golflengte opgeschoven.

© Noordhoff Uitgevers bv

f

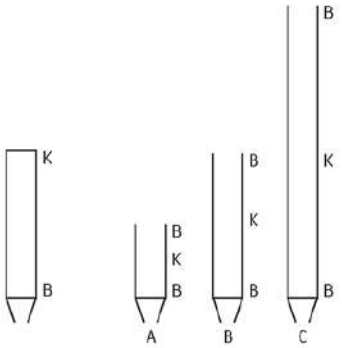


De bron begint op t = 0 met omhoog te gaan en maakt in 0,25 s 2¾ trilling; P ligt ¾ golflengte verderop en begint dus ¾ T = 0,075 s later dezelfde trilling uit te voeren.

2 **a** 95 Hz
Uit de figuur is af te lezen
$4T = 45{,}5 - 3{,}5 = 42$ ms $\rightarrow T = 10{,}5$ ms en $f = 1/T = 1/0{,}0105 = 95$ Hz

b Nynke heeft gelijk: het patroon laat de som zien van grondtoon en meerdere boventonen. Zo'n patroon ontstaat altijd, of het orgel nu wel of niet goed gestemd is.
Tessa heeft geen gelijk: of het orgel wel of niet goed gestemd is, hangt af van de frequentie, niet van de trillingsvorm.

c Net als bij de blokfluit is er bij de opening waar hij wordt aangeblazen een buik.



In open pijp C liggen B en K van de grondtoon net als in de gesloten pijp. Dus die heeft dezelfde golflengte en dezelfde frequentie.

3 **a** $f = c/\lambda = 2{,}9979 \cdot 10^8 / 17850 = 1679{,}5$ Hz

b Morsecode werkt met kort/lang, twee waardes, dus digitaal.

c Je spreekt rustig met ongeveer tien letters per seconde, dat zijn dus 40 bits. De helft daarvan is 20 bits/seconde.

d De draaggolf heeft een eigen frequentie. De amplitude van de draaggolf verandert met de frequentie van het signaal.

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 10
Elektromagnetisme

Introductie

1 Internetopdracht

2 De elektrische tandenborstel

3 a In een dynamo wordt de bewegingsenergie van de draaiende magneet omgezet in elektrische energie.
b In dat geval zou je eindeloos elektrische energie kunnen opwekken zonder dat dat ten koste gaat van een andere vorm van energie.

4 a In de houder zit een spoel waar een wisselstroom doorheen gaat. In de spoel zit een ijzeren kern die doorloopt in de pin.
b Onderin de tandenborstel zit ook een spoeltje.
c In de pin zit een ijzeren kern. Daardoor wordt het magneetveld veel sterker. Als de tandenborstel op de houder staat zit die kern ook in het spoeltje onderin de tandenborstel. Zo wordt het wisselende magneetveld van het spoeltje in de houder optimaal overgebracht naar het spoeltje in de tandenborstel. Op die manier wordt elektrische energie overgedragen en kan de batterij opgeladen worden.

5 De pin van het ene merk past niet in de opening onderin de tandenborstel van een ander merk.

6 Bij een inductiekookplaat is de onderkant van de pan het enige dat warm wordt. Bij een elektrische kookplaat wordt ook de kookplaat zelf warm die daardoor niet alleen de onderkant van de pan maar ook de lucht rond de kookplaat verwarmt. Bij een gasfornuis gaat veel warmte van de brander langs de pan.

7 a Er kan alleen stroom door de bodem van de pan lopen als de panbodem van metaal is. Koper en aluminium geleiden te goed waardoor de bodem niet heet genoeg zou worden. Het ijzer in de panbodem is niet zo'n beste geleider waardoor de stroom meer warmte veroorzaakt.
b je kleding en je huid zijn zeer slechte geleiders met als gevolg dat er zo goed als geen stroom gaat lopen.

8 Het display 'weet' waar de pannen en de schalen staan. Op het display zie je de twee pannen en de schalen aangegeven. Alleen de spoelen onder de pannen en de schalen worden geactiveerd.

10.1 Magneetvelden

1 Het noordelijk halfrond is dan wit en het zuidelijk halfrond rood. Bij de noordpool van de aarde zit een magnetische zuidpool en bij de zuidpool een magnetische noordpool.

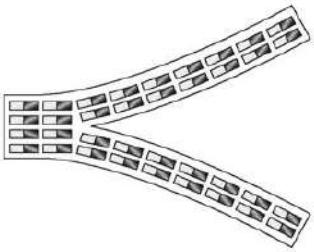
2 a Als het twee magneten zouden zijn zouden de uiteinden elkaar zowel kunnen aantrekken (bij ongelijknamige polen) als afstoten (bij gelijknamige polen). Je kunt ze ook afzonderlijk op een draaitafeltje plaatsen en kijken of ze naar het noorden wijzen.
b De magneet kan het midden van het ijzeren staafje aantrekken en omgekeerd kan het ijzerstaafje het midden van de magneet niet aantrekken.

3 Pulsje

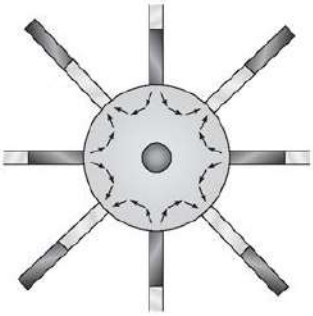
4 a De twee aparte delen van de magneet worden ook een magneet.

b Als je de schijfmagneet verticaal breekt komen er twee gelijknamige polen aan de bovenkant en ook twee gelijknamige polen aan de onderkant zodat ze elkaar zullen afstoten.
Bij een horizontaal breukvlak zullen de twee stukken elkaar wel aantrekken.

5 a



b De pijltjes stellen de elementaire magneetjes voor; de pijlpunten zijn de noordpooltjes.



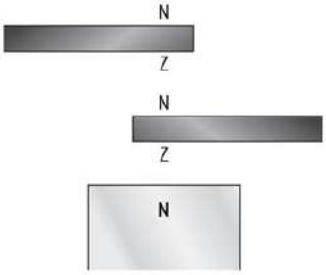
6 Bij hogere temperatuur gaan de elementaire magneetjes meer trillen, waardoor ze elkaar niet meer gericht kunnen houden.
Als de magneet op de grond valt worden de elementaire magneetjes door elkaar geschud waardoor ze niet meer allemaal gericht blijven.
Na elke tik of stoot op de magneet zijn er minder magneetjes gericht en is de magneet dus zwakker.

7 a Zie tekening.

b In de paperclips zijn de elementaire magneetjes ook enigszins gericht; omdat paperclips van staal zijn blijven die langer magnetisch dan het stukje ijzer.

8 a Van weekijzer of van een ander ijzer(oxide)- of nikkelhoudend materiaal dat snel te magnetiseren is en zijn magnetisme ook weer snel verliest als de magneet er niet is.

b

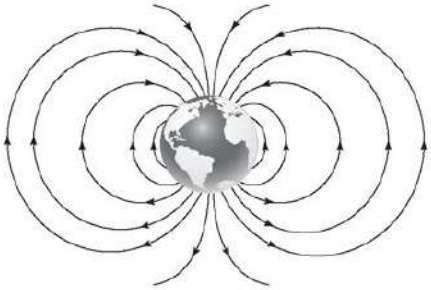


Onder invloed van de magneet worden in beide strookjes de elementaire magneetjes gelijk gericht. Daardoor ontstaan een noord- en een zuidpool tegenover elkaar waardoor de strookjes elkaar aantrekken.

9 a Door het veld van de magneet wordt elk ijzerdeeltje een magneetje en al die kleine magneetjes gaan aan elkaar hangen doordat de noordpool van het ene ijzerdeeltje vast gaat zitten aan de zuidpool van het andere ijzerdeeltje.
b De veldlijnen lopen daar evenwijdig aan elkaar.

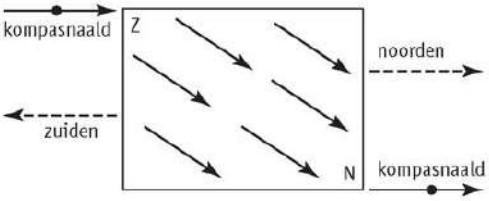
10 Dan zou het magneetveld in het snijpunt van de veldlijnen twee richtingen hebben.

11 a



b In de tekening zie je dat de veldlijnen op de plaats waar Nederland ongeveer ligt onder een hoek de aarde in gaan. Alleen op de evenaar lopen de veldlijnen horizontaal.

12 a



Op het noordelijk halfrond lopen de magnetische veldlijnen schuin naar beneden waardoor er bovenaan de radiator en aan één zijkant een zuidpool ontstaat en onder en aan de andere zijkant een noordpool.
Als je de proef wilt proberen, hou dan enige afstand tussen het kompas en de radiator. Als je het kompas er te dicht bij houdt kunnen beide polen door de radiator aangetrokken worden. Kun je dat verklaren?
b Precies omgekeerd als bij a, omdat je op het zuidelijk halfrond zit.

13 a Ten oosten omdat de geografische noordpool ten oosten ligt van de magnetische zuidpool (gezien vanuit Amsterdam).
b De declinatie is kleiner geworden omdat de magnetische zuidpool naar het noorden (richting geografische noordpool) is opgeschoven.
c De meridiaan van 120° (alleen het gedeelte ten zuiden van de magnetische pool), want daarop lag in 2007 de magnetische pool.

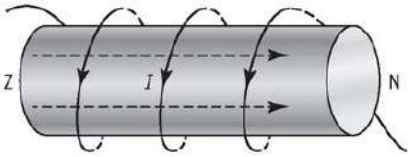
14 Pulsje

© Noordhoff Uitgevers bv

10.2 Elektromagneten

15 a Aan de linkerkant zit de zuidpool en aan de rechterkant de noordpool want veldlijnen lopen binnen een (elektro)magneet van zuid naar noord en buiten de magneet van noord naar zuid.

b Volgens de RHR (= rechterhandregel) loopt de stroom dan in de aangegeven richting, dus van de zwarte naar de rode stekker. De zwarte stekker is met de pluspool verbonden.



16 a De veldlijnen rond een stroomdraad zijn gesloten lijnen: ze gaan de stroomdraad niet binnen en komen nergens uit de draad naar buiten.

b Elektronen cirkelen rond de atoomkern. Elektrische stroom is bewegende lading en de ronddraaiende negatieve lading vormt zo een klein kringstroompje.

17 a omhoog

b met de stroomrichting (I)
Als je de kurkentrekker draait in de richting van de veldlijnen, komt zijn beweging in de lengterichting overeen met de stroomrichting.

c Nee, alleen moet je de kurkentrekker nu uit de kurk draaien.

d Houd de kurkentrekker voor de spoel. Draai de kurkentrekker rond in dezelfde richting waarin de stroom rond loopt. De richting waarin de kurkentrekker beweegt (naar de spoel toe of van de spoel af) is de richting van de veldlijnen.

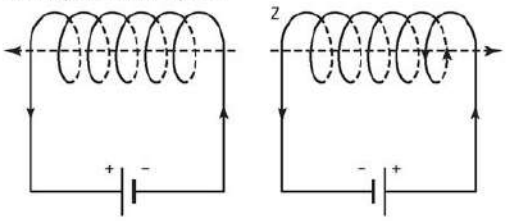
18 Als de stroom 'met de klok mee' draait gaan de veldlijnen 'de klok' in en aan die kant zit dan een zuidpool. *Ezelsbruggetje: 'wijZerstroom' en 'tegeNwijzerstroom'.*

19 Pulsje

20 Staal is moeilijk te magnetiseren en als het gemagnetiseerd is, zal het magnetisme moeilijk veranderen. De kern van een elektromagneet kan het beste van zuiver ijzer (weekijzer) worden gemaakt.

21 a Volgens de rechterhandregel lopen de veldlijnen hier van rechts naar links. (De stroom loopt aan de voorkant van de spoel omhoog en aan de achterkant omlaag.)

b De veldlijnen lopen in de spoel van Z naar N, dus van links naar rechts. Met de rechterhandregel vind je dan de richting van de bijbehorende stroom: aan de achterkant omhoog en aan de voorkant omlaag. Dus zit de pluspool aan de rechterkant.
Je kunt ook zeggen:
Beide spoeltjes zijn hetzelfde gewonden en op dezelfde manier aangesloten, dus als bij de tweede spoel het magneetveld de andere kant op wijst, dan moet ook de stroom de andere kant op lopen en dus ook de spanningsbron andersom zijn aangesloten dan bij de eerste spoel.



c Ze stoten elkaar af want ze wijzen met de zuidpolen naar elkaar.

d Door in de spoel(en) een ijzeren kern in te brengen.

22 a Volgens tabel 7 is $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Hm^{-1} = $1{,}25664 \cdot 10^{-6}$ Hm^{-1}. Voor de eenheid mag je ook T·m/A = T·m·A^{-1} gebruiken.

b $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{50}{0{,}06} \times 0{,}30 = 3{,}1 \cdot 10^{-4}$ T

c Het aantal windingen per meter $\frac{N}{\ell}$ was $\frac{50}{0{,}06} = 833$ en wordt 1200, dat is 1,44 × zo groot. *I* moet dus 1,44 × zo klein worden om dezelfde *B* te krijgen.
Dus $I = \frac{0{,}30}{1{,}44} = 0{,}21$ A.

23 a Er is een grote stroom nodig voor de elektromotor van de wissel. Die wissel wordt misschien enkele kilometers verderop aangestuurd. Het is niet slim om de grote stroom over kilometers afstand naar de wissel te sturen, omdat daarbij veel warmte (energieverlies) ontstaat. Of je moet dikke en kostbare koperdraden gebruiken, die waarschijnlijk door koperdieven worden gestolen.

b De autolampen werken op een lage spanning maar dat betekent om een flink vermogen te krijgen, dat de stroomsterkte groot is: *vermogen = spanning × stroomsterkte*. Voor zulke stromen zijn dikke draden en forse schakelaars nodig; het is niet handig om die op het dashboard te zetten.

24 a Nee, als het balletje de LDR verduistert dan is de weerstand van de LDR groot en de stroomsterkte in de stroomkring dus klein. Het magnetisch veld van spoel B is dan te zwak om de schakelaar te sluiten.

b In principe omdat de zwaartekracht wordt opgeheven door de magnetische kracht van de spoel. Maar er is ook een regelsysteem nodig:
Het balletje zweeft gedeeltelijk tussen het lampje en de LDR. Als het daalt dan valt er meer licht op de LDR en wordt de elektromagneet ingeschakeld. Dan gaat het balletje weer omhoog, de LDR krijgt minder licht, de elektromagneet gaat uit, het balletje daalt weer, etcera.

c Waarschijnlijk niet. Het magneetje wordt dan afgestoten door de spoel. Het balletje zal dan 180° draaien zodat het magneetje onder zit, en dan wordt het weer aangetrokken. In principe kan het dan weer werken maar waarschijnlijk is het magneetje dan – als het balletje op de juiste hoogte tussen lampje en LDR hangt – te ver van de spoel om nog opgetild te kunnen worden.
Dat zou je kunnen corrigeren door de elektromagneet sterker te maken of door hem iets lager te plaatsen.

© Noordhoff Uitgevers bv

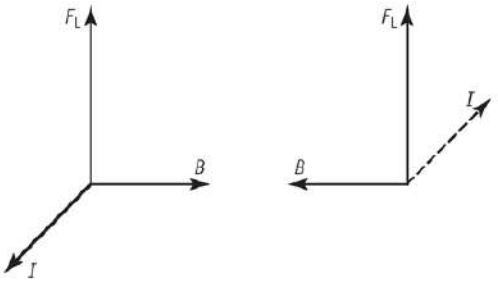
d Ja, omdat het ijzer gemagnetiseerd wordt door A en daardoor aangetrokken zal worden.

25 a De veldlijnen van de elektromagneet lopen uit elkaar. Hoe dichter de magneet bij de schijf zit, hoe kleiner het gebied op de schijf dat gemagnetiseerd wordt.
b De schrijfkop van de harddisk planeert ('zweeft') op de luchtlaag tussen de kop en de magnetische schijf. *Gebruik je de schijf op grote hoogte (boven 3000 m) waar de luchtdruk laag is, dan kan het mis gaan. De lucht is dan te ijl om de kop goed te 'dragen'.*
c Dat elektromagneetje is onderdeel van een elektromotortje dat de schrijfkop over de harde schijf stuurt.
d Omdat een magneet de ijzerdeeltjes op de schijven anders kan gaan richten en daardoor de informatie kan beschadigen of zelfs wissen.

10.3 De lorentzkracht

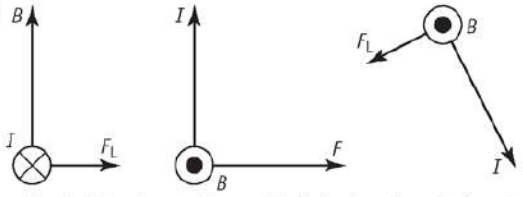
26 Bij een wisselstroom keert de stroom steeds van richting om dus zal de lorentzkracht ook steeds omkeren.

27 a Ja, het werkt met elk goed geleidend staafje, als het maar niet door de magneet wordt aangetrokken.
b IJzer wordt door de magneet aangetrokken en zal waarschijnlijk naar een van de magneetpolen schieten.
c Om *B* én *I* allebei om te laten draaien moet je je hand 180° draaien om de duim. Die wijst dan nog dezelfde kant op, dus F_L ook.



d Met de linkerhandregel vind je dat de lorentzkracht op het staafje naar beneden werkt. Het staafje wordt omlaag tegen de twee staven gedrukt en gaat niet rollen.

28



De richting bepaal je met de linkerhandregel of met een andere richtingregel. Omdat er veel verschillende richtingregels zijn moet je zo'n regel altijd kort uitleggen, bijvoorbeeld: "Linkerhand: duim in richting *F*, wijsvinger in richting *B* en middelvinger in richting *I*".

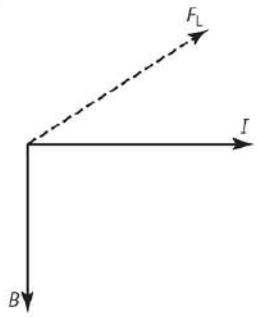
29 a De FBI-regel werkt dan niet meer. Wijsvinger en middelvinger zijn dan evenwijdig, dus de duim kan alle kanten op draaien en toch loodrecht op *B* en *I* staan.
b In die situatie is de lorentzkracht nul.

30 a $B = 0{,}058$ T
Uitrekenen met $F_L = B \cdot I \cdot \ell$
b $I = 1{,}3$ A; idem

31 a 0,40 T
$F_L = B \cdot I \cdot \ell \rightarrow 0{,}040 = B \times 5{,}0 \times 0{,}020$
$\rightarrow B = 0{,}40$ T
b 64 mN
I wordt 8/5 = 1,6 keer zo groot dus F_L ook
$\rightarrow F_L = 1{,}6 \times 0{,}040 = 0{,}064$ N = 64 mN
c 7,5 A
$F_{netto} = m \cdot a = 20 \cdot 10^{-3} \times 3{,}0 = 6{,}0 \cdot 10^{-2}$ N
De lorentzkracht is dus $6{,}0 \cdot 10^{-2}$ N.
$6{,}0 \cdot 10^{-2} = B \cdot I \cdot \ell = 0{,}40 \times I \times 0{,}020 \rightarrow I = 7{,}5$ A
d Verander (1) de sterkte *B* van het magneetveld, of (2) de stroomsterkte *I*, of (3) ℓ, de lengte van de draad (of het gedeelte daarvan dat in het magneetveld valt).
Vierde mogelijkheid:
Verander de hoek tussen B en I.

32 a Tussen de wanden staat spanning. De wanden moeten de stroom naar het projectiel geleiden en weer terug. Als de bodem ook zou geleiden zou er kortsluiting tussen de wanden optreden.

b



De stroom loopt van plus- naar minpool, dus van links naar rechts door het projectiel. De lorentzkracht moet naar achteren wijzen; met een richtingregel vind je dan dat *B* omlaag gericht moet zijn.
c 2,8 T
$F = B \cdot I \cdot \ell \rightarrow 85 \cdot 10^3 = B \times 1{,}5 \cdot 10^6 \times 2{,}0 \cdot 10^{-2}$
$\rightarrow B$ is heel groot, namelijk 2,8 T
d 2,1 km/s
Je weet de kracht, de tijdsduur en de massa van het projectiel, daarmee kun je de versnelling en de snelheid uitrekenen:
$a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{85 \cdot 10^3}{0{,}080} = 1{,}06 \cdot 10^6$ m/s²
$v = a \cdot t = 1{,}06 \cdot 10^6 \times 0{,}0020 = 2125$ m/s = 2,1 km/s

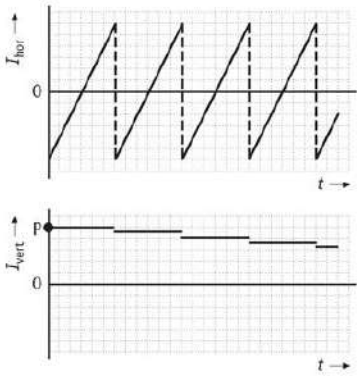
33 a Links en rechts. Om de elektronen naar beneden af te buigen is een horizontaal magnetisch veld nodig.

© Noordhoff Uitgevers bv

b De lorentzkracht is omlaag, de stroomrichting is tegengesteld aan de richting van de elektronen, dus met een richtingsregel vind je dat het magnetisch veld van rechts naar links gericht is.

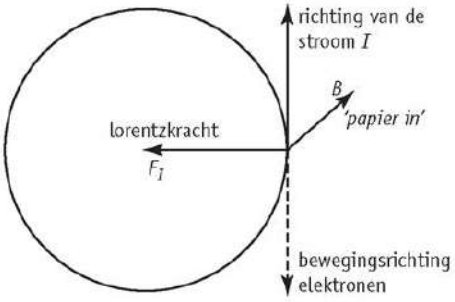
c Met de rechterhandregel vind je dat de stroomrichting in de spoelen rechtsom (met de wijzers van de klok mee, gezien van rechts) is.

d Horizontaal moet de elektronenstraal steeds met constante snelheid van links naar rechts over het scherm gestuurd worden, en daarna in zeer korte tijd terugspringen; daarvoor zorgt deze zogeheten 'zaagtandstroom'. (Als de stroomsterkte in de spoelen nul is valt de straal midden op het scherm.)



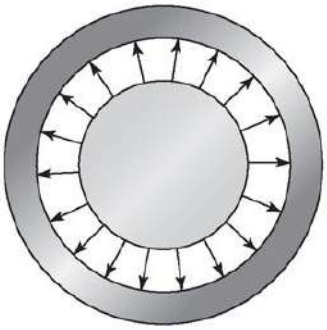
e Tijdens het tekenen van zo'n lijn moet de straal op dezelfde hoogte blijven, dus de verticale afbuigstroom moet constant zijn. Voor de volgende lijn moet de straal iets omlaag, zodat die iets lager getekend wordt. Dus moet de stroomsterkte iets dalen. Dat gaat door tot – na vele honderden lijnen – de onderste lijn getekend is. Bij die laatste lijn is de stroomsterkte even groot als bij de eerste lijn, maar tegengesteld. *Op dat moment is er één beeld getekend, daarna begint het weer van voren af aan.*

34 De lorentzkracht F_L werkt naar het middelpunt van de cirkel. De richting van de stroom I is tegengesteld aan de bewegingsrichting van de elektronen. Het magneetveld staat loodrecht op die twee en gaat het papier in. Gebruik de FBI-regel. Zie tekening hieronder:

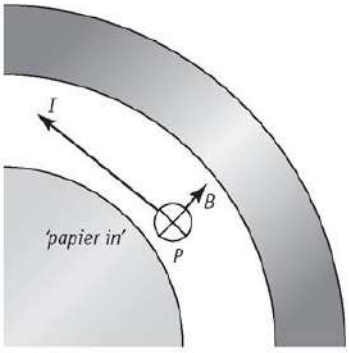


35 a De ijzeren ring wordt magnetisch door de permanente magneet in de ring: magnetische influentie.

b De veldlijnen lopen van de permanente magneet naar de ijzeren ring. De veldlijnen 'steken' loodrecht over: ze zijn van het middelpunt van de cirkelvormige magneet af gericht. Zie tekening.



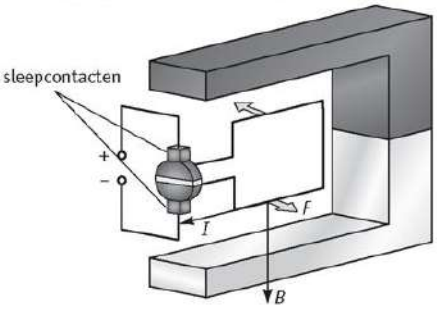
c Met een van de richtingsregels ontdek je dat de lorentzkracht 'het papier in' gaat.



d 0,32 A
de lengte van één winding is:
$\ell = 2\pi \cdot r = \pi \times 2{,}4 \cdot 10^{-2} = 7{,}54 \cdot 10^{-2}$ m
voor 80 windingen geldt:
$F_L = 80 \times B \cdot I \cdot \ell \rightarrow 0{,}88 = 80 \times 0{,}45 \times I \times 7{,}54 \cdot 10^{-2}$
$\rightarrow I = 0{,}32$ A

e C
Spoel en conus lichter maken, waardoor hun traagheid afneemt.
A heeft als voordeel dat F_L groter wordt, maar als nadeel dat de magneet dan te sterk zal zijn bij lage frequenties. *B* heeft als voordeel dat de F_L zal toenemen maar als nadeel dat de spoel zwaarder wordt en ook meer weerstand krijgt.

36 Zie de figuur hieronder. In het onderste deel van de winding zijn de drie vectoren getekend.

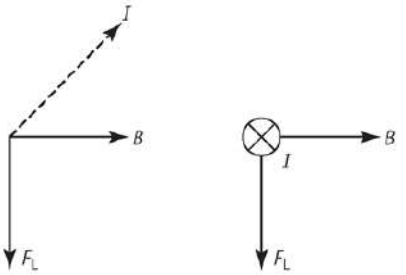


© Noordhoff Uitgevers bv

37 a Aan de onderkant werkt geen lorentzkracht (F_L = 0) omdat *I* en *B* daar evenwijdig lopen.

b Dan heffen de tegengesteld aan elkaar gerichte lorentzkrachten elkaar op omdat ze op één lijn liggen.

c



in perspectief en in vooraanzicht.
Als de winding een kwartslag gedraaid is in de aangegeven richting, dan loopt de stroom door de onderkant van voor naar achteren (zie het plusje op de batterij). Het magneetveld gaat van links naar rechts dus volgens de linkerhandregel is F_L dan omlaag gericht.

d Nee, want dan 'klapt één van de twee lorentzkrachten om'; ze zijn dan gelijk gericht en veroorzaken geen draaiing.

e Dan moet je de stroomrichting op het juiste moment omkeren.
(*Wisselstroom gebruiken of een collector met sleepcontacten.*)

38 a De motor kan vanuit iedere stand van de rotor op gang komen, en hij loopt gelijkmatiger. *(Hij krijgt acht keer per omwenteling een 'zet', in plaats van twee keer).*

b Vier spoelen. Dat zie je aan de twee keer vier elektrische contacten op de collector.

c Die spoel staat horizontaal. Als de spoel verticaal staat, werken de lorentzkrachten niet in de draairichting. Die spoel staat zo dat de windingen van de spoel (in deze tekening) horizontaal liggen. Dan werken de lorentzkrachten verticaal omhoog en omlaag waardoor draaiing ontstaat. *Je kunt ook zeggen: dan liggen de noord- en zuidpool van de spoel onder en boven, en die draaien dan naar de polen van S1 en S2 toe. De as van de spoel loopt dus verticaal.*

d Nee, omdat de vaste en de draaiende spoelen in serie zijn geschakeld keert in beide de stroom om, en als je de richtingen van *I* en *B* beide verandert zal de lorentzkracht niet veranderen.

e Permanente magneten verliezen langzaam hun kracht ten gevolge van warmte en/of trillingen. Met elektromagneten draait de motor ook op wisselstroom, omdat de stroomrichting er niet toe doet.

10.4 Elektromagnetische inductie

39 Elektromagnetische inductie is het verschijnsel waarbij een veranderend magneetveld spanning opwekt in een spoel. Magnetische influentie is het verschijnsel waarbij een magneetveld van buiten de elementaire magneetjes van een stuk ijzer of nikkel van richting doet veranderen.

40 a
- de snelheid waarmee de dynamo draait,
- de sterkte van de permanente magneet in de dynamo,
- het aantal windingen van het spoeltje in de dynamo

b Niet altijd, alleen als er een gesloten stroomcircuit op aangesloten is. Als beide lampjes in je fiets kapot zijn, levert een draaiende dynamo wel spanning maar geen stroom.

41 a De informatie is met een schrijfkop op de magneetstrip gezet (magnetische influentie). Zie ook figuur 10.48.

b In dat apparaat zit een leeskop. De magnetische gebieden op de magneetstrip die langs de leeskop gaan produceren een inductiespanning in het spoeltje van de leeskop.

c De inductiespanning die ontstaat is dan te laag.

d De magneetstrip is door kwaadwillende types makkelijker uit te lezen dan de chip.
De informatie op de magneetstrip raakt gemakkelijk beschadigd.

42 De ene manier is de schakelaar te openen en te sluiten. Daardoor is er een veranderend veld in de bovenste spoel. Je kunt ook de onderste (of de bovenste) spoel met gesloten schakelaar op en neer bewegen. Een derde manier is bij gesloten schakelaar een ijzeren kern in beide spoelen steken. Dan wordt het magneetveld sterker en ook dat veroorzaakt inductiespanning.

43 a Voor een gelijkspanning moet het magneetveld in de spoel voortdurend sterker worden (of voortdurend zwakker), en dat kan niet. Als het veld afwisselend sterker en zwakker wordt krijg je wisselspanning.

b De ene kan een sterkere permanente magneet hebben of meer windingen in de spoel.

c Het magneetveld dat door de spoelen wordt 'opgevangen' verandert sneller van maximale sterkte naar minimale sterkte.

d De *grootte* van de spanning is een maat voor de snelheid waarmee het magneetveld verandert en de *frequentie* van de wisselspanning neemt toe als de dynamo sneller ronddraait.

44 a De hoogste wisselspanning ontstaat bij de hoge toon. Het magneetveld verandert dan het snelst en dat geeft een hogere inductiespanning.

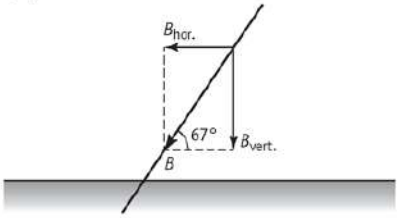
b De traagheid van het trilplaatje en van de spoel die daaraan vast zit is vooral bij hoge frequenties van invloed.

© Noordhoff Uitgevers bv

45 In bron 17 vind je: 1 Wb = 1 T · m². Daaruit volgt dat je 1 T kunt schrijven als: 1 T = 1 Wb / m².

46 De Wet van Faraday luidt: $U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Als de spoel een kern heeft is de magnetische flux Φ groter en is de verandering van magnetische flux $\Delta\Phi$ dus ook groter en daardoor ook de inductiespanning U_{ind}.

47 a Bereken eerst de sterkte van het magneetveld in horizontale richting B_{hor}:
Met wat goniometrie is af te leiden dat er geldt:
$\cos 67° = \frac{B_{hor}}{B}$ en $B_{hor} = B \cdot \cos 67° = 4{,}7 \cdot 10^{-5} \times 0{,}391 = 1{,}84 \cdot 10^{-5}$ T.



De flux bereken je door de sterkte van het horizontale magneetveld te vermenigvuldigen met de oppervlakte van het brillenglas:
$\Phi = B_{hor} A = 1{,}84 \cdot 10^{-5}$ T $\times 8{,}0 \cdot 10^{-4}$ m² $= 14{,}7 \cdot 10^{-9} = 1{,}5 \cdot 10^{-8}$ Wb.

b De flux is dan nul omdat het brillenglas parallel staat aan de veldlijnen.

c Tijdens het draaien is de fluxverandering dus $1{,}47 \cdot 10^{-8}$ Wb. De inductiespanning reken je uit met:
$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
invullen: $U_{ind} = 1 \cdot \frac{1{,}47 \cdot 10^{-8}}{0{,}5} = 2{,}9 \cdot 10^{-8}$ V

d Nee, want de 'winding' is niet gesloten.

48 a Voor de flux Φ geldt:
$\Phi = B \cdot A = 0{,}020 \times 0{,}50 \cdot 10^{-4} = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ Wb

b De inductiespanning reken je uit met:
$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
invullen: $U_{ind} = 100 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}0030} = 3{,}3 \cdot 10^{-2}$ V

c Dit ga je natuurlijk berekenen met de sinus of de cosinus. Als de hoek 0° is, is de flux maximaal. Dat wijst op het gebruik van de cosinus. Je kunt natuurlijk ook een tekening maken waarin je alles schematisch weergeeft. Dan zie je dat $B_{\perp}$ gelijk is aan $B \cdot \cos 25°$. Dus de fluxverandering en de inductiespanning is een factor cos 25° kleiner:
$U_{ind} = \cos 25° \times 3{,}3 \cdot 10^{-2} = 3{,}0 \cdot 10^{-2}$ V

49 a A Nee, is wel even groot maar heeft hetzelfde teken omdat de helling in beide punten gelijk is.
B Nee, de inductiespanning op tijdstip t_c is nul omdat de flux daar niet verandert.
C Ja, de flux verandert niet op tijdstip t_c.
D Ja, dat zie je in de wet van Faraday: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ is het hellingsgetal van de grafiek.
E Ja, want daar is de helling maximaal.

b De spanning is soms even nul omdat de flux in sommige intervallen niet verandert.

c De inductiespanning is nul als de grafiek horizontaal loopt, is positief bij een positieve helling en negatief bij een negatieve helling.

d In de *fluxgrafiek*: de horizontale delen worden tweemaal zo hoog en de frequentie is verdubbeld.
In de *spanningsgrafiek*: ook hier verdubbelt de frequentie en de maximale spanningspieken bij t_D, t_C enzovoort, komen twee maal zo ver van de tijdas te liggen.

50 a De magneet zit in zijn geheel in de spoel en de flux heeft dan haar maximale waarde bereikt.

b De magneet valt steeds sneller.

c De fluxtoename $\Delta\Phi = 8{,}0 \cdot 10^{-5}$ Wb, de tijdsduur is 0,080 – 0,010 = 0,070 s.
De wet van Faraday geeft de inductiespanning:
$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 600 \times \frac{8{,}0 \cdot 10^{-5}}{0{,}070} = 0{,}69$ V

d Bepaal de helling van de raaklijn aan de grafiek op tijdstip t_C en vermenigvuldig dat getal met 600.
De helling is ongeveer $-12 \cdot 10^{-5}/0{,}04 = -3{,}0 \cdot 10^{-3}$ Wb/s. Dus $U_{ind} = 600 \times -3{,}0 \cdot 10^{-3} = -1{,}8$ V.

e Tot t_A is de inductiespanning nul: de raaklijn loopt horizontaal. Tussen t_A en t_B is er een piek in de inductiespanning: daar neemt de flux toe. Bij het horizontale deel van de fluxgrafiek is de inductiespanning nul. Bij het dalende deel van de fluxgrafiek is de inductiespanning negatief. Die piek is groter dan de piek tussen t_A en t_B omdat het laatste deel van de fluxgrafiek steiler is.

f Die grafiek ziet er hetzelfde uit als de grafiek van vraag e.

51 a De fluxgrafiek moet dan een rechte (niet horizontale) lijn zijn.

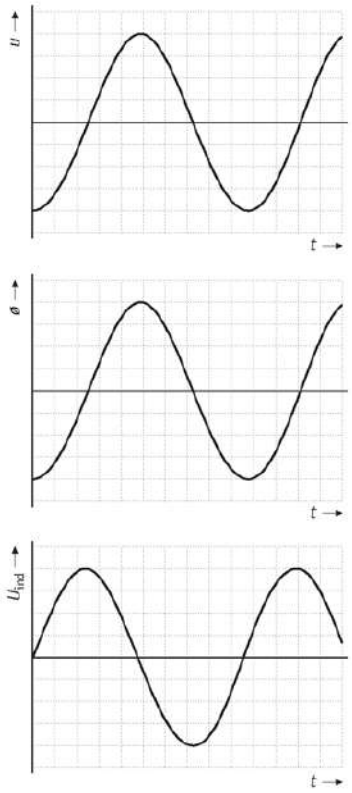
b Dan moet ook langdurig de flux blijven toenemen (of afnemen) en dat kan niet.

52 a De wisselspanning in de onderste spoel produceert een wisselend magneetveld in de onderste spoel en in de ijzeren kern. Dat wisselend magneetveld gaat ook door de bovenste spoel en in die spoel ontstaat dan weer een wisselende inductiespanning.

b We gaan er van uit dat in de onderste spoel de stroomsterkte en de spanning evenredig zijn: als de spanning verdubbelt, verdubbelt ook de stroomsterkte. De magnetische flux is dan evenredig met de stroomsterkte door de onderste spoel en de grafiek zal de zelfde vorm hebben als die in figuur 10.55.

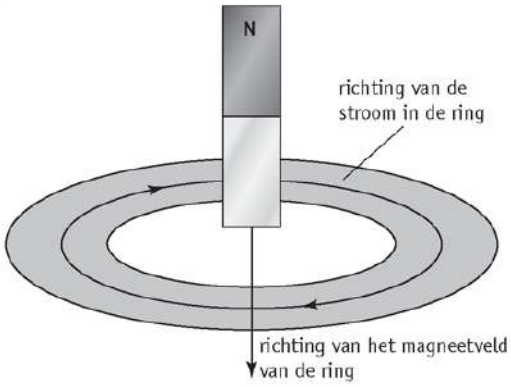
c Daar waar de flux de toppen heeft, is de inductiespanning in de bovenste spoel nul en op de tijdstippen dat de flux het snelst stijgt respectievelijk daalt is de inductiespanning maximaal respectievelijk minimaal. De vorm is ook weer sinusvormig.

© Noordhoff Uitgevers bv



d In de onderste spoel wordt elektrische energie omgezet in magnetische energie, in de bovenste spoel wordt magnetische energie omgezet in elektrische energie en in het lampje wordt de elektrische energie omgezet in licht en warmte.

53 a



De vallende magneet moet afgeremd worden. Aan de bovenkant van de ring moet er dan een zuidpool verschijnen. Dat betekent dat de stroom in de ring loopt zoals in de tekening is aangegeven. Het magneetveld van de ring is dan omlaag gericht en de bovenkant van de ring is een zuidpool die de zuidpool van de vallende magneet afremt.

b In dat geval moet de magneet nog steeds afgeremd worden en de noordpool die net uit de ring is moet aangetrokken worden door de zuidpool aan de onderkant van de ring. De stroom in de ring draait om zodat het veld omhoog gericht is en de ring heeft aan de bovenkant een noordpool en aan de onderkant een zuidpool.

c De flux die de ring omvat verandert dan niet en de stroom is dan nul.

54 a Dat is in strijd met de wet van behoud van energie. Voor die versnelling is energie nodig en die externe energiebron is er niet.

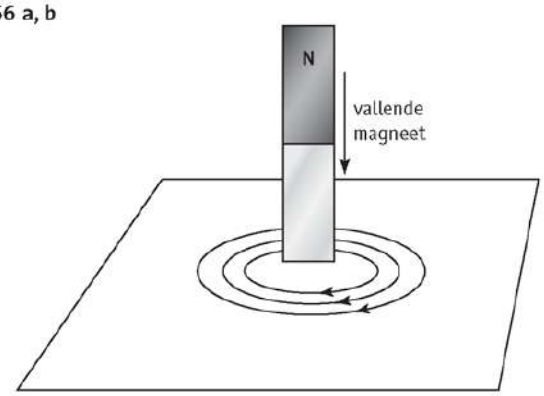
b Het magneetveld van de bovenste kringstroom is volgens de rechterhandregel omlaag gericht. De kringstroom 'heeft aan de onderkant' een noordpool en die trekt de zuidpool van de vallende magneet aan.

c Het magneetveld van de onderste kringstroom is volgens de rechterhandregel omhoog gericht. De kringstroom 'heeft aan de bovenkant' een noordpool en die stoot de noordpool van de vallende magneet af.

55 a De plaat wil de draaiende magneet afremmen en de linkse kringstroom moet daarvoor een noordpool produceren aan de voorkant van de plaat. Volgens de rechterhandregel moet de stroom in de plaat dan tegen de klok in lopen. De rechtse kringstroom moet een zuidpool maken aan de voorkant van de plaat om de draaiende magneet af te remmen. De stroomrichting is dan met de klok mee.

b Dat kun je aantonen door te zorgen dat er geen kringstromen kunnen lopen. Je kunt bijvoorbeeld de aluminiumplaat op een groot aantal plaatsen inzagen zodat er een soort aluminium kam ontstaat. *Dan blijkt dat de plaat inderdaad niet meer aangedreven wordt.*

56 a, b



De vallende magneet induceert kringstromen in de plaat zodanig dat er aan de bovenkant van de plaat een zuidpool ontstaat. Deze zuidpool stoot de zuidpool van de permanente magneet af die daardoor afremt. Met de rechterhandregel zie je dat de veldlijnen die bij deze draairichting van de kringstromen horen, omlaag gericht zijn. De bovenkant van de plaat vormt een zuidpool.

© Noordhoff Uitgevers bv

c Die blijft boven de plaat zweven. De kringstromen worden zo groot dat het vallende magneetje helemaal wordt afgeremd. De kleinste beweging in welke richting dan ook, heeft een enorme stroom tot gevolg zodat het magneetje rustig boven de plaat blijft hangen.

57 Dan zal de flux in het eerste spoeltje niet meer veranderen, dus daar ontstaat geen inductiestroom meer. Het tolletje wordt niet meer versneld en zal op den duur door de wrijving tot stilstand komen.

Toepasssing

Opgave 1 Een zelfbouwspoel

1 Als je de draaddikte niet verwaarloost, dus 2x de straal van de draad meetelt, is de diameter 110,7 mm. De omtrek is dan:
$2\pi r = \pi \times 110{,}7 \cdot 10^{-3} = 0{,}3478$ m
De spoel heeft 920 windingen, dus de lengte van de koperdraad is dan $920 \times 0{,}3477 = 320$ m.

2 De dikte van de draad is 0,700 mm en er zijn 920 windingen. De lengte van de spoel is dan:
$920 \times 0{,}700 = 644$ mm $= 0{,}644$ m.

3 0,0015 T
Voor de magnetische inductie B in een lange rechte spoel geldt de formule $B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell}$.
$I = 0{,}86$ A
$\ell = 0{,}644$ m
$N = 920$ windingen
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Hm^{-1}
dat alles invullen in de formule:
$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{920 \times 0{,}86}{0{,}644} = 0{,}0015 \text{ T}$$

4 De veldlijnen moeten boven uit de spoel komen. Gebruik de rechterhandregel om de draairichting van de stroom te bepalen: als je van boven op de spoel kijkt draait de stroom tegen de wijzers van de klok in.

5 12 V
Om de spanning te kunnen berekenen heb je behalve de stroomsterkte ook de weerstand van de spoel nodig. Bereken eerst de weerstand R van de spoel en vul dan de weerstand en de stroomsterkte in in de formule van Ohm.
De soortelijke weerstand van koper is $17 \cdot 10^{-9}$ Ωm.
De weerstand R van de draad bereken je met de formule:
$$R = \frac{\rho l}{A}$$
de lengte $l = 320$ m;
de doorsnede A van de koperdraad $= \pi r^2 = \pi \times (0{,}350 \cdot 10^{-3})^2 = 3{,}85 \cdot 10^{-7}$ m^2;
Dit vul je in in de formule:
$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{17 \cdot 10^{-9} \times 320}{3{,}85 \cdot 10^{-7}} = 14\ \Omega$$
Met de formule van Ohm bereken je vervolgens de spanning.
$U = IR = 0{,}86 \times 14 = 12$ V

Opgave 2 Het magneetveld van de aarde

6 Uit de gegevens blijkt dat het magneetveld van de spoel precies tegengesteld gericht is aan dat van de aarde; zodra het veld van de spoel sterker is dan het aardmagneetveld klapt het naaldje om. In de tekening op het werkblad is dat al gebeurd. Dus de veldlijnen van de spoel lopen van rechts naar links.

7 Volgens de rechterhandregel loopt de stroom dan aan de voorkant van de spoel omhoog.

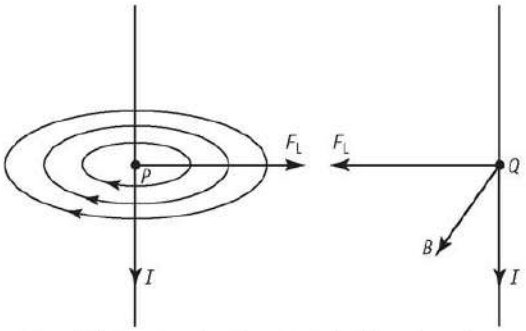
8 $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{1600}{0{,}25} \times 2{,}2 \cdot 10^{-3} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$ T

9 Op het moment dat het naaldje omklapt is het veld veroorzaakt door de spoel even sterk als de horizontale component van het aardmagneetveld. *De verticale component trekt het kompasnaaldje scheef (naar beneden) en die kracht wordt niet gecompenseerd.*

Opgave 3 Evenwijdige stroomdraden

10 Rechterhandregel levert op: de stroom gaat naar beneden.

11



De veldlijnen van draad 3 wijzen bij draad 4 recht naar voren (naar je toe). Bepaal de richting van F_L met de linkerhandregel. Als draad 3 draad 4 aantrekt, dan trekt draad 4 ook draad 3 aan (derde wet van newton; je kunt dat ook met de linkerhandregel laten zien).

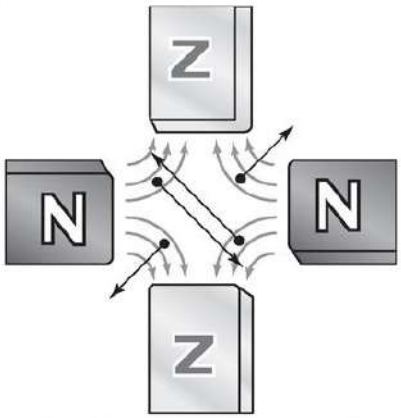
12 Reken eerst de sterkte uit van het magneetveld dat veroorzaakt wordt door draad 3 (de linkse draad) in het punt Q.
$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} = 1{,}257 \cdot 10^{-6} \times \frac{12}{2\pi \times 0{,}04} = 6{,}0 \cdot 10^{-5}$ T

Bereken vervolgens de lorentzkracht met de formule $F_L = B \cdot I \cdot l$:
$F_L = B \cdot I \cdot l = 6{,}00 \cdot 10^{-5} \times 12 \times 0{,}5 = 3{,}6 \cdot 10^{-4}$ N

© Noordhoff Uitgevers bv

Opgave 4 Quadrupool magneten

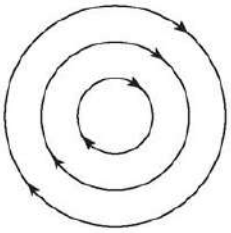
13



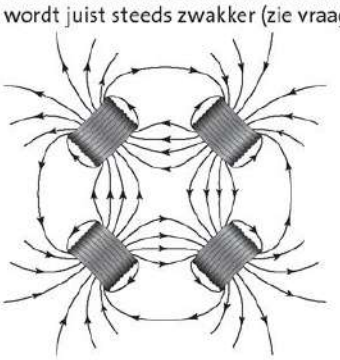
Met de linkerhandregel kun je de richtingen van de lorentzkracht bepalen. De elektrische stroom gaat naar achteren, tegen de beweging van de elektronen in.

14 Nee, de bundel wordt in één richting gebundeld (geconvergeerd), maar loodrecht daarop juist gedivergeerd.

15 Het magneetveld moet dan de volgende vorm hebben:

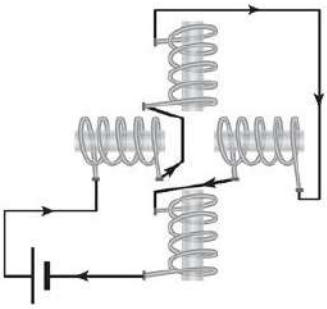


16 Zo'n magneetveld bestaat: het is gewoon het veld rond een stroomdraad. Maar om daarmee een elektronenbundel te focussen moet die elektronenbundel samenvallen met de draad, en dat gaat niet. Daarnaast moet het magneetveld dan naar buiten toe steeds sterker worden, het veld rond een draad wordt juist steeds zwakker (zie vraag 11).



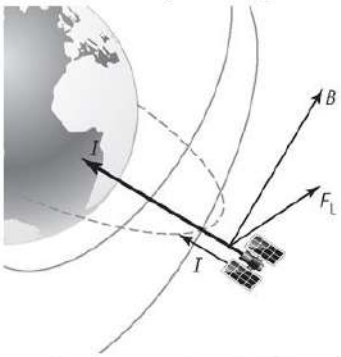
17 De tweede moet je 90 graden draaien.

18



Opgave 5 Satelliet met tether

19 Het magnetische veld B is gericht naar het noorden. Volgens de linkerhandregel is de lorentzkracht naar achteren gericht (papier in). Dus beweegt de satelliet in oostelijke richting.



20 Er geldt: $F_w = F_l$ met $F_L = B \cdot I \cdot \ell$. Invullen levert: $4{,}7 \cdot 10^{-3} = 8{,}4 \cdot 10^{-6} \times 1{,}1 \times \ell$.
Dit geeft: $\ell = 5{,}1 \cdot 10^{2}$ m.

21 Als de satelliet over de magnetische polen van de aarde beweegt, is de stroomsterkte evenwijdig aan de veldlijnen, dus er is geen lorentzkracht. Boven de evenaar is de lorentzkracht gericht loodrecht op de bewegingsrichting, dus wordt de satelliet afgebogen en niet versneld.

Opgave 6 Een stroommeter

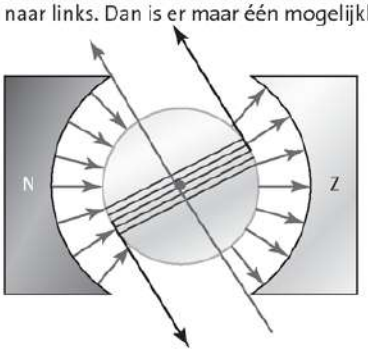
22 Dan wordt het ijzer ook magnetisch, doordat de elementaire magneetjes zich richten in het magnetisch veld van de magneetpolen.

23 Lorentzkracht en veerkracht

24 Boven en onder het cilindertje is nauwelijks een magneetveld, omdat je daar niet tussen de magneetpolen zit. En als er al een zwak veld is dan is dat vrijwel evenwijdig aan de stroomrichting.

© Noordhoff Uitgevers bv

25 De lorentzkrachten staan loodrecht op de richting van stroom en magneetveld, en draaien het spoeltje naar links. Dan is er maar één mogelijkheid.



26 Kijk naar de kracht aan de rechterkant van de cilinder: de kracht wijst naar 'boven', het veld naar rechts. Volgens de linkerhandregel komt de stroom dan naar de toeschouwer toe (het papier uit). Aan de voorkant van de cilinder loopt de stroom van rechts naar links.

27 Er geldt:
$F_L = N \cdot B \cdot I \cdot l = 150 \times 0{,}065 \times 0{,}012 \times 0{,}04 =$
$4{,}7 \cdot 10^{-3}$ N

Opgave 7 Een stappenmotor

28 Die hebben geen stroom nodig, dus geen sleepcontacten die kunnen slijten.

29 Stroom door de spoelen van fase 1, zodat deze spoelen de tegenoverliggende polen van de rotor aantrekken.

30 De spoelen die horen bij fase 2 moeten dan de dichtstbijzijnde polen van de rotor aantrekken.

31 De rotor draait dan 15 graden. Bijvoorbeeld de magneet van de rotor linksboven, die in de tekening onder 60° met de verticaal staat, komt dan onder 45° te staan.

32 Dan moet de rotor 6 stapjes van 15° maken, dus achtereenvolgens stroom door: fase 2 - fase 3 - fase 4 - fase 1 - fase 2 - fase 3

33 Meer permanente magneten op de rotor en meer paren spoelen.

34 40 polen en 50 elektromagneten
Bij de getekende stappenmotor is de hoek tussen de magneten in de rotor 360° : 6 = 60°, en de hoek tussen de spoelen 360° : 8 = 45°. Daardoor is de stapgrootte 60° − 45° = 15°.
We willen nu een motor met M magneten en N spoelen, zó dat $360/M - 360/N = 1{,}8$.
Delen door 1,8 geeft: $200/M - 200/N = 1$
$200N/MN - 200M/MN = 1$
Hieruit volgt $200N - 200M = MN$ dus $200(N - M) = MN$, waarbij M en N hele getallen moeten zijn. Dat is op te lossen door 'intelligent uitproberen'. De eenvoudigste oplossing is $N = 50$ en $M = 40$.

Opgave 8 Schuddynamo

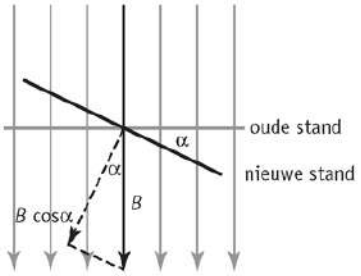
35 In de tweede grafiek zie je dat de flux eerst toeneemt en daarna afneemt. De inductiespanning is evenredig met de verandering van de flux en bij een toename is die verandering positief (dus positieve spanning) en bij een afname van de flux is die verandering negatief (dus negatieve spanning).

36 De inductiespanning is evenredig met de helling van de fluxgrafiek. De fluxgrafiek is op $t = 0{,}12$ s minder steil dan op $t = 0{,}17$ s, omdat op $t = 0{,}12$ s de snelheid kleiner is dan op $t = 0{,}17$ s.

37 Bepaal de helling van de fluxkromme op $t = 0{,}10$ s. Dat doe je door een raaklijn te tekenen aan de kromme bij $t = 0{,}10$ s. De helling van die raaklijn is ongeveer 0,30/0,075 = 4,0 Wb/s en de bijbehorende inductiespanning is dan 4,0 V. *Met het aantal windingen hoef je hier geen rekening te houden, want dat zit al in de fluxgrafiek verwerkt: deze grafiek geeft de flux door alle windingen samen.*

Opgave 9 Wisselstroomgenerator

38 De loodrechte component van B ten opzichte van de winding is $B \cos\alpha$. Hiermee wordt de flux $B \cdot A \cdot \cos\alpha$.



39 In de tekening hierboven gaan de veldlijnen door de 'bovenkant' van de winding. Is de hoek groter dan 90 graden dan gaan de veldlijnen door de 'onderkant' van de winding. Ten opzichte van de winding is de flux dan van richting omgeklapt. Het teken van de flux geeft dus de richting aan van het magneetveld ten opzichte van de winding.

40 Bij een draaiing gedurende T hoort een hoek van 2π radialen, bij een draaiing gedurende t hoort een hoek α. Hieruit volgt:
$\frac{t}{T} = \frac{\alpha}{2\pi}$, dus $\alpha = 2\pi \cdot t/T$ en met $f = 1/T$ vinden wij $\alpha = 2\pi \cdot f \cdot t$.

41 Voor de flux geldt: $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$
Voor α geldt: $\alpha = 2\pi \cdot f \cdot t$
Vul je de tweede formule in in de eerste dan krijg je: $\Phi = B \cdot A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$

© Noordhoff Uitgevers bv

42 De inductiespanning is de afgeleide van de fluxfunctie naar de tijd (met gebruik van de kettingregel en voor N windingen):
$U_{ind}(t) = N \frac{d\Phi}{dt} = -2\pi \cdot N \cdot B \cdot A \cdot f \cdot \sin(2\pi ft)$

43 *Hoe sneller de dynamo draait, des te hoger de frequentie en de amplitude.* De frequentie f staat in de formule vóór de sinus. Als f twee maal zo groot wordt, wordt de amplitude van de sinus (van de wisselspanning) ook twee maal zo groot.

Proefwerkopgaven

1 **a** De stroom komt aan de onderzijde van de spoel binnen en gaat dan aan de voorkant naar links. Volgens de rechterhandregel (uitleggen!) is het veld dan naar beneden gericht. Dan zit de noordpool dus onder.

b De tweede spoel heeft een ijzerkern en van de twee spoelen met ijzerkern het grootste aantal windingen. Dus de tweede spoel is het sterkst en trekt de meeste spijkers aan.

2 **a** De horizontale component van het aardmagneetveld is evenwijdig met de draad.
Strikt genomen is dit alleen waar voor het midden van de draad want een 250 m lange kabel hangt natuurlijk een beetje door.

b 1,6 N
$F_L = B \cdot I \cdot l = 4{,}3 \cdot 10^{-5} \times 150 \times 250 = 1{,}6$ N
Dus te verwaarlozen.

c De stroom loopt naar het zuiden, de verticale component van B naar beneden en dus zal de lorentzkracht volgens de linkerhandregel naar het oosten wijzen.

3 **a** Het trilplaatje trilt heen en weer, de flux in het spoeltje neemt afwisselend toe en af en de opgewekte inductiespanning is daardoor altijd een wisselspanning.

b De ene heeft een sterkere magneet of meer windingen.

c Als het spoeltje naar de magneet toe beweegt, zal het aan de rechterkant een zuidpool en aan de linkerkant een noordpool maken (tegenwerking, dus tegengestelde magnetische velden). Vanuit het trilplaatje gezien zal de stroom in het spoeltje dan tegen de wijzers van de klok (linksom) lopen, omdat binnen het spoeltje het eigen veld van zuid naar noord is gericht. Daarbij gebruik je de rechterhandregel of een andere richtingregel (altijd kort uitleggen!)

4 **a** De flux is $B \cdot A \cdot \sin 40°$
Als de hoek 0 graden is, is de flux minimaal en bij 90 graden maximaal; vandaar de sinus in de formule (en niet de cosinus).
De magnetische flux is dan:
$0{,}40 \times 4{,}7 \cdot 10^{-4} \times 0{,}643 = 1{,}2 \cdot 10^{-4}$ Wb.

b De inductiespanning is
$U_{ind} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-4}}{0{,}03} = 4 \cdot 10^{-3}$ V

c De inductiespanning is maximaal op het moment dat de flux het snelst verandert. Dat is bijvoorbeeld op tijdstip t = 18 ms.

d Bepaal de helling van de fluxgrafiek op tijdstip t = 18 ms. Deze is
$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1 \times \frac{10 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-3}} = 0{,}10$ V (ongeveer).

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 11
Elektrische velden

Introductie

1 De wisselstroomgenerator, de wisselstroomelektromotor, de Tesla spoel.

2 De lamp moet aangesloten worden op een hogere spanning met een hogere frequentie.

11.1 Elektrische lading

1 a 1 A = 1 C/s en 1 e = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C, dus het aantal elektronen per seconde = $1/1{,}602 \cdot 10^{-19} = 6{,}2 \cdot 10^{18}$
b $1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C
Tabel 7A Natuurconstanten

2 Pulsje

3 a De kap is positief geladen. Omdat het meisje geïsoleerd is raakt zij ook positief geladen. De positieve haren stoten elkaar af.
b Omdat het meisje op de grond staat is ze geaard. Ze houdt dezelfde lading als de aarde, neutraal dus.
c Neutrale papiersnippers worden dankzij elektrische influentie aangetrokken tot de positieve kap. Zodra ze de kap aanraken worden ze positief geladen. De positieve papiersnippers worden afgestoten door de positieve kap.

4 Een wolfraamdraadje van 1,0 cm lengte en een doorsnede van 0,10 mm² heeft een massa van $m = \rho\ V = 19{,}3\ \text{g/cm}^3 \times 1 \cdot 10^{-3}\ \text{cm}^3 = 1{,}93 \cdot 10^{-2}$ g. Als wij (met het getal van Avogadro) gebruiken dat 183,8 g (1 mol) wolfraam $6{,}022 \cdot 10^{23}$ atomen bevat, dan bevat dit draadje $1{,}93 \cdot 10^{-2} \times 6{,}022 \cdot 10^{23} / 183{,}8 = 6{,}3 \cdot 10^{19}$ atomen. Als wij ervan uit gaan dat er 1 vrij elektron per atoom is, bevat het draadje $6{,}3 \cdot 10^{19}$ vrije elektronen, dit is 10 C. Als wij 1 C vrije elektronen uit de draad willen halen (zodat er een +-lading van 1 C overblijft) en op 1 mm afstand plaatsen is daarvoor een kracht nodig van $F = 9 \cdot 10^9 \times 1^2 / (10^{-3})^2 = 10^{15}$ N. Dit is onmogelijk veel.

5 a Zowel de vaste verticale metalen strip als de beweegbare wijzer raken negatief geladen. Beide staven hebben dezelfde lading en stoten elkaar af. Dankzij de elektrische kracht slaat de beweegbare wijzer uit.
b Omdat je geaard bent is je lading neutraal. Voorwerpen die je aanraakt worden ook geaard en krijgen een neutrale lading. Tussen neutrale ladingen werkt geen elektrische kracht. De wijzer zakt dus terug naar de beginpositie.
c Dankzij elektrische influentie raken de boven- en de onderkant van de elektroscoop respectievelijk positief en negatief geladen. Door je vinger op de knop te houden stroomt er negatieve lading je lichaam in, naar de aarde. Bij de knop zitten namelijk nog heel veel elektronen (-) tussen de positieve ionen. De elektroscoop is nu in zijn geheel positief geladen. Als je de staaf nu weghaalt slaat de wijzer hierdoor uit.

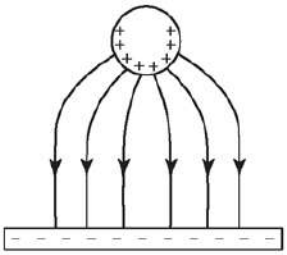
6 a $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ N
$F_{el} = f\frac{qQ}{r^2} = 8{,}99 \cdot 10^9 \times \frac{1{,}0 \cdot 10^{-7} \times 2{,}0 \cdot 10^{-7}}{0{,}10^2} =$
$1{,}8 \cdot 10^{-2}$ N
b $-5{,}6 \cdot 10^{-5}$ N
Volgens tabel 31 noot 3 is de straal van de aarde bij de polen 6356 km. De afstand tussen de twee ladingen is dus r = 12712 km.
$F_{el} = f\frac{qQ}{r^2} = 8{,}99 \cdot 10^9 \times \frac{1{,}0 \times -1{,}0}{(12712 \cdot 10^3)^2} = -5{,}6 \cdot 10^{-5}$ N
Met het minteken geef je aan dat het een aantrekkende kracht is en daarom mag je dat niet weglaten.

7 $-8{,}2 \cdot 10^{-8}$ N
De ladinggrootte van het elektron en het proton zijn gelijk aan het elementair ladingsquantum uit tabel 7. Het elektron is negatief en het proton is positief.
$F_{el} = f\frac{qQ}{r^2} = 8{,}99 \cdot 10^9 \times \frac{-1{,}6022 \cdot 10^{-19} \times 1{,}6022 \cdot 10^{-19}}{(5{,}3 \cdot 10^{-11})^2} =$
$-8{,}2 \cdot 10^{-8}$ N
Met het minteken geef je aan dat het een aantrekkende kracht is en daarom mag je dat niet weglaten.

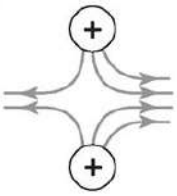
8 Het vliegtuig is een metalen kooi. In een metalen kooi kan een elektrisch veld niet binnendringen. De lading beweegt alleen langs de buitenkant van het vliegtuig.

11.2 Het elektrisch veld

9 a



b



10 A Geen magnetisch veld want de veldlijnen raken elkaar.
Wel een elektrisch van een positieve lading.
B Zowel magnetisch als elektrisch veld mogelijk.
C Wel een magnetisch veld want de veldlijnen raken elkaar niet.
Geen elektrisch veld want die beginnen bij een positieve lading en eindigen bij een negatieve lading. Omdat één voorwerp niet beide eigenschappen gelijktijdig kan hebben kan een elektrische veldlijn nooit een volledige lus maken.
D Geen magnetisch veld want de veldlijnen snijden elkaar.
Geen elektrisch veld vanwege dezelfde reden als in C. Bovendien zouden bij de snijpunten óf alle veldlijnen richting het snijpunt, óf alle veldlijnen van het snijpunt af gericht moeten zijn.

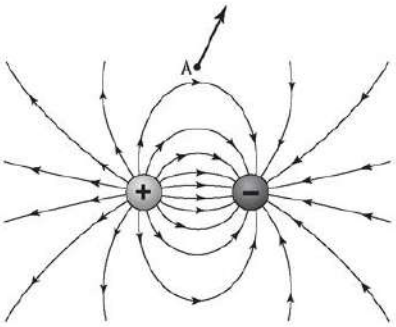
11 $2{,}2 \cdot 10^{-10}$ C

$$\vec{E} = f\frac{Q}{r^2} \Rightarrow Q = \frac{\vec{E}r^2}{f}$$

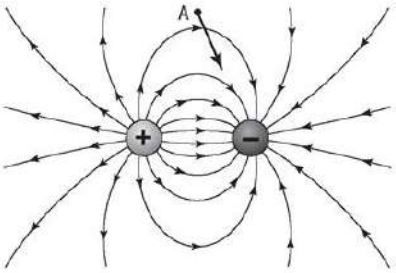
$$Q = \frac{200 \times 0{,}10^2}{8{,}99 \cdot 10^9} = 2{,}2 \cdot 10^{-10}\ \text{C} = 0{,}22\ \text{nC}$$

In *Binas* tabel 2 vind je dat nano gelijk is aan 10^{-9}.

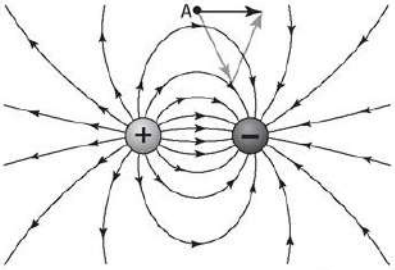
12 a



b



c



d Naar rechts, de richting van de veldlijn.

e 46 kN/C
De verhouding tussen de somkracht en de afzonderlijke krachten is 1:1,4. Omdat $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$ geldt deze verhouding ook voor de sterkte van het somveld en de twee afzonderlijke elektrische velden. Je moet dus het afzonderlijke elektrische veld uitrekenen en delen door 1,4.

$$\vec{E}_+ = f\frac{Q}{r^2} = 8{,}99 \cdot 10^9 \times \frac{2{,}3 \cdot 10^{-9}}{0{,}018^2} = 64\ \text{kN/C}$$

$$\vec{E}_{som} = \frac{64}{1{,}4} = 46\ \text{kN/C}$$

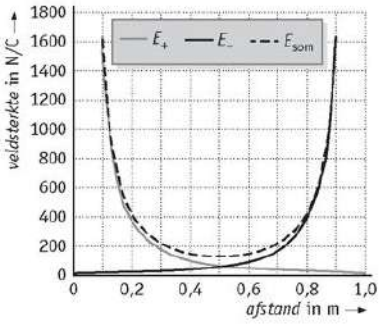
13 a 1,8 nC

$$\vec{E} = f\frac{Q}{r^2} \Rightarrow Q = \frac{\vec{E}r^2}{f}$$

Bij 0,20 m is de veldsterkte 400 N/C.

$$Q = \frac{400 \times 0{,}2^2}{8{,}99 \cdot 10^9} = 1{,}8\ \text{nC}$$

b



14 C Omdat er geen elektrisch veld van buitenaf de zaal in kan komen komt er ook geen elektromagnetische straling van buiten de zaal in. Bezoekers kunnen dus niet gebeld worden.

15 a $2{,}3 \cdot 10^{-16}$ kg
De inhoud van de bol is $\frac{4}{3}\pi r^3 =$
$1{,}333 \times 3{,}142 \times (4{,}1 \cdot 10^{-7})^3 = 2{,}887 \cdot 10^{-19}$ m³
De massa is $m = \rho V =$
$800 \times 2{,}887 \cdot 10^{-19} = 2{,}3 \cdot 10^{-16}$ kg

b $1{,}62 \cdot 10^{-18}$ C
De zwaartekracht op het druppeltje is $F = m\,g =$
$2{,}3 \cdot 10^{-16} \times 9{,}81 = 2{,}3 \cdot 10^{-15}$ N.
Het veld oefent 1,4 kN per coulomb uit. De zwaartekracht is veel kleiner dan 1,4 kN, dus het aantal coulomb is ook erg klein:

$$Q = \frac{2{,}3 \cdot 10^{-15}}{1{,}4 \cdot 10^3} = 1{,}62 \cdot 10^{-18}\ \text{C}$$

© Noordhoff Uitgevers bv

c $v = \frac{s}{t} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3}}{3} = 5{,}0 \cdot 10^{-4}$ m/s

d $F_w = 6\pi\eta rv \xrightarrow{F_z = mg} mg = 6\pi\eta rv \xrightarrow{m = \rho V}$

$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = 6\pi\eta rv \xrightarrow{\pi \text{ en } r \text{ wegstrepen}} \frac{4}{3} r^2 \rho g = 6\eta v \Rightarrow$

$r^2 \rho g = 4{,}5\eta v \Rightarrow r^2 = \frac{4{,}5\eta v}{\rho g}$

e $r^2 = \frac{4{,}5\eta v}{\rho g} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{4{,}5\eta v}{\rho g}} = \sqrt{\frac{4{,}5 \times 18 \cdot 10^{-6} \times 5{,}0 \cdot 10^{-4}}{800 \times 9{,}81}}$
$= 2{,}272 \cdot 10^{-6}$ m

Met de straal kan je de massa berekenen:
$m = \rho V = \rho \frac{4}{3}\pi r^3 = 800 \times 1{,}333 \times 3{,}142 \times (2{,}272 \cdot 10^{-6})^3 = 3{,}9 \cdot 10^{-14}$ kg

f $1{,}3 \cdot 10^2$ ladingsquanta
In dit experiment zijn de elektrische en de zwaartekracht even groot.
$F_{el} = F_z = mg = 3{,}85 \cdot 10^{-13}$ N
Nu kan je de lading berekenen.

$\vec{E} = \frac{F_{el}}{q} \Rightarrow q = \frac{F_{el}}{\vec{E}}$

$q = \frac{3{,}85 \cdot 10^{-13}}{19 \cdot 10^3} = 2{,}03 \cdot 10^{-17}$ C

Eén elementair ladingsquantum is $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ dus dit zijn

$\frac{2{,}03 \cdot 10^{-17}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 126{,}6 = 1{,}3 \cdot 10^2$ ladingsquanta.

16 3, er zitten ook protonen en neutronen in het atoom.

11.3 Elektrische energie en spanning

17 a 0,12 J
In één seconde loopt er $\frac{0{,}030}{2{,}0} = 0{,}015$ C door het gloeilampje.
$U = \frac{\Delta E_{el}}{q} \Rightarrow \Delta E_{el} = qU = 0{,}015 \times 8{,}0 = 0{,}12$ J

b 0,015 A
In hoofdstuk 3 heb je geleerd dat $I = \frac{Q}{t} = \frac{0{,}030}{2{,}0} = 0{,}015$ A.

c 0,12 W
$P = UI = 8{,}0 \times 0{,}015 = 0{,}12$ W
óf: De 0,12 J per seconde uit onderdeel a is gelijk aan 0,12 W.

18 a 17 m/s
Er geldt energiebehoud bij deze energieomzetting:
$\Delta E_k + \Delta E_{el} = 0 \Rightarrow \Delta E_k = -\Delta E_{el}$
Aangezien de elektrische energie afneemt wordt de kinetische energie dankzij het minteken positief:
$\Delta E_k = -(-15)$ nJ $= 15$ nJ.
$\Delta E_k = E_k^{eind} - E_k^{begin}$
Aangezien de beginsnelheid nul is, is de begin kinetische energie nul. Daarom is
$E_k^{eind} = \Delta E_k = 15$ nJ.
Opmerking: eenvoudiger is $E_{el,A} + E_{k,A} = E_{el,B} + E_{k,B} \rightarrow 20 + 0 = 5{,}0 + E_{k,B}$

$E_{k,B} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_{k,B}^{eind}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 15 \cdot 10^{-9}}{1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3}}} = 17$ m/s

b 1,5 mV

$U = \frac{\Delta E_{el}}{q} = \frac{15 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-6}} = 1{,}5$ mV

19 a Negatieve arbeid
Als je niets doet vliegt lading q vanzelf naar punt B. Om de lading daar tot stilstand te brengen moet je negatieve arbeid verrichten (remmen).

b Positieve arbeid
De lading moet tegen de richting van de elektrische kracht in bewegen. Dat betekent dat je positieve arbeid moet verrichten.

c Geen arbeid
Er is geen verplaatsing in de richting van de elektrische kracht (de verplaatsing en de elektrische kracht staan voortdurend loodrecht op elkaar), dus geen arbeid.

20 a 2,2 kN/C

$\vec{E} = f\frac{Q}{r^2} = 8{,}99 \cdot 10^9 \times \frac{10 \cdot 10^{-9}}{0{,}20^2} = 2{,}2$ kN/C

Let op! De eenheid is niet kJ. De *E* met het vectorsymbool is de elektrische veldsterkte in newton per coulomb.

b $F_{el} = f\frac{qQ}{r^2} \Rightarrow q = \frac{F_{el}r^2}{fQ}$

Volgens de grafiek is de kracht bij $r = 0{,}1$ m gelijk aan 9 nN.

$q = \frac{9 \cdot 10^{-9} \times 0{,}1^2}{8{,}99 \cdot 10^9 \times 10 \cdot 10^{-9}} = 1{,}0 \cdot 10^{-12}$ C

In *Binas* tabel 2 vind je dat pico $= 10^{-12}$, dus $q = 1{,}0$ pC.

c 75 pJ (met een marge van 3 pJ)
De gemiddelde kracht is ongeveer 0,75 nN. De afstand is 0,1 m. De arbeid is kracht maal afstand, dus 0,075 nJ = 75 pJ. *Je schatting moet lager uitkomen dan 80 pJ, want uit de grafiek blijkt duidelijk dat de kracht langer onder de 0,8 nN zit dan erboven. Je kunt het dus niet zien als een (rechte) lijn.*

d B
$U = \frac{\Delta E_{el}}{q}$. De elektrische energie is 75 pJ en de lading is 1,0 pC.

21 a *Bereken de afname tussen punt P en Q.*
$1{,}6 \cdot 10^{-18}$ J
$U = \frac{\Delta E_{el}}{q} \Rightarrow \Delta E_{el} = qU = -1{,}602 \cdot 10^{-19} \times 10 = -1{,}6 \cdot 10^{-18}$ J (= −1,6 aJ)
Dus de afname is $1{,}6 \cdot 10^{-18}$ J.

b Zonder meer, gaan we ervan uit dat het elektron zijn energie behoudt, dus kinetische energie.

c $1{,}9 \cdot 10^6$ m/s
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}602 \cdot 10^{-18}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}9 \cdot 10^6$ m/s
De massa van het elektron vind je in Binas tabel 7B. De snelheid moet altijd onder de lichtsnelheid ($3 \cdot 10^8$ m/s) uitkomen.

22 a $6{,}2 \cdot 10^7$ elektronen
$\frac{10 \cdot 10^{-12}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 6{,}2 \cdot 10^7$ elektronen

b $8{,}0 \cdot 10^{-8}$ N
$\vec{E} = \frac{\vec{F_{el}}}{q} \Rightarrow \vec{F_{el}} = q\vec{E} = 10 \cdot 10^{-12} \times 8000 = 8{,}0 \cdot 10^{-8}$ N

© Noordhoff Uitgevers bv

c $W = Fs = 8{,}0 \cdot 10^{-8} \times 4{,}0 \cdot 10^{-3} = 3{,}2 \cdot 10^{-10}$ J

d 32 V

$U = \frac{\Delta E_{el}}{q} = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-10}}{10 \cdot 10^{-12}} = 32$ V

e $\frac{F_{el}}{q} \xrightarrow{U = \frac{\Delta E_{el}}{q} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{U}{\Delta E_{el}}} \frac{F_{el}U}{\Delta E_{el}} \xrightarrow{W = Fs \Rightarrow \frac{F}{W} = \frac{1}{s}} \frac{U}{s} = \frac{U}{\Delta x}$

Eenvoudiger: $\frac{U}{\Delta x} = \frac{\Delta E_{el}}{q \cdot \Delta x} = \frac{F_{el} \cdot \Delta x}{q \cdot \Delta x} = \frac{F_{el}}{q}$

f 32 V

Dit doe je aan de hand van onderdeel d.

$\frac{F_{el}}{q} = \frac{U}{\Delta x} \xrightarrow{\text{kruislings}} U = \frac{F_{el}\Delta x}{q} = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-8} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-12}} = 32$ V

g 1 Nm = 1 J, dus 1 N = 1 J/m

$\frac{N}{C} = \frac{J}{Cm}$

Binas tabel 4: 1 V = 1 J/C

$\frac{V}{m} = \frac{J}{Cm}$

Dus $\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$

h 16 m/s

De vrijgekomen elektrische energie is

$\Delta E_{el} = Uq = 32 \times 10 \cdot 10^{-12} = 3{,}2 \cdot 10^{-10}$ J

Deze is omgezet in kinetische energie, dus de snelheid is

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}2 \cdot 10^{-10}}{2{,}5 \cdot 10^{-12}}} = 16$ m/s

i Met de kracht uit onderdeel b bereken je de versnelling van de massa en dan de tijd die nodig is om te versnellen tot 16 m/s.

$F = ma \Rightarrow a = \frac{F_{el}}{m} = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-8}}{2{,}5 \cdot 10^{-12}} = 3{,}2 \cdot 10^4$ m/s²

$v = at \Rightarrow t = \frac{v}{a} = \frac{16}{3{,}2 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-4}$ s

De snelheidstoename dankzij de zwaartekracht is

$v = gt = 9{,}81 \times 5 \cdot 10^{-4} = 4{,}9 \cdot 10^{-3}$ m/s

Dat is te verwaarlozen ten opzichte van 16 m/s.

Opmerking: je kunt dit ook inzien door F_z te berekenen: $F_z = mg = 2{,}5 \cdot 10^{-12} \cdot 9{,}81 = 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ N en dat is veel kleiner dan de F_{el} van $8{,}0 \cdot 10^{-8}$ N.

23 a coulomb per volt, C/V

b $1{,}0 \cdot 10^{-11}$ C/V

$C = \frac{Q}{U} = \frac{10 \cdot 10^{-9}}{1000} = 1{,}0 \cdot 10^{-11}$ C/V

c $1{,}1 \cdot 10^{-10}$ C/Vm

Eerst reken je voor elke straal de capaciteit en de constante uit (bij $r = 0{,}40$ m hoort $U = 0{,}27$ kV).

r in m	*C* in C/V	*constante* in C/Vm
0,10	$1{,}0 \cdot 10^{-11}$	$1{,}0 \cdot 10^{-10}$
0,20	$2{,}4 \cdot 10^{-11}$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$
0,30	$3{,}5 \cdot 10^{-11}$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$
0,40	$4{,}1 \cdot 10^{-11}$	$1{,}0 \cdot 10^{-10}$

Het gemiddelde van deze vier uitkomsten is $1{,}1 \cdot 10^{-10}$ C/Vm.

d Ja

$\frac{1}{f} = \frac{1}{8{,}99 \cdot 10^9} = 1{,}1 \cdot 10^{-10}$, dus het komt overeen.

24 Het licht is eigenlijk erg zwak. Hij heeft de foto's nachts genomen, een lange sluitertijd gekozen en een hoge gevoeligheid (ISO-waarde). Om de foto scherp te houden heeft hij de camera op een statief geplaatst.

11.4 Versnellen en afbuigen

25 Zie http://nl.wikipedia.org/wiki/Kathodestraalbuis
De binnenkant is bedekt met een fosforescerende laag met aan de binnenkant een dun laagje aluminium. Er komt over het algemeen alleen zwakke röntgenstraling vrij doordat de versnelspanning relatief laag is, het laagje aluminium dun en de straling eerst door een dikke glasplaat moet. Als je voldoende afstand houdt, zal de stralingsdosis op jaarbasis bij televisie kijken met een ouderwets beeldscherm klein zijn.

26 a 60 keV

$E_k = qU = 1 \times 60 \cdot 10^3 = 60 \cdot 10^3$ eV

b $1{,}5 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

$E_k = 60 \cdot 10^3$ eV $= 60 \cdot 10^3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 9{,}6 \cdot 10^{-15}$ J

Volgens *Binas* tabel 7b is de massa van het elektron $9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg.

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 9{,}6 \cdot 10^{-15}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}5 \cdot 10^8$ m/s

c $4{,}2 \cdot 10^{16}$

1 A = 1 C/s, dus 6,7 mC per seconde. Dat zijn

$\frac{6{,}7 \cdot 10^{-3}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 4{,}2 \cdot 10^{16}$ elektronen

27 a 2,5 W

$P = UI = 6{,}3 \times 0{,}40 = 2{,}5$ W

b 20 keV

$E_k = qU = 1 \times 20 \cdot 10^3 = 20 \cdot 10^3$ eV

c $8{,}4 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$

$E_k = 20 \cdot 10^3$ eV $= 3{,}2 \cdot 10^{-15}$ J

Volgens tabel 7b is de massa van het elektron $9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg.

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}2 \cdot 10^{-15}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}}} = 8{,}4 \cdot 10^7$ m/s

28 a 11 kV

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}109 \cdot 10^{-31} \times (6{,}1 \cdot 10^7)^2 =$
$1{,}69 \cdot 10^{-15}$ J = 11 keV

dus 11 kV

b De elektronen moeten meer versneld worden, de versnelspanning moet dus omhoog. Dat is de spanning tussen de kathode en anode.

29 a $2{,}1 \cdot 10^8$ m/s

$E_k = 100 + 20 = 120$ keV $= 1{,}92 \cdot 10^{-14}$ J

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}92 \cdot 10^{-14}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}}} = 2{,}1 \cdot 10^8$ m/s

b 1,35

De energie is daar $\frac{100 + 120}{120}$ maal zo hoog.

Daardoor is de snelheid $\sqrt{\frac{100 + 120}{120}} = 1{,}35$ keer zo groot. Het buisje moet dus 1,35 keer zo lang zijn.

© Noordhoff Uitgevers bv

30 a tabel 19B: zachte gammastraling

b Elektronen dringen niet zo diep door in je weefsel, dus alleen als je huid bestraald moet worden.

31 a $5{,}1 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$r = \frac{mv}{Bq} \Rightarrow v = \frac{Bqr}{m}$

$= \frac{0{,}024 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19} \times 12 \cdot 10^{-3}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}} = 5{,}1 \cdot 10^7$ m/s

b $1{,}9 \cdot 10^{-13}$ N

De lorentzkracht is

$F_L = Bqv = 0{,}024 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19} \times 5{,}1 \cdot 10^7 = 1{,}9 \cdot 10^{-13}$ N

c 7,3 keV

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}109 \cdot 10^{-31} \times (5{,}1 \cdot 10^7)^2 =$

$1{,}17 \cdot 10^{-15}$ J = 7,3 keV

d Papier in.

Bij het binnenkomen van het veld: de stroom is naar rechts, de kracht omhoog, dus het magneetveld gaat het papier in.

32 a Papier in.

De negatieve bundel ondervindt door het elektrisch veld een kracht naar boven, dus blijkbaar is de lorentzkracht die tegengewerkt moet worden omlaag gericht.

De stroom is naar links, de kracht omlaag, dus het magneetveld gaat het papier in.

b Alleen de deeltjes die rechtdoor gaan komen door het tweede gaatje. Er moet dus gelden dat $F_L = F_{el}$.

$Bqv = qE \xrightarrow{\text{q wegstrepen}} Bv = E \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

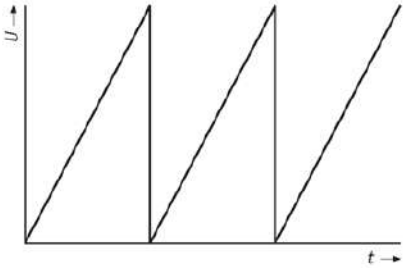
c $2{,}3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$v = \frac{E}{B} = \frac{6{,}5 \cdot 10^5}{0{,}0028} = 2{,}3 \cdot 10^8$ m/s

d Bij een lagere snelheid is de lorentzkracht kleiner, terwijl de elektrische kracht niet afneemt. De deeltjes buigen omhoog en komen tegen het eindplaatje aan.

33 a De bundel moet omhoog afgebogen worden. Plaat Q moet daarom afstoten, dus negatief geladen zijn. Plaat P moet aantrekken, dus positief geladen zijn.

b



c Om de intensiteit te verhogen moet je een groter vermogen aan elektriciteit door de kathode laten gaan, zodat meer elektronen vrijgemaakt worden.

34 a $E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_p}} =$

$\sqrt{\frac{2 \times 7000 \cdot 10^9 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{1{,}673 \cdot 10^{-27}}} = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ m/s

Dit is meer dan de lichtsnelheid van $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s en de formule is dus niet meer geldig.

b $E_k = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \Rightarrow \frac{E_k}{mc^2} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \Rightarrow$

$\frac{E_k}{mc^2} + 1 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \left(\frac{E_k}{mc^2} + 1\right)^2 = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow$

$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{\left(\frac{E_k}{mc^2}+1\right)^2} \Rightarrow -\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{\left(\frac{E_k}{mc^2}+1\right)^2} - 1 \Rightarrow$

$v^2 = \frac{-c^2}{\left(\frac{E_k}{mc^2}+1\right)^2} + c^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{-c^2}{\left(\frac{E_k}{mc^2}+1\right)^2} + c^2} =$

$$\sqrt{\frac{-(2{,}99792458 \cdot 10^8)^2}{\left(\frac{7000 \cdot 10^9 \times 1{,}602176565 \cdot 10^{-19}}{1{,}672621777 \cdot 10^{-27} \times (2{,}99792458 \cdot 10^8)^2} + 1\right)^2} + (2{,}99792458 \cdot 10^8)^2}$$

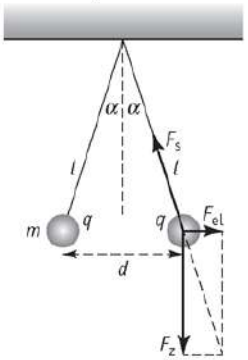
$= 2{,}99792455 \cdot 10^8$ m/s

c Dit is $\frac{2{,}997924553}{2{,}99792458} \times 100\% = 99{,}9999991\%$.

Toepassing

Opgave 1 Balletjes aan een touwtje

1



2 sin 1,0° = 0,0175

tan 1,0° = 0,0175

3 Voor F_{el} geldt

$F_{el} = f\frac{qQ}{r^2} = f\frac{q^2}{d^2}$

Vanwege de hint is het een goed idee om tanα uit te werken

$\tan\alpha = \frac{F_{el}}{F_z} = \frac{fq^2}{mgd^2}$

maar ook

$\tan\alpha = \sin\alpha = \frac{\frac{1}{2}d}{\ell}$

dus

$\frac{fq^2}{mgd^2} = \frac{\frac{1}{2}d}{\ell} \Rightarrow \frac{1}{2}d = \frac{fq^2\ell}{mgd^2} \Rightarrow d^3 = \frac{2fq^2\ell}{mg} \Rightarrow$

$d = \sqrt[3]{\frac{2fq^2\ell}{mg}}$

4 0,1 cm/s

$d(1\text{ s}) = \sqrt[3]{\frac{2 \times 8{,}99 \cdot 10^9 \times (23 \cdot 10^{-9})^2 \times 1{,}2}{0{,}010 \times 9{,}81}}$

$= 0{,}0488$ m

De snelheid is dus 5,0 – 4,88 = 0,1 cm/s.

© Noordhoff Uitgevers bv

Opgave 2 De cyclotron

5 0,71 T
Bij de laatste bocht is de straal 1,0 m en de energie 12 MeV.
De snelheid is te vinden met

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_p}} =$$
$$\sqrt{\frac{2 \times 12 \cdot 10^6 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{2{,}014 \times 1{,}6605 \cdot 10^{-27}}} = 3{,}39 \cdot 10^7 \ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nu kun je het magneetveld berekenen.

$$r = \frac{mv}{Bq} \Rightarrow B = \frac{mv}{rq} =$$
$$\frac{2{,}014 \times 1{,}6605 \cdot 10^{-27} \times 3{,}39 \cdot 10^7}{1{,}0 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 0{,}71 \text{ T}$$

6 $5{,}4 \cdot 10^6$ Hz
Je mag ervan uitgaan dat de afstand QR verwaarloosbaar is, anders kun je de opgave niet oplossen.
De frequentie kun je uitrekenen aan de hand van de omlooptijd

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 1{,}0}{3{,}39 \cdot 10^7} = 1{,}85 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Dan is de frequentie
$f = \frac{1}{T} = 5{,}4 \cdot 10^6$ Hz

7 $2{,}7 \cdot 10^2$
Eerst bereken je hoeveel keer je de energie met 22 kV moet verhogen om 12 MeV te bereiken.
$\frac{12 \cdot 10^6}{22 \cdot 10^3} = 5{,}5 \cdot 10^2$ keer
Elke omwenteling wordt de energie tweemaal verhoogd, dus $2{,}7 \cdot 10^2$ omwentelingen.

8 $5{,}0 \cdot 10^{-5}$ s
Deze tijd is gelijk aan het aantal omwentelingen maal de omlooptijd
$t = nT = 2{,}7 \cdot 10^2 \times 1{,}85 \cdot 10^{-7} = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ s

9 1,1 km
Je mag niet stellen dat de gemiddelde snelheid gelijk is aan de eindsnelheid gedeeld door twee, omdat de snelheid evenredig is met de wortel van de energie (en de energie evenredig is met de tijd). In het begin neemt de snelheid dus sneller toe dan aan het eind.
Om de gemiddelde snelheid te berekenen bij een wortelverband moet je iets meer dan de helft nemen, bijvoorbeeld tweederde.

$$v_{gem} = v_{eind}\frac{2}{3} = 3{,}39 \cdot 10^7 \times \frac{2}{3} = 2{,}26 \cdot 10^7 \text{m/s}$$

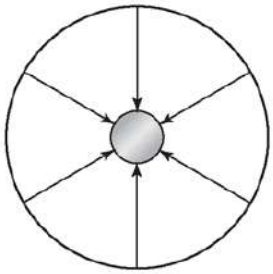
De afstand kun je dan berekenen met
$s = v_{gem}t = 2{,}26 \cdot 10^7 \times 5{,}0 \cdot 10^{-5} = 1{,}1$ km
De constante tweederde kun je als volgt berekenen:
Voor de snelheid geldt

$$v(t) = c\sqrt{t} \text{ met } c = \frac{v_e}{\sqrt{t_e}}$$

De gemiddelde snelheid is

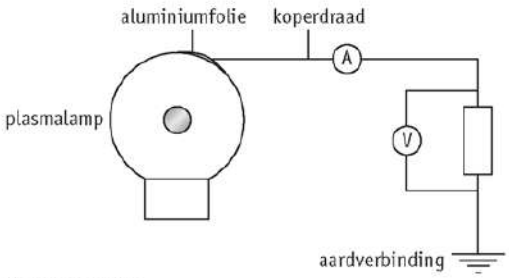
$$v_{gem} = \frac{1}{t_e}\int_0^{t_e} v(t)dt = \frac{1}{t_e}\int_0^{t_e} ct^{\frac{1}{2}}dt = \frac{1}{t_e}\left[\frac{2}{3}ct^{\frac{3}{2}}\right]_0^{t_e} =$$
$$\frac{1}{t_e}\frac{2}{3}ct_e^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}ct_e^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{3}\frac{v_e}{\sqrt{t_e}}\sqrt{t_e} = \frac{2}{3}v_e$$

Opgave 3 Plasmalamp

10


11 $3{,}2 \cdot 10^4$ Hz
Na 9,4 schaaldelen (divisions) zijn er zes hele golven voorbij. Het aantal golven per seconde is

$$f = \frac{6}{9{,}4 \times 20 \cdot 10^{-6}} = 3{,}2 \cdot 10^4 \text{ Hz}$$

12


13 Richting aarde.
De positieve lading aan de binnenkant van het glas trekt negatieve deeltjes aan. Er stromen dus elektronen richting het glas. De stroom is dus richting de aarde.

14 Om voldoende snelheid te krijgen tussen twee botsingen moet het elektron zo ver mogelijk door het elektrisch veld gaan. Dat kan alleen als het elektron onderweg niet te veel gasatomen tegenkomt. Daarom moet de gasdruk laag zijn.

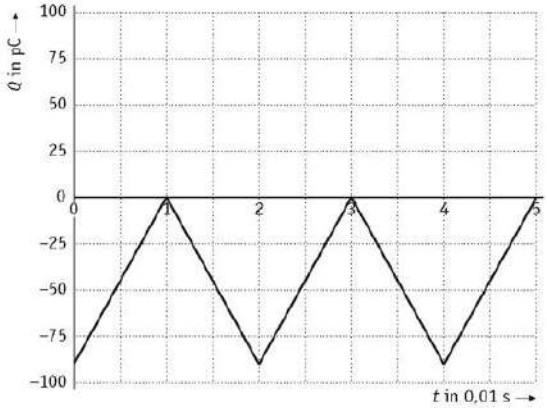
Opgave 4 Veldsterktemeter

15 Positief.
Het elektrisch veld gaat van plus naar min. We gaan er van uit dat de aarde neutraal is, dus in dit geval gaat het veld van plus naar neutraal. De plaat is dus negatief.
Het feit dat de plaat geaard is doet er niet toe, want de aardedraad zit in hetzelfde elektrische veld.

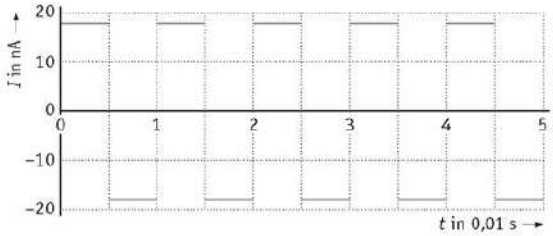
16 Op $t = 0$ begint stroom naar de onderste plaat te lopen. Dus elektronen beginnen dan naar de aarde te bewegen. Dus het segment begint bedekt te raken. Op $t = 0$ bevindt de opening zich precies boven het cirkelsegment.

© Noordhoff Uitgevers bv

17 Op t = 0 s heeft de plaat de maximale lading. Die is te bepalen door in figuur 11.48 de oppervlakte onder de grafiek te bepalen van 0 tot 0,01 s: $Q = It$ = $9{,}0 \cdot 10^{-9} \times 0{,}010 = 9{,}0 \cdot 10^{-9}$ C = 90 pC. In het diagram is de lading op t = 0 gelijk aan −90 pC.



18



19 $2{,}6 \cdot 10^4$ N/C

$$Q = \frac{1}{4\pi f} AE \Rightarrow E = \frac{Q 4\pi f}{A} =$$

$$\frac{7{,}0 \cdot 10^{-9} \times 4 \times \pi \times 8{,}99 \cdot 10^9}{307 \cdot 10^{-4}} = 2{,}6 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

Opgave 5 De baan van een proton

20 $5{,}0 \cdot 10^4$ N/C
De eenheid van het elektrisch veld is newton per coulomb. Je moet dus delen door de lading van het proton.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q} = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-15}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 5{,}0 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

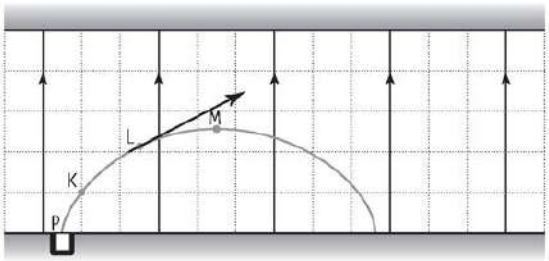
21 De stroom is omhoog, de kracht is naar rechts, dus het magneetveld wijst het papier uit.

22 De verticale afstand PK is 0,78 cm. Er is dus een kinetische energie toegevoegd van
$E_k = W = Fs = 8{,}0 \cdot 10^{-15} \times 0{,}78 \cdot 10^{-2} = 6{,}24 \cdot 10^{-17}$ J

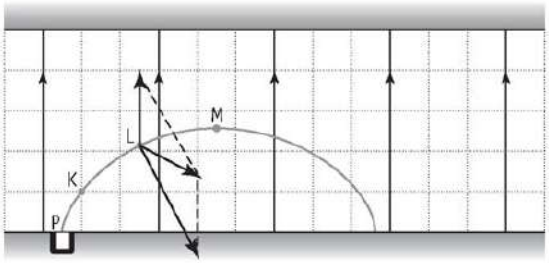
De kinetische beginenergie mag je volgens de tekst verwaarlozen. De snelheid is dus

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \times 6{,}24 \cdot 10^{-17}}{1{,}673 \cdot 10^{-27}}} = 2{,}7 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

23 Teken in L een raaklijn aan de baan met een lengte van 4,5 cm.



24 F_{el}: teken in L een pijl met een lengte van 4,0 cm in de richting van de elektrische veldlijnen.
F_L: bereken eerst de grootte met $F_L = Bqv = 0{,}200 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} \times 4{,}5 \cdot 10^5 = 1{,}44 \cdot 10^{-14}$ N. Teken een pijl met een lengte van 7,2 cm loodrecht op de snelheid naar rechtsonder.
Bepaal de resulterende kracht met een parallellogramconstructie.



25 $y = \left[\frac{\text{N/C} \times \text{kg}}{\text{CT}^2}\right] = \left[\frac{\text{Nkg}}{\text{C}^2\text{T}^2}\right]$

In *Binas* tabel 4 staan alle eenheden omschreven in SI.

T = Wb/m²
Wb = Vs
V = J/C
J = Nm
N = kgm/s²

Hieruit blijkt dat

$\text{T} = \frac{\text{Js}}{\text{Cm}^2}$ dus

$$y = \left[\frac{\text{Nkg}}{\text{C}^2\text{T}^2}\right] = \left[\frac{\text{Nkg C}^2\text{m}^4}{\text{C}^2\,\text{J}^2\text{s}^2}\right] = \left[\frac{\text{Nkgm}^4}{\text{J}^2\text{s}^2}\right]$$

vervolgens kun je de joule-kwadraat wegwerken

$$y = \left[\frac{\text{Nkgm}^4}{\text{J}^2\text{s}^2}\right] = \left[\frac{\text{Nkgm}^4}{\text{N}^2\text{m}^2\text{s}^2}\right] = \left[\frac{\text{kgm}^2}{\text{Ns}^2}\right]$$

nu werk je de laatste newton weg

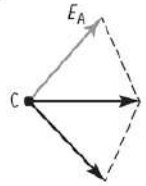
$$y = \left[\frac{\text{kgm}^2}{\text{Ns}^2}\right] = \left[\frac{\text{kgm}^2}{\text{kgm/s}^2 \times \text{s}^2}\right] = \left[\frac{\text{kgm}^2}{\text{kgm}}\right] = \text{m}$$

De eenheid is dus juist.

© Noordhoff Uitgevers bv

Opgave 6 Elektrische veldsterkte

26 Teken E_B met een pijl die even lang is als E_A maar gericht van C naar B. Construeer de totale veldsterkte met de parallellogrammethode.



Proefwerkopgaven

1 $1{,}3 \cdot 10^{-15}$ kg
De elektrische kracht omhoog is
$F_{el} = \vec{E}q = 8{,}0 \cdot 10^3 \times 1{,}6 \cdot 10^{-18} = 1{,}3 \cdot 10^{-14}$ N
Aangezien het druppeltje zweeft is de zwaartekracht tegengesteld en even groot. De massa is

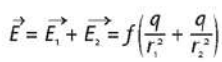
$$F_z = mg \Rightarrow m = \frac{F_z}{g} = \frac{1{,}3 \cdot 10^{-14}}{9{,}81} = 1{,}3 \cdot 10^{-15} \text{ kg.}$$

2 a $4{,}0 \cdot 10^{-7}$ C

$$F_{el} = f\frac{q^2}{r^2} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{F_{el}r^2}{f}} = \sqrt{\frac{0{,}100 \times 0{,}12^2}{8{,}99 \cdot 10^9}} = 4{,}0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

b Nul.
Beide ladingen wekken een radiaal veld op dat in het midden precies tegengesteld is. De twee radiale velden heffen elkaar in het midden dus op.

c $2{,}4 \cdot 10^6$ N/C



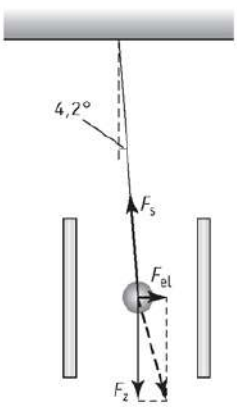
Je moet de som van beide radiale velden uitrekenen

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} = f\left(\frac{q}{r_1^2} + \frac{q}{r_2^2}\right) =$$

$$8{,}99 \cdot 10^9\left(\frac{4{,}0 \cdot 10^{-7}}{0{,}04^2} + \frac{4{,}0 \cdot 10^{-7}}{0{,}16^2}\right) = 2{,}4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

3 a Het negatieve balletje wordt aangetrokken door de positieve plaat. Het veld wijst van de positieve plaat richting de negatieve plaat, dus van rechts naar links.

b



c $2{,}2 \cdot 10^{-3}$ N
Met behulp van de tangens en de zwaartekracht bereken je de elektrische kracht

$$\tan\alpha = \frac{F_{el}}{F_z} \Rightarrow F_{el} = F_z \tan\alpha = mg\tan\alpha =$$

$$0{,}0030 \times 9{,}81 \times \tan 4{,}2° = 2{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

d $1{,}1 \cdot 10^{-7}$ C

$$\vec{E} = \frac{\vec{F_{el}}}{q} \Rightarrow q = \frac{\vec{F_{el}}}{\vec{E}} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-3}}{2{,}0 \cdot 10^4} = 1{,}1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

4 a Je moet laten zien dat de zwaartekracht verwaarloosbaar is ten opzichte van de elektrische kracht
$F_z = mg = 5{,}4 \cdot 10^{-26} \times 9{,}81 = 5{,}3 \cdot 10^{-25}$ N

$$\vec{E} = \frac{\vec{F_{el}}}{q} \Rightarrow \vec{F_{el}} = q\vec{E} =$$

$$1{,}602 \cdot 10^{-19} \times 8{,}0 \cdot 10^3 = 1{,}3 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

De zwaartekracht is ruim een miljard maal kleiner en dus verwaarloosbaar.

b De spanning vanaf het midden is 200 V. De energie is dus 200 eV per elementaire lading. Aangezien er één elektron ontbreekt in het ion komt dat neer op 200 eV.

c $3{,}4 \cdot 10^4$ m/s
Eerst reken je eV om naar joule
$\Delta E_{el} = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \times 200 = 3{,}2 \cdot 10^{-17}$ J
Daarna kun je de snelheid berekenen

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} =$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 3{,}2 \cdot 10^{-17}}{5{,}4 \cdot 10^{-26}}} = 3{,}4 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

d Kleiner.
De spanning en de lading blijven gelijk, dus de afgestane elektrische energie blijft ook gelijk ($\Delta E = qU$). De arbeid die verricht wordt door F_{el} wordt over een grotere afstand verricht. Als dezelfde arbeid over een grotere afstand wordt verricht, moet de kracht F_{el} kleiner zijn ($W = F\,s$). Aangezien de lading van het ion niet verandert, moet dit betekenen dat de elektrische veldsterkte kleiner is ($E = F/q$).

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 12
Atoomfysica

Introductie

1 a Oogbehandelingen door aanpassingen van het hoornvlies.
b Als meetinstrument om afstanden te meten.
c Snijden van materialen.
d Telecommunicatie.

2 Pulsduur = $67 \cdot 10^{-18}$ s. Stel dat deze uit één golf bestaat. $T = 67 \cdot 10^{-18}$ s = $\lambda / v \rightarrow$
$\lambda = 67 \cdot 10^{-18} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{8} = 2{,}0 \cdot 10^{-8}$ m (Wanneer dezelfde puls uit meer golven bestaat is de golflengte kleiner).

3 Het licht van de gebruikte laser heeft een golflengte van 800 nm.
De energie per seconde is 0,30 GJ. Het aantal pulsen per seconde is dan $0{,}30 \cdot 10^{9} / 11 \cdot 10^{-3} = 2{,}7 \cdot 10^{10}$ pulsen. De pulsduur is $35 \cdot 10^{-15}$ s, dus de laser stond per seconde $2{,}7 \cdot 10^{10} \cdot 35 \cdot 10^{-15} = 9{,}5 \cdot 10^{-4}$ s = 0,95 ms aan. Per seconde staat de laser dus 1000 ms – 0,95 ms = 999 ms uit (!). Tussen de pulsen zit dan een gemiddelde tijd van $999 \cdot 10^{-3}$ s / $2{,}7 \cdot 10^{10} = 3{,}7 \cdot 10^{-11}$ s.

4 400 °C = 400 + 273 = 673 K
$$v = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 673}{6{,}967 \cdot 10^{-26}}}$$
= 516 m/s

5 57,4 cm/s = 0,574 m/s
$$0{,}574^2 = \frac{2kT}{m} \Rightarrow T = \frac{0{,}574^2 \cdot 6{,}967 \cdot 10^{-26}}{2 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}}$$
$= 8{,}32 \cdot 10^{-4}$ K = 832 μK

6 In de grafiek staat een relatieve frequentie. Voor ^{40}Ca was de frequentie: $f = c/\lambda = 2{,}99792458 \cdot 10^{8} / (422{,}70 \cdot 10^{-9}) = 7{,}09232217 \cdot 10^{14}$ Hz = 709232217 MHz. Tel daar 400 MHz bij op: 709232617 MHz $\rightarrow \lambda = v / f = 2{,}99792458 \cdot 10^{8} / 7{,}09232617 \cdot 10^{14} = 422{,}6998$ nm $\rightarrow$ $\Delta\lambda = 0{,}0002$ nm.

7 Op de verticale as staat het aantal (getelde) fotonen. Verhouding ^{43}Ca/ ^{42}Ca = 3500 /30000 = 0,12. Het percentage ^{43}Ca = 0,65% · 0,12 = 0,080%. Voor Calcium-46 kom je met 700 fotonen op 0,015%.

8 Je kunt je afvragen of het kleine stukje calcium dat in de opstelling wordt verdampt representatief is voor de hoeveelheid calcium op aarde.

12.1 Warmtestraling

1 a Het pak moet vooral stralingswarmte tegenhouden (reflecteren in plaats van absorberen). Geleiding wordt door folie niet tegengegaan maar wel wanneer er lucht tussen het pak en je lichaam zit. Wanneer deze lucht stilstaat (bij kleding is dat zo) is de stroming van warmte rond je lichaam ook minder.
b Wet van Wien invullen
$$\lambda_{max} \cdot T = k_w \rightarrow T = \frac{2{,}8978 \cdot 10^{-3}}{2{,}0 \cdot 10^{-6}} = 1{,}4489 \cdot 10^{3}$$
$= 1{,}4 \cdot 10^{3}$ K of $1{,}2 \cdot 10^{3}$ °C
c De stralingskromme strekt zich links van de piek uit, richting het zichtbare gebied. Vandaar dat er zichtbare straling is. Korte golflengtes zijn nauwelijks vertegenwoordigd daarom is het licht oranje/rood in plaats van wit.

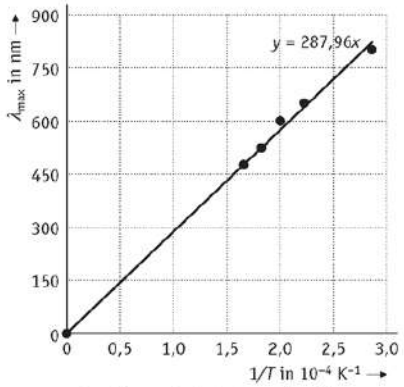
2 a Wit licht is licht waarin alle kleuren van het zichtbare licht vertegenwoordigd zijn. Als de temperatuur hoog genoeg is, heeft de piek van de stralingskromme een maximum dat zover naar links ligt (kortgolvig gebied) dat de waargenomen kleur wit is.
b Dat is het vermogen per m². Om het oppervlakte te vinden moet je de eenheden van beide assen met elkaar vermenigvuldigen.
c Frequentiegebieden worden (zie tabel 19B van *Binas*) ingedeeld op energie die steeds met een factor 10 verschillen. De energie van IR-straling is veel kleiner dan van UV, dus de golflengte van IR is juist groter dan van UV. Een factor 10 verandering van energie in het IR-gebied levert een veel groter verschil in golflengte dan voor UV.

3 a De kleuren die corresponderen met een hoge stralingstemperatuur geven aan dat daar de buitenkant van het huis een hoge temperatuur heeft. Dat kan duiden op een warmtelek.
b - elektrische defecten en oververhitting vinden
- vloerverwarming opsporen
- nachtkijkers; bijvoorbeeld in het leger (zie c)
- klimaatonderzoek
c *'wiki nachtzichtkijkers leger'* geeft het volgende. Er zijn twee soorten: 1. Beeldversterkers, 2. Warmtebeeldcamera's. De eerste categorie versterkt de schaars aanwezige fotonen die via reflectie worden uitgezonden. De tweede categorie gebruikt de thermische straling van de voorwerpen.

© Noordhoff Uitgevers bv

4 a/b

T in K	$1/T$ in K^{-1}	λ_{max} in nm
3500	0,00029	800
4500	0,00022	650
5000	0,00020	600
5500	0,00018	525
6000	0,00017	475



b De getekende grafiek is $\lambda_{max} = k_w \cdot \frac{1}{T}$. Het hellingsgetal is dus de constante van Wien. Deze is $287{,}96 \cdot 10^4$ nm · K = $2{,}9 \cdot 10^6 \cdot 10^{-9} = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ m · K.

c aflezen: $1/T = 1{,}3 \quad 10^{-4}\ K^{-1} \rightarrow T = 7{,}7 \cdot 10^3$ K

5 a $\lambda = 9{,}5\ \mu m \rightarrow T = k_w / \lambda = 3{,}1 \cdot 10^2$ K = 32 °C *huid*temperatuur. *In de grafiek is het niet zo precies af te lezen, je zit er zo 10 tot 20 graden naast...*

b Je lichaamsoppervlak moet je schatten. Bijvoorbeeld: vergeet het hoofd, maar neem de breedte aan de grote kant. Een doosje van 0,4 × 1,6 × 0,1 m → $A = 2 \times 0{,}64 + 2 \times 0{,}16\ m^2 = 1{,}6\ m^2$
Totaal uitgestraalde vermogen is dan 1,6 × 0,50 = 0,80 kW = 800 W.

c 1. Je *absorbeert* ook warmtestraling via je lichaamsoppervlak. 2. Je draagt kleding waardoor de oppervlakte temperatuur van een mens in de praktijk veel lager is dan 32 °C. 3. De kleding zorgt voor isolatie.

d Die warmtecamera's zijn waarschijnlijk vooral bedoeld om mensen op te sporen. Uit figuur 12.9 blijkt dan: tussen 7 en 14 μm is slim bij een bandbreedte van 7 μm.

6 a $P = A \cdot \sigma \cdot T^4 - [\sigma] = \left[\frac{P}{A \cdot T^4}\right] = \frac{W}{m^2K^4}$

b $\lambda_{max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2{,}8978 \cdot 10^{-3}}{520 \cdot 10^6} = 5{,}57 \cdot 10^{-12}$ m

Dat levert zachte gammastraling op volgens tabel 19b.

c Voor het berekenen van de intensiteit heb je uitsluitend de temperatuur van het plasma nodig:
$I = \sigma \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 150^4 \cdot 10^{24} = 2{,}87 \cdot 10^{25}$ W/m²

d $P = I \cdot A = 2{,}87 \cdot 10^{25} \cdot 153 = 439 \cdot 10^{25}$ W. Veronderstel dat de straling zich verspreidt door een bolopper-vlak, zodat de kwadratenwet geldt:
$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$
$1.0 \cdot 10^3 = \frac{439 \cdot 10^{25}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{439 \cdot 10^{22}}{4 \cdot \pi}} = 5{,}9 \cdot 10^{11}$ m

e 1. De torus is absoluut geen bol. De torus bestraalt zichzelf voor een groot deel. 2. De straling van het plasma wordt voor een deel in de lucht geabsorbeerd. 3. De torus is zeker geen ideale straler. Een groot deel van het vermogen wordt geabsorbeerd door de straler zelf. Het effectieve oppervlak is veel kleiner. 4. De torus zit opgesloten in een geïsoleerd vat.

7 a $P = A \cdot \sigma \cdot T^4 \Rightarrow 870 = A \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 306{,}15^4$ W
$A = 1{,}75 = 1{,}8\ m^2$

b Een omgeving met een temperatuur van 20 °C (293 K) levert je ook energie terug:
$P = A \cdot \sigma \cdot T^4 = 1{,}8 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 293{,}15^4 = 754$ W
Je hoeft geen kwadratenwet toe te passen want de omgeving 'straalt van alle kanten' en komt niet uit een gelokaliseerde bron.
Stralingsverlies = 870 − 754 = 116 W

8 a Volume $= \frac{m}{\rho} = \frac{3{,}6}{2{,}5 \cdot 10^3} = 0{,}00144\ m^3$.
$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \rightarrow r = 0{,}070$ m
$\rightarrow A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 0{,}062\ m^2$
$P = A \cdot \sigma \cdot T^4 = 0{,}062 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1190^4 = 7{,}1$ kW

b Stel: afstand = 0,5 m.
$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{7{,}1 \cdot 10^3}{4 \cdot \pi \cdot 0{,}5^2} = 2{,}2$ kW/m²

c De intensiteit is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. → De afstand van de hand = 4,0 / √370 = 0,21 m.

9 a Waar wolfraam verdampt neemt de doorsnede van de draad af en dus neemt de elektrische weerstand R toe. Daardoor is er meer warmteafgifte en dus een hogere temperatuur ($P = I^2 \cdot R$).

b Bij een normale gloeilamp verdampt er wolfraam en dat slaat bijvoorbeeld neer op het glas. De plekken die dunner zijn geworden, worden daarna nog sneller dunner, omdat daar lokaal de temperatuur hoger is. Wanneer dit proces in gang is gezet neemt de levensduur van een lamp snel af. Bij de halogeenlamp ontbreekt de positieve terugkoppeling in het verdampingsproces: waar veel wolfraam verdampt slaat ook veel neer.

c 1. Een gewone gloeilamp die begint te 'slijten' (= verdampen) krijgt een grotere weerstand van de gloeidraad en daardoor een kleinere stroomsterkte (bij een gelijkblijvende spanning van 230 V).
→ P neemt af. 2. Door het verdampen neemt ook het stralende oppervlak een beetje af. 3. Het wolfraam slaat neer op het glas. Hierdoor wordt het licht minder goed doorgelaten.

d Een hogere temperatuur zorgt voor een piek in de stralingskromme die dichterbij het zichtbare gebied licht. Je moet energie in de lamp stoppen om de temperatuur te laten stijgen, maar daar krijg je ook meer zichtbaar licht voor terug. Bij een lamp met een matige temperatuurstijging is het rendement juist laag. Deze geeft infrarood straling en geen licht! (zie ook vraag f)

© Noordhoff Uitgevers bv

e $\lambda_{max} \cdot T = k_w \rightarrow$ T is omgekeerd evenredig met λ_{max}. Voor de gloeilamp: $T = T_{halogeen} / 1{,}3$
$\rightarrow \lambda_{max} = 707 \text{ nm} \cdot 1{,}3 = 919 \text{ nm}$; dat is duidelijk in het infrarode gebied.

f De hoge temperatuur van de halogeenlamp schuift het spectrum van het IR naar blauw. De maximum golflengte verschuift ook richting het zichtbare gebied. Deze verdeling van kleuren ervaren wij als wit licht.

12.2 Fotonen

10 a Uittree-energie is de minimale energie die nodig is om een elektron vrij te maken uit een metaal. *Dat is niet precies hetzelfde als ionisatie-energie. Bij ionisatie-energie betreft het losse atomen.*

b 2,28 eV (*Binas* tabel 24)

c 544 nm (*Binas* tabel 24) . Je kunt het natuurlijk ook uitrekenen met: $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ (eerst eV $\rightarrow$ Joule !)

d Bij grotere golflengtes is de fotonenergie te laag.

e De minimale golflengte waarbij een elektron vrijgemaakt kan worden uit dat betreffende metaal.

f *Het effect was op zich al een verrassing, maar het werd nog vreemder toen bleek dat bepaalde kleuren licht het wel voor elkaar kregen om elektronen vrij te maken en andere kleuren niet. Zo blijkt dat een zeer sterke rode lichtbundel geen enkel elektron vrijmaakt, terwijl een zwakke violette lichtbundel dat wel kan.* De rode fotonen die per foton niet genoeg energie hebben kunnen dus niet samenwerken.

11 Nee, het vrijmaken van elektronen vermindert dan de lading op de elektroscoop niet. De uitslag zou zelfs groter kunnen worden.

12 a Het oog is het meest gevoelig tussen 500 en 600 nm. Die 590 nm ligt daar keurig tussen. Omdat dit de enige golflengte van natrium in het zichtbare gebied is (zie *Binas* tabel 20), zien wij iets geel of grijs/zwart. Dit zorgt voor veel contrast, dus goed onderscheid tussen voorwerpen.

b De skibril laat vooral licht door rond de 550 nm en absorbeert of reflecteert golflengtes die daar verder vandaan liggen. De skibril beschermt in de eerste plaats tegen uv-licht. Op grotere hoogte is het effect van uv-straling groter, bovendien wordt het licht gereflecteerd door de sneeuw. Zonder bescherming kan sneeuwblindheid optreden. Zo belast je de ogen zo min mogelijk en kun je toch goed zien, want op een skipiste is er weinig contrast (er zijn vooral *variaties in wit*), terwijl wij het contrast het beste in dit golflengtegebied waarnemen.

13 a $E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$ met E in Joule!
$\lambda = 380$ nm (zie ook *Binas* tabel 19A)

b De uittree-energie voor calcium is 3,20 eV. 3,26 eV is dus net voldoende.

c Cs (cesium) heeft de laagste uittree-energie (1,94 eV) en dus de grootste grensgolflengte (639 nm). Een groot deel van het zichtbare spectrum (380 – 639 nm) kan hier dus elektronen vrijmaken.

14 a 0,70 J/s × 0,020 s = $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ J

b $E_{foton} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 3{,}080 \cdot 10^{-19}$ J $\rightarrow$
$1{,}4 \cdot 10^{-2} / (3{,}080 \cdot 10^{-19}) = 4{,}5 \cdot 10^{16}$ fotonen per puls

c d is een gevolg van E^* en deze energie hangt onder andere af van f en t_{laser}. Wanneer f groter wordt ($\rightarrow$ meer energie per foton) kan t_{laser} kleiner worden.

d Wat doet t_{laser} bij een toename van:

Δt	t_{laser} neemt af wanneer de pulsduur toeneemt. De energievraag blijft gelijk.
I	t_{laser} neemt af wanneer de energie per puls toeneemt. De energievraag blijft gelijk.
d	t_{laser} neemt toe wanneer d toeneemt. De energievraag neemt toe.
E^*	t_{laser} neemt toe wanneer E^* toeneemt. De energievraag neemt toe.

15 a $\lambda = 195$ nm; $E_{uittree} = 4{,}27$ eV (*Binas* tabel 24)

$$E_{foton} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 1{,}019 \cdot 10^{-18} \text{ J} = \frac{1{,}019 \cdot 10^{-18}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 6{,}36 \text{ eV}$$

$E_{k,max} = 6{,}36 - 4{,}27 = 2{,}09$ eV

b De remspanning is dan 2,09 V:

$$W = q \cdot U \rightarrow U = \frac{W}{q} = \frac{2{,}09 \cdot e}{e} = 2{,}09 \text{ V}$$

c De kathode verliest elektronen en wordt daardoor steeds positiever. Ontsnappende elektronen (negatief) worden aangetrokken door de kathode en zullen als de aantrekking steeds sterker wordt niet meer kunnen ontsnappen.

16 Pulsje

17 Pulsje

18 a $E_{k,max} = 0{,}59$ eV; $E_{uittree} = 1{,}94$ eV (*Binas* tabel 24)
$\rightarrow E_f = 2{,}53 \text{ eV} = 4{,}053 \cdot 10^{-19} = 4{,}1 \cdot 10^{-19}$ J

$$E_{foton} = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{4{,}053 \cdot 10^{-19}} = 490 \text{ nm} = 4{,}9 \cdot 10^{2} \text{ nm}$$

b Elk foton maakt 1 elektron vrij. De maximale stroomsterkte geeft het aantal elektronen per seconde.

$$9{,}0 \ \mu\text{A} = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{1 \text{ sec}} \Rightarrow n = \frac{9{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 5{,}6 \cdot 10^{13} \text{ fotonen/sec}$$

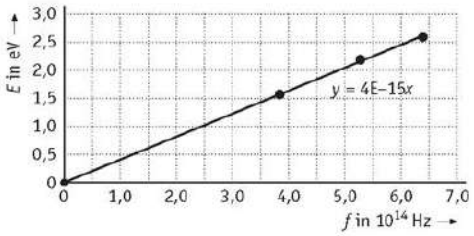
c Een stroomsterkte van 3,0 μA is een factor 3 kleiner. Dat betekent ook 3 × zo weinig fotonen. De afstand van de lichtbron moet je dan $\sqrt{3}$ keer zo groot maken: $11 \cdot \sqrt{3} = 19$ cm.

19 a Deze grafiek loopt lager evenwijdig aan de gegeven lijn.

b Bij de grensgolflengte wordt alle energie van het foton gebruikt voor het losmaken van het elektron. Dit elektron krijgt geen bewegingsenergie meer mee. De $E_k = 0$. $E_k = h \cdot f - E_{uit}$. Als $E_k = 0$ geldt: $E_{uit} = h \cdot f$. Die frequentie heet f_g.

20 a Voor de duidelijkheid van de lijn is het punt (0,0) toegevoegd in het diagram. In Excel is de formule van de trendlijn weergegeven, zodat je gemakkelijk de helling kunt bepalen.

© Noordhoff Uitgevers bv



b h = helling, dus $4{,}0 \cdot 10^{-15}$ eV/Hz = $6{,}4 \cdot 10^{-34}$ Js. Dat komt goed overeen met de waarde in *Binas*.

12.3 Het spectrum als streepjescode

21 a 541 nm → $E = hc/\lambda = 3{,}67 \cdot 10^{-19}$ J
b = 2,29 eV
Dit is een normale waarde voor fotonenergie van zichtbaar licht.

22 a Eerste manier: door temperatuurbeweging van atomen of moleculen (onderlinge botsingen). Tweede manier: door de absorptie van een foton uit straling.
b De natriumatomen in de lamp wordt aangeslagen door elektronen die door het gas bewegen.
c $E_1 = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3{,}37260 \cdot 10^{-19}$ J (2,10501 eV)
$E_2 = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3{,}36919 \cdot 10^{-19}$ J (2,10288 eV)
$\Delta E = 0{,}00342 \cdot 10^{-19}$ J (0,00213 eV)
d Het uitgestraalde vermogen is 32000 / 683 = 46,85 W. Het elektrisch vermogen was 180 W, dus geldt voor het rendement:
$n = \frac{P_{licht}}{P_{elek}} \cdot 100\% = \frac{46{,}851}{180} \cdot 100\% = 26\%$
e $\frac{\textit{energie per sec}}{\textit{energie per foton}} = \frac{46{,}85}{3{,}37 \cdot 10^{-19}} = 1{,}39 \cdot 10^{20}$ fotonen/sec
f Je kunt 2/3 deel nemen van het antwoord van e: $9{,}27 \cdot 10^{19}$ fotonen/sec. Het verschil in fotonenergie is verwaarloosbaar.

23 a Nee, het infrarode licht heeft een lagere fotonenergie dan zichtbaar licht. Je kunt iets niet splitsen in delen die 'groter' zijn dan het origineel.
b Dat kan dus wel omdat uv-fotonen een grotere energie hebben dan fotonen van zichtbaar licht.

24 Pulsje

25 a Er ontstaat pas zichtbaar licht wanneer het lamplicht weerkaatst tegen geschikte voorwerpen (verfstoffen). Licht dat rechtstreeks van de lamp komt is onzichtbaar.
b Het is fluorescerende verf. De verf moet het licht van de *blacklight* kunnen absorberen en (in stappen) in zichtbaar licht weer uitzenden.

26 De natriumlamp zendt geel licht uit (590 nm ongeveer) dat hooguit kan worden omgezet in oranje, rood en infrarood licht. Zichtbaarder wordt het daar zeker niet van. Het spectrum van kwikatomen bevat 3 lijnen in het uv-gebied. Deze fotonen kunnen wel worden omgezet in fotonen waar ons oog gevoelig voor is.

27 a De hoogte is een maat voor het energieverschil. De overgang λ_3 heeft minder energie dan de overgang die hoort bij 630 nm → het is een grotere golflengte.
b $E_{absorptie} = \frac{h \cdot c}{385 \cdot 10^{-9}} = 5{,}160 \cdot 10^{-19}$ J
$E_2 = \frac{h \cdot c}{630 \cdot 10^{-9}} = 3{,}153 \cdot 10^{-19}$ J
$E_3 = (5{,}160 - 3{,}153) \cdot 10^{-19}$ J $= 2{,}007 \cdot 10^{-19}$ J
$\lambda_{-2} = \frac{h \cdot c}{E_3} = 990 \cdot 10^{-9}$m = 990 nm
c Er zijn 3 lijnen boven de grondtoestand. Overgangen naar elke vorige lijn of naar de grondtoestand zijn mogelijk. In totaal dus 3 + 2 + 1 = 6 overgangen.

28 a Dat zijn de absorptielijnen van de aardatmosfeer. Er wordt dan meer energie geabsorbeerd omdat de zonnestralen een langere weg afleggen in de atmosfeer.
b Helium komt op de zon veel voor en in onze dampkring nauwelijks.
c Je ziet dan het emissiespectrum van de chromosfeer. De lijnen die je normaal als absorptielijnen ziet, zie je nu als emissielijnen.

29 a $\lambda_2 = \frac{h \cdot c}{5{,}17 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 2{,}398 \cdot 10^{-7}$m = 240 nm
Een kortere golflengte mag ook, de zuurstofatomen krijgen dan wat kinetische energie mee.
b Dat poeder zet de uv-straling om in zichtbaar licht.

30 a Het uitgestraalde vermogen zit in een gebied van 250 nm tot 700 nm. Het linker deel van de straling zien wij niet (250 nm tot 400 nm). Het rechter deel met een piek bij 550 nm bevindt zich in het zichtbare spectrum met de piek bij de kleur geel. Al met al zien onze ogen deze spectrale verdeling als wit licht, omdat frequenties uit het hele zichtbare spectrum zijn vertegenwoordigd.
b Bepaal de oppervlakte onder de grafiek in het gebied tussen 400 en 700 nm. Dit is het vermogen van de zichtbare straling. Het elektrisch vermogen van de lampjes is gegeven (35 W). De verhouding van beide vermogens geeft het rendement.
c Wanneer de pieken even hoog en even breed zijn vertegenwoordigen ze hetzelfde stralingsvermogen. De piek met de langste golflengte heeft de kleinste energie per foton. Hiervoor zijn bij hetzelfde vermogen dus meer fotonen nodig.

31 a Sommige kwallen, een glimworm, een vuurvliegje.
b $E = \frac{h \cdot c}{470 \cdot 10^{-9}} = 4{,}23 \cdot 10^{-19}$ J = 2,64 eV
c Energie per foton × aantal fotonen per seconde, levert het vermogen van de puls.
$P = 4{,}23 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{12} = 4{,}23 \cdot 10^{-7}$ W = 0,423 μW
d -

© Noordhoff Uitgevers bv

12.4 Rekenen aan spectraallijnen

32 a Volgens *Binas* tabel 21A, λ = 656 nm.

b De overgang van $n = 3$ naar $n = 2$.

c $E_n = -\frac{13,6}{n^2} \rightarrow E_2 = -3,40$ eV en $E_3 = -1,51$ eV
Het verschil is dus 3,40 − 1,51 = 1,89 eV.

d De Lymanreeks zijn alle overgangen naar het niveau $n = 1$. De kleinste overgang ($n = 2 \rightarrow n = 1$) levert de volgende fotonenergie:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{13,6}{1^2} - \frac{13,6}{2^2} = 10,2 \text{ eV}$$

Dat correspondeert met een golflengte van:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{10,2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 122 \text{ nm}$$

Dat is ruimschoots in het UV-gebied.

33 a De Balmerreeks, want het atoom gaat naar niveau 2 tijdens het uitzenden van het foton.

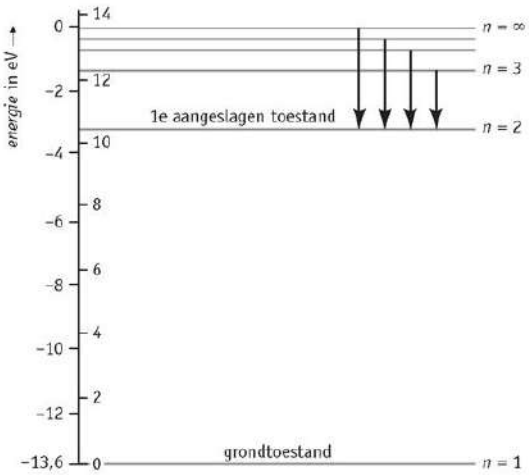
b $\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{13,6}{1^2} - \frac{13,6}{2^2} = 10,2$ eV
De frequentie is dan:
$E = h \cdot f \rightarrow f = \frac{E}{h} = \frac{10,2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{h} = 2,47 \cdot 10^{15}$ Hz

c $\Delta E_{31} = \Delta E_{32} + \Delta E_{21}$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda_{31}} = \frac{h \cdot c}{\lambda_{32}} + \frac{h \cdot c}{\lambda_{21}}$$

Als je nu aan beide kanten van het '='-teken $h \cdot c$ wegdeelt, kom je op de gegeven vergelijking.

34 a Lijntjes dalend naar $n = 2$.



b De formule uit bron 12 is de volgende:

$$E_{foton} = \Delta E_n = E_n - E_1 = 13,6 \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

De 4e aangeslagen toestand is $n = 5$.

$$E_{foton} = E_5 - E_1 = 13,6 \cdot \left(1 - \frac{1}{5^2}\right) = 13,1 \text{ eV}$$

c Overgang naar niveau 2 in dit geval:

$$E_{foton} = \Delta E_n = E_n - E_2 = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right)$$

d De *grootste* golflengte is de kleinste 'stap' dus vanaf $n = 3$. In onze formule:

$$E_{foton} = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3^2}\right) = 1,89 \text{ eV}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,89 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 656 \text{ nm}$$

Dat komt overeen met de *Binas*-waarde.

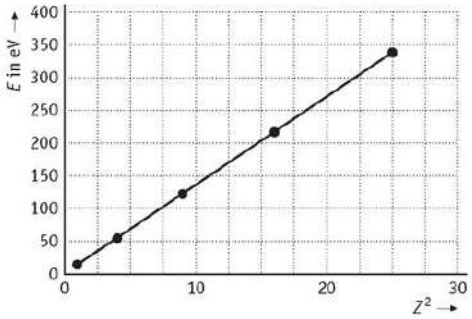
e Dat is dezelfde energie als een elektron dat terugvalt van $n = \infty$ naar $n = 2$ en dan een foton uitzendt:
$E_{foton} = 13,6 \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{\infty^2}\right) = 3,40$ eV

35 a Zoveel energie toevoegen aan een elektron dat er geen binding meer is tussen het elektron en de atoomkern. Het elektron is dan vrij.

b De kern is twee-waardig positief. De elektrische aantrekkingskracht van de heliumkern is dus groter dan die van de waterstofkern. Bovendien is het ion kleiner dan het atoom en zit het tweede elektron dus dichter bij de kern.

c De ionisatie-energie is evenredig met het kwadraat van het aantal protonen in de kern.

Ionisatie energie van het laatste elektron:



36 a Het elektron beweegt en heeft dus kinetische energie. Die is evenredig met de *massa* van het bewegende object; in dit geval het elektron.

b $E_n = -2 \cdot [m_o] \cdot \left(\frac{\pi \cdot [f] \cdot [e]^2}{[h] \cdot n}\right)^2$

(π en n hebben geen eenheid)

$$J = kg \cdot \left(\frac{\left(\frac{N \cdot m^2}{C^2}\right) \cdot C^2}{J \cdot s}\right)^2$$

1 Joule is 1 N·m en 1 N is 1 kg · m/s²:

$$J = kg \cdot \left(\frac{(N \cdot m^2)}{N \cdot m \cdot s}\right)^2 = kg \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m =$$

$= N \cdot m = J$, dus het klopt.

c $E_n = -2 \cdot m_o \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot e^2}{h \cdot n}\right)^2 \Leftrightarrow$

$$m_o = \frac{E_n}{2} \cdot \left(\frac{h \cdot n}{\pi \cdot f \cdot e^2}\right)^2 =$$

$$-\frac{-13,6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{2} \cdot \left(\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 1}{\pi \cdot 8,99 \cdot 10^9 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2}\right)^2$$

$= 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg (dit komt overeen met de waarde in *Binas* tabel 7)

© Noordhoff Uitgevers bv

37 a

ionisatie-energie in eV	H	Li	Na	K
	13,6	5,39	5,14	4,34

b De ionisatie energie van het 2e elektron is veel groter (ongeveer 15×, 10× en 8×).

ionisatie-energie 2e elektron in eV	H	Li	Na	K
		75,6	47,3	31,8

De onderlinge verschillen zijn ook veel groter dan bij het 1e elektron. Het *shielding effect* dat in bron 13 staat beschreven gaat niet op voor het 2e elektron: dit elektron zit veel sterker aan de kern gebonden.

38 a In de formule krijgt q een negatieve waarde (lading elektron) en Q een positieve waarde (lading kern). Dit levert een negatieve waarde voor de energie.

b E_k is + en E_{el} is –. Dus eigenlijk is $E_k = -\frac{1}{2}E_{el}$. De totale energie $E_k + E_{el} = -13{,}6$ eV $\rightarrow -\frac{1}{2}E_{el} + E_{el} = -13{,}6$ eV $\rightarrow \frac{1}{2}E_{el} = 13{,}6$ eV. Dus $E_k = 13{,}6$ eV.

$E_k = \frac{1}{2}E_{el} \rightarrow E_{el} = 2 \cdot E_k = f\frac{qQ}{r}$

$r = f\frac{qQ}{2 \cdot E_k} = 8{,}99 \cdot 10^9 \cdot \frac{(1{,}6 \cdot 10^{-19})^2}{2 \cdot 13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m

c Door het *shielding effect* moet in de formule voor de elektrische energie een lage waarde voor Q worden ingevuld. Dit resulteert in een lagere energie van het elektron in de grondtoestand en dus ook een lagere ionisatie-energie.

39 a Straling met 9192631770 periodes/s = $9{,}1 \cdot 10^9$ Hz. Dat is een radiogolffrequentie volgens tabel 19.

b $E = h \cdot f = 6{,}62606957 \cdot 10^{-34} \cdot 9192631770 = 6{,}09110176 \cdot 10^{-24}$ J $= 3{,}80179669 \cdot 10^{-5}$ eV

c Het gaat om absorptie van straling dus een overgang van a naar b.

Toepassing

Opgave 1 Zonnestraling

1 Machten wegstrepen voordat je ze invult in de formule. $\frac{(10^{-23})^4}{(10^{-34})^3 \cdot (10^8)^2} = 10^{-6}$

$\sigma = \frac{2\pi^5 \cdot k^4}{15\, c^2 h^3} = \frac{2\pi^5 \cdot 1{,}3806^4}{15 \cdot 2{,}998^2\ 6{,}626^3} \cdot 10^{-6} = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$

2 $[\sigma] = \left[\frac{I}{T^4}\right] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} = \frac{\text{J}}{\text{s m}^2\ \text{K}^4}$.

$[\sigma] = \left[\frac{k^4}{c^2h^3}\right] = \frac{\text{J}^4}{\text{m}^2\ \text{s}^{-2}\text{J}^3\ \text{s}^3\text{K}^4} = \frac{\text{J}}{\text{m}^2\ \text{s K}^4}$.

3 Kwadratenwet met gebruik van $r_{\text{zon-aarde}} = 149{,}6 \cdot 10^9$

$P_{\text{aarde}} = 174 \cdot 10^{15}$ W $= P_{\text{zon}} \cdot \frac{\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^6)^2}{4\pi \cdot (149{,}6 \cdot 10^9)^2}$

$\rightarrow P_{\text{zon}} = 174 \cdot 4 \cdot (149{,}6 / 6{,}371)^2 \cdot 10^{21} = 3{,}84 \cdot 10^{26}$ W

4 $I = \frac{P}{A} = \frac{3{,}84 \cdot 10^{26}}{4\pi \cdot (6{,}963 \cdot 10^8)^2} = 6{,}3 \cdot 10^7$ W/m²

5 $I = \sigma \cdot T^4 \rightarrow 6{,}3 \cdot 10^7 = 5{,}670 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$

$T = 5{,}8 \cdot 10^3$ K

Opgave 2 Maanrobotjes

6 Voor deze opgave mag je de wet van Wien gebruiken. Oppervlaktetemperatuur = $5{,}78 \cdot 10^3$ volgens *Binas* tabel 32B $\rightarrow \lambda_{max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{5{,}78 \cdot 10^3} = 501$ nm

7 De lijnen die een gevolg zijn van absorptie door waterstof moeten ook in het emissiespectrum van waterstof zitten. Voor een lijn in het zichtbare gebied geldt: $\lambda = 656$ nm.

$E = \frac{h \cdot c}{656 \cdot 10^{-9}} = 3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J

Opgave 3 Witte led

8 Er treedt geen foto-elektrisch effect op als de opvallende golflengte groter is dan de grensgolflengte. De grensgolflengte voor cesium is 639 nm. Alleen bij het filter van 650 – 700 nm is er dus geen foto-elektrisch effect.

9 Fotonen van 550 nm zorgen voor de snelste elektronen. De uittree-energie is 1,94 eV en $E_{k,max}$ wordt omgezet in $E_{el} = q\,U_{rem}$:

$e \cdot U_{rem} = \frac{h \cdot c}{\lambda} - E_{uit} \rightarrow U_{rem} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} - 1{,}94$ V

$U_{rem} = 2{,}25 - 1{,}94 = 0{,}31$ V

Opgave 4 Fluorescentie-microscopie

10 5,55 – 2,71 = 2,84 eV. Volgens *Binas* tabel 19A hoort hier een golflengte tussen 420 en 450 nm bij. Dus 436 nm: violet.

11 ionisatie-energie = 10,44 eV = $1{,}672 \cdot 10^{-18}$ J

$m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg $\quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 1{,}672 \cdot 10^{-18}$ J

$\rightarrow v = 1{,}916 \cdot 10^6$ m/s

12 Ja. Het ion kan een elektron invangen en daarbij licht uitzenden. Het ion bevat ook nog alle overige elektronen. Het elektron dat nu het buitenste elektron is, kan nog steeds energie absorberen en naar een hoger energieniveau gaan om vervolgens vanuit de aangeslagen toestand onder het uitzenden van een foton terug te vallen.

13 Bij fluorescentie microscopie maak je dingen zichtbaar doordat ze zich onderscheiden van de omgeving wanneer je instraalt met uv-licht. Het spectrum van kwik heeft lijnen in het uv-spectrum en is daarom geschikt.

14 Bij emissie van 313 nm hoort een energie van

$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{313 \cdot 10^{-9}} = 6{,}35 \cdot 10^{-19}$ J $= 3{,}96$ eV

Daarbij hoort de overgang van –1,60 naar –5,55 nm. Voor die emissie wordt het atoom dus eerst aangeslagen van –10,44 eV naar –1,60 eV. Daarbij hoort een energie-absorptie van 8,84 eV.

© Noordhoff Uitgevers bv

15 $f = \frac{c}{650 \cdot 10^{-9}} = 4{,}612 \cdot 10^{14}$ Hz

$f = \frac{c}{525 \cdot 10^{-9}} = 5{,}710 \cdot 10^{14}$ Hz $\quad \Delta f = 1{,}10 \cdot 10^{14}$ Hz

Opgave 5 Lampen

16 Het spectrum C is van de gloeilamp, dat heeft een groot aandeel infrarood licht door de relatief lage temperatuur.
Het lijnenspectrum A is van de fluorescentiespaarlamp. Dit is typisch een spectrum van een gasontladingslamp waarbij discrete energietoestanden voorkomen (losse atomen met beperkt aantal energieniveaus).
Het continue spectrum B met een maximum rond 600 nm is dus van de led-lamp.

17 Uit de tekst kun je afleiden dat de kleurtemperatuur voor de drie lampen hetzelfde is, terwijl het spectrum nogal verschillend is. Blijkbaar is de kleurervaring voor ons oog voor alle lampen vergelijkbaar met een warmtestraler van een bepaalde temperatuur. *Kleurtemperatuur* verwijst naar die temperatuur van de warmtestraler.

18 De piek van de gloeilamp is niet zichtbaar in de grafiek, maar de gloeilamp is een warmtestraler. De kleurtemperatuur is 2700 K:

$\lambda_{max} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{max} = \frac{k_W}{T} = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{2700} = 1073$ nm

19 Als het rendement van de gloeilamp 10% is, wordt 10% van 60 W = 6,0 W omgezet in licht. De lichtopbrengst van beide lampen is gelijk, dus geldt voor de spaarlamp:

$\eta = \frac{6{,}0}{14} \cdot 100\% = 43\%$

20 *P = energie per foton × aantal fotonen/sec*
1/683 W $= (h \cdot c/\lambda) \cdot N = \frac{h \cdot c}{555 \cdot 10^{-9}} \cdot N \rightarrow N = 4{,}1 \cdot 10^{15}$
(N = fotonen per seconde)

21 De theoretisch maximale lichtopbrengst = 14 W / (1/683) = 9562 Lumen $\rightarrow \eta$ = 800/9562 = 8,4%.

22 Zie de tabellen hieronder. Er kan dus best terbium en kwik in de spaarlamp zitten, maar de lange golflengtes zijn nog niet vertegenwoordigd. Er zitten dus ook nog andere stoffen in.

spectraallijnen van de spaarlamp								
405	436	488	545	588	600	613	631	708
spectraallijnen van terbium								
		485	540	585				
spectraallijnen van kwik								
405	436	492	546	580				

23 De piek bij ongeveer 545 nm is het hoogst. Dat betekent dat de hierbij behorende overgang het meest waarschijnlijk is. De energie van de bijbehorende fotonen is:

$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2{,}998 \cdot 10^{8}}{545 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}}$

$= 2{,}28$ eV

Het niveau $^5D_4$ ligt op 2,55 eV. Het niveau waar het elektron naar terugvalt ligt dan op 2,55 – 2,28 = 0,27 eV. Dit correspondeert met $^7F_5$ of $N = 5$.

24 Als je iets 1× halveert, is er 50% over. Als je daarvan weer de helft neemt is er nog 25% over (een daling van 75%). Halveer je nog een derde keer, dan heb je nog 12,5% over. De lichtopbrengst is dan met 100,0 – 12,5 = 87,5% gedaald. Drie keer een halvering is 3 · 7300 = 21900 h = 21900 / (24 · 365) = 2,5 jaar.
Dat lijkt niet zo heel lang, maar bedenk wel dat de lamp dan wel steeds dag en nacht aan staat!

Opgave 6 Fotomultiplicatorbuis

25 De eerstvolgende *grotere* golflengte is 668 nm. De grensgolflengte van Cs is 639 nm (*Binas* tabel 24), dus er komen alleen elektronen vrij bij λ < 639 nm. De fotonen van 52 nm en 58 nm hebben natuurlijk wel veel energie, maar deze uv-straling wordt door het glas geabsorbeerd.

26 λ = 396 nm; $E_{uittree}$ = 1,94 eV (*Binas* tabel 24)

$E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2{,}998 \cdot 10^{8}}{396 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 3{,}13$ eV

$E_{k,max} = 3{,}13 - 1{,}94 = 1{,}19$ eV

27 $3{,}5 \cdot 10^{-11}$ C/s $\rightarrow 3{,}5 \cdot 10^{-11} / 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 2{,}18 \cdot 10^{8}$ elektronen/s. Dit is ook het aantal fotonen dat per seconde elektronen vrijmaakt. Omdat dit slechts 5% is van het totaal zijn er 100 / 5 = 20 × zoveel: $4{,}37 \cdot 10^{9}$ fotonen per sec.

28 Er is 10 × versterking; $\rightarrow 3{,}5 \times 10^{-11} \times 5^{10} = 0{,}34$ mA

Opgave 7 Natuurconstanten

29 Met alle waarden uit *Binas* krijgen we:

$\alpha = 2\pi \cdot \frac{fe^2}{\hbar c} =$

$2\pi \cdot \frac{8{,}987551787 \cdot 10^{9} \cdot (1{,}602176565 \cdot 10^{-19})^2}{6{,}62606957 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}99792458 \cdot 10^{8}}$

$= 7{,}29735258 \cdot 10^{-3}$

De getalwaarde komt overeen. De significantie is dan 6 cijfers.

30 $[\alpha] = \frac{N \cdot m^2 \cdot C^{-2} \cdot C^2}{J \cdot s \cdot m \cdot s^{-1}} = \frac{N \cdot m^2}{Nm \cdot m} = -$

α heeft dus geen eenheid.

31 $E_{32} = 12{,}0888 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right) = 12{,}0887$ J

32 De grootste golflengte is te berekenen uit de kleinste energiesprong:
$\Delta E = 12{,}0886 - 10{,}2002 = 1{,}8884$ eV $= 3{,}02555 \cdot 10^{-19}$ J
Voor de golflengte geldt dan:

$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}998 \cdot 10^{8}}{3{,}02555 \cdot 10^{-19}} = 656{,}56$ nm

Dus $\Delta\lambda = 656{,}56 - 656{,}42 = 0{,}14$ nm

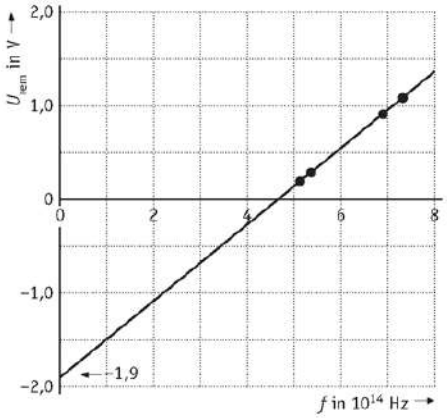
© Noordhoff Uitgevers bv

Proefwerkopgaven

1 **a** Per vierkante meter geldt in totaal:
$580 \cdot 0{,}72 + 320 - 65 - 92 = 581$ W/m²
Bij een constante temperatuur moet dit ook uitgestraald worden!
$I = 581 = \sigma \cdot T^4 \rightarrow T = 318$ K $= 45$ °C

b $T \cdot \lambda_{max} = k_W \rightarrow \lambda_{max} = \dfrac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{318} = 9{,}11$ µm

2 **a** Trek de grafiek door naar de verticale as:



Snijpunt met verticale as: $-1{,}9$ V $\rightarrow E_{uit} = 1{,}9$ eV
Uitrekenen met het snijpunt met de horizontale as gaat sneller: $W_u = h \cdot f_g$
Als je een rechte lijn in de grafiek tekent zie je dat $f_g = 4{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz
dus $W_u = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \times 4{,}6 \cdot 10^{14} = 3{,}0 \cdot 10^{-19}$ J (= 1,9 eV)

b $E_f = 3{,}07$ eV; $E_{uittree} = 2{,}52$ eV $\rightarrow E_k = 0{,}55$ eV $= 8{,}811 \cdot 10^{-20}$ J $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg $\rightarrow v = 4{,}4 \cdot 10^5$ m/s

3 **a** Vergelijk met het zuivere zonnespectrum, dat niet beïnvloed is door de atmosfeer van de planeet.
b Bij het terugvallen naar de grondtoestand wordt het licht van deze lijnen naar alle kanten uitgestraald en dus slechts een zeer klein gedeelte in de oorspronkelijke richting.

c $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{2{,}998 \cdot 10^8}{589{,}6 \cdot 10^{-9}} = 5{,}085 \cdot 10^{14}$ Hz

d $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda = 3{,}369 \quad 10^{-19}$ J $= 2{,}103$ eV
e Spectraallijnen van 589,6 nm passen goed bij het Na spectrum. Dit kan dus juist zijn.

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 13
Straling

Introductie

1 Een versnelling van 1 g is gelijk aan 9,81 m/s². De versnelling die hoort bij 0,45 *g* is dan gelijk aan $0{,}45 \cdot 9{,}81 = 4{,}4$ m/s².
De gebouwen kunnen de versnelling van 5,5 m/s² dus niet weerstaan.

2 De versnelling is het grootst als de resulterende kracht het grootst is, volgens $F = -Cu$ is de kracht het grootst bij de maximale uitwijking. Dus de versnelling is het grootst bij de uiterste stand.

3 Het totale vermogen van de 13 dieselgeneratoren is $13 \cdot 6{,}0 = 78$ MWh. In 1 maand zitten ongeveer $(365 \times 24/12)$ 730 uren. Dan is het benodigde gemiddelde koelvermogen gelijk aan 78000 kWh/730 uur = $1{,}1 \cdot 10^2$ kW.

4 De wind neemt de radioactieve deeltjes mee. Uit de figuur blijkt dat de verspreiding van de radioactieve stoffen richting het noordwesten is. De wind kwam dus uit het zuidoosten.

5 **a** $30 + 30 + 30 = 90$, dus pas drie keer halveren toe; 50% → 25% → 12,5%. Dit komt overeen met $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{8} = 12{,}5\%$.
b Er is nog 1% over als geldt dat $\left(\frac{1}{2}\right)^n = 1\%$. Hieruit is af te leiden dat $n = \frac{\log(0{,}01)}{\log(1/2)} = 6{,}64$. Vermenigvuldig dit met de halveringstijd van 30 jaar om tot de conclusie te komen dat na krap 200 jaar 99% van het cesium is verdwenen.

6 Koelen met zeewater betekent dat je radioactief besmet zeewater terug loost op de zee, met navenante ecologische gevolgen.
Koelen door ventilatie betekent dat radioactiviteit in de atmosfeer terecht komt, met vergelijkbare ecologische gevolgen.

7 De film 'The China Syndrome' is een film uit 1979. De verslaggeefster Kimberly Wells is toevallig getuige van een bijna-ongeluk in een kerncentrale. Deze fictieve centrale staat in Los Angeles. Precies aan de andere kant van de aardbol ligt China. Er wordt gesuggereerd dat een meltdown dwars door de aarde heen zou gaan, naar China.
12 dagen na de première gebeurde er werkelijk een ongeluk bij de kerncentrale Three Mile Island.

13.1 Straling in soorten

1 **a** infrarode straling
b uv-straling (vooral uv-A)
c radiogolven
d infrarode straling
e radiogolven

2 **a** De afstand van de aarde tot de zon staat in *Binas* tabel 31.
$s = v \cdot t \rightarrow t = \frac{s}{v} = \frac{0{,}1496 \cdot 10^{12}}{4{,}50 \cdot 10^5} = 3{,}32 \cdot 10^5$ s
b De gammastraling reist met de lichtsnelheid en gaat dus sneller dan α-straling.

3 **a** Uv-B-fotonen hebben meer energie dan uv-A en veroorzaken daarom meer schade.
b Uv-C straling ($\lambda = 100 - 280$ nm) wordt volledig geabsorbeerd in de buitenste lagen van de dampkring.
c Nee, de huid aan de kant van het open raam is verouderd.
d De kortste golflengte voor uv-A straling is volgens *Binas* tabel 19 320 nm:
$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2{,}998 \cdot 10^8}{320 \cdot 10^{-9}} = 6{,}2 \cdot 10^{-19}$ J
$= 3{,}87$ eV

4 **a** De α-straling ioniseert de lucht, die daardoor plaatselijk geleidend wordt. De elektronen worden daardoor afgevoerd, en de stripjes worden weer neutraal.
b Ja, wanneer de lucht ioniseert komen ook elektronen vrij die de positieve lading op de elektroscoop kunnen neutraliseren.

5 **a** De geladen deeltjes bewegen met grote snelheid. Door het magnetisch veld van de aarde (Lorentzkracht) worden ze afgebogen, zodat ze juist bij de polen met de aardatmosfeer binnendringen. Door botsingen wordt het aanwezige zuurstof en stikstof aangeslagen waarna emissie van zichtbaar licht volgt.
b Atomen worden geïoniseerd door de kosmische straling (nemen energie op). Daarna kunnen ze licht uitzenden ('terugvallen naar lagere energietoestand') De werking van een tl berust ook op ionisaties; in dit geval door elektronen die onder hoogspanning worden vrijgemaakt.

© Noordhoff Uitgevers bv

c De bijbehorende golflengte van groen licht is ongeveer $\lambda = 520$ nm.

$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2{,}998 \cdot 10^8}{520 \cdot 10^{-9}} = 3{,}82 \cdot 10^{-19}$ J

$= 2{,}38$ eV

d Wanneer sprake is van een botsing waarbij het deeltje blijft bestaan, draagt het kosmisch stralingsdeeltje niet al zijn energie over aan het atoom. Het deeltje behoudt dan wat kinetische energie. Bovendien zou het zo kunnen zijn dat de overgang die hoort bij het groene licht geen overgang naar de grondtoestand is. In dat geval moet er eerst meer energie geabsorbeerd zijn.

6 a Een piercing is van metaal. Door het sterke magneetveld van de MRI-scanner kan er aan deze piercing getrokken worden.

b 1. MRI-scanner en CT-scanner kunnen beide *plakjes uit je lichaam* bekijken. 2. Beiden maken gebruik van elektromagnetische straling 3. Beiden maken een driedimensionale afbeelding.

c 1. De gebruikte straling is niet schadelijk voor lichaamscellen. 2. Zacht weefsel kun je beter bekijken met de MRI-scanner.

d 1. Echoscopie maakt geen gebruik van ioniserende straling en kan dus onbeperkt worden ingezet. 2. Echoscopie is veel goedkoper want de apparatuur is een stuk eenvoudiger.

e 1. Bij echoscopie is geen sterk magneetveld nodig; dus metalen protheses of een pacemaker zijn geen bezwaar. 2. Echoscopie is veel goedkoper want de apparatuur is een stuk eenvoudiger.

7 a De techniek wordt vaak gebruikt voor onderzoek bij zwangere vrouwen. De röntgenstraling is schadelijk voor de foetus.

b In de baarmoeder is de geluidssnelheid volgens *Binas* tabel 15A $v = 1{,}63 \cdot 10^3$ m/s.

$\lambda = \frac{v}{f}$ $\quad \lambda_{min} = \frac{1{,}63 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^6} = 9{,}1 \cdot 10^{-5}$ m

$\lambda_{max} = \frac{1{,}63 \cdot 10^3}{2{,}0 \cdot 10^6} = 8{,}2 \cdot 10^{-4}$ m

c Voor de tijdsduur die verstrijkt totdat de echo arriveert, geldt:

$t = \frac{s}{v} = \frac{2 \cdot 0{,}12}{1{,}63 \cdot 10^3} = 1{,}47 \cdot 10^{-4}$ s

De tijd tussen het begin van de eerste puls en het begin van de tweede puls is

$1{,}47 \cdot 10^{-4} + 110 \cdot 10^{-6} = 2{,}57 \cdot 10^{-4}$ s. Voor de frequentie geldt dan:

$f = \frac{1}{T} = 3{,}9$ kHz

Deze frequentie kan het menselijk gehoor goed waarnemen.

d De geluidssnelheid in vet is iets lager. De echotijd wordt daardoor groter en de tijd tussen de pulsen ook. De pulsfrequentie is in werkelijkheid lager.

8 a $[\Delta E] = [\gamma h B] = \text{Hz T}^{-1}\text{ J s T} = \text{J}$

b $\Delta E = 42{,}6 \cdot 10^6 \cdot 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot 1{,}5 = 4{,}2 \cdot 10^{-26}$ J

c De radiogolf draagt energie over aan waterstofatomen; het waterstof neemt de energie op: absorptie. De waterstofatomen komen hierdoor in de antiparallelle toestand. Wanneer zij terugvallen naar de parallelle toestand wordt een foton uitgezonden: emissie.

d De golflengte wordt bepaald door het energieverschil.

$\Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = h \cdot \frac{c}{\Delta E} = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2{,}998 \cdot 10^8}{4{,}2 \cdot 10^{-26}}$

$= 4{,}7$ m

e Die moet wel hetzelfde zijn, want het gaat om hetzelfde energieverschil tussen de niveaus.

f De golflengte is constant omdat er maar één energieovergang is. Daardoor is er maar één fotonfrequentie mogelijk. De intensiteit van het signaal hangt af van tempo waarin de parallelle spins terugvallen, maar ook van het aantal aanwezige waterstofatomen. Het signaal van een tumor zal dus sterker zijn.

g Het magneetveld beïnvloedt het energieverschil tussen de parallelle en antiparallelle toestand en dus ook de golflengte van het signaal dat het lichaam terug zendt. Als je weet wat de sterkte van het magnetisch veld op een bepaalde plek in het lichaam is, kun je dus vaststellen waar een ontvangen foton (golf) vandaan komt.

9 a Stralingsafname betekent absorptie van straling. 1 mm water levert een absorptie van 1,7%. Dat wil zeggen dat er 100 – 1,7 = 98,3% doorgaat.
3 mm water levert een transmissie van $0{,}983^3 = 0{,}95$. Dat is een absorptie van 5,0%.

b $0{,}983^x = 0{,}50 \rightarrow x = \log(0{,}50)/\log(0{,}983) = 40{,}4$. Pas als er 41 blokjes worden gebruikt wordt er (meer dan) 50% geblokkeerd.

c 2 mm bot absorbeert meer straling dan 3 mm water. Blijkbaar heeft bot de eigenschap dat het beter straling tegenhoudt dan water.

d 2 mm bot laat 93,5% door. Wat 1 mm bot doorlaat is dan $\sqrt{0{,}935} = 0{,}967$ (96,7%). De absorptie = 3,3%

e 2 mm bot absorbeert 6,5% en laat dus 93,5% door. $0{,}935^x = 0{,}50 \rightarrow x = 10{,}3$ maal 2 mm, dus 20,6 maal 1 mm. 21 blokjes.

f Transmissie = $0{,}983 \cdot 0{,}935 = 0{,}919 = 92\%$

g 1 mm bot en 1 mm bloed laten 95% straling door. Van 1 mm bot laat 96,7% door. → 1 mm bloed laat door: 0,95 / 0,967 = 0,982 (vrijwel hetzelfde als water en dat was te verwachten). De transmissie bij y2 is $0{,}983 \cdot 0{,}967 \cdot 0{,}982 = 0{,}933 = 93\%$.

10 a Als er elke twee seconden een volledig nieuw beeld moet worden gemaakt, geeft dit ontzettend veel gegevens die in korte tijd moeten worden verwerkt. Om dit bij te kunnen houden, wordt de resolutie (hoeveelheid informatie per oppervlak) beperkt. (Wanneer je slechts 2 seconden de tijd hebt voor elke scan kunnen er structuren zijn die niet meer te onderscheiden zijn omdat het terugvallen van de spins veel langer duurt dan 2 seconden. Deze structuren geven dan een te zwak signaal om nog onderscheiden te kunnen worden.)

© Noordhoff Uitgevers bv

b De vierde dimensie is de tijd in dit geval. De andere drie zijn de drie ruimtedimensies.
c Dan moet er een toename van de hoeveelheid bloed zijn. Het lichaam is een zeer goed regelsysteem. Waar de zuurstofbehoefte groot is ontstaan geen tekorten. Het lichaam stuurt daar juist veel bloed heen. De toename van de hoeveelheid bloed compenseert (en meer!) de signaalafname.
d Ook bij het bekijken van neutrale plaatjes gebruik je de hersenen (o.a. visuele cortex).

11 a De fotonenergie is veel meer dan in een ziekenhuis. In het lichaam moet de straling wel door zacht weefsel maar in mindere mate door bot. Bij archeologisch onderzoek moet de straling juist wel sterk door harde materie om daarbinnen structuur te kunnen zien. Bovendien wordt in het ziekenhuis de energie van de straling zo laag mogelijk gehouden, vanwege de schadelijke bijwerkingen.
b In de röntgenbuis botsen elektronen met grote snelheid waardoor ze fotonen vrijmaken.

$$100\ \mu C/s = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} = 6{,}24 \cdot 10^{14} \text{ elektronen/s}$$

In 15 s levert dat $9{,}4 \cdot 10^{15}$ elektronen en fotonen.
c $6{,}24 \cdot 10^{14}$ fotonen per seconde hebben een energie van $6{,}24 \cdot 10^{14} \cdot 200\ \text{keV} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 20$ W
($P = U \cdot I = 200 \cdot 10^3\ \text{V} \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 20$ W !)

$$I = \frac{P}{A} = \frac{20 \cdot 15}{0{,}35 \cdot 0{,}43} = 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{W/m}^2$$

d $$\text{lengte} = \frac{350\ \text{mm}}{0{,}069\ \text{mm}} = 5{,}07 \cdot 10^3 \text{ pixels}$$

$$\text{breedte} = \frac{430\ \text{mm}}{0{,}069\ \text{mm}} = 6{,}23 \cdot 10^3 \text{ pixels}$$

$N = 5{,}07 \cdot 10^3 \cdot 6{,}23 \cdot 10^3 = 31{,}6 \cdot 10^6$ pixels
e Ieder pixel kent 4096 grijstinten $= 2^{12}$. Per pixel zijn er dus 12 bits nodig, of in totaal:
$12 \cdot 31{,}6 \cdot 10^6 = 3{,}79 \cdot 10^8$ bits. Dat is 379 Mb/60 = 6,3 Mb/s.

13.2 Doordringend vermogen

12 a Zichtbaar licht wordt onvoldoende doorgelaten door lichaamsweefsel (met een felle lamp kun je overigens nog net door je hand heen schijnen, maar je ziet alleen een rood schijnsel). Röntgenstraling heeft een groter doordringend vermogen.
b Een stof met een hoog atoomnummer absorbeert veel röntgenstraling. Bij een materiaal zoals lood is een paar mm voldoende om veel straling te absorberen.
c Deze parasols houden veel zichtbaar licht tegen maar laten uv-straling nog wel grotendeels door.
d Deze mantel is voor de gammastraling die een groot doordringend vermogen heeft.

13

eigenschap	*α-straling*	*β-straling*	*γ-straling*
doordringend vermogen	kleinste	klein	groot
ioniserend vermogen	heel groot	groot	kleinste

14 a Dat ligt er aan hoe je er naar kijkt: als je naar de fotonen kijkt, is de energie van een uv-foton altijd groter, maar als het aantal IR-fotonen groter is, kan de totale energie van een infraroodbundel groter zijn dan van een uv-bundel.
b Als het gaat om de energie van straling, wordt meestal de energie van de afzonderlijke fotonen bedoeld. De intensiteit kijkt naar de totale energie van een hoeveelheid fotonen die per seconde op een oppervlak valt.

15 a 12,5% dat is precies 3 halveringen.
($^1/_2{}^3 = {}^1/_8$). De halveringsdikte is dan 6,0 cm.
b De intensiteit is na ongeveer 12,5 cm gedaald tot 12,5%. De halveringsdikte is dan 12,5 / 3 = 4,2 cm.
c 65% absorberen is 35% doorlaten. Aflezen (rode lijn): 2,0 cm.
d Bij 5,0 cm dikte wordt 7,5% doorgelaten, dus 92,5% geabsorbeerd.

16 a De halveringsdikte is 8,6 mm (tabel 28F).
De dikte van het loodschort $= 0{,}5 \cdot d_{1/2}$
$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}^{0{,}5} = 0{,}707$

Er wordt 71% doorgelaten en 29% geabsorbeerd.
b Beton heeft voor deze straling een halveringsdikte van 4,6 cm. Daarvan de helft: 2,3 cm.

17 a De doorgelaten straling wordt voortdurend gemeten terwijl de bron met constante snelheid onder een (kleine) stralingsbundel beweegt.
Veranderingen in de gemeten intensiteit geven de dikteverschillen van de plaat aan.
b Alle α-straling komt ongeveer even ver in de platen. Dit geldt ook voor de β-straling. α-straling komt er in geen geval doorheen en β-straling komt of niet, of wel door de platen, je kunt daarmee niet goed de dikte bepalen.
c $d_{1/2} = 2{,}8$ cm. $d = 10{,}0$ cm $= 10{,}0 / 2{,}8 = 3{,}57 \cdot d_{1/2}$
Door de plaat wordt $^1/_2{}^{3{,}57} = 0{,}084119 = 8{,}4119\%$ van de straling doorgelaten. Bij de gegeven gevoeligheid krijg je een variatie van:
8,4119 − 0,070 = 8,3419% tot 8,4119 + 0,070 = 8,4819%.
Bij het minimum hoort een dikte:

$$0{,}083419 = \frac{1}{2}^{\frac{d}{d_{1/2}}} \Leftrightarrow d = 2{,}8 \cdot \frac{\log 0{,}083419}{\log 0{,}5} = 10{,}034 \text{ cm}$$

Bij het maximum hoort een dikte:

$$0{,}084819 = \frac{1}{2}^{\frac{d}{d_{1/2}}} \Leftrightarrow d = 2{,}8 \cdot \frac{\log 0{,}08419}{\log 0{,}5} = 9{,}9665 \text{ cm}$$

Het verschil hiertussen is 0,067 cm = 0,67 mm
d Voor fotonen met hogere energie is de halveringsdikte groter. Bij een bepaalde plaatdikte zal dus een groter percentage van de fotonen worden doorgelaten. 0,070% ten opzichte van deze grotere intensiteit, betekent dat de meting relatief gezien nauwkeuriger wordt en dat er kleinere diktevariaties kunnen worden waargenomen.
(Je kunt de berekening bij vraag c ook herhalen met een grotere waarde voor $d_{1/2}$. Je komt dan op een kleiner verschil uit.)

© Noordhoff Uitgevers bv

18 a Na 5,8 mm is de intensiteit $40 \cdot {}^1/_2 \cdot {}^1/_2 = 10$.
De halveringsdikte is dus 5,8 / 2 = 2,9 mm.

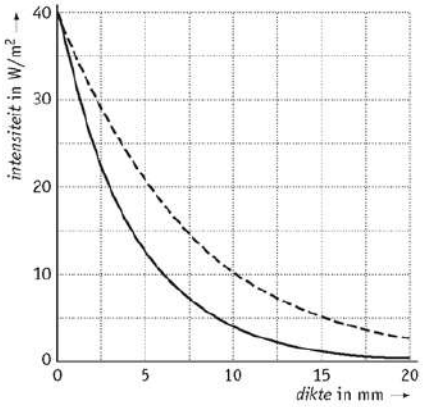
b $20/2{,}9 = 6{,}9\ d_{1/2}$. Er blijft dus $(1/2)^{6{,}9} = 8{,}4 \cdot 10^{-3} =$ 0,83% van 40 over, dat is 0,34 W/m².

c De intensiteit is dan (100 – 81 =) 19% van de oorspronkelijke intensiteit. $0{,}19 \times 40 = 7{,}6$ W/m²
Aflezen in de grafiek: 7,0 mm.

d De intensiteit is $\frac{I}{I_0} = \frac{6{,}1}{40} = 0{,}152 = \frac{1}{2}^n \rightarrow n = 2{,}71$

De halveringsdikte = $\frac{14\ \text{mm}}{2{,}71} = 5{,}2$ mm.

e De doorlaatkromme voor straling van 1 MeV is met een stippellijn aangegeven.



f 10% van de beginintensiteit is 4,0 W/m². Dat is bij een dikte van ongeveer 17 mm.

g $0{,}10 = \frac{1}{2}^n \rightarrow n = 3{,}32$ halveringen
$3{,}32 \times 5{,}2 = 17$ mm

19 Pulsje

20 a De *CT*-waarde zit tussen –600 en –400. Ga uit van –500. Voor fotonen van 1,0 MeV is de halveringsdikte in water 9,8 cm (tabel 28F)

$$\frac{-500}{1000} = \frac{9{,}8 - d_{\frac{1}{2}\text{-long}}}{d_{\frac{1}{2}\text{-long}}} = -0{,}5 \Leftrightarrow$$

$$9{,}8 - d_{\frac{1}{2}\text{-long}} = -0{,}5 \cdot d_{\frac{1}{2}\text{-long}} \Leftrightarrow$$

$$9{,}8 = 0{,}5 \cdot d_{\frac{1}{2}\text{-long}} \Leftrightarrow d_{\frac{1}{2}\text{-long}} = \frac{9{,}8}{0{,}5} = 19{,}6$$

$$d_{\frac{1}{2}\text{-long}} = 20\ \text{cm}$$

b 150 keV: $CT_{\text{schedelbot}} = 1000 \times \frac{4{,}61 - 2{,}44}{2{,}44} = 889$
1,0 MeV: $CT_{\text{schedelbot}} = 783$
De *CT*-waarde is dus afhankelijk van de energie.
(Voor water is de *CT*-waarde per definitie altijd 0)

c De straling gaat door grofweg 1 cm bot en 15 cm hersenweefsel en dan nog eens door 1 cm bot. De halveringsdikte van hersenweefsel kun je uitrekenen en die van schedelbot is bekend (2,44 cm).
$CT_{\text{hersenweefsel}} = 35{,}2$

$$\frac{35{,}2}{1000} = \frac{4{,}61 - d_{\frac{1}{2}\text{-hersen}}}{d_{\frac{1}{2}\text{-hersen}}} \rightarrow d_{\frac{1}{2}\text{-hersen}} = 4{,}45\ \text{cm}$$

$$n_{\text{hersen}} = \frac{15}{4{,}45} = 3{,}4 \qquad n_{\text{schedel}} = \frac{2}{2{,}44} = 0{,}82$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}^{3{,}4} \cdot \frac{1}{2}^{0{,}82} = 0{,}055$$

94,5% is geabsorbeerd.

d Het is voornamelijk het hersenweefsel, want daarin vinden met de gekozen schatting 3,4 halveringen plaats.

21 a Als hemoglobine gebonden is aan zuurstof absorbeert het minder rood licht, en laat dus meer door. Er wordt dan meer gemeten.

b Bij 660 nm kun je goed onderscheid maken tussen zuurstofarm en zuurstofrijk bloed. Hier is het intensiteitsverschil tussen zuurstofrijk en zuurstofarm bloed maximaal.

c Bij die golflengtes kun je zuurstofrijk en zuurstofarm bloed niet onderscheiden, omdat ze in dezelfde mate het licht zullen absorberen.

d In de grafiek is te zien dat er bij 660 nm bijna geen absorptie is voor aan zuurstof gebonden hemoglobine. Dit licht wordt dus voornamelijk doorgelaten. Voor 940 nm wordt er veel meer licht geabsorbeerd, waardoor de gemeten I_{IR} veel kleiner zal zijn dan de gemeten I_{rood}. De verhouding is dus groter dan 1.

e Nee. In de breuk I_{rood} / I_{IR} zal er in de teller en de noemer precies dezelfde afname van de intensiteit zijn. Dat verandert dus niets aan de verhouding.

13.3 Radioactief verval

22 a Isotopen zijn atomen met hetzelfde aantal protonen en een verschillend aantal neutronen.

b Vijf, zie isotopentabel 25A.

c 12,000000 u

d 1 u = 1/12 deel van de massa van één ^{12}C atoom.

23 a Radium

b 88 protonen

c 288 – 88 = 200 neutronen

d 88 elektronen (een atoom is neutraal)

24 a Lood

b 82 elektronen

c Het massagetal is 128 + 82 = 210, dus $^{210}_{82}$Pb

d Zie *Binas* tabel 7B.
82 protonen wegen $82 \times 1{,}0072765 = 82{,}59667$ u
128 neutronen wegen $128 \times 1{,}0086649 = 129{,}10911$ u
Dat is samen 211,70578 u, wat meer is dan de relatieve atoommassa van lood.
De relatieve atoommassa van lood is 209,98417 u (zie tabel 25A).

25 Antwoord C, Be-8.

26 a $^{238}_{92}$U
Dus 92 protonen en 238 – 92 = 146 neutronen.

b Gebruik de formule $E_{kin} = {}^1/_2\ m\ v^2$
4,18 MeV = $6{,}70 \cdot 10^{-13}$ J is de kinetische energie.
De massa van een heliumkern is
$4{,}002603\ \text{u} - 2m_e = 4{,}001506\ \text{u} = 6{,}644656 \cdot 10^{-27}$ kg.

Dus $v = \sqrt{2\frac{E_{kin}}{m}} = 14{,}2\ 10^6$ m/s

c $^4_2$He , dus 2 protonen en 2 neutronen.

d 234 – 90 = 144 neutronen en 90 protonen

e Het atoomnummer is 90.

f Thorium ($^{234}_{90}$Th), zie *Binas* tabel 40A.

© Noordhoff Uitgevers bv

27 a α-straling levert de volgende vergelijking op

$^{216}_{84}Po \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{212}_{82}Pb$

en β-straling levert de volgende vergelijking op

$^{216}_{84}Po \rightarrow ^{216}_{85}At + ^{0}_{-1}e$

b De vervalvergelijking voor het product van de α-straling uit a is

$^{212}_{82}Pb \rightarrow ^{212}_{83}Bi + ^{0}_{-1}e$

$\rightarrow ^{212}_{84}Po + 2\,^{0}_{-1}e$

$\rightarrow ^{208}_{82}Pb + ^{4}_{2}He + 2\,^{0}_{-1}e$

en de vervalvergelijking voor het product van de β-straling uit a is

$^{216}_{85}At$

$\rightarrow ^{212}_{83}Bi + ^{4}_{2}He$

En vanaf $^{212}_{83}Bi$ is het verval hetzelfde als bij de α-straling hierboven.

c De atoommassa van Po-216 is 216,00 u = $216 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg = $3{,}5867 \cdot 10^{-25}$ kg. In één kg zitten dan $1 / 3{,}5867 \cdot 10^{-25} = 2{,}8 \cdot 10^{24}$ atomen.

d Uit $^{214}_{83}Bi \rightarrow ^{214}_{84}Po + ^{0}_{-1}e$

en uit $^{218}_{86}Rn \rightarrow ^{214}_{84}Po + ^{4}_{2}He$

28 a γ-verval is het uitzenden van een foton. Het aantal kerndeeltjes verandert dus niet bij γ-verval.

b $^{238m}_{92}U \rightarrow ^{238}_{92}U + \gamma$

29 a Bij bètaverval ontstaat een kern met een (+1) hoger atoomnummer terwijl bij alfaverval het atoomnummer juist (–2) kleiner wordt. De toename wordt naar rechts getekend, de afname naar links.

b In de figuur zijn de energieniveaus van Tl-208 weergegeven. Het verval van Bi-212 leidt tot een Tl-208 deeltje in één van de vier verschillende energieniveaus. Bij ieder energieniveau blijft er een andere hoeveelheid energie over voor de kinetische energie van de α-deeltjes.

c De snelste α-deeltjes komen voort uit het verval naar een Tl-208 atoom in de grondtoestand. Dan is namelijk alle energie die bij het verval vrijkomt beschikbaar voor de kinetische energie.
De langzaamste α-deeltjes komen vrij bij het verval naar Tl-208 in de hoogst mogelijk aangeslagen toestand, dus met een energieniveau van 493 keV. Het langzaamste α-deeltje heeft dus een energie van 6,20 MeV – 493 keV = 5,71 MeV = $9{,}15 \cdot 10^{-13}$ J.
Op dezelfde manier als opgave 26b is de snelheid te berekenen:

$$v = \sqrt{2\,\frac{E_{kin}}{m}} = 16{,}6\ 10^{6}\ \text{m/s}$$

30 a Gebruik de isotopenkaart in *Binas* (tabel 25B)

$^{18}_{9}F \rightarrow ^{18}_{8}O + ^{0}_{1}e^{+}$

b In tabel 25A is een kolom *voorkomen (in de natuur)* waarin staat dat alleen F-19 in de natuur voorkomt (100%).

c $^{18}_{8}O + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{18}_{9}F + ^{0}_{1}n$
Het andere deeltje dat ontstaat is een neutron.

d $^{16}_{8}O + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{18}_{9}F + ^{1}_{1}p$
Het deeltje waarmee zuurstof in water beschoten wordt is He-3.

31 a De schedel is beter zichtbaar op de CT-scan. Dit komt omdat FDG niet door bot opgenomen wordt en dus niet zichtbaar wordt op een PET-scan. Op een CT-scan is bot juist wel goed zichtbaar omdat van alle soorten weefsels bot röntgenstraling het beste tegenhoudt.

b Je hoeft voor een CT-scan geen radioactief materiaal in je lichaam in te brengen. Er is voor een CT-scan geen tracer nodig. Dit is een voordeel qua tijd en qua kosten.
Een CT-scan heeft een hogere resolutie dan een PET-scan.

c MRI werkt niet met gevaarlijke radioactieve straling of stoffen. Met MRI kan men vooral goed naar alle zachte weefsels kijken.

d Met een PET-scan is duidelijk te zien welke weefsels snel delen, zoals tumoren.

e Tumoren zijn snel delende weefsels en nemen daarom veel FDG op waarmee ze goed zichtbaar worden op een PET-scan. Dit is een direct bewijs van de aanwezigheid van een tumor.
Bij een CT-scan wordt gezocht naar onregelmatigheden in weefsels veroorzaakt door dichtheidsverschillen of vervormingen. Die verschillen t.o.v. gezond weefsel zijn relatief klein.

32 a Bij een CT-scanner meet je de transmissie van röntgenstraling door de weefsels. Dus de bron en detector moeten op één lijn liggen met het te meten onderwerp (het lichaam) er tussen in. Door de bron en de detector rond het lichaam te laten draaien kan een 3D-beeld gereconstrueerd worden.
Een PET-scanner meet de twee in tegengestelde richting wegvliegende fotonen. De plek waar de twee fotonen vandaan komen en in welke richtingen ze wegvliegen is echter willekeurig en dus van te voren niet te beredeneren. Daarom moeten er voor alle richtingen detectoren staan.

b De β^--deeltjes zijn elektronen uit atomen in de buurt van de plaats waar de β^+-deeltjes ontstaan. Ze komen dus gewoon uit het lichaam van de patiënt.

c Nee, dan zullen op die plek twee fotonen ontstaan. Uit het tijdsverschil van registratie van deze fotonen is duidelijk dat deze niet uit het lichaam afkomstig zijn.

© Noordhoff Uitgevers bv

33 a De afstand tot de detectoren moet naar beide richtingen gelijk zijn. Voor punt M zijn dat de gele en de groene lijn.
Voor punt P is dat alleen de rode lijn.

b De fotonen langs de gele lijn naar beneden moeten 12 cm langer reizen, namelijk 6,0 cm van P naar M en dan nog eens 6,0 cm van M naar het punt 6,0 cm onder M. Vanaf dat punt is de reisafstand verder naar onderen even lang als de reisafstand van P naar boven.
0,12 m tegen $3 \cdot 10^8$ m/s levert een tijdsverschil op van 0,12 m / ($3 \cdot 10^8$ m/s) = $4 \cdot 10^{-10}$ s. Dat is 0,4 nanoseconde.

c Een maximale onnauwkeurigheid van 3,0 ns komt overeen met een maximale afwijking in de plaatsbepaling van 3,0 ns keer $3 \cdot 10^8$ m/s, oftewel 0,90 m. Gecentreerd rond het punt M is dan de maximaal mogelijke afwijking 45 cm.

d Zie vraag c. Zelfs met een nauwkeurigheid in nanoseconden is er door de hoge snelheid van de fotonen een behoorlijke onnauwkeurigheid in de plaats.

e Er wordt gebruik gemaakt van een combinatie van informatie:
De PET-scan meet vooral de hoek waaronder de fotonen binnenkomen. De hoekmeting is vele malen nauwkeuriger dan de tijdsverschillen. Doordat meerdere fotonparen in verschillende richtingen een actief stralend deel van het weefsel verlaten kan het kruispunt berekend worden van al deze paden.
Concreet gebeurt dan het volgende. Stel dat de drie gekleurde lijnen metingen zijn van gelijktijdig op de detectoren binnenkomende fotonen met een hoekverschil van 180 graden. Dit zijn dan mogelijke resultaten van annihilaties. Door de lijnen te kruisen blijkt dan dat de punten P en M actief fotonparen uitstralen, oftewel dat op deze plekken de annihilaties plaatsvinden.

34 a $^{209}_{83}\text{Bi} + ^{70}_{30}\text{Zn} \rightarrow ^{278}_{113}\text{Uut} + ^{1}_{0}\text{n}$

b Mendelevium is Md-101. Het atoomnummer is met 113 − 101 = 12 gedaald. En omdat He 2 protonen bevat bestaat de vervalreeks uit 6 keer een α-deeltje uitzenden. Dan neemt het massagetal met $6 \cdot 4 = 24$ af. Dit resulteert in het isotoop $^{254}_{101}\text{Md}$.

13.4 Activiteit

35 a Kleine halveringstijd, want dan vervallen er veel kernen in een kort tijdsbestek.

b Kleine halveringstijd → er vervallen veel kernen per seconde.

36 a $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{Np} + ^{4}_{2}\text{He}$

b 30 kBq betekent $30 \cdot 10^3$ vervalreacties per seconde. Er vervallen dus per seconde $30 \cdot 10^3$ kernen (en er ontstaan dus ook even veel alfadeeltjes).

c De activiteit is na 1 jaar nauwelijks verandert omdat de halveringstijd van Am-241 432 jaar is.

37 a Een tracer is een stof die door het menselijk lichaam opgenomen wordt en waarin één of meerdere radioactieve atomen zijn verwerkt. Het radioactief verval van de stof wordt gebruikt voor onderzoek.

b Bij positron-verval heeft de dochterkern hetzelfde massagetal maar een atoomnummer dat één hoger ligt. Voor C-12 is dat dus B-11, voor N-13 C-13, voor O-15 N-15 en voor F-18 O-18. Alle genoemde dochterkernen zijn volgens *Binas* tabel 25a niet radioactief.

c C-10 heeft een halveringstijd van 19 s. Dat is veel te snel, want tegen de tijd dat de tracer in een patiënt zit is de tracer met C-10 al niet meer voldoende actief. N-12 vervalt nog sneller met een halveringstijd van 0,011 s.

38 a Op $t = 0$ is de activiteit 80 Bq en op $t = 40$ dagen is de activiteit 2,5 Bq. Invullen in de formule voor de activiteit krijgen we

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 2{,}5 = 80 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{40}{t_{1/2}}} \rightarrow$$

$$\frac{2{,}5}{80} = \frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{40}{t_{1/2}}} \rightarrow 5 = \frac{40}{t_{1/2}}$$

dus $t_{1/2} = 8$ dagen.

b Er zal bijna geen activiteit meer zijn, omdat twee maanden betekent dat de stof bijna 8 maal is gehalveerd.
Gebruik voor de schatting 64 dagen, dan is de exponent 64/8 = 8, en $2^8 = 256$, dus

$$A \cong 80 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{80}{256} = \frac{10}{32} \approx 0{,}31 \text{ Bq}$$

Uitrekenen kan ook: 2 maanden is 61 dagen. Met een halveringstijd van 8 dagen en een startactiviteit van 80 Bq is de activiteit na 2 maanden:

$$A = 80 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{61}{8}} = 0{,}41 \text{ Bq}$$

c Een afname van 70% betekent dat de activiteit nog 30% is van A_0, of $\frac{A}{A_0} = 0{,}30$.

$$0{,}30 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8}} \Leftrightarrow 8 \log(0{,}30) = t \log\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow t = \frac{8 \log(0{,}30)}{\log\left(\frac{1}{2}\right)} = 14 \text{ d}$$

d -

e Deze afname is niet rechtstreeks af te lezen in de grafiek. De activiteit is gehalveerd tot 20 Bq na ongeveer 27 d, dus $t_{1/2} = 27$ d.

$$0{,}30 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{27}} \Leftrightarrow 27 \log(0{,}30) = t \log\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow t = \frac{27 \log(0{,}30)}{\log\left(\frac{1}{2}\right)} = 47 \text{ d}$$

Je mag ook zeggen dat de halveringstijd 27 / 8 = 3,4 maal groter is dan van de zwarte lijn en dat het dus $14 \cdot 3{,}4 = 47$ d duurt.

f Bij het snijpunt vervallen er van beide stoffen evenveel kernen. Er komt op dat moment per seconde ook evenveel straling vrij voor beide stoffen.

© Noordhoff Uitgevers bv

g De halveringstijd van blauw is groter dan van zwart. Van een zelfde hoeveelheid stof zal er daarom per seconde minder van blauw vervallen. Er zijn dus meer kernen van de stof bij de blauwe lijn nodig om dezelfde activiteit te krijgen als bij een hoeveelheid van de zwarte stof.

39 1/8 deel is $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$ ofwel drie halveringstijden. Dit betekent dat $\frac{48}{t_{1/2}} = 3$, dus de halveringstijd gelijk is aan 16 uur.

40 a Tritium is de waterstof-isotoop met massagetal 3. Volgens *Binas* tabel 25A is dit een β⁻-straler:
$^{3}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{0}_{-1}e$
Er ontstaat dus een He-3 kern.

b De halveringstijd is dat tijdstip waarbij de helft van de kernen vervallen is, oftewel bij 50%.
Aflezen van de grafiek levert 12,5 jaar op.

c De activiteit is afgenomen tot 80/800 = 1/10 deel. Dat betekent ook dat er nog maar 1/10 deel van het Tritium over is en dat er dus 90% vervallen is.
Aflezen: t = 42 jaar.

41 a 25% van 550 is 138. Na ongeveer 7,8 s is er nog 25% van de kernen over.

b $\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 0{,}25 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{7{,}8}{t_{1/2}}}$

Dus de halveringstijd is, met $0{,}25 = (\frac{1}{2})^2$, gelijk aan 3,9 s.

c De activiteit van radon is op dat moment groter, want de helling van de raaklijn is groter. De afname van het aantal radon-kernen is dus groter.

42 a De halveringstijd van uraan is heel erg groot. In ieder geval veel groter dan maanden. De activiteit is dan dus bijna constant.

b In de natuur kunnen radioactieve isotopen met een korte halveringstijd voorkomen als vervalproduct van een radioactieve isotoop met een (zeer) lange halveringstijd.

43 a Gebruik het verband tussen activiteit en het aantal kernen: $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{A} N = \frac{\ln 2}{1{,}515 \cdot 10^6} \cdot 400 \cdot 10^6 = 183 \text{ s}$$

183 s = 183 / 60 = 3,05 min. Het gaat dus om de isotoop Po-218.

b Het aantal radonkernen op 6,0 s is ongeveer 190 miljoen. Gebruik hetzelfde verband als in a.

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N = \frac{190 \cdot 10^6 \cdot \ln 2}{3{,}92} = 33{,}6 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

c Aan de hand van de raaklijn is de activiteit

$$A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \approx \frac{390 \cdot 10^6}{11{,}7} = 33 \text{ MBq}$$

d Gebruik de volgende formule:

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \Leftrightarrow 4700 = 550 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{3{,}92}}$$

$$\frac{4700}{550 \cdot 10^6} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{3{,}92}} = 8{,}5 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{t}{3{,}92} = \frac{\log 8{,}5 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{1}{2}} = 16{,}84 \Leftrightarrow t = 16{,}84 \cdot 3{,}92 = 66 \text{ s}$$

e De activiteit op dat tijdstip is dan

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N = \frac{\ln 2}{3{,}92} \cdot 4700 = 831 \text{ Bq}$$

44 a De halveringstijd van I-123 is 13,2 h. En van I-131 is de halveringstijd 8,0 d.

1. Voor het maken van een 'foto' is een korte halveringstijd geschikter, want dan is de radioactiviteit snel weer het lichaam uit.
2. Een stof met een kort halveringstijd heeft een hoge activiteit. Er is dus minder radioactieve stof nodig om dezelfde niveau van activiteit te verkrijgen. Je kunt met minder I-123 dan I-131 dezelfde activiteit verkrijgen. Dus I-123 is het meest geschikt.

b Omdat de halveringstijd van I-123 13,2 h is, is de werking op het kankergezwel van te korte duur. Voordat de isotoop is opgenomen zijn bovendien al relatief veel kernen vervallen.

c $^{131}_{53}I \rightarrow ^{131}_{54}Xe + ^{0}_{-1}e$

d Op t = 0 is de activiteit van I-131 gelijk aan 5,5 GBq. De halveringstijd is 8,0 d, ofwel 8 × 24 × 3600 = 691200 s. Gebruik formule

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N = \frac{\ln 2}{691200} \cdot N = 5{,}5 \cdot 10^9 \text{ Bq}$$

$N = 5{,}5 \cdot 10^{15}$ atomen I-131.

e 1,1 liter is gelijk aan 1100 ml. Om de activiteit per ml te berekenen van de verzamelde urine moet je dus delen door 1100.
1,2 MBq / 1100 = 1,1 kBq.
Pas met een activiteit van 1,85 Bq mag deze urine geloosd worden. De halveringstijd van I-131 is 8,0 d.

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \Leftrightarrow 1{,}85 = 1{,}1 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8{,}0}} t = 74 \text{ d}$$

45 a De *m* betekent *isomeer*, zie tabel 25A voetnoot 4. Het verschil tussen Tc-99 en Tc-99m is dat de kern van de laatste zich in een aangeslagen, instabiele toestand bevindt.

b Het materiaal moet wel van Petten naar een ziekenhuis vervoerd worden. Met een halveringstijd van slechts 6,0 h voor Tc-99m moet je dit materiaal wel heel snel vervoeren. Zeker naar ziekenhuizen buiten Nederland.

c 1 Curie = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. 400 Curie = $1{,}48 \cdot 10^{13}$ Bq.
De halveringstijd van Mo-99 is 65,9 h. Gebruik de formule $A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$ en vul de gegevens in:

$$1{,}48 \cdot 10^{13} = \frac{\ln 2}{65{,}9 \cdot 3600} \cdot N$$

Dus 400 Curie van Mo-99 bevat
$N = 5{,}1 \cdot 10^{18}$ atomen.

© Noordhoff Uitgevers bv

d De halveringstijd $t_{1/2}$ van Tc-99m is 6,0 h.
Na 22 h mag de patiënt pas bezoek ontvangen van kleine kinderen, dus t = 22 h.
De activiteit is na 22 h afgenomen tot 0,50‰
Vul de gegevens in:

$$A(t) = A(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{bio}}} \rightarrow \frac{A(t)}{A(0)} = \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{bio}}}$$

$$\rightarrow 0{,}00050 = \frac{1}{2}^{\frac{22}{6}} \cdot \frac{1}{2}^{\frac{22}{t_{bio}}} \rightarrow 0{,}0063 = \frac{1}{2}^{\frac{22}{t_{bio}}}$$

$$\rightarrow \log(0{,}0063) = \frac{22}{t_{bio}} \log\left(\frac{1}{2}\right) \rightarrow t_{bio} = 3{,}0 \text{ uur}$$

e Vanwege de korte halveringstijd van 6,0 h is Tc-99m geschikt voor medisch onderzoek, want dan is het radioactieve materiaal snel uit het lichaam. De γ-straling heeft een hoog doordringend vermogen en kan daarom goed gebruikt worden in medische beeldvorming. De overblijvende dochterkern heeft een zeer lange halveringstijd, waardoor de activiteit zeer laag zal zijn. De dochterkernen zullen daarom het lichaam verlaten zonder verdere schade te kunnen aanrichten.

46 a Productie: ${}^{1}_{1}H + {}^{16}_{8}O \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{4}_{2}He$

Verval: ${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e$

b $A(0)$ = 324 MBq en t = 1 h = 60 min. De halveringstijd van N-13 is 9,97 min. Dan is de activiteit na 1 uur gelijk aan:

$$A(60) = 324 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{60}{9{,}97}} = 5{,}00 \text{ MBq}$$

c $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{13}{9{,}97}} = 0{,}405 = 40{,}5\%$ Tussen het begin en einde van de scan is de signaalsterkte dus met 100 – 40,5 = 59,5 = 59% (59,497) afgenomen.

d $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N \Leftrightarrow N = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \cdot A = \frac{9{,}97 \cdot 60}{\ln 2} \cdot A = 863 \cdot A$

De activiteit aan het begin van de scan was 5,0 Mbq. Het aantal kernen is dan $5{,}0 \cdot 10^6 \cdot 863 = 4{,}3 \cdot 10^9$. De activiteit is met 59,5% afgenomen, dus dan is het aantal kernen in dezelfde mate afgenomen: Er zijn $4{,}3 \cdot 10^9 \cdot 59{,}5\% = 2{,}6 \cdot 10^9$ kernen vervallen.

47 a Na één halveringstijd zijn de 80 moederkernen voor de helft vervallen, dus zijn er nog 40 over. De 40 vervallen kernen moeten bij de overige dochterkernen opgeteld worden, dus 20 + 40 = 60 dochterkernen.

b Na de tweede halveringstijd zijn er nog 20 moederkernen en 60 + 20 = 80 dochterkernen.
Na de derde halveringstijd zijn er nog 10 moederkernen en 80 + 10 = 90 dochterkernen.
Na de vierde halveringstijd zijn er nog 5 moederkernen en 90 + 5 = 95 dochterkernen.

c Samarium heeft 62 protonen en neodymium heeft 60 protonen. Bij het verval is het aantal protonen in de kern dus met 2 afgenomen, dus alfaverval.

d Sm-147 heeft 62 protonen, en dus 147 – 62 = 85 neutronen.

e De halveringstijd is vele malen groter ($1{,}67 \cdot 10^5$ maal) dan de leeftijd van het heelal.

f De hoeveelheid Nd-143 neemt toe vanwege het verval van Sm-147. De hoeveelheid Nd-144 blijft vanwege de enorme halveringstijd constant, dus de verhouding neemt toe.
De halveringstijden voor het verval van Sm-148 ($7 \cdot 10^{15}$ jaar) naar Nd-144 en het verval van Nd-144 zelf zijn groter dan de huidige leeftijd van het heelal. Daarom kan de hoeveelheid Nd-144 in een meteoriet als constant beschouwd worden.
NB. Dit in tegenstelling tot het feit dat de hoeveelheid van de stabiele isotoop Nd-142 wel verandert gedurende de tijd.

g Vul de formule in:

$$\textit{leeftijd} = t_{\frac{1}{2}\,Sm-147} \cdot \frac{\log(1 + \textit{helling})}{\log(2)}$$

$$= 106 \cdot 10^9 \cdot \frac{\log(1{,}0298)}{\log(2)} = 4{,}49 \cdot 10^9 \text{ jaar.}$$

NB De figuur van deze opgave wordt ook wel een isochron-diagram genoemd (isochron = gelijke leeftijd).

13.5 Straling en risico's

48 a Het eerste losgeslagen elektron wordt naar de pluspool (anode) getrokken. Op zijn weg ioniseert hij een atoom doordat hij er mee botst. Nu zijn er twee vrije elektronen. De twee vrije elektronen worden naar de pluspool getrokken, waarbij het ioniseren van het gas als een lawine plaatsvindt. Uiteindelijk zijn alle vrije elektronen op de pluspool aangeland en dooft de lawine uit. Dit effect staat ook bekend onder de naam *Townsend avalanche*.

b Omdat de bovenste weerstand 100 × zo groot is als de onderste, verdeelt de spanning zich in de verhouding 100 : 1. De spanning U_{AB} over de onderste weerstand is dan
1 / 101 × 500 = 4,95 = 5,0 V.
Je kunt ook eerst de stroomsterkte uitrekenen:
$I = U/R_{tot} = 500 : 10{,}1 \cdot 10^6 = 4{,}95 \cdot 10^{-5}$ A
en daarmee de spanning over de onderste weerstand:
$U = I \cdot R = 4{,}95 \cdot 10^{-5} \times 100 \cdot 10^3 = 4{,}95 = 5{,}0$ V

c Je kunt niet meer dan één deeltje tellen per 2,0 ms = $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ s. Dus maximaal $1 : 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ = 500 deeltjes / s

d De totale dode tijd bij deze meting bedroeg 4000 × 0,002 = 8 s. De 4000 deeltjes zijn dus geteld in 60 – 8 = 52 s. Het werkelijke aantal deeltjes dat de buis passeerde was dus 4000 × (60/52) = $4{,}6 \cdot 10^3$ deeltjes per minuut.

e Een GM-teller is veel gevoeliger dan een badge. Een badge verkleurt langzaam wanneer er meerdere radioactieve deeltjes de badge raken. Je merkt pas een verkleuring op als er al veel deeltjes de badge geraakt hebben. Een GM-teller geeft meteen aan dat er sprake is van een waargenomen activiteit.

© Noordhoff Uitgevers bv

49 a Radioactieve stoffen zenden straling uit zonder voorkeursrichting. De GM-teller meet alleen de straling die in zijn richting komt. Bovendien kan de straling onderweg worden verstoord, bv. doordat het wordt afgevangen door tussenliggend materiaal. Ook kan de meter niet altijd correct meten; als de GM-teller te dichtbij staat zijn er geen afzonderlijke pulsen meer waarneembaar en als je te ver weg staat zijn er te weinig pulsen per tijdseenheid om een zinnige meting te kunnen uitvoeren.

b $^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$

c Omdat radioactief verval een toevalsproces is, is het beter om met gemiddelden te werken. Hoe meer metingen, des te nauwkeuriger wordt je gemiddelde.

d De jongste bron is nog het meest actief, dus de jongste bron is bron II. De oudste bron is dan bron III. De GM-teller meet niet de werkelijke activiteit, maar het waargenomen aantal pulsen is wel een maat voor de activiteit en zullen we hieronder activiteit noemen:
De activiteit van bron II is (1321 – 4)/10 = 131,7 Bq na 5,0 jaar. De halveringstijd van Co-60 is $t_{1/2}$ = 5,27 jaar. De beginactiviteit A_0 is dan:

$$A(t) = A(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \Leftrightarrow A(0) = \frac{A(t)}{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}} = \frac{\frac{131{,}7}{5}}{\frac{1}{2}^{\frac{5{,}0}{5{,}27}}} = 254 \text{ Bq}$$

De activiteit van bron III is (194 – 4)/10 = 19 Bq.

$$t = \frac{\log\frac{A(t)}{A(0)}}{\log\frac{1}{2}} \cdot t_{\frac{1}{2}} = \frac{\log\frac{19}{254}}{\log 0{,}5} \cdot 5{,}27 = 19{,}7 \text{ jaar}$$

e De β^--straling vliegt in alle mogelijke richtingen weg. De radioactieve bron lijkt een straler vanuit een punt te zijn. De oppervlakte van een bol is evenredig met het kwadraat van de straal, dus het aantal wegvliegende elektronen per vierkante meter neemt kwadratisch af met de afstand tot de bron.

f 10 cm levert 745 – 4 = 741 pulsen per 10 seconden op. We willen nu 100 pulsen per 10 seconden meten. Dat zijn 100 – 4 = 96 pulsen per 10 seconden van de bron. Dat is dus 7,82 keer zo weinig. Dan moet de bron op een afstand komen van 10 cm · $\sqrt{7{,}82}$ = 28 cm.

50 a In de gevallen A en D. Het cesium komt met de spinazie mee het lichaam in. Een radioactief gas adem je in en bevindt zich dan in de longen, wat praktisch in het lichaam is.
In opgave 44 hebben we gezien dat een patiënt ook *van binnenuit* kan worden bestraald. In zo'n geval is er bij E ook sprake van een besmetting.

b In het geval C ontvang je geen straling want het fruit is eerder bestraald.

c Nee, de patiënt wordt niet zelf radioactief nadat hij of zij bestraald is en zendt dus zelf geen straling uit.

51 a Omdat het lichaam niet meer jood opneemt dan noodzakelijk en de tabletten ervoor zorgen dat het lichaam verzadigd raakt met de stabiele joodisotoop I-127, wordt het radioactieve jood-131 niet meer opgenomen.

b Jood-131 heeft een halveringstijd van 8,0 dagen. Echter, er is niet alleen I-131 vrij gekomen bij de ramp. Er zijn ook vele andere radioactieve deeltjes vrijgekomen met veel langere halveringstijden. Daarom is een groot gebied rond Tsjernobyl nog steeds onbewoonbaar.

c De halveringstijd van Cs-137 is 30 jaar. Bij een lange halveringstijd vervalt de stof langzaam en is de activiteit klein. Het kan ook zijn dat er veel minder cesium dan jood was.

d De spinazie had een activiteit van 1400 Bq per kilogram, terwijl maar 1000 Bq per kilogram is toegestaan.
$A(t) = A_0 \cdot (^1/_2)^{(t/t_{1/2})} = 1400 \cdot (^1/_2)^{(4/8)}$
= 990 Bq. Dus na 4 dagen is de activiteit onder de maximaal toelaatbare norm gekomen, dus na de geadviseerde 7 dagen zit het onder de toegestane waarde.

e Nog steeds krijgen mensen tumoren als gevolg van de straling die ze toen hebben opgelopen. Mensen hebben ook radioactieve stoffen binnengekregen waardoor ze nog steeds extra straling ontvangen. En er zijn kinderen geboren met aangeboren afwijkingen. Die overlijden vaak jonger dan normaal.

52 a De stralingsdosis is gelijk aan het dosisequivalent voor de stralingssoorten met een weegfactor gelijk aan 1. Dit zijn β-, γ- en röntgenstraling, zie de tabel in bron 15.

b Snelle neutronen en protonen zijn de gevaarlijkste stralingen bij uitwendig gebruik. Ze hebben een hoge weegfactor. Dat α-straling bij uitwendig gebruik toch niet de meest schadelijke is, ondanks de hoogste wegingsfactor, komt doordat de dracht minimaal is.

c Bij inwendig gebruik is juist α-straling het gevaarlijkst, omdat deze vorm van straling de hoogste weegfactor heeft.

d 60% van $5{,}0 \cdot 10^{-6}$ J is $3{,}0 \cdot 10^{-6}$ J.

$$D = \frac{E_{str}}{m} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}040} = 7{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$$

53 a Besmetting, want de radioactieve stof zit in het lichaam.

b De weegfactor van α-straling is 20, dus de equivalente dosis is 1,25 mGy · 20 = 25 mSv.

c De weefselweegfactor voor de longen is 0,12. Dus de effectieve totale lichaamsdosis is in dit geval 25 mSv · 0,12 = 3,0 mSv.

d Tel alle weegfactoren in de tabel bij elkaar op en je krijgt 1,00. Met een weegfactor van 1,00 is de effectieve totale lichaamsdosis dus gelijk aan de equivalente dosis.

54 a $^{40}_{19}K \rightarrow ^{40}_{20}Ca + ^{0}_{-1}e$

b Volgens *Binas* tabel 25A is de atoommassa van K-40 39,964 u = $39{,}964 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 6{,}63 \cdot 10^{-26}$ kg = $6{,}63 \cdot 10^{-23}$ g.
In 1 g zitten dus $1 / 6{,}63 \cdot 10^{-23} = 1{,}51 \cdot 10^{22}$ atomen.

© Noordhoff Uitgevers bv

c $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N \Leftrightarrow N = A \cdot \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} =$

$3{,}1 \cdot 10^3 \cdot \frac{1{,}28 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{\ln 2} =$

$1{,}81 \cdot 10^{20}$ atomen. Dit is 0,012% van het totaal, dus het totaal is $100/0{,}012 \cdot 1{,}81 \cdot 10^{20} = 1{,}50 \cdot 10^{24}$ atomen, wat overeen komt met $1{,}50 \cdot 10^{24} / 1{,}51 \cdot 10^{22}$ atomen = 99,8 ≈ 100 g.

d Omdat de halveringstijd erg groot is, kunnen we zeggen dat de activiteit gedurende het hele jaar constant is. Per seconde ontstaan er $3{,}1 \cdot 10^3$ elektronen met een energie van 0,44 MeV = $0{,}44 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 7{,}05 \cdot 10^{-14}$ J.

$D = \frac{E_{str}}{m}$

$= \frac{7{,}05 \cdot 10^{-14} \cdot 3{,}1 \cdot 10^3 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}{30}$

$= 2{,}3 \cdot 10^{-4}$ Gy

e Het gaat om een β-straler, dus de weegfactor is 1: Dosisequivalent is dus $2{,}3 \cdot 10^{-4}$ Sv = 0,23 mSv.

55 a Nee, in dit geval is het boor-10 geen tracer. Ondanks het feit dat het specifiek (alleen) door hersentumorcellen wordt opgenomen is er geen mogelijkheid om van buiten af het boor direct te traceren in het lichaam. Dat lukt pas als je met neutronen bestraalt.

b Men kan de uitgezonden gammastraling detecteren. Door de richting van de ingevangen gammastraling te bepalen kan men uiteindelijk het punt bepalen van waaruit deze gammastraling komt.

c De α-straling wordt ingevangen door de tumorcel, en komt dus niet verder (de dracht is klein). De γ-straling gaat wel (grotendeels) door gezond weefsel heen, maar door het grote doordringend vermogen zal het meeste het lichaam verlaten zonder schade aan te richten.

d ${}^{14}_{7}N + {}^{0}_{1}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$

e De weegfactor van een α-straler is 20 en die van een γ-straler is 1. Dus de α-straler is 20 keer effectiever. Bovendien moet de bestraling wel in stukjes worden opgedeeld, omdat bij γ-bestraling ook gezond weefsel wordt getroffen. Door te spreiden over meerdere weken, kan dit gezonde weefsel herstellen.

f Gd-157 is in dit geval wel een tracer omdat je deze stof direct van buiten af kunt waarnemen met de MRI-scan.

g Gd-157 draagt niet bij aan de effectieve totale lichaamsdosis omdat het een stabiel isotoop is. De radiogolven die Gd-157 uitzendt door de stimulering van de MRI zijn ongevaarlijk.

h Om Gd-157 van de parallelle in de antiparallelle toestand te krijgen is een foton met een andere frequentie nodig dan bij waterstof. Door de frequentie van de zender van de MRI aan te passen, kun je er dus voor zorgen dat alleen het gadolinium en niet het waterstof voor een signaal zorgt. Daarnaast verschilt de snelheid waarmee het Gd-signaal afneemt in een bepaald type weefsel van dat van waterstof.

56 a Vermogen is de hoeveelheid energie per seconde. De activiteit is het aantal atomen dat per seconde vervalt. Per verval komt er een hoeveelheid energie vrij. In formulevorm:

$P = \frac{energie}{deeltje} \cdot \frac{deeltjes}{seconde} = \frac{energie}{seconde} = vermogen$

b De activiteit op het moment van starten is

$A(1h) = A_0 \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} = 365 \cdot \frac{1}{2}^{\frac{60}{109{,}8}} = 250$ MBq

$P = 0{,}6335 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 250 \cdot 10^6$
$= 2{,}54 \cdot 10^{-5}$ W

c Gebruik de formule voor activiteit:

$0{,}60 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{109{,}8}} \rightarrow t = 81$ min dus de PET-scan duurde 81 – 60 = 21 minuten, want de start was 1 uur na het toedienen.

d Gebruik de formule voor het berekenen van het aantal overgebleven radioactieve kernen.

$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

Het aantal vervallen atomen op moment t is dan

$N_{vervallen} = N_0 - N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = N_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}\right)$

En met $A(0) = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot N_0$ krijgen we dan

$N_{\beta+} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot A(0) \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}\right)$

e Nu is $A(0)$ gelijk aan de activiteit aan het begin van de meting, dus 250 Mbq en t = 21 min (de duur van de meting). De halveringstijd is 109,8 minuten. Dus het totaal aantal uitgezonden positronen is gelijk aan

$N_{\beta+} = \frac{109{,}8 \cdot 60}{\ln 2} \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{21}{109{,}8}}\right) =$

$2{,}94 \cdot 10^{11}$ positronen. Als een positron met een elektron annihileert, ontstaan 2 fotonen, dus het aantal fotonen is $2 \cdot 2{,}94 \cdot 10^{11} = 5{,}88 \cdot 10^{11}$ fotonen.

f Niet alle gammafotonen zullen gedetecteerd worden. Bijvoorbeeld omdat de gammafotonen al geabsorbeerd zijn voordat ze de detectoren kunnen bereiken.

g Wij gaan ervan uit dat het dosisequivalent van 7,1 mSv is ontvangen tijdens de PET-scan, dus niet gelijk is aan het totale dosisequivalent.

$H = w_R \cdot \frac{E}{m} \Leftrightarrow m = \frac{w_R \cdot E}{H} =$

$\frac{1 \cdot 0{,}6335 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}9 \cdot 10^{11}}{7{,}1 \cdot 10^{-3}} = 4{,}2$ kg

h De meeste gammafotonen worden niet door het lichaam maar door de detector geabsorbeerd. De totale stralingsenergie van de fotonen is aanzienlijk kleiner.

57 a De rustmassa van het proton is $1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg

$E = \frac{1}{2}mv^2 \Leftrightarrow$

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{1{,}6726 \cdot 10^{-27}}} = 1{,}95 \cdot 10^8$ m/s

b Protonen stoppen sneller in een materiaal dan fotonen. Daarom horen de bovenste figuur en die linksonder bij een gammastraling therapie. De foto in het midden en rechtsonder horen bij een protonentherapie.

© Noordhoff Uitgevers bv

c De patiënt is van bovenaf bestraald, omdat het meest bestraalde gebied boven zit (het paarse deel).

d De patiënt lag op zijn buik, want de bestraalde tumor zat in zijn rug en die zit bovenin op de foto.

e De stralingsweegfactor van 5 maakt van 180 cGy een equivalente dosis van 900 cSv. Omdat die 44 maal is toegediend kom je op een totale equivalente dosis van 39 600 cSv = 396 Sv.

58 a Als U-238 naar Rn-222 vervalt, komen er in totaal 16 nucleonen vrij. Dit komt overeen met een geheel aantal (4) alfadeeltjes, want die hebben 4 nucleonen. Bij Th-232 zou de afname 10 nucleonen zijn. Dat kan nooit kloppen.

b De energie is de energie die het verval van de twee isotopen met alfaverval levert. Dit zijn: polonium-218 en polonium-214. Het aantal kernen polonium-218 is gegeven. Alle aanwezige kernen vervallen na verloop van tijd tot polonium-214. Dit zijn in totaal $4{,}26 \cdot 10^5$ kernen. Invullen levert:

$$D = \frac{E_{stl}}{m} = \frac{2{,}6 \cdot 10^4 \cdot 5{,}998 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-13} + 4{,}26 \cdot 10^5 \cdot 7{,}68 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-13}}{2{,}5}$$

$$= 2{,}2 \cdot 10^{-7}\ \text{Gy}.$$

Toepassing

Opgave 1 Jaarringen

1 Radon in bouwmaterialen, natuurlijke (uranium-) bronnen, tritium in zeewater.

2 Links en rechts moeten de aantallen neutronen en protonen gelijk zijn, dus $^{14}_{7}N$.

3 Als een boom sterft neemt hij geen nieuwe koolstof meer op. Als er C-14 gaat vervallen, wordt de verhouding C-14/C-12 (met het stabiele C-12) steeds kleiner. Hoe ouder een boom is, hoe kleiner deze verhouding dan zal zijn, want je meet dan een steeds kleinere activiteit van C-14.
Als het C-14-gehalte in het jaar 774 hoger lag, dan wordt nu nog steeds een hogere activiteit gemeten. Bij een koolstofdatering zou dit worden geïnterpreteerd als een kortere vervalduur. Dit zou dus leiden tot een te laag ingeschatte leeftijd.

4 De halveringstijd van C-14 is 5730 jaar:

$$A(t) = A(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} \Leftrightarrow$$

$$A(0) = \frac{A(t)}{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} = \frac{218}{\frac{(2012-774)}{5730}} = 253\ \text{Bq}$$

Het aantal C-14-kernen op dat moment is dan:

$$A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N(t) \Leftrightarrow$$

$$N(t) = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \cdot A(t) = \frac{(5730 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)}{\ln 2} \cdot 253$$

$= 6{,}60 \cdot 10^{13}$ kernen

Het aantal koolstofkernen in 1 kg is:

$$aantal = \frac{m}{A \cdot u} = \frac{1}{12 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}} = 5{,}02 \cdot 10^{25}\ \text{kernen}$$

De verhouding tussen C-14 en C-12 is dan:

$^{14}C : {}^{12}C = 6{,}60 \cdot 10^{13} : 5{,}02 \cdot 10^{25} = 1{,}315 \cdot 10^{-12} : 1$

Ten opzichte van de normale verhouding is dat een verhoging van:

$$\frac{(1{,}315 - 1{,}30)}{1{,}30} \cdot 100\% = 1{,}15\%$$

(Dit komt overeen met de 1,2% uit het artikel.)

Opgave 2 PET-scan

5 $^{1}_{1}p + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{4}_{2}He$

6 Bij de reactie wordt de massa van het positron en het elektron omgezet in de energie van de twee gamma-fotonen. Dus de energie per foton is volgens de gegevens 0,50 MeV (In *Binas* tabel 7B staat de wat meer nauwkeurige waarde van 0,511 MeV).

$E = h \cdot f \Leftrightarrow$

$$f = \frac{E}{h} = \frac{0{,}511 \cdot 10^6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{6{,}626 \cdot 10^{-34}} = 1{,}24 \cdot 10^{20}\ \text{Hz}$$

7 De diameter van het hoofd wordt geschat op 20 cm. Er geldt dan:

$\Delta t = {}^{\Delta x}/_{c} = {}^{0{,}2}/_{1{,}0 \cdot 10^{8}} = 0{,}7 \cdot 10^{-9}$ s.

Dus de orde van grootte van Δt is $1{,}0 \cdot 10^{-9}$ s.

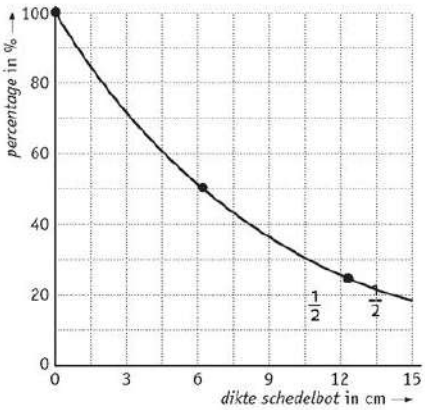
Opgave 3 Radiotherapie

8 Je wordt niet radioactief van bestraling. De straling maakt alleen (zoveel mogelijk kwaadaardige) lichaamscellen kapot. Verder kom je zelf ook niet in aanraking met een radioactieve stof, dus ook op die manier zal je geen straling naar je omgeving uitzenden.

9 Bij een bestraling wordt ook altijd gezond weefsel geraakt. Door de behandeling in porties op te delen heeft dit gezonde weefsel tijd om te herstellen.

10 $d_{1/2\ \text{hersen}} = 10{,}6$ cm; $d_{1/2\ \text{schedel}} = 6{,}15$ cm

11



12 Aflezen uit de getekende doorlaatkromme bij 1,3 cm: inderdaad ongeveer 86%.

13 $d_{1/2\ \text{hersen}} = 10{,}6$ cm, dus de intensiteit van de straling op 10,6 cm onder de schedel is dan nog 50% van 86%, ofwel 43%.

© Noordhoff Uitgevers bv

14 Het draaipunt van de beweging is de tumor.

15 Bij een bestraling wordt ook altijd gezond weefsel rond de tumor bestraald. Door te draaien wordt niet steeds hetzelfde gezonde weefsel bestraald. Dit beperkt de kans op beschadiging. (Wanneer een tumor in de buurt zit van zeer kwetsbaar weefsel, wordt juist expres wel vanuit één richting bestraald.)

Opgave 4 Protonentherapie

16 De stopping power is gelijk aan de helling van de grafiek. Voor een indringdiepte van 22,5 cm is de helling gelijk aan 10 MeV cm^{-1}. Voor waarden kleiner dan 22,5 cm is de stopping power kleiner dan 10 MeV cm^{-1}.

17 Waar de helling van de figuur het grootst is, is ook de stralingsdosis het grootst. Dus ontvangt het water een kleine stralingsdosis, de tumor een grote stralingsdosis en ontvangt de plaat helemaal geen straling.

18 $E = 150$ MeV

19 Bij een stopping power van 800 MeV cm^{-1} en een energieverlies per botsing van 72 eV is de afstand tussen twee botsingen gelijk aan
$72/(800 \cdot 10^6) = 9 \cdot 10^{-8}$ cm = 0,9 nm
Dus een DNA-keten met een breedte van 3 nm wordt op ongeveer drie plaatsen geraakt.

20 voorbeelden van een antwoord:
- Bij fotonen wordt de meeste energie opgenomen in het gebied voor de tumor en bij protonen niet.
- Bij fotonen wordt ook energie opgenomen in het gebied achter de tumor en bij protonen niet.
- Bij protonen wordt de meeste energie opgenomen in de tumor.

21 Voor de kinetische energie van een proton geldt:
$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27} (9{,}0 \cdot 10^6)^2 = 6{,}76 \cdot 10^{-14}$ J
Dus voor de spanning geldt:

$$U = \frac{\Delta E_k}{q} = \frac{6{,}76 \cdot 10^{-14}}{1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 4{,}2 \cdot 10^5 \text{ V}$$

22 $E = 0{,}42$ MeV

Opgave 5 Moord!

23 Bij besmetting ben je in direct contact met de radioactieve bron, terwijl dit bij bestraling niet het geval is. Litvinenko is besmet, want hij heeft de radioactieve stof in zijn lichaam.

24 Overeenkomst: ze hebben allemaal 84 protonen in de kern. Verschil: hun aantal neutronen.

25 Polonium-211 vervalt te snel. Het heeft een halveringstijd van 0,5 s. Het is dus onmogelijk om dit te produceren, te vervoeren, stiekem bij iemand in de thee te doen en dan nog steeds een *bruikbare* hoeveelheid over te houden.

26 Po-210 heeft een halveringstijd van 138 dagen.

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{t_{\frac{1}{2}}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{19}{138}} = 0{,}91$$

Dus dan is op het moment van de aanslag al 9% vervallen.

27

$$^{209}_{83}\text{Bi} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{210}_{83}\text{Bi}$$

$$^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{210}_{84}\text{Po} + ^{0}_{-1}\text{e}$$

$$^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^{4}_{2}\text{He}$$

28 Op $t = 0$ zijn er alleen kernen van de blauwe lijn in de rechter grafiek. Dat moet dus Bi-283 zijn. De rode lijn is dus Pb-206.
Op $t = 0$ is het aantal Bismut-kernen maximaal en dus ook de activiteit van het Bismut. Hierdoor stijgt in het begin het aantal Polonium-kernen snel. Op het moment dat er Polonium-kernen zijn, beginnen deze ook zelf met hun verval. Bij het maximum wordt er net zoveel Po geproduceerd door het verval van Bi als dat er vervalt door het verval van Po zelf. Na het maximum is het verval van het Po zelf groter dan de productie vanuit het Bi. Na ongeveer 40 dagen is het Bismut zelfs volledig vervallen en is er alleen nog sprake van het verval van Polonium.

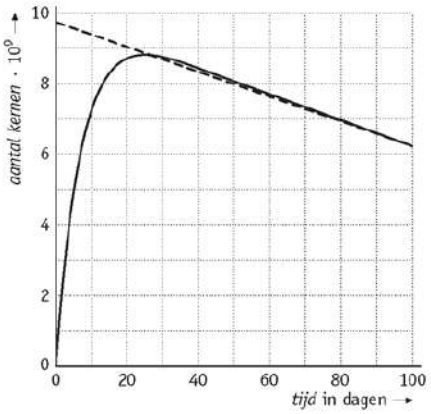
29 Er zijn $10 \cdot 10^9$ kernen Bi-283. Op het tijdstip $t = 200$ zijn deze allemaal vervallen, maar zijn er wel $6{,}2 \cdot 10^9$ loodkernen. Omdat bij elk verval één kern over gaat in één andere kern, moeten er dus nog $10 \cdot 10^9 - 6{,}2 \cdot 10^9 = 3{,}8 \cdot 10^9$ Po-kernen zijn.

30 De activiteit wordt gegeven door de raaklijn in de grafiek. Wanneer we de punten [0; 9,7] en [100; 6,25] van deze lijn nemen is de activiteit te bepalen volgens:

$$A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{(9{,}7 - 6{,}25) \cdot 10^9}{100 \cdot 24 \cdot 3600} = 4{,}0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

Alternatief: het aantal kernen op $t = 80$ d is $6{,}9 \cdot 10^9$. De halveringstijd van Polonium is 138 dagen. Met deze gegevens is de activiteit te berekenen:

$$A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N = \frac{\ln 2}{(138 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)} \cdot 6{,}9 \cdot 10^9 = 4{,}0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$



© Noordhoff Uitgevers bv

31 -

32 $m = 209{,}98\ \text{u} = 209{,}98 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 3{,}49 \cdot 10^{-25}$ kg. Het aantal atomen in 1 kg is dan $1 / 3{,}49 \cdot 10^{-25} = 2{,}9 \cdot 10^{24}$. In 1,0 g (= 1/1000 kg) zitten dan $2{,}9 \cdot 10^{21}$ atomen.

33 $A = \frac{\ln 2}{138 \cdot 86400} \cdot 2{,}9 \cdot 10^{21} = 1{,}7 \cdot 10^{14}$ Bq.

34 Eén kern Po-210 die vervalt levert een energie van 5,4 MeV. Er vervallen $1{,}7 \cdot 10^{14}$ kernen per seconde. Dus per seconde komt er een energie vrij van $1{,}7 \cdot 10^{14} \cdot 5{,}4$ MeV $= 9{,}0 \cdot 10^{20}$ MeV/s = 144 W.

Proefwerkopgaven

1 a Het rechterbeeld is een PET-scan. Dat zie je aan de relatief lage resolutie. Links zie je dat de schedel juist prominent in het beeld naar voren komt. Dat zie je juist op een CT-scan.

b Hier zie je de schedel links juist slecht. Dit is een kenmerk van een MRI-scan. Rechts staat weer een PET-scan.

c De waterstofatomen die zich in de antiparallelle toestand bevinden, zitten in een instabiele toestand en zullen terugvallen (met een zekere halveringstijd) naar de parallelle toestand. Hierbij wordt een foton uitgezonden. Deze fotonen zorgen voor het getoonde radiosignaal.

d Als de radioloog geen radiopuls meer geeft, komen er geen nieuwe waterstofatomen in de antiparallelle toestand. Het signaal wordt daarom door steeds minder atomen verzorgd. Net als bij radioactief verval vertoont het signaal daarom een exponentieel dalend verloop.

e De frequentie van radiogolven is veel groter dan past bij de getekende tijdschaal.

f Gebruik de formule van de halveringstijd van radioactief verval, maar nu voor het verval van de spintoestand in MRI.

$$A = A_o \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow \frac{A}{A_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 0{,}3 = \left(\frac{1}{2}\right)^{1{,}5/t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = 3{,}0\ \text{s}$$

g Voor witte stof is $t_{1/2} = 1{,}5$ s, dan is na 5,2 s het verval $\frac{A}{A_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^{5{,}2/1{,}5} = 0{,}090$. En 3 keer 0,090 is 0,27.

Het signaal is dus meer dan 3 maal zo klein.

2 a Ni-60, want het totaal aantal kerndeeltjes blijft gelijk maar een neutron wordt een proton.

b Er ontstaan meer γ_2-fotonen, want alle γ_1-fotonen vervallen via γ_2-fotonen en daar komt dan nog 0,12% γ_2-fotonen bij.

c De energie van een γ_1-foton is het verschil tussen de twee mogelijke verval-energieën van de elektronen, dus 1,48 – 0,31 = 1,17 MeV.

d De halveringsdikte hangt af van de energie. Hoe groter de energie, hoe groter de halveringsdikte. De γ_2-fotonen hebben een energie van 1,33 MeV en dus dringen deze dieper door. De γ_2-fotonen hebben de grootste halveringsdikte.

e Gebruik de formule voor halveringsdikte:

$I = I_o \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$, met $d_{1/2} = 9{,}0$ cm. Dan is de intensiteit na 10 cm gelijk aan 46% van de beginwaarde. Halverwege de 10 cm, dus op 5 cm, is de intensiteit gelijk aan 68% van de beginwaarde. De tumor ontvangt 46%/68% = 68%.

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 14
Kern- en deeltjesfysica

Introductie

1 a Deze getallen zijn de atoommassa's zoals Dalton die vond door te experimenteren met chemische stoffen. Eerst enkele vertalingen:
Azote is stikstof;
Barytes, lime en *soda* zijn geen elementen:
Lime is een verzamelnaam voor calciumhoudende anorganische verbindingen;
Soda is Na_2CO_3;
Barytes is $BaSO_4$.

b Dalton wist niet dat waterstof twee-atomig was en hij ging er, ten onrechte, van uit dat in de meest eenvoudige verbindingen tussen elementen de verhouding tussen de atomen 1:1 is. Zodoende kwam hij gemakkelijk terecht op atoommassa's die bijvoorbeeld een factor 2 of 3 verschilden met onze huidige kennis, zie tabel:

	Dalton	Periodiek systeem		Dalton	Periodiek systeem
H	1	1	Sr	46	88
N	5	14	Barytes	68	-
C	5,4	12	Fe	50	56
O	7	16	Zn	56	65
P	9	31	Cu	56	64
S	13	32	Pb	90	207
Mg	20	24	Ag	190	109
Lime	24	-	Au	190	197
Soda	28	-	Pt	190	195
K	42	39	Hg	167	201

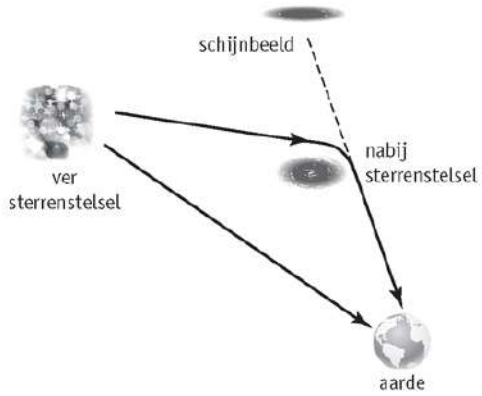
Ook als je dit in aanmerking neemt zijn er, ten gevolge van gebrekkige meetmethoden, vaak flinke verschillen met de huidige atoommassa's.

c Dalton wist niet dat lime, soda en barytes samengestelde stoffen waren.

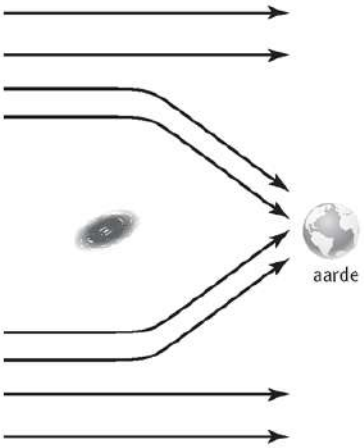
2 De kracht die de ster in een baan om het centrum van de melkweg houdt is de gravitatiekracht ten gevolge van de massa in de melkweg.

3 a Als de temperatuur is afgenomen van $3 \cdot 10^3$ K tot 3 dan is volgens de wet van Wien ($\lambda_{max} \cdot T = k_W$) de golflengte behorend bij de maximale intensiteit uitgerekt met een factor 10^3. Bij de uitzetting van het heelal zetten alle lengtes in dezelfde mate uit, dus ook met 10^3.
Het volume van het heelal is dan toegenomen met de derde macht van de lengtes, dus met een factor 10^9. De hoeveelheid materie is daarbij niet veranderd, dus de dichtheid is met een factor 10^9 afgenomen.

b Meerdere beelden ontstaan doordat licht wordt afgebogen en via verschillende wegen de aarde bereikt. Er ontstaat een einsteinring als het dichtbij gelegen sterrenstelsel precies tussen het verre sterenstelsel en de aarde in staat.



c De massa van een ver weg gelegen stelsel heeft een lenseffect, waardoor de achtergrondstraling uit bepaalde richtingen meer geconcentreerd wordt.



Door nauwkeurige bestudering van (onder andere) de intensiteit van de achtergrondstraling kan berekend worden hoe groot de aanwezige massa moet zijn.

14.1 Deeltjesreacties en behoudswetten

1 Er is behoud van het aantal deeltjes per atoomsoort.
$4\ Fe + 3\ O_2 + 3\ H_2O \rightarrow 2\ (Fe_2O_3 \times H_2O) + H_2O$

2 a Druk ontstaat door botsingen tussen moleculen onderling of tussen moleculen en andere voorwerpen. Door zulke botsingen veranderen de moleculen en/of de voorwerpen van snelheid en richting.

© Noordhoff Uitgevers bv

b Met wrijving bedoelen we meestal dat er bewegingsenergie wordt omgezet in warmte. Op het niveau van de moleculen in een gas is warmte de bewegingsenergie van de moleculen. Tenzij er bewegingsenergie kan worden omgezet in andere energievormen blijft de gemiddelde bewegingsenergie dus gelijk. De druk neemt hierbij dus niet af. Als er energie ontsnapt door straling, of als er bij een chemische reactie bewegingsenergie wordt omgezet in inwendige energie van de moleculen, of andersom, dan kunnen de temperatuur en de druk van het gas wel veranderen.

3 $^{235}_{92}U \rightarrow ^{137}_{55}Cs + ^{95}_{37}Rb + 3 \cdot ^{1}_{0}n$
Behoud van totaal aantal kerndeeltjes. Behoud van lading.

4 a Wet. Op voorwaarde dat massa wordt meegeteld als een vorm van energie, zie §14.2.
b Regel. Er zijn momenten denkbaar waarin er minder tegenzit dan op andere momenten.
c Regel. Bij energieomzettingen waarbij potentiële energie wordt omgezet in kinetische energie, of andersom, verdwijnt of verschijnt er massa, zie §14.2. Bij alledaagse processen is de verandering echter niet of nauwelijks te meten.
d Regel. En een regel die zelden geldt. Er zijn heel veel processen waarbij warmte wordt omgezet in een andere energievorm, of andersom.
e Wet. Er is nog geen situatie gevonden waarbij de lading niet behouden bleef.
f Regel. Bij energierijke botsingen kunnen protonen overgaan in andere deeltjes.
g Regel. Neutronen kunnen vervallen door β-verval of ze kunnen, net als protonen, bij energierijke botsingen overgaan in andere deeltjes.

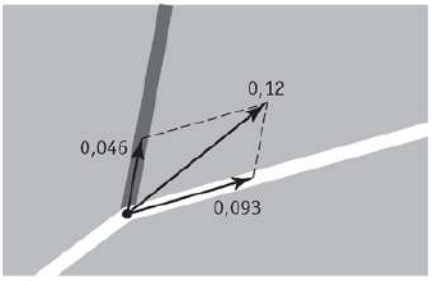
5 Nee, Be-kern: $8{,}005305 - 4\,m_e = 8{,}004208$
2 α-deeltjes: $2 \times 4{,}002603 - 4\,m_e = 8{,}004109$
Zie verder §14.2.

6 a Totale impuls voor de botsing:
$p = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = 1098 \cdot 11 + 0 = 1{,}2 \cdot 10^4$ kg · m/s
Na de botsing:
$p_{na} = (m_1 + m_2) \cdot v_{na} = 2076 \cdot 5{,}8 = 1{,}2 \cdot 10^4$ kg · m/s
Er geldt dus (binnen de significantie) impulsbehoud.
b Totale kinetische energie voor de botsing:
$E_{k_voor} = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 = 66$ kJ
Totale kinetische energie na de botsing:
$E_{k_na} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot v^2 = 35$ kJ
Samen met de 31 kJ thermische energie (warmte) die is vrijgekomen is er dus voldaan aan behoud van energie.
c Het is geen elastische botsing omdat de kinetische energie niet behouden is. Een deel ervan is omgezet in thermische energie.

7 De totale impuls van de watermoleculen is nul omdat ze binnen het glas in willekeurige richting bewegen en het glas als geheel staat stil. Als de totale impuls nul is, is het gemiddelde dat ook.

8 a Bereken de impuls in *x*-richting *en y*-richting:
$p_x = m_1 \cdot v_1 + 0 = 0{,}210 \cdot 0{,}70 = 0{,}147$ en $p_y = 0$
Eenheid: kg·m/s. Impuls in *x*-richting en *y*-richting blijven beide behouden na de botsing.
In *x*-richting geldt dan:
$p_x = 0{,}147 = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = 0{,}0294 + 0{,}210 \cdot v_{2x}$
$\rightarrow v_{2x} = \frac{0{,}147 - 0{,}0294}{0{,}210} = 0{,}56$ m/s
In *y*-richting geldt: $p_y = 0 = m_{1y} v_{1y} + m_{2y} v_{2y}$
$v_{1y} = 0{,}28$ m/s $\rightarrow = v_{2y} = -0{,}28$ m/s
(omdat de ballen gelijke massa hebben)
Je kunt nu de snelheidsvectoren optellen:
$v_2 = \sqrt{0{,}56^2 + 0{,}28^2} = 0{,}626$ m/s $= 0{,}63$ m/s
b Totale kinetische energie voor de botsing:
$E_{k_voor} = \frac{1}{2} m v_x^2 + 0 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}210 \cdot 0{,}70^2 = 0{,}0515$ J
Ook voor beide ballen na de botsing kunnen we de kinetische energie uitrekenen. Hiervoor moet de snelheid van de 1e bal na de botsing nog berekend worden:
$v_1 = \sqrt{0{,}14^2 + 0{,}28^2} = 0{,}313$ m/s $\rightarrow$
$E_{k_na} = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}210 \cdot (0{,}313^2 + 0{,}626^2)$
$= 0{,}0515$ J
De kinetische energie is dus niet veranderd.

9 a



b Schaal kiezen, vector p_{wit} tekenen, ontbinden in p_{wit_na} en p_{rood_na}, dan nameten en grootte berekenen. Uitkomst: $p_{wit_na} = 0{,}093$ kg · m/s en $p_{rood_na} = 0{,}046$ kg · m/s.

10 De impuls voor de botsing is nul. Na de botsing dus ook.
$m_{raket}\, v_{raket} = -m_{brandstof}\, v_{brandstof} \Rightarrow$
$v_{ra} = -\frac{m_{br}}{m_{ra}} v_{br} = \frac{250}{737 \cdot 10^3} \cdot 4{,}5 \cdot 10^3 = 1{,}5$ m/s

11 a Er geldt impulsbehoud; en de totale impuls is 0 voor het verval. $\Rightarrow p_{Nd} = -p_\alpha$
$\Leftrightarrow m_{Nd}\, v_{Nd} = -m_\alpha\, v_\alpha \Rightarrow v_{Nd} = -\frac{m_\alpha}{m_{Nd}} v_\alpha$
b $E_{k,Nd} = \frac{1}{2} m_{Nd}\, v_{Nd}^2 \Rightarrow m_{Nd} E_{k,Nd} = \frac{1}{2} m_{Nd}^2\, v_{Nd}^2$
Gebruik vervolgens de uitdrukking van a.
$= \frac{1}{2} m_{Nd}^2 \left(\frac{m_\alpha^2}{m_{Nd}^2}\right) v_\alpha^2 = \frac{1}{2} m_\alpha^2\, v_\alpha^2 = m_\alpha \cdot E_{k,\alpha}$
$\Leftrightarrow m_{Nd} \cdot E_{k,Nd} = m_\alpha \cdot E_{k,\alpha}$
c $E = E_{k,Nd} + E_\alpha$ Met gebruik van b kun je $E_{k,Nd}$ *of* $E_{k,\alpha}$ elimineren; bijvoorbeeld $E_{k,\alpha}$:
$E = E_{k,Nd} + \frac{m_{Nd}}{m_\alpha} E_{k,Nd} = \frac{m_\alpha}{m_\alpha} E_{k,Nd} + \frac{m_{Nd}}{m_\alpha} E_{k,Nd}$
$\Leftrightarrow E = \frac{m_\alpha + m_{Nd}}{m_\alpha} E_{k,Nd} \Rightarrow E_{k,Nd} = \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_{Nd}} E$
De uitdrukking voor $E_{k,\alpha}$ vind je op precies dezelfde manier.

© Noordhoff Uitgevers bv

d De massa van Nd-143 staat niet in *Binas*, maar kan veilig in drie significante cijfers gegokt worden op 143 u. Voor een α-deeltje is het 4,00 u zodat invullen als resultaat heeft dat

$E_{k,Nd} = \frac{4{,}00}{4{,}00 + 143} E = 0{,}057$ MeV

$E_{k,\alpha} = \frac{143}{4{,}00 + 143} E = 2{,}04$ MeV

12 **a** $p_{ko} = 0{,}005 \cdot 500 = 2{,}5$ kg · m/s, en er is impulsbehoud → $p_{ko+ap} = 2{,}5$ kg · m/s
Na de botsing: $m_{ko} \cdot v_{ko} + m_{ap} \cdot v_{ap} = 2{,}5 \rightarrow 0{,}005 \cdot 450 + 0{,}200 \cdot v_{ap} = 2{,}5 \rightarrow v_{ap} = 12{,}5$ m/s
b $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 0{,}005 \cdot 500^2 = 625$ J
c kogel: $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 0{,}005 \cdot 450^2 = 506$ J
appel: $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 0{,}200 \cdot 12{,}5^2 = 16$ J
totaal: 522 J
d Nee, er is $625 - 522 = 1{,}0 \cdot 10^2$ J verdwenen.
e Omgezet in inwendige energie, waarschijnlijk vooral thermische energie.

13 **a** Het is de Lymanlijn van $n = 3$ naar $n = 1$. Zie *Binas* tabel 21A.
Energieniveau $n = 3$: 12,0888 eV t.o.v. $n = 1$.
b $\lambda = \frac{h \cdot c}{E_f} = \frac{6{,}62607 \cdot 10^{-34} \times 2{,}997925 \cdot 10^8}{12{,}0888 \times 1{,}602177 \cdot 10^{-19}}$
$= 1{,}02561 \cdot 10^{-7}$ m
c $p_f = \frac{h}{\lambda} = 6{,}46061 \cdot 10^{-27}$ kg · m/s
d Het atoom een impuls van $6{,}46061 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s in de richting tegengesteld aan die van het foton. De snelheid wordt dan

$v = \frac{6{,}46061 \cdot 10^{-27}}{1{,}007825 \times 1{,}66054 \cdot 10^{-27}} = 3{,}86046$ m/s

14 Werkblad

14.2 Massa en energie

15 $Q = cm\Delta T = 4180 \cdot 0{,}998 \cdot 70 = 2{,}920 \cdot 10^5$ J

$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{2{,}920 \cdot 10^5}{8{,}988 \cdot 10^{16}} = 3{,}2 \cdot 10^{-12}$ kg

16 In de tekst vind je het volgende:
$m_\alpha = m(\text{He-4}) - 4\, m_e = 4{,}00150584$ u
$2\, m_p + 2\, m_n = 4{,}03188277$ u
Het α-deeltje heeft minder massa dan de afzonderlijke protonen en neutronen. Het massaverlies (0,030377 u) is 0,75%.

17 **a** Deeltje B heeft een lading 2+. Er geldt ladingsbehoud.
b Totale energie van de protonen = 1116 + 1230 MeV → $E_k = 2346 - 2$ protonmassa's $= 2346 - 2 \times 938$ MeV = 470 MeV

18 $E = mc^2$
$= 1{,}660538921 \cdot 10^{-27} \times (2{,}99792458 \cdot 10^8)^2$
$= 1{,}49241795 \cdot 10^{-10}$ J = 931,494061 MeV

19 **a** *"voor de creatie van nieuwe deeltjes is ... de (kinetische) energie van de protonen beschikbaar."* Er is dan geen behoud van kinetische energie. De botsing is inelastisch.
b Totaal beschikbare energie (zie *Binas* tabel 7):
$2\, m_p c^2 + 2 \times 1000 = 2 \times 938 + 2000 = 3876$ MeV
Als dit geheel wordt omgezet in massa is dit

$3876 \text{ MeV}/c^2 = \frac{3876 \times 1{,}66054 \cdot 10^{-27}}{931{,}49}$

$= 6{,}910 \cdot 10^{-27}$ kg
c De massa die ontstaat kan ook kleiner zijn. De overblijvende energie is dan kinetische energie van de nieuwe deeltjes.
d Bij een botsing van een bewegend proton tegen een stilstaand proton is de impuls voor de botsing niet nul. Na de botsing derhalve ook niet. Niet alle kinetische energie kan zodoende worden omgezet in massa.
(Een relativistische berekening, zie bron 8, geeft als resultaat dat er nu maar 2697 MeV beschikbaar is, dus $4{,}808 \cdot 10^{-27}$ kg.)

20 Zie de tabel hieronder. De meest voorkomende isotoop blijkt de kleinste verhouding *m/A* te hebben.

voorkomen	*A*	*massa*	*m/A*
	54	53,93961	0,9988817
	55	54,93830	0,9988782
91%	**56**	**55,93494**	**0,9988382**
	57	56,93540	0,9988667
	58	57,93328	0,9988497
	59	58,93488	0,9988963

21 **a** De grafiek van de bindingsenergie per nucleon in figuur 14.16 loopt voor kleine kernen steil omhoog en voor zware kernen maar geleidelijk omlaag.
b $\Delta m = 235{,}04392 - 132{,}90591 - 98{,}93324 - 3 \cdot 1{,}008665$
$= 0{,}178775$ u = 166,53 MeV $= 2{,}6681 \cdot 10^{-11}$ J
Significantie: 5 decimalen (+ en −) → 5 cijfers (* /).
Elektronmassa's hoef je niet af te trekken van atoommassa's. Links en rechts hetzelfde aantal.
c $\Delta m = 2{,}014102 + 3{,}016029 - 4{,}002603 - 1{,}007825$
$= 0{,}019703$ = 18,353 MeV $= 2{,}9405 \cdot 10^{-12}$ J
Significantie: 6 decimalen (+ en −) → 5 cijfers (* /).
Wanneer je de protonmassa uit tabel 25 haalt hoef je geen elektronmassa's af te trekken. Wanneer je de protonmassa uit tabel 7 haalt moet je links 1 elektronmassa aftrekken.

22 **a** ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\alpha$
b $\Delta m = 226{,}02540 - 4{,}002603 - 222{,}01757$
$= 0{,}005227$ u = 4,87 MeV. Dat is 0,08 MeV meer dan de opgegeven waarde in *Binas*. Die 0,08 MeV kan bijvoorbeeld in de straling zitten.
c Het vervalproduct van radium is radon. Dit is gasvormig. Het kan uit het materiaal ontsnappen en in de longen terecht komen. De uit radon vrijkomende α-straling is in direct contact met het longweefsel wel schadelijk.
d ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^{4}_{2}\alpha$ ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^{0}_{-1}\beta$

${}^{234}_{91}\text{Pa} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^{0}_{-1}\beta$ ${}^{234}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{230}_{90}\text{Th} + {}^{4}_{2}\alpha$

${}^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{226}_{88}\text{Ra} + {}^{4}_{2}\alpha$

© Noordhoff Uitgevers bv

e De uraniumisotopen en Th-230 en Ra-226 hebben een lange halveringstijd (10^3 – 10^9 jaren). Th-234 en Pa-234 hebben een veel kortere halveringstijd (dagen en uren) en vind je in veel kleinere hoeveelheden.

23 a Het massadefect, Δm is voor deze drie reacties respectievelijk: –0,005, –0,0093, 0,0070 u. Alleen bij de derde reactie komt energie vrij.

b De massa van twee deuteronen is groter dan de massa dan één α-deeltje. Er komt dus minder energie vrij.

24 Voor kleine snelheden is γ vrijwel gelijk aan 1 en staat er gewoon de klassieke impuls.
Als v de lichtsnelheid nadert gaat γ naar oneindig. Er zou voor een voorwerp met massa dus oneindig veel impuls (en energie) nodig zijn om de lichtsnelheid te bereiken.

25 Uit $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 = \gamma^2m^2v^2c^2 + m^2c^4$

en $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ volgt dat

$$\frac{E^2}{m^2c^4} = \frac{v^2/c^2}{1-v^2/c^2} + 1$$
$$= \frac{v^2/c^2}{1-v^2/c^2} + \frac{1-v^2/c^2}{1-v^2/c^2}$$
$$= \frac{1}{1-v^2/c^2} = \gamma^2$$

Dus $E = \gamma mc^2$

26 en 27 Zie tabel.

v/c	$1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{v^2}{c^2}$	γ
0	1,000	1,000
0,1	1,005	1,005
0,2	1,020	1,021
0,3	1,045	1,048
0,4	1,080	1,091
0,5	1,125	1,155
0,6	1,180	1,250
0,7	1,245	1,400
0,8	1,320	1,667
0,9	1,405	2,294
0,99	1,490	7,089
0,999	1,499	22,37

14.3 Subatomaire deeltjes

28 a Elektrische energie $qU = eU$ wordt omgezet in kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$, en daaruit volgt de gegeven uitdrukking.

b Zonder magneetveld, of voor een ongeladen deeltje,gaat het deeltje rechtdoor en is de baanstraal oneindig. A moet dus de juiste formule zijn.

c Uit $F_L = Bqv$ volgt voor de eenheid van B dat

$$[B] = \frac{[F]}{[q]\,[v]} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}{\text{C}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = \frac{\text{kg}}{\text{C}\cdot\text{s}}.$$

Voor $r = mv/Be$ volgt dan

$$[r] = \text{m} = \frac{[m][v]}{[B][e]} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{\text{kg}\cdot\text{C}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{C}} = \text{m}$$

Dit klopt dus wel voor A, en voor de andere formules komt er een antwoord dat niet klopt.

d Combineren van a en b geeft:

$$v^2 = \frac{2eU}{m} = \left(\frac{Ber}{m}\right)^2 \text{ dus } \frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2r^2}$$

e De verhouding e/m was al bekend, dus als e bepaald wordt, kan de massa ook worden berekend.

f Door de damp in een Wilsonvat te bestralen met röntgenstraling ontstonden ionen, die dienden als condensatiekernen bij de vorming van druppeltjes. Er werd verondersteld dat de meeste van deze ionen één elektron misten. De druppeltjes zakten naar beneden en werden verzameld op een plaat de bodem van het vat.
De hoeveelheid druppeltjes werd geschat en de lading op de plaat gemeten. Thomson vond op deze manier als resultaat een elektronlading van $2{,}2\cdot10^{-19}$ C.
In 1909 voerde Millikan een ander experiment uit waarmee de lading van het elektron met een nauwkeurigheid van 1% ten opzichte van de huidige waarde werd bepaald.

29 a De α-straling bestaat uit deeltjes die hun energie afstaan in botsingen met de luchtmoleculen. Dat ze allemaal dezelfde baan volgen en na dezelfde afstand hun energie kwijt zijn wijst erop dat ze allemaal met dezelfde energie zijn begonnen.
De β-straling stopt niet plotseling in deze figuur en houdt niet op. De dracht voor β-straling is blijkbaar groter.

b Dat β-deeltjes allemaal verschillende banen volgen wijst erop dat ze met verschillende snelheden beginnen, want in $r = mv/Be$ is v de enige grootheid die kennelijk niet voor alle β-deeltjes gelijk is.

30 a Impulsbehoud: $\Delta p_\alpha = -m_\alpha\cdot3{,}04\cdot10^7$ kg·m·s^{-1} (deeltje kaatst terug)

$\rightarrow \Delta p_{\text{goudatoom}} = +m_\alpha\cdot3{,}04\cdot10^7$

$\rightarrow v_{Au} = \frac{m_\alpha}{m_{Au}}\cdot3{,}04\cdot10^7 = \frac{4{,}0}{197}\cdot3{,}04\cdot10^7$

$= 6{,}2\cdot10^5$ m·s^{-1}

b Het goudatoom krijgt kinetische energie. Het α-deeltje kan dus niet met precies dezelfde snelheid terugkaatsen. De snelheid van het goudatoom zal dus ook kleiner zijn dan de schatting, anders klopt het behoud van impuls niet.

c Antwoord: $1{,}1\cdot10^{-3}$ m/s

31 a De richting van de teruggekaatste ballen is anders bij een driehoekig voorwerp.

b De snelheid van de teruggekaatste ballen is groter bij een zwaar voorwerp.

c Bij een klein voorwerp vliegen er meer ballen langs door de variatie in aanvliegroute.

d De kleur van het voorwerp, de lengte van het voorwerp in de schietrichting, de samenstelling van het voorwerp, is het voorwerp hol of massief?

© Noordhoff Uitgevers bv

32 Bij waarnemen met onze ogen wordt licht (fotonen) terugkaatst door een voorwerp. Uit de teruggekaatste fotonen halen wij informatie over het voorwerp (bijv. de grootte). Bij de proef van Ruterford worden +–deeltjes teruggekaatst door de kern van een atoom. Uit het aantal en de richting van de teruggekaatste deeltjes halen wij informatie over de kern.

33 De antimaterie wordt samen met een even grote hoeveelheid materie geheel omgezet in energie. Er komt dus $2 \times 1 \cdot 10^{-3} \times (3{,}0 \cdot 10^8)^2 = 1{,}8 \cdot 10^{14}$ J aan energie vrij.

34 Een foton heeft impuls. Dus één foton kan niet ontstaan na een beginimpuls van 0.

35 Gebruik *Binas* tabel 26. De opgegeven massa's zijn daar energieën in MeV.
$\Delta E = 105{,}66 - 0{,}511 = 105{,}149$ MeV $= 1{,}68 \cdot 10^{-11}$ J
(massa muon en elektron in rekening brengen)
99,5% van de muonmassa wordt energie.

36 Pulsje

37 a $s = v \cdot t = 3{,}0 \cdot 10^8 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6} \approx 450$ m
De gegeven 1,5 µs is de halveringstijd. De gemiddelde levensduur is iets langer, 2,2 µs.
De gemiddelde afstand die dan afgelegd zou kunnen worden komt dan op 660 m.

b $s = v \cdot t = v \cdot \gamma \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6} = 6{,}0 \cdot 10^3$ dus

$$\gamma \frac{v}{c} = \frac{6{,}0 \cdot 10^3}{1{,}5 \cdot 10^{-6} \times 3{,}00 \cdot 10^8} = 13{,}33$$

Hieruit volgt met

$$\frac{v}{c} = \frac{13{,}33}{\gamma}:$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 13{,}33^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \text{ dus } 178{,}8\,\frac{v^2}{c^2} = 177{,}8$$

$$\text{en } \frac{v}{c} = \sqrt{(178{,}8 / 178{,}8)} = 0{,}997$$

38 a $F_{el} = \frac{fe^2}{r^2} = \frac{8{,}988 \cdot 10^9 \times 1{,}602^2 \cdot 10^{-38}}{10^{-30}}$
$= 2{,}3 \cdot 10^2$ N

b $a = \frac{F}{m} = \frac{2{,}3 \cdot 10^2}{1{,}673 \cdot 10^{-27}} = 1{,}4 \cdot 10^{29}$ m/s²

39 $n + n \rightarrow n + \pi^0 + n \rightarrow n + n$
en
$p + p \rightarrow p + \pi^0 + p \rightarrow p + p$

40 a In de zesde druk van *Binas* is het $^{145}_{61}Pm$.
Wikipedia geeft de eer aan $^{106}_{52}Te$.

b $^{209}_{83}Bi$

41 a De gebruikte formule geeft een verband tussen afstand (kracht*bereik*) en massa. De grootte van de kracht wordt hier niet gegeven. Yukawa wist dat het bereik van de sterke kernkracht in de orde van 10^{-15} m moest zijn, anders zouden er wel grotere kernen bestaan. Dit gegeven is voldoende om een deeltje met bijbehorende massa te poneren.

b $R = \frac{h}{4\pi mc} \rightarrow m = \frac{h}{4\pi Rc} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 10^{-15} \cdot 2{,}998 \cdot 10^8}$

$m = 1{,}76 \cdot 10^{-28}$ kg $= 99$ MeV/c²
Binas tabel 26 geeft 135 – 140.
De orde van grootte komt goed overeen. De ingevulde waarde van R is iets te groot dus vinden we een iets te kleine m.

c $m = 770$ MeV/c² $= 1{,}372 \cdot 10^{-27}$ kg $\rightarrow$

$$R = \frac{h}{4\pi mc} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 1{,}372 \cdot 10^{-27} \cdot 2{,}998 \cdot 10^8}$$
$= 1{,}28 \cdot 10^{-16}$ m

42 β^--verval: $^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$, $^{36}_{17}Cl \rightarrow {}^{36}_{18}Ar + {}^0_{-1}e$
β^+–verval: $^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$, $^{36}_{17}Cl \rightarrow {}^{36}_{16}S + {}^0_1e$
K–vangst: $^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n$, $^{36}_{17}Cl + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^{36}_{16}S$

43 a In de tekst van het boek moeten de β^- en β^+ worden verwisseld. De lichte isotopen van een gegeven element hebben relatief weinig neutronen en veel protonen. Ze kunnen evenwichtiger worden door protonen in neutronen te laten veranderen via β^+-verval of K-vangst. De zware isotopen hebben relatief veel neutronen en kunnen die kwijt door ze in protonen te veranderen (met β^--verval) of door ze samen met een paar protonen uit de kern te laten vertrekken.

b Cl-36 kan zowel via als β^- als via β^+ als via K-vangst vervallen. Hetzelfde geldt voor Cu-64.
In-114 kan zowel via β^- als via K-vangst vervallen, Sb-122 zowel via β^- als via β^+.

14.4 Onderzoeksmethoden

44 a Terugval naar lager gelegen energieniveaus, dus emissielijnen.

b Zes energieovergangen zijn mogelijk (3 + 2 + 1).

c De laagste frequentie hoort bij de kleinste overgang.
$(2{,}506 - 2{,}158) \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = h \cdot f \rightarrow f =$
$\frac{5{,}575 \cdot 10^{-20}}{6{,}626 \cdot 10^{-34}} = 8{,}413 \cdot 10^{13}$ Hz

45 Een fraai overzicht met talrijke verdere verwijzingen is te vinden op Wikipedia in het artikel:
Timeline of chemical element discoveries
Een paar voorbeelden:

naam	*jaar*	*methode*
Technetium	1937	The two discovered a new element in a molybdenum sample that was used in a cyclotron, the first synthetic element to be discovered. It had been predicted by Mendeleev in 1871 as eka-manganese.
...	...	...
Rutherfordium	1968	Prepared by bombardment of californium with carbon atoms.
...	...	...
Ununseptium	2010	Prepared by bombardment of berkelium with calcium.

© Noordhoff Uitgevers bv

46 a Wanneer je atomen wilt 'aanslaan' moet je de elektronen beïnvloeden. Wannneer je kernen wilt aanslaan moet je de (geladen) deeltjes in de kern beïnvloeden. De energieniveau's van de nucleonen in een kern liggen veel verder van elkaar dan die van de elektronen in het atoom. Om de gewenste energieën te bereiken moeten de deeltjes waarmee ze beschoten worden sterk versneld worden om die energie te bereiken.

b Wanneer er geen atoomkern is, en lading gelijk verdeeld is over lichte deeltjes in de materie verwacht je dat geladen projectielen zoals α-deeltjes een beetje worden afgebogen door de aanwezige lading van de geladen deeltjes. Bij het bombarderen van goudfolie met α-deeltjes bleken de meeste ongehinderd rechtdoor te gaan terwijl enkelen sterk werden afgebogen of volledig terugggekaatst. Dat laatste gebeurt wanneer er (veel) lading zit in een *zware* kern.

47 $E = mc^2$ dus $m = \frac{E}{c^2} = \frac{10^{14}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 10^{-3}$ kg $\approx$ 1 g

48 *Argumenten voor*:
1 geen smerige uitlaatgassen van verbranding
2 geen CO_2 van verbranding
3 weinig massa aan brandstof nodig, en minder ongelukken en ongemakken bij bijvoorbeeld het delven van kolen en aardbevingen bij gaswinning
4 pragmatisme en wanhoop (we hebben nu eenmaal energie nodig en alle bronnen zijn beperkt)

Argumenten tegen:
1 radioactief afval dat toch ergens moet worden geplaatst (vaak in armere landen)
2 menselijke fouten en/of natuurrampen hebben gigantische gevolgen
3 de kosten voor bouw, onderhoud en operationeel zijn van de centrales zijn hoog
4 ook uranium is een schaarse brandstof; hoewel relatief weinig massa nodig is, is er ook niet veel van
5 verrijking van uranium maakt de weg vrij naar de productie van kernwapens

49 a E = 209 GeV = $3{,}34854902 \cdot 10^{-8}$ J $\rightarrow$

$\gamma = \frac{E}{mc^2} = 4{,}0900282 \cdot 10^5$

en $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 4{,}0900282 \cdot 10^5$

$\gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1{,}67283302915 \cdot 10^{11}$

$\frac{1}{\gamma^2} = 5{,}97788292 \cdot 10^{-12}$

$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{\gamma^2} = 0{,}999999999994022$

$\frac{v}{c} = 0{,}999999999997011$, dus 99,9999999997%

b De omlooptijd van de elektronen is
T = omtrek/ c = $27 \cdot 10^3 / 3{,}0 \cdot 10^8 = 9{,}0 \cdot 10^{-5}$ s.
Ze komen dus $1/T = 1{,}1 \cdot 10^4$ keer per seconde langs.

50 a Bij de overgang van een elektron van buisje 1 naar buisje 2 moet de oneven buisjes negatief zijn en even buisjes positief. Bij de volgende overgang, van buisje 2 naar buisje 3 moeten de even buisjes negatief zijn en de oneven buisjes positief.
Tussen deze twee overgangen moet dus *een halve periode* verschil zitten.

b Het deeltje versnelt in de tussenruimte en niet in het buisje (dat heeft overal dezelfde spanning dus er is binnen het buisje geen veld in lengterichting). De buisjes moeten dus in ieder geval langer worden om steeds op het goede oversteekmoment de overgang naar het volgende buisje te maken.
Of de overgangen ook langer moeten worden is niet zo duidelijk.

c Een deeltje dat iets te snel gaat verlaat het buisje iets te vroeg. Het moet dus minder versneld worden dan de deeltjes die later komen.
Deeltjes die iets te langzaam gaan komen wat te laat en moeten iets meer versneld worden.
Dit betekent dat de deeltjes dus moeten oversteken binnen een tijd waarin de spanning nog aan het stijgen is.
Deeltjes die nog aan de oversteek beginnen als de spanning al weer daalt zullen steeds verder achter gaan lopen.

d Om te zorgen dat de deeltjes in hetzelfde tempo blijven lopen moeten ze zoveel mogelijk dezelfde versnelspanning ondergaan en dus op hetzelfde moment oversteken. Als de openingen groter worden kunnen ze meer gaan afwijken.
De grootte van de afstand tussen de opvolgende buisjes zal vooral afhangen van de spanning. Als de spanning tussen de buisjes te groot wordt zullen er bij een te kleine afstand vonken overslaan.

51 a E = 100 GeV $\rightarrow$

$\gamma = \frac{E}{mc^2} = \frac{100\,000}{0{,}5110} = 1{,}9569 \cdot 10^5$

$\gamma^{-2} = 2{,}6112 \cdot 10^{-11}$

$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{\gamma^2} = 0{,}999\,999\,999\,738\,8$

$v = 0{,}999999999987c$

b De formule voor ΔE iets omschrijven levert:

$\Delta E = \frac{4\pi q^2}{3r} \times \frac{v^2}{c^2} \times \gamma^4 = 2{,}49 \cdot 10^{-23} \times \frac{v^2}{c^2} \times \gamma^4$

$= 2{,}49 \cdot 10^{-41} \times 0{,}9999999997388 \times (1{,}9569 \cdot 10^5)^4$

$= 3{,}67 \cdot 10^{-20}$ J

Voor het vermogen moet je eerst nog de omlooptijd weten:

$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{27 \cdot 10^3}{3{,}00 \cdot 10^8} = 9{,}0 \cdot 10^{-5}$ s

Het vermogen is dan $3{,}67 \cdot 10^{-20} / 9{,}0 \cdot 10^{-5} = 4{,}1 \cdot 10^{-16}$ W per elektron per omwenteling.

c Bij een grote waarde van r neemt het energieverlies af.

52 Protonen hebben een grotere massa ($10^4 \times$) Dat levert bij een gegeven (gewenste) botsingsenergie een veel kleinere γ-factor en daarmee een veel kleiner energieverlies door cyclotronstraling.

53 a $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ of $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

b Een airshower bijvoorbeeld door de botsing van een zeer hoog energetisch proton met een luchtmole cuul. De totale lading is dan 1 e. Als daar een regen van deeltjes uitkomt kan de netto lading niet groter zijn dan +1. Daarom ongeveer evenveel μ^+ als μ^-.

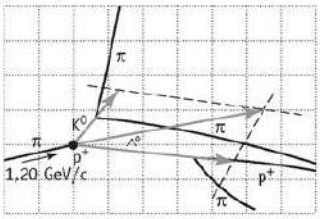
© Noordhoff Uitgevers bv

c 3
Met twee detectoren kun je één hoek bepalen dus de richting binnen een vlak. Met drie detectoren kun je twee hoeken bepalen. Vergelijk het bijvoorbeeld met een krukje of een statief op drie pootjes. Met de lengte van de drie pootjes kun je elke richting kiezen.

d Het aardmagnetisch veld varieert van $3 \cdot 10^{-5}$ tot $6 \cdot 10^{-5}$ T. In midden-Europa: $5 \cdot 10^{-5}$ T.
$p = 5{,}3442858 \cdot 10^{-19}$ kg·m/s
$r = \frac{p}{Bq} = 6{,}67 \cdot 10^{4}$ m
67 km is de straal van de afbuiging. De ordegrootte is vergelijkbaar met de dikte van de dampkring. Dus helemaal verwaarloosbaar is het niet.

54 Werkblad

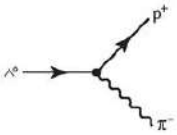
55 a De stippellijnen geven neutrale deeltjes weer → (ladingbehoud)
1 Het aankomende pion moet dan negatief zijn, want de totale lading moet steeds 0 zijn.
2 De pionen rechtsboven zijn beide neutraal of π^+ en π^-.
3 Het pion rechtsonder is negatief.



b Kies zelf een schaal voor de vectoren. De impuls van lambdadeeltje en kaon zijn ongeveer 1 en 0,4 GeV/c.

14.5 Drie symmetrieën

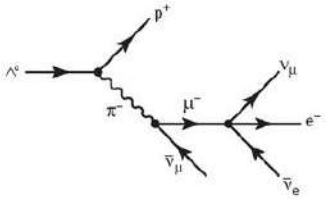
56 a



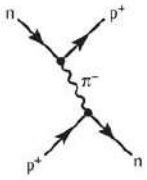
b Gebruik *Binas* tabel 26 (π^- heeft dezelfde massa als π^+).
$\Delta m = m_{\Lambda^0} - m_{p^+} - m_{\pi^-}$
$= 1115{,}68 - 938{,}272 - 139{,}57 = 37{,}84$ MeV/c^2
$E_k = 37{,}84$ MeV

c Het π^- vervalt in een μ^- en een $\overline{\nu}_\mu$

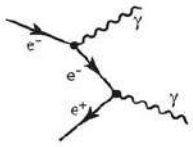
d Het labdaverval staat bij vraag a. Het π^- krijgt geen pijltje omdat het een meson is (combinatie van quark en antiquark)! Het pionverval staat weergegeven bij vraag b. Het μ^- vervalt in e^- en twee neutrinos: ν_μ en $\overline{\nu}_e$ (het verschil tussen elektron- en muonneutrino's hoef je op dit moment nog niet te weten, dit wordt uitgelegd in de volgende paragraaf).



57



58



Er zijn twee fotonen nodig, in verband met impulsbehoud (er kan altijd een assenstelsel gevonden worden waarin e^- en e^+ frontaal botsen met totale impuls 0).

59 Werkblad

60 a Spiegeling in de horizontale of de verticale as.
Spiegeling in de diagonaal.
Puntspiegeling door het middelpunt.

b Behoud van energie is bijvoorbeeld ook een symmetrie. De symmetrietransformatie is het verstrijken van de tijd, en de symmetrie-eigenschap is de hoeveelheid energie, die hetzelfde blijft.
Ander voorbeeld: het menselijk lichaam ziet er symmetrisch uit onder spiegeling. Er zijn ook eigenschappen die de symmetrie breken, zoals de positie van je hart in het lichaam of een moedervlek op je linkerarm.

61 a Als je een proton verandert in een neutron zijn er een aantal dingen die niet of bijna niet veranderen, zoals de de massa en de gevoeligheid voor de sterke wisselwerking. Je kunt protonen en neutronen uitwisselen en de sterke kernkracht blijft hetzelfde. De symmetrie-transformatie is dus het omwisselen van protonen en neutronen.
De symmetrie-eigenschappen zijn de kenmerken die niet (of nauwelijks) veranderen.

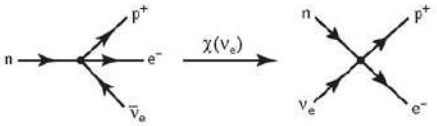
b De lading van het proton is een eigenschap die de symmetrie breekt. Een proton reageert wel op een elektrisch veld, een neutron niet.

62 Ladingomkeer is de symmetrie die je hier kunt gebruiken:
$p^+ + e^- \rightarrow H$
$\xrightarrow{c} p^- + e^+ \rightarrow \overline{H}$

© Noordhoff Uitgevers bv

63 Eerst de reactievergelijking van β^--verval:
$n \rightarrow p^+ + e^- + \overline{\nu}_e$
met tijdomkeer:
$\xrightarrow{T} p^+ + e^- + \overline{\nu}_e \rightarrow n$ (K-vangst)
Vervolgens met kruisen van het e^- :
$\xrightarrow{\chi(e^-)} p^+ + \overline{\nu}_e \rightarrow n + e^+$ (β^+-verval)

64 a

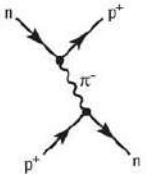


b Bijvoorbeeld:
Keer het rechterdiagram in vraag 64a hierboven om met tijdomkeer (T) en vervolgens:

c De neutrino's uit een kernreactor zijn voor het overgrote deel neutrino's die vrijkomen uit het β^--verval van de splijtingsproducten. Dit zijn anti-elektronneutrino's, dus moet de reactie $p^+ + \overline{\nu}_e \rightarrow n + e^+$ worden gebruikt.

65 a $n + \nu \rightarrow p^+ + e^-$ Zie 64a.
b ${}^{37}_{17}Cl + \nu \rightarrow {}^{37}_{18}Ar + e^-$ 65a verpakt in een atoomkern
c $\overline{n} + \overline{\nu} \rightarrow p^- + e^+$ 65a met ladingomkeer
d $p^+ + \overline{n} \rightarrow \nu + e^+$ 65c met twee maal kruisen

66 Tijdomkeer levert hier precies hetzelfde diagram, zie ook opg. 57.



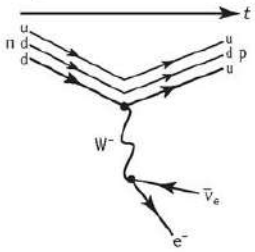
14.6 Het standaardmodel

Opmerking: in Binas tabel 26 staat een verkeerde lading van het up-quark.

67 a Er verandert één downquark in een upquark.
b Ja, maar het verschil tussen proton en neutron is iets kleiner dan het verschil tussen de quarks.

68 a Het proton is een samengesteld deeltje en samen gestelde systemen hebben vaak verschillende energietoestanden. Het proton is te beschouwen als de grondtoestand van dit systeem. Het verschil tussen de toestanden is hier echter zo groot dat we ze niet gemakkelijk herkennen als toestanden van hetzelfde systeem.
b Minimaal de massa van p^+ en π^0 samen, dus $938 + 140 = 1078$ MeV/c^2.

69 a Alle baryonen bestaan uit drie quarks zonder antiquarks.
b In een atoomkern zijn de nucleonen allemaal baryonen. Dus is het massagetal (som van de nucleonen) hetzelfde als het baryongetal.
c Uiteraard is dat zo en het is makkelijk te controleren. Bij alfaverval gaan vier baryonen van de radioactieve kern over naar het α-deeltje. Bij β-verval verandert de quarksamenstelling van een baryon maar niet het baryongetal.



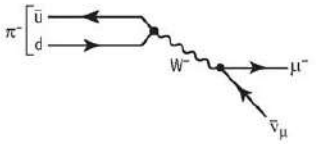
70 a Er is altijd een assenstelsel te vinden waarin het π^0-meson geen impuls heeft. Een foton heeft altijd impuls ongeacht het assenstelsel. Dus verval naar een enkel foton is niet mogelijk.
b $E_{\pi^0} = 134{,}98 \frac{\text{MeV}}{c^2} = 2{,}406237 \cdot 10^{-28}$ J
$E_\gamma = h \cdot f$
dus
$2hf = 2{,}406237 \cdot 10^{-28}$ J
$f = 1{,}8157 \cdot 10^5$ Hz

71 a 6 quarks, 3 quarks per baryon $\rightarrow 6^3 = 216$ combinaties
6 quarks, 1 quark + 1 antiquark per meson $\rightarrow$ $6^2 = 36$ combinaties

72 a Niet mogelijk (geen behoud leptongetal).
Lading: −1/3 links, −1/3 rechts. OK.
Baryongetal: 0 links, 0 rechts. OK.
Leptongetal: 0 links, 2 rechts. Niet OK.
b Wel mogelijk.
Lading: +1 links, +1 rechts. OK.
Baryongetal: 0 links, 0 rechts. OK.
Leptongetal: 0 links, 0 rechts. OK.
c Niet mogelijk (geen behoud baryongetal en geen behoud leptongetal).
Lading: −1 links, −1 rechts. OK.
Baryongetal: −1 links, 0 rechts. Niet OK.
Leptongetal: 0 links, 1 rechts. Niet OK.

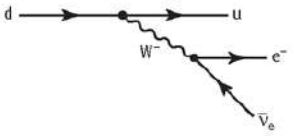
73 a $n \rightarrow p^+ + e^- + \overline{\nu}_e$
Baryongetal: 1 links, 1 rechts. OK.
Leptongetal: 0 links, 0 rechts. OK.
b $d \rightarrow u$
Quarkgetal: 1 links, 1 rechts. OK.
Leptongetal: 0 links, 0 rechts. OK.

74 Pionverval: $\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu$
quarks: $\overline{u}d \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu$



© Noordhoff Uitgevers bv

Neutronverval: $n \rightarrow p^+ + e^- + \overline{\nu}_e$
quarks: $\overline{u}d \rightarrow e^- + \overline{\nu}_e$
X: $d \rightarrow u + e^- + \overline{\nu}_e$



Verschil: 1 maal $X(\overline{u})$ en andere leptonen.

75 Na het verval is de lading –1, dus het W deeltje heeft dan ook lading –1.

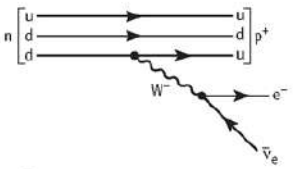
76 a $\Delta^+ \rightarrow n + \mu^+ + \nu_\mu$
Sterk: kan
Δ^+ (uud) $\rightarrow$ n(udd) + π^+ ($u\overline{d}$)
$\rightarrow$ n(udd) + $\mu^+ + \nu_\mu$
Zwak: kan ook (minder waarschijnlijk)
Δ^+ (uud) $\rightarrow$ n(udd) + W^+
$\rightarrow$ n(udd) + $\mu^+ + \nu_\mu$

b $\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$:
kan niet, geen behoud van baryongetal.

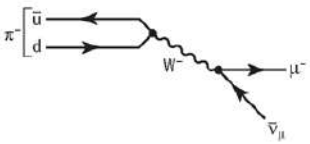
c $\Sigma^+ \rightarrow p^+ + \mu^+ + \mu^-$
Sterk: kan niet, want er verandert een s-quark in een d-quark.
Σ^+ (uus) $\rightarrow$ p^+ (uud) + K^0 ($s\overline{d}$) zou in principe kunnen als sterke tussenstap, maar K^0 vervalt naar 2 of 3 pionen, zie *Binas*, en niet naar $\mu^+ + \mu^-$.
Zwak: kan wel
Σ^+ (uus) $\rightarrow$ p^+ (uud) + π^0 ($d\overline{d}$) kan, zie *Binas*, en dit moet een zwak verval zijn, omdat er een s-quark in een d-quark verandert.
De zwakke tussenstap kan zijn:
Σ^+ (uus) $\rightarrow$ p^+ (uud) + $Z^0 \rightarrow p^+$ (uud) + π^0 ($d\overline{d}$)

d $n + \mu^+ \rightarrow p^+ + \pi^0$:
kan niet, geen behoud van leptongetal.

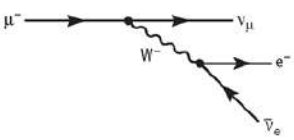
77 a



b



c



78 Doen.

79 a Figuur 14.50 toont het gedetailleerdere quarkniveau.

b Een d-quark zendt een gluon uit en vertrekt uit het neutron. Het gluon splitst in een d- en een anti-d-quark, dat met het d-quark meegaat. Samen vormen ze een π^0.
In het proton gebeurt het omgekeerde. Het anti-d-quark annihileert het d-quark in het proton en zendt een gluon uit. Het gluon wordt geabsorbeerd door het d-quark uit het π^0 en neemt plaats in het proton.

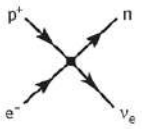
80 Werkblad

Toepassing

Opgave 1 Supernova

1 $p = \rho g h = \dfrac{5 \cdot 10^{31}}{\frac{4}{3}\pi\,(8 \cdot 10^{10})^3} \times 0{,}5 \times 8 \cdot 10^{10} = 9 \cdot 10^8$ Pa

2



3 $\Delta m = m(\text{Fe-59}) - 26\,m_e - m(\text{Co-59}) + 27\,m_e - m_e$
$= m(\text{Fe-59}) - m(\text{Co-59}) = 0{,}00168$ u
$= 1{,}56$ MeV/c²

4 Bij de reacties ontstaan heel veel neutrino's, die bijna niet met de andere materie reageren en zodoende vrijwel ongehinderd kunnen ontsnappen, waarbij ook hun energie uit de kern verdwijnt.

Opgave 2 Antares

5 Stap 1: tijdsymmetrie toepassen geeft
$p^+ + e^- \rightarrow \nu + n$
Stap 2: het elektron en het neutrino via kruisen naar de andere kant brengen
$\overline{\nu} + p^+ \rightarrow n + e^+$

6 De kans per atoomkern op een reactie met een neutrino is erg klein.
Alleen door erg veel atoomkernen te gebruiken blijft nog een meetbaar signaal over.

7 Door naar beneden te kijken worden storende signalen ten gevolge van kosmische straling zoveel mogelijk onderdrukt.

8 $c_{water} = c/n_{water} = 2{,}24 \cdot 10^8$ m/s

9 Uitgaande van drie bakens liggen de afstanden tot deze bakens vast door de aankomsttijden van de signalen.
(De microfoon ligt als het ware op de top van een piramide, met deze afstanden als de ribben.)
Er is nog een punt met dezelfde afstanden tot alledrie de bakens, maar dit punt ligt onder de grond, dus drie is inderdaad genoeg.

© Noordhoff Uitgevers bv

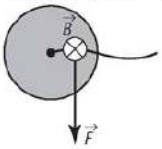
10 Het achtergrondfoton heeft een energie van ongeveer:
$E_2 = hf = 6.6 \cdot 10^{-23}$ J
Berekenen van $m_e^2 c^4$ geeft
$m_e^2 c^4 = 6{,}7 \cdot 10^{-27}$ J
Met de voorwaarde:
$E_1 \geq 6{,}7 \cdot 10^{-27} / 6{,}6 \cdot 10^{-23}$
Geeft dit:
$E_1 \geq 10^{-4}$ J

Opgave 3 Op zoek naar Higgs

11 $125\ \text{GeV/c}^2 = \dfrac{125 \cdot 10^9 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{(2{,}998 \cdot 10^8)^2}$

$= 2{,}23 \cdot 10^{-27}$ kg

12 Het magneetveld is het papier in gericht. De lorentzkracht is in het vlak van tekening naar beneden gericht.



Uit een richtingsregel volgt dat de stroom van rechts naar links gaat in het vlak van tekening. Omdat het deeltje van links naar rechts beweegt, is de lading van het deeltje negatief. Het is dus een muon.

13 Een deeltje en zijn antideeltje hebben tegengestelde ladingen. Dus werkt de lorentzkracht op het antideeltje in de andere richting, vergeleken met zijn bewegingsrichting. Dus is b het goede antwoord.

14 Invullen van de eenheden in de formule levert:
J (= Nm) = TCms^{-1}m
De formule voor de lorentzkracht luidt: $F_L = B\,q\,v$
Invullen van deze formule levert: N = TCms^{-1}
Combineren van beide levert: Nm = Nm.

15 Wij gebruiken de formule $E = B\,q\,c\,r$.
Als deeltjes afremmen wordt E kleiner. Daardoor wordt r kleiner. Dus kan oorzaak I de grotere straal niet verklaren. Als B kleiner is, dan is r groter. De straal buiten de cirkel is groter. Dus kan oorzaak II de grotere straal wel verklaren.

16 Voor de straal van de baan binnen de cirkel is de schatting: $r = 5$ m.
Invullen in de formule levert:
$E = Bqrc = 4 \times 1{,}6 \cdot 10^{-19} \times 5 \times 3 \cdot 10^8$
$= 1 \cdot 10^{-9}$ J
Deze energie komt overeen met een massa van
$m = \dfrac{E}{c^2} = \dfrac{1 \cdot 10^{-9}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 1{,}1 \cdot 10^{-26}$ kg
Er ontstaan 4 deeltjes, dus volgt voor de massa van het Higgs-deeltje: $m = 4 \cdot 10^{-26}$ kg.

17 $125\text{GeV/c}^2 = \dfrac{125 \cdot 10^9 \times 1{,}602 \cdot 10^{-19}}{(2{,}998 \cdot 10^8)^2}$

$= 2{,}23 \cdot 10^{-27}$ kg

Er is ongeveer een factor 18 verschil met het antwoord van vraag 16. Dit lijkt veel, maar er zijn ook een aantal onzekere factoren, zoals:
- er is aangenomen dat alle vier de muonen gelijke energie hadden;
- er is geen rekening gehouden met de energie die het Higgs-deeltje had bij zijn ontstaan.

Verder is het zo dat er allerlei processen zijn die muonen produceren. Op grond van één waarneming zoals deze vallen dus geen conclusies te trekken. Alleen als er heel veel waarnemingen gedaan worden en er op den duur meer van deze resultaten zijn dan kan worden verklaard op grond van andere processen, dan kunnen er conclusies over het Higgs worden getrokken.
Dit is inmiddels gebeurd, en het Higgs is dus eigenlijk waargenomen als een piekje in een grafiek. Een piekje dat er zonder Higgs niet had mogen zijn.

Proefwerkopgaven

1 a $E = hf = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6{,}6261 \cdot 10^{-34} \times 2{,}9979 \cdot 10^8}{589{,}6 \cdot 10^{-9}}$
$= 3{,}369 \cdot 10^{-19}$ J

b De impuls van het foton is
$p = h/\lambda = 1{,}1238 \cdot 10^{-27}$ kg·m/s.
Deze impuls wordt overgenomen door het Na, dat dus een snelheid krijgt van
$v = \dfrac{1{,}1238 \cdot 10^{-27}}{22{,}990 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}} = 0{,}0294$ m/s

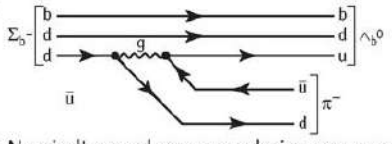
c $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 1{,}650 \cdot 10^{-18}$ J

d De kinetische energie van het atoom is verwaarloosbaar in vergeljking met de energie van het foton, dus $E_{2,1} = E_f = 3{,}369 \cdot 10^{-19}$ J.

2 a Quarksamenstelling Σ_b^-: ddb

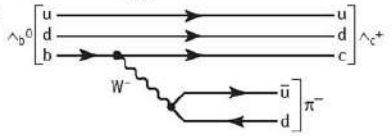
b Er wordt een π^- ($\bar{u}$d) uitgezonden en er ontstaat een Λ_b^0 (udb). Er wordt een u $\bar{u}$-paar geproduceerd, er vindt geen verandering van quarksmaak plaats en er ontstaan geen leptonen → een sterk verval.

c

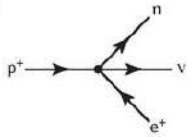


d Nu vindt er wel een verandering van quarksmaak plaats (b → c) en dit kan alleen via de zwakke wisselwerking plaatsvinden.

e



3 a



© Noordhoff Uitgevers bv

b 'Het positron verliest zijn bewegingsenergie' zullen we zo opvatten dat de energie van het positron (inclusief rustenergie) in drie significante cijfers gegeven mag worden:
$\rightarrow v < \approx 10^3$ m/s en $E = 511$ keV.
Bij de annihilatie van het elektron en het positron komt dan 2×511 keV aan energie vrij, die gelijk verdeeld wordt over de twee fotonen. Een foton met energie 511 keV heeft 511 keV/c impuls. Omgerekend naar SI-eenheden geeft dit

$$p = \frac{511 \times 1{,}602 \cdot 10^{-16}}{2{,}998 \cdot 10^{8}} = 2{,}73 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

c De totale impuls voorafgaand aan de annihilatie is nul. Wegens impulsbehoud moet de totale impuls na de annihilatie ook nul zijn. Dit kan alleen als er minstens twee fotonen ontstaan.

d $$N_{\text{instabiel}}(t) = \frac{A(t) \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{2{,}25 \cdot 10^{13} \cdot 244 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln 2}$$
$$= 6{,}84 \cdot 10^{20}$$
$$\frac{N_{\text{instabiel}}}{N_{\text{totaal}}} \cdot 100\% = \frac{6{,}84 \cdot 10^{20}}{4{,}6 \cdot 10^{22}} \cdot 100\% = 1{,}5\%$$

e Het positron rechts van de pijl is overgegaan in een elektron links van de pijl, dus we zien dat het positron gekruist is: $X(e^+)$

f Links van de pijl in vergelijking B is meer massa dan in vergelijking A. Bovendien is rechts in B minder massa dan rechts in A, dus zal vergelijking B minder energie kosten.

g In reactie B ontsnapt alleen een neutrino uit de kern en die wordt met zeer grote waarschijnlijkheid niet waargenomen.

© Noordhoff Uitgevers bv

Hoofdstuk 15
Biofysica

Introductie

1 De duikreflex treedt op als je gezicht in aanraking komt met koud water. Op dat moment stopt je ademhalingsreflex en je hartslag vertraagt.
Met name jonge kinderen hebben hierdoor een hogere overlevingskans als ze in het water vallen.

2 Als je heel diep duikt (~90 m) wordt de druk op je longen zo groot dat ze zo ver samengeperst worden dat ze loskomen van de binnenkant van je borstkas. Dit veroorzaakt hevige pijn.
Dit wordt voorkomen doordat er bloedplasma (het doorzichtige deel van je bloed) in je longblaasjes stroomt. De longen worden opgevuld met vloeistof en kunnen daarom niet verder samengeperst worden. Het bloedplasma is afkomstig uit de kleine vaten in je ledematen.

3 Valsalva: je neus dichtdrukken en vervolgens proberen via je neus uit te ademen.
Frenzel: je neus dichtdrukken, tong tegen de bovenkant van je mond aandrukken (zo ver mogelijk naar voren), de achterkant van de tong voorzichtig omhoog bewegen (alsof je aan het slikken bent).
BTV: je onderste kaak tegelijkertijd naar onder en naar voren bewegen terwijl de mond gesloten is (een soort overdreven geeuw).
Toynbee: je slikt met gesloten mond en neus.

4 Eigen antwoord.

5 Eigen antwoord.

6 Je kunt bijvoorbeeld een schaalverdeling aanbrengen op de open reageerbuis.

15.1 Spraak en gehoor

1 **a** Dit is een transversale golf.
b Geluid is een longitudinale golf.

2 **a** In de figuur komt 1,7 cm overeen met 1,4 cm.
In de figuur is het oppervlak te bepalen met behulp van de driehoek die de opening vormt. De afmetingen daarvan zijn b × h = 0,7 cm × 1,4 cm. Als je rekening houdt met de schaal van de figuur $\left(\frac{1,7}{1,4}\right)$ komt dit neer op een afmeting van b × h = 0,85 × 1,7.
Het oppervlak is dan:
$\frac{1}{2}b \cdot h = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 1,7 = 0,72\ \text{cm}^2 = 7,2 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^2$.
b Om deze opgave op te lossen moet je er van uit gaan dat er geen plateaufase is (de lucht staat nooit stil in je longen) en dat je even snel inademt als uitademt.
Omdat je 0,50 liter inademt én uitademt gaat er per minuut 2 × 0,50 × 14 = 14 liter lucht door je luchtpijp. Dat is gelijk aan 0,233 liter per seconde.
0,233 liter = $2,33 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^3$
Deze lucht gaat door een opening van $7,2 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^2$.
Voor de stroomsnelheid geldt dan:

$$\frac{2,33 \cdot 10^{-4}}{7,2 \cdot 10^{-5}} = 3,2\ \text{m/s}$$

c De stroomsnelheid is $\frac{4,3}{3,24} = 1,33$ maal zo groot. Dat betekent dat er in dezelfde tijd 1,33 maal zo veel lucht moet worden ingeademd.
1,33 × 0,50 = 0,66 liter per inademing.

3 **a** Aan de voorkant in het midden van je hals. Bij het slikken beweegt hij op en neer.
b Die van mannen is veel groter.
c Hoe kleiner de adamsappel, hoe hoger de toon.

4 **a** De glij- en vloeiklanken zijn al gegeven. Bij de neusklanken komt er geen lucht uit je mond en bij de plofklanken bouw je luchtdruk op in je mond. De rest is wrijfklank. De c kan op twee manieren uitgesproken worden. Voor een u, o of a spreek je de c uit als k.

glij	*vloei*	*plof*	*neus*	*wrijf*
j,w	l,r	b, c (voor u/o/a), d, k, p, q, t, x	m, n (ng)	c (niet voor u/o/a), f, g, h, s, v, z (sch, ch)

b Er ontstaat extra luchtwrijving omdat je lucht door een kleine opening perst.
c Een wrijfklank is een medeklinker die geproduceerd wordt met een gedeeltelijke afsluiting in het spraakkanaal. Hierdoor ontstaat hoorbare luchtwrijving.

5 **a** Het gaat om de verhouding tussen de frequenties. Door de verhouding te vergelijken met de verhoudingen van de frequenties in de tabel kun je de klinker bepalen.
b a
De verhouding tussen de twee formanten met de laagste frequentie is 1020 : 680 = 1,5. Dit komt het best overeen met de a.

© Noordhoff Uitgevers bv

c a en i
Bovenste plaatje: 1100 : 800 = 1,4 , dus a.
Onderste plaatje: 2300 : 300 = 8 , dus i.

6 De samengestelde klinkers, zoals de 'oe', 'ie', 'eu', 'ei', 'ij' en 'aa'.

7 a recht
Dankzij de kracht van de stijgbeugel ontstaat een druk op het ovale venster die recht evenredig is met de grootte van het oppervlak van het trommelvlies.
b Het oppervlak van het trommelvlies is 30 maal zo groot, dus de druk op het ovale venster is 30 maal zo groot.
c De gehoorbeentjes versterken dit drukverschil met een factor 1,3. De druk op het ovale venster is nu $30 \times 1{,}3 = 39$ maal zo groot.
d $39^2 = 1521 = 1{,}5 \cdot 10^3$ maal zo groot.
e Omdat achter het ovale venster vloeistof zit weerkaatst het geluid voor een groot gedeelte. De geluidsintensiteit wordt dus 875 maal zo klein. Deze is nu dus $\frac{1521}{875} = 1{,}7$ maal zo groot.
f Het middenoor dient om het verlies in geluidsintensiteit door de overgang van lucht naar vloeistof te compenseren.

8 De versnelling wordt bepaald met behulp van het verschil in traagheid. Dit is onafhankelijk van de zwaartekracht en wordt dus niet beïnvloed door de gewichtloze situatie.

9 a $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \rightarrow 100 =$

$10\log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$

$10 = \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) \rightarrow 10^{10} = \frac{I}{10^{-12}}$

$I = 10^{10} \times 10^{-12} = 0{,}01\ \text{W/m}^2$
b 106 dB
16 toeters betekent 4 maal zo veel, ofwel 2 maal 2 maal zo veel. Het geluidsniveau neemt dus toe met 6 dB.
c 130 dB is 30 dB meer dan 100 dB. 30 dB is 10 maal 3 dB extra. De hoeveelheid toeters moet dus 10 maal verdubbelen. $2^{10} = 1024$. Er zijn dus $1024 \times 4 = 4096 = 4{,}1 \cdot 10^3$ toeters nodig.

10 a De intensiteit is te berekenen met $I = \frac{P}{4\pi r^2}$.
Als de afstand r verdubbelt dan wordt de intensiteit vier maal zo klein. Dit betekent twee maal een afname van 3 dB, dus 6 dB.
b 84 dB
$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4\pi \times 4{,}0^2} = 2{,}49 \cdot 10^{-4}\ \text{W/m}^2$

$L = 10\log\frac{I}{I_0} = 10\log\frac{2{,}49 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 10\log 2{,}49 \cdot 10^{-8}$

$L = 84$ dB
c 0,63 m
Het verschil is 16 dB. Dat zijn
$\frac{16}{6} = 2{,}667$ stappen van 6 dB. De afstand is dus $2^{2{,}667} = 6{,}35$ maal zo klein. $\frac{4}{6{,}35} = 0{,}63$ m. *Het kan ook zo:* $L = 10\log\frac{I}{I_0} \rightarrow 100 = 10\log\frac{I}{10^{-12}}$

$10^{10} = \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow I = 10^{10} \times 10^{-12} = 0{,}010\ \text{W/m}^2$ (dit volgt ook uit opgave 9a)

$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \rightarrow 0{,}010 = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4\pi r^2}$

$r = \sqrt{\frac{50 \cdot 10^{-3}}{4\pi \times 0{,}010}} = 0{,}63$ m

11 a Nee, die toon kun je niet horen. Dit punt ligt onder de gehoordrempel.
b Een geluidssterkte van ongeveer 45 dB.

12 Een demping van 15 dB betekent 5 maal een 3 dB demping, oftewel 5 maal een halvering van de geluidssterkte. $\frac{100\%}{2^5} = 3{,}1\%$. Dus $100 - 3{,}1 = 97\%$ van het geluid wordt niet doorgegeven.

13 a In *Binas* tabel 27C1 kun je de waarden nauwkeuriger aflezen. De daar gevonden getallen staan hierna tussen haakjes. Het geluidsniveau bij 1000 Hz is 2(0) dB en het geluidsniveau bij 200 Hz is ongeveer 12(10) dB. 10 dB verschil is meer dan drie maal 3 dB verschil, dus meer dan drie maal een verdubbeling van de geluidsintensiteit. $2^3 = 8$ dus het geluid is meer dan acht maal zo hard.
b Een toon van een bepaald aantal foon klinkt voor elke frequentie even hard.
De schaal is geijkt op een frequentie van 1 kHz, dus 80 dB is bij 1 kHz gelijk aan 80 foon.

14 a Bij een man van 30 jaar moet een toon van 200 Hz een geluidsniveau hebben dat 0 dB hoger moet liggen dan de gehoordrempel. De gehoordrempel voor deze toon is 12(10) dB. Dat betekent dat deze man een toon van 200 Hz en 5 dB niet kan horen.
b Een 70-jarige vrouw heeft voor een toon van 1000 Hz een geluidsniveau nodig dat 14 dB hoger ligt dan de gehoordrempel. De gehoordrempel voor deze toon ligt op 2(0) dB. De toon moet dus een geluidsniveau hebben van 14 + 2(0) = 16(14) dB. De vrouw kan de toon dus niet horen.

15 a Meet zelf de afstand s tussen je oren.
$t = \frac{s}{v} = \frac{s}{343} = 2{,}92 \cdot 10^{-3} \times s = \ldots$ seconde
Voor bijvoorbeeld $s = 0{,}20$ m is het 58 ms.
b In water van 293 K heeft het geluid een snelheid van 1484 m/s. De snelheid in lucht is bij deze temperatuur 343 m/s.
Onder water gaat geluid
$\frac{1484}{343} = 4{,}33$ maal zo snel.
c Deel je antwoord op onderdeel a door 4,33.
Bij ons voorbeeld is het 13 ms.
d Je oren registreren ook een verschil in geluidsniveau. Dit kan bij hoge tonen oplopen tot 35 dB. Dit zegt ook iets over de richting van het geluid.
Er is ook een verschil in fase.
e Voor een toon van 200 Hz is de golflengte:
$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{200} = 1{,}72$ m. Dit is veel groter dan je oorschelp, dus je hoort nauwelijks verschil tussen voor en achter. Omdat lage tonen een relatief klein verschil in geluidsniveau hebben over een afstand van 20 cm (de afstand tussen je oren) hoor je ook weinig verschil tussen links en rechts. Bovendien is

© Noordhoff Uitgevers bv

het faseverschil erg klein, dus daar zit ook weinig informatie over de richting in.

f Door de grotere geluidssnelheid is volgens $\lambda = \frac{v}{f}$ de golflengte ook groter dan boven water. Dat maakt het moeilijker om het verschil tussen voor en achter te bepalen.

16 a Het geluid dat in je oren komt wordt vervormd door de weerkaatsing op je hoofd en demping door je hoofd. Omdat deze weerkaatsing niet op dezelfde manier plaatsvindt bij het afspelen met meerdere luidsprekers moet deze informatie er tijdens het opnemen al ingestopt worden.

b Bij katten zitten de oren dichter bij elkaar dan bij mensen. Katten zijn dus kortere tijdverschillen gewend dan mensen. Het is daarom mogelijk dat het geluid voor katten nog meer 3D klinkt dan voor mensen. Aan de andere kant hebben katten een andere vorm van kop en oorschelp, dus missen ze misschien informatie die wij wel als 3D interpreteren.

15.2 Afbeeldingen en zicht

17 Een duimbreedte is 25,4 mm (1 inch). Zie *Binas* tabel 5.

$$\frac{\textit{duimbreedte}}{\textit{afstand tot duim}} = \frac{\textit{hoogte brandaris}}{\textit{afstand tot brandaris}}$$

$$\frac{2{,}54\text{ cm}}{54\text{ cm}} = \frac{54\text{ m}}{\textit{afstand tot brandaris}}$$

De afstand tot de brandaris is dus:

$$54\text{ m} \times \frac{54\text{ cm}}{2{,}54\text{ cm}} = 1148\text{ m} = 1{,}1\text{ km}$$

Met een snelheid van 3,0 km/h duurt dat

$$t = \frac{x}{v} = \frac{1148}{3{,}0/3{,}6} = 1378\text{ s} = 23\text{ min}$$

18 a De letters van lijn 8 zijn 1,2 mm hoog. De hoek moet 5 boogminuten zijn, dus:

$$\alpha = 5 \times \frac{1}{60} = \frac{5}{60}\text{ graden}$$

Voor de hoek geldt: $\tan\alpha = \frac{\textit{hoogte}}{\textit{afstand}}$

$$\tan\frac{5}{60} = \frac{xx}{\textit{afstand}} \rightarrow \textit{afstand} = \frac{1{,}2}{\tan\frac{5}{60}} = 0{,}825\text{ m} = 83\text{ cm}$$

b Eigen antwoord.

19 a Eigen antwoord.

b Dit komt doordat de staafjes in groepjes werken. Zo zijn ze in staat om ook weinig licht waar te nemen, maar kun je minder details zien.

20 Je ogen zijn gevoeliger voor de kleuren in het midden van het spectrum. De kleuren aan de rand worden nog maar net waargenomen en zien er daarom donkerder uit.

21 a Voor een golflengte van ongeveer 560 nm.

b De wet van Wien: $\lambda_{max} \cdot T = k_w$

$$\lambda_{max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{5780} = 5{,}01 \cdot 10^{-7}\text{ m}$$

$\lambda_{max} = 501$ nm

c Je ogen zijn het gevoeligst voor een golflengte die ongeveer overeenkomt met de golflengte die door de zon het meest wordt uitgestraald.

22 Als je kegeltjes helemaal niet meer werken ben je heel slecht in het waarnemen van details.

23 a Ja, de blokken lijken even hoog. De bovenkant van de blokken ligt op dezelfde perspectieflijn.

b De voorkant van het middelste blok is twee maal zo groot als de voorkant van het rechter blok. Het rechter blok staat dus twee maal zo ver weg.

c Je krijgt alleen informatie over de hoogte ten opzichte van een ander voorwerp in de buurt en de afstand relatief tot een ander voorwerp. Je krijgt geen informatie over hoe hoog een voorwerp werkelijk is en hoe ver een voorwerp werkelijk bij je vandaan staat.

24 a Voor de halve convergentiehoek $\frac{1}{2}\alpha$ geldt:

$$\tan\tfrac{1}{2}\alpha = \frac{\frac{1}{2}d}{s} \Rightarrow s = \frac{d}{2\tan\frac{\alpha}{2}}$$

Ga na dat voor niet al te grote hoeken geldt $s = \frac{d}{\tan\alpha}$

b Je ogen zitten ongeveer 6,5 cm uit elkaar.
Met behulp van je geodriehoek kan je de convergentiehoeken in de figuur bepalen. Deze zijn van links naar rechts 6, 11, 20 en 35 graden.
Omdat 35 graden een grote hoek is kun je beter niet de vereenvoudigde formule gebruiken.
De afstand voor de linker figuur wordt dan:

$$s = \frac{6{,}5}{2\tan 3} = 62\text{ cm}$$

Voor de andere figuren wordt dit

$$s = \frac{6{,}5}{2\tan 5{,}5} = 34\text{ cm}$$

$$s = \frac{6{,}5}{2\tan 10} = 18\text{ cm}$$

$$s = \frac{6{,}5}{2\tan 17{,}5} = 10\text{ cm}$$

c In figuur 17.23 is de afstand tussen de ogen 4,0 mm. De schaal is 65/4 = 16. De afstanden in figuur 17.23 zijn (van links naar rechts) 34, 20, 11,5 en 6,5 mm. Dit is in werkelijkheid 55, 32, 19 en 10 cm. Bij een grotere convergentiehoek wordt het procentuele verschil tussen de formuleberekening en de schaalberekening groter. De formule geldt het best voor kleine hoeken.

25 a Bij deze afbeeldingen moet je scheel kijken richting je neus (convergent) om de diepte te zien. Er is in dit geval niet voor divergent scheel kijken gekozen omdat daar enige oefening voor nodig is. Je rechter oog kijkt dus naar de linker afbeelding. Dus bij de linker afbeelding is de camera naar rechts verschoven.

b Er is dan een groter verschil tussen beide afbeeldingen. Hierdoor lijkt het alsof het voorwerp dichter bij staat dan werkelijk het geval is.

15.3 Warmte en lichaamstemperatuur

26 a Voor het warmteverlies geldt $P_{verlies} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$.
Met een lichaamstemperatuur van 37,0 °C is het temperatuurverschil $\Delta T = 37{,}0 - -18 = 55$ °C.
Voor het oppervlak geldt:

$$A = \frac{\sqrt{\ell\, m}}{6} = \frac{\sqrt{1{,}60 \times 50}}{6} = 1{,}49\ m^2$$

De thermische weerstand $R = R_v + R_h$ met

$R_v = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \times 10 = 2{,}5 \cdot 10^{-1} \frac{m^2K}{W}$

$R_h = 3{,}4 \cdot 10^{-2} \times 0{,}35 = 1{,}19 \cdot 10^{-2} \frac{m^2K}{W}$

$R = 2{,}5 \cdot 10^{-1} + 1{,}19 \cdot 10^{-2} = 2{,}619 \cdot 10^{-1}$ m²K/W

$P_{verlies} = \frac{1{,}49 \times 55}{2{,}619 \cdot 10^{-1}} = 3{,}1 \cdot 10^2$ W

b Het temperatuurverschil is $\Delta T = 30 - -18 = 48$ °C
Voor het oppervlak geldt:

$A = \frac{\sqrt{\ell m}}{6} = \frac{\sqrt{1{,}82 \times 83}}{6} = 2{,}05$ m²

De thermische weerstand $R = R_v + R_h$ met

$R_v = 4{,}8 \cdot 10^{-2} \times 21 = 1{,}008$ m²K/W

$R_h = 3{,}4 \cdot 10^{-2} \times 2{,}55 = 8{,}67 \cdot 10^{-2}$ m²K/W

$R = 1{,}008 + 8{,}67 \cdot 10^{-2} = 1{,}0947$ m²K/W

$P_{verlies} = \frac{2{,}05 \times 48}{1{,}0947} = 90$ W

27 a 1 kcal = 4184 J

$1780 \frac{kcal}{dag} = 1780 \times \frac{4184}{24 \times 60 \times 60} = 86{,}20$ W

b Nee, alleen al het warmteverlies door geleiding is in het meest gunstige geval ongeveer gelijk aan je ruststofwisseling. Er zijn ook nog andere vormen van warmteverlies, namelijk stroming (ademhaling) en straling (infrarood).

c Straling en stroming.

d Dit onderdeel is bedoeld voor degene die in onderdeel b nog niet aan stroming en straling gedacht heeft. Het juiste antwoord staat al bij onderdeel b.

28 a Het temperatuurverschil is 37 – 28 = 9 °C.
Noem de lengte van je arm ℓ (m) en de omtrek b (m).
De straal van de arm is $r = \frac{b}{2\pi}$, dus het oppervlak is $A = \pi r^2 = \frac{b^2}{4\pi}$.
De thermische weerstand is gelijk aan
$R = 1000\ell \times 1{,}7 \cdot 10^{-2} = 17\ell$
Invullen van $P_{verlies} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$ geeft

$P_{verlies} = \frac{b^2 \cdot 9}{4\pi \cdot 17\ell} = 0{,}042 \frac{b^2}{\ell}$

Een gemiddelde arm heeft $b = 0{,}25$ m en $\ell = 0{,}65$ m.
Met ons voorbeeld komt het neer op

$P_{verlies} = 0{,}042 \frac{0{,}25^2}{0{,}65} = 4{,}0$ mW

b Een gemiddeld been heeft b = 0,40 m en $\ell = 0{,}80$ m.
Let op, want het temperatuurverschil is kleiner. Dat verandert met een factor 6:9.
Met ons voorbeeld komt het neer op

$P_{verlies} = \frac{6}{9} \frac{b^2 \cdot 9}{4\pi \cdot 17\ell} = 0{,}028 \frac{0{,}40^2}{0{,}80} = 5{,}6$ mW

c Met ons voorbeeld komt het neer op
$2 \times 4 + 2 \times 5{,}6 = 19{,}2$ mW
Het warmteverlies door geleiding in je ledematen kun je in de praktijk dus verwaarlozen.

29 a 67 kJ
Per minuut stroomt de helft van 5,0 liter door je ledematen. Het koelt daarbij 7,0 °C af. De warmte die het verliest is:
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 3{,}6 \cdot 10^3 \times 2{,}5 \cdot 10^{-3} \times 1060 \times 7{,}0$
$Q = 67$ kJ
Zoveel energie moet je lichaam ook leveren om het bloed weer op te warmen.

b Er moet 67 kJ geleverd worden in een minuut. Het vermogen is dan $P = \frac{67 \cdot 10^3}{60} = 1{,}1$ kW

c 60 W
De massa verandert met een factor 0,75 en 0,5 °C in plaats van 7 °C is een factor 1/14.
$1113 \times 0{,}75 \times \frac{1}{14} = 60$ W

30 a Stroming, straling en geleiding zijn alledrie goed te berekenen. Opmerking: Verdamping hoort bij geen van drieën.

b Tabel 12: $2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg

c 0,319 L
Via transpiratie moet je 200 J/s aan warmte afvoeren. Per uur is dit $200 \times 60 \times 60 = 720$ kJ.
Voor het verdampen van een kg water is $2{,}26 \cdot 10^6$ J nodig. Per uur moet er $\frac{720000}{2{,}26 \cdot 10^6} = 0{,}319$ kg water verdampt worden. Dit komt overeen met $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}319}{0{,}998} = 0{,}319$ L.

31 a $Q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \times \ell \cdot \eta}$ dus er geldt $\eta = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \times \ell \cdot Q}$.

$[\eta] = \frac{[p] \times [r]^4}{[\ell] \times [Q]} = \frac{N \cdot m^{-2} \cdot m^4}{m \cdot m^3 \cdot s^{-1}} = \frac{N \cdot m^2}{m^4 \cdot s^{-1}}$

$[\eta] = Ns/m^2$

b Voor een verdubbeling van het bloedstroomvolume moet r^4 verdubbeld worden.
$(nr)^4 = 2 \times r^4 \Rightarrow n^4 = 2 \Rightarrow n = \sqrt[4]{2}$
Dit betekent dat de straal een factor $2^{1/4} = 1{,}19$x zo groot moet worden.

c $Q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \times \ell \cdot \eta} \rightarrow \Delta p = \frac{8 \times Q \cdot \ell \cdot \eta}{\pi \cdot r^4}$

$\Delta p = \frac{8 \times 5{,}0 \cdot 10^{-8} \times 2{,}5 \cdot 10^{-2} \times 4{,}0 \cdot 10^{-3}}{\pi \times \left(\frac{0{,}50 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^4} = 3259$ Pa

$\Delta p = 3{,}3 \cdot 10^3$ Pa

Dit komt overeen met een hoogteverschil van 32 cm, het zakje moet dus 32 cm boven de naald hangen.

32 a Het kind heeft op de rug de hoogste temperatuur en straalt daardoor veel warmte uit. Het oppervlak is echter veel kleiner dan dat van de man en vrouw. De vrouw lijkt meer warmte uit te stralen dan de man door de hogere temperatuur op de rug met een vergelijkbaar oppervlak.

b Het kind zal het snelst onderkoeld raken omdat de verhouding tussen zijn volume en oppervlak het meest ongunstig is. Hierdoor straalt het kind in verhouding (met zijn massa) veel warmte uit.

33 a 491 W/m²
$I = \sigma T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 32)^4 = 491$ W/m²

b 1,0 kW
Voor het vermogen hebben we het oppervlak nodig.
Er geldt: $A = \frac{\sqrt{\ell m}}{6} = \frac{\sqrt{1{,}93 \times 83}}{6} = 2{,}11$ m².
$P = I \cdot A = 491 \times 2{,}11 = 1036 = 1{,}0$ kW.

c 0,88 kW
$P = I \cdot A = \sigma \cdot T^4 \cdot A$
$P = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 20)^4 \times 2{,}11 = 0{,}88$ kW

d 0,15 kW
Het verschil in vermogen tussen uitgezonden en ontvangen straling is 1,04–0,88=0,15 kW.
Het is hier belangrijk dat je doorrekent met de onafgeronde getallen.

© Noordhoff Uitgevers bv

e De ruststofwisseling van 86,2 W is lager dan het warmteverlies door straling. Je moet dus kleding dragen in je huiskamer om niet onderkoeld te raken.

f Je kleding heeft aan de binnenkant een veel hogere temperatuur dan de kamerlucht waardoor je bijna net zoveel warmtestraling ontvangt als uitstraalt. De buitenkant van je kleding is een stuk koeler dan je lichaam, waardoor je minder warmtestraling verliest aan je huiskamer.
Het grote temperatuurverschil tussen de binnenkant en buitenkant van je kleding is mogelijk door de slechte warmtegeleiding (goede isolatie). Als je kleding goed afsluit stroomt er geen koude lucht tussen jou en je kleding, waardoor de binnenkant lekker warm blijft.

34 5,0 h
Om deze opgave uit te kunnen rekenen moet je ervan uitgaan dat Ineke geen kleding aan heeft. Met kleding weet je namelijk niet hoeveel warmte ze verliest.
495 kcal is gelijk aan $495 \times 4184 = 2{,}071 \cdot 10^6$ J
Het vermogen dat Ineke kwijtraakt door straling is gelijk aan:
$P = (I_{uit} - I_{in}) \cdot A = \sigma \cdot (T_{huid}^4 - T_{kamer}^4) \cdot A$
$P = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \times ((273 + 35)^4 - (273 + 20)^4 \times 1{,}25 = 115$ W
$t = \frac{2{,}071 \cdot 10^6}{115} = 18017\ s = 5{,}0$ h

15.4 Druk in je lichaam

35 a $A = \pi r^2 = \pi \times (0{,}50 \cdot 10^{-2})^2 = 7{,}9 \cdot 10^{-5}$ m²
b $F = P \cdot A = 2{,}5 \cdot 10^5 \times 7{,}9 \cdot 10^{-5} = 20$ N
c $F = P \cdot A = P \cdot \pi r^2 = 2{,}5 \cdot 10^5 \times \pi \times \left(\frac{52 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2$
$F = 531$ N
Het is de vraag of dit lukt. Je kunt het uitproberen met je hand op een weegschaal tegen de voorkant van een open deur, en je andere hand tegen de achterkant van de deur. Je moet er zo hard op drukken dat hij tenminste 54 kg aangeeft.
Deze schrijver haalt 30 kg.

36 a De dichtheid van kwik is $13{,}5 \cdot 10^3$ kg/m³. De druk onderaan het buisje is:
$p = \rho \cdot g \cdot h = 13{,}5 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 1 \cdot 10^{-3} = 132$ Pa
(De dichtheid van kwik bij 273 K is gelijk aan $13{,}6 \cdot 10^3$ kg/m³. Dit geeft een druk van 133 Pa.)
b 120 torr
c $120 - 80 = 40$ torr
d 1 torr komt overeen met 133 Pa.
$40 \times 133 = 5{,}3 \cdot 10^3$ Pa
e Er geldt $P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P \cdot A$
Het oppervlak van je aorta bereken je met $A = \pi r^2$.
$A = \pi \left(\frac{2{,}5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4{,}91 \cdot 10^{-4}$ m²
$F = P \cdot A = 5{,}3 \cdot 10^3 \times 4{,}91 \cdot 10^{-4} = 2{,}6$ N
f Ten eerste de (systolische) bovendruk verhogen zodat de klep harder/strakker dichtslaat. Helaas verhoogt dit de kracht op de klep en verslechtert de werking ervan uiteindelijk hierdoor.
Ten tweede de hartslag verhogen zodat er minder bloed terug lekt en hetzelfde bloedpompvolume gehaald kan worden als normaal. Helaas is dit vermoeiend en het hart slijt hierdoor sneller.

37 a $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h = 1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 1{,}20 = 12478$
$\Delta p = 1{,}25 \cdot 10^4$ Pa
b $\Delta p = \frac{1{,}25 \cdot 10^4}{133{,}3} = 93{,}8$ torr
c De onderdruk moet dan afnemen met 80 torr. Dit is $80 \times 133{,}3 = 10664$ Pa.
$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \rightarrow 10664 = 1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times h$
$h = \frac{10664}{1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81} = 1{,}03$ m
d $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h = 1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 2{,}5 = 2{,}6 \cdot 10^4$ Pa
Dit komt overeen met 195 torr.
e Giraffen hebben stevige banden om hun poten die dezelfde functie hebben als steunkousen.

38 Vanwege de zwaartekracht is op aarde de onderdruk in je hoofd veel lager dan in je voeten. In het ISS heeft de zwaartekracht geen invloed. Hierdoor is de onderdruk in het gezicht hoger dan je gewend bent en daarom zijn de aderen (en lymfevaten) beter gevuld. Daarom ziet het gezicht van astronauten er roder en opgezwollen uit.
Tijdens je slaap in horizontale positie is dit ook zo, maar dan is je lichaam in rust en heb je een lagere bloeddruk (en temperatuur), je krijgt dan geen rood gezicht.

39 a $\Delta p = p \cdot g \cdot h \rightarrow 3500 = 1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times h$
$h = \frac{3500}{1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81} = 0{,}34$ m
b Bij a heb je alleen de druk van de bloedzak uitgerekend.
Ten eerste moet de druk in de bloedzak nog hoger zijn om de bloeddruk van de patiënt te kunnen compenseren.
Ten tweede is er kracht nodig om de tegenwerkende stroomweerstand in de buis en de naald te compenseren. Dit gaat ten koste van de druk.

40 a Het oppervlak van je longen is 80 m². Voor het oppervlak van een bol geldt $A = 4\pi r^2$
$80 = 4\pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{80}{4\pi}} = 2{,}52$ m.
Voor het volume van een bol geldt $V = \frac{4}{3}\pi r^3$
$V = \frac{4}{3} \times \pi \times 2{,}52^3 = 67$ m³
b Elke bol heeft dan een oppervlakte van 80/3 m². De straal van elke bol is dan:
$80/3 = 4\pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{80/3}{4\pi}} = 1{,}46$ m.
Dit geeft een volume per bol van:
$V = \frac{4}{3} \times \pi \times 1{,}46^3 = 13$ m³.
Het totale volume is dan $13 \times 3 = 39$ m³.
c C, want $67 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 39$
Of meer wiskundig:
Vergeleken met 1 bol wordt met n bollen het oppervlak per bol $\frac{1}{\sqrt{n}}$ keer zo groot.

© Noordhoff Uitgevers bv

Het volume van elke bol is vergeleken met 1 bol $\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)^3$ keer zo groot. Omdat er nu n bollen zijn is het totale volume $n \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)^3 = n^1 n^{-\frac{3}{2}} = n^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{n}}$.

d Bij 1 bol was voor 80 m² een volume nodig van 67 m³. Bij 700 miljoen bollen is dit dus:
$67 \times \frac{1}{\sqrt{700 \cdot 10^6}} = 0{,}0025\ m^3 = 2{,}5$ L.

41 $\Delta p = p \cdot g \cdot h = 1{,}06 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 0{,}28 = 2912$ Pa
$\Delta p = \frac{2912}{133{,}3} = 22$ torr

42 a Voor deze vraag is de wet van Laplace nodig: $p = \frac{2\sigma}{r}$. Hierin is p gelijk aan 1,0 bar en is de oppervlaktespanning gelijk aan 70 N/m.
$r = \frac{2\sigma}{p} = \frac{2 \times 70}{1{,}0 \cdot 10^5} = 0{,}0014$ m = 1,4 mm

b Met een straal van 1,4 mm heeft elk longblaasje een oppervlak van:
$A = 4\pi r^2 = 4 \times \pi \times 0{,}0014^2 = 2{,}46 \cdot 10^{-5}$ m²
Het totale longoppervlak is 80 m². Dit betekent dat je totaal $\frac{80}{2{,}46 \cdot 10^{-5}} = 3{,}25 \cdot 10^6$ longblaasjes nodig hebt.
Elk longblaasje heeft een volume van:
$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 0{,}0014^3 = 1{,}15 \cdot 10^{-8}$ m³
Het totale longvolume is dan:
$V = 1{,}15 \cdot 10^{-8} \times 3{,}25 \cdot 10^6 = 0{,}037$ m³ = 37 L

c Longblaasjes hebben een diameter van 0,2 mm. Als de longblaasjes open moeten blijven bij een druk van 1,0 bar dan is de oppervlaktespanning:
$\sigma = \frac{r \cdot p}{2} = \frac{\frac{0{,}2 \cdot 10^{-3}}{2} \times 1{,}0 \cdot 10^5}{2} = 5$ N/m

43 a Bij de inademing zet je borstkas uit. Als gevolg hiervan ontstaat extra onderdruk tussen je ribbenkast en je longen. Het juiste antwoord is dus: tijdens het inademen neemt de *onder*druk tussen deze vliezen toe.

b De lucht is er spontaan tussen gekomen. De lucht zal er daarom uit moeten worden gezogen. Vanwege de elasticiteit en de vloeistofdruk hebben je longen altijd de neiging om te krimpen. Er is daarom altijd onderdruk tussen je longvlies en je ribbenkast (behalve als je bijvoorbeeld een ballon opblaast of hard spreekt).

c In deze situatie is het alsof er een ballon opgeblazen wordt tussen je ribbenkast en je longvlies. Met een buisje zal de lucht er wel spontaan uitstromen, alleen het laatste restje niet. Dit zal de overlevingskans van de patiënt sterk vergroten.

44 a sneller
Als je op je handen staat komt er in verhouding meer lucht in de onderkant van je longen, omdat lucht nu eenmaal stijgt in een omgeving met een hogere dichtheid. Dit zou een argument kunnen zijn dat de uitademing langer duurt, maar het effect van de toegenomen druk is veel groter.
Doordat je op je handen staat heb je een veel hogere druk in je longen (je middenrif drukt naar beneden op je longen). Inademen kost meer moeite, maar uitademen gaat veel sneller.

b borstademhaling
Vanwege het gewicht van je organen op je middenrif beweegt je middenrif moeilijker omhoog (naar beneden ten opzichte van je lichaam).
De ribben worden dankzij de zwaartekracht al iets omlaag getrokken (omhoog ten opzichte van je lichaam) waardoor je aan borstademhaling doet.
Het juiste antwoord is dus: borstademhaling.

45 Op 10 m diepte heerst een druk van $p = \rho \cdot g \cdot h = 0{,}998 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 10 = 9{,}79 \cdot 10^4$ Pa
Hier moet de luchtdruk (1,0 bar) nog bij opgeteld worden. De totale druk is dan:
$p = 9{,}79 \cdot 10^4 + 1{,}0 \cdot 10^5 = 2{,}0 \cdot 10^5$ Pa
Voor de kracht op een vierkante centimeter geldt dan: $F = P \cdot A = 2{,}0 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-4} = 20$ N.

46 a De luchtdruk wordt 230 maal zo klein, het volume wordt dan 230 maal zo groot.
$230 \times 12 = 2760$ L $= 2{,}8 \cdot 10^3$ L

b $\frac{2760}{6} = 460$ minuten = bijna 8 uur

c De luchtdruk is op 10 m diepte ongeveer 2 bar. Dit is twee maal zo veel als boven water, het volume is dan ook twee maal zo klein: 2760 / 2 = 1380 L. Als je 6 L per minuut blijft inademen dan doe je 230 minuten = bijna 4 uur met een fles.

47 a Als je stijgt neemt de luchtdruk af. De lucht in je longen zet dan uit. Vooral de laatste meters is dit effect sterk. Als je van 10 meter diepte naar het oppervlak gaat halveert de druk, dus verdubbelt je longinhoud. Je longen kunnen niet zoveel uitzetten zonder dat je longweefsel beschadigt (scheurt).

b Als je van 5 m naar 0 m gaat.
De druk neemt dan af van 1,5 bar tot 1,0 bar. Dit is een factor 1,5.
Als je van 40 naar 35 m gaat neemt de druk af van 5,0 bar tot 4,5 bar.
Dit is slechts een factor 5,0 / 4,5 = 1,1. Het risico is dan kleiner.

48 a De lucht in het pak kan er dan niet uit. Omdat je stijgt, daalt de luchtdruk en de lucht zet uit. Je pak verandert in een opzwellende ballon. Je stijgkracht blijft hierdoor toenemen waardoor je steeds sneller stijgt tot het moment dat de ballon knapt. Het risico op caissonziekte en barotrauma is zeer groot.

b De lucht in het pak wordt er door de grote druk onder water uit geperst.

c Onder water is de druk 2,0 bar, in het pak is de druk 1,0 bar. Het drukverschil is dus 1,0 bar.

d $F = p \cdot A = p \cdot 4\pi r^2$
$F = 1{,}0 \cdot 10^5 \times 4 \times \pi \times 0{,}125^2 = 20$ kN
Je wordt dus finaal de helm in geperst. Dit is direct dodelijk.

e Een pak dat geheel van metaal, of geheel van rubber is gemaakt. De metalen variant is beter, want in de rubberen variant zou je direct zonder ademlucht komen te zitten als de slang knapt.

© Noordhoff Uitgevers bv

Toepassing

Opgave 1 Het slakkenhuis

1 De golven met de lage frequenties moeten de grootste afstand afleggen. De afstand tot het ovaal venster is het grootst.

2 De absorptie bij deze frequentie is 39 dB/m. Het orgaan van Corti heeft een lengte van 30 mm. De absorptie is dan: $39 \times 30 \cdot 10^{-3} = 1{,}2$ dB.

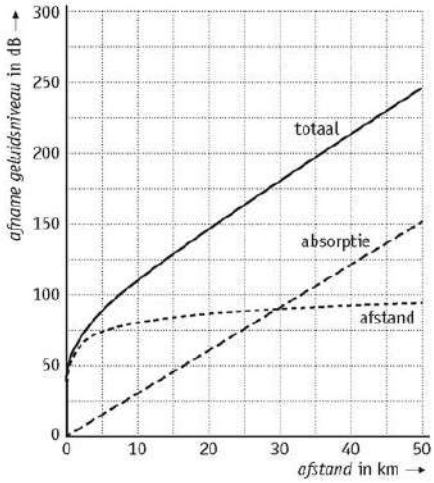
3 Er geldt $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.
$1{,}3 = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \rightarrow 0{,}13 = \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$
$\frac{I}{I_0} = 10^{0{,}13} = 1{,}4$. De intensiteit is dus met een factor 1,4 afgenomen.

4 Omdat hoge tonen gedempt worden en lage tonen niet is dit wel een voordeel voor de gevoeligheid van je oren. Of dit nu echt doorslaggevend is geweest weet je niet. Misschien is het wel onmogelijk om aan het begin de lage tonen te laten resoneren terwijl de hoge tonen intact blijven.

Opgave 2 De blauwe vinvis

5 De geluidsabsorptie in dB/m is gelijk aan:
$2 \cdot 10^{-7} f^2 + 0{,}0003 f$
Voor een frequentie van 10 Hz is de absorptie:
$2 \cdot 10^{-7} \times 10^2 + 0{,}0003 \times 10 = 0{,}00302$ dB/m = 0,003 dB/m.

6 Voor het verschil in geluidsniveau geldt:
$\Delta L = 10\log \frac{I}{I_0} = 10\log r^{-2} = -20\log r$ met r in meters.

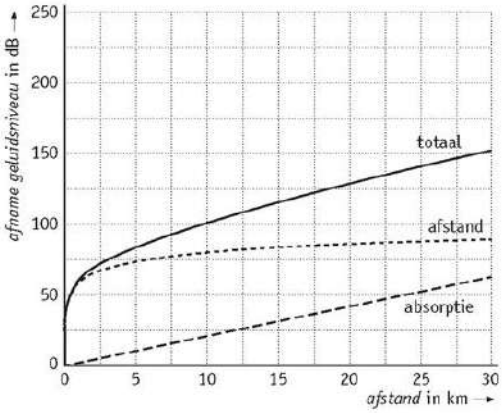
7


8 Beide zijn van belang. Pas voorbij de 30 km is de absorptie groter dan de afname dankzij de afstand.

9 23 km
De afname van het geluidsniveau mag maximaal 158 dB zijn (188–30). Op een afstand van 23 km is het geluidsniveau met 158 dB afgenomen.

10 In 50 jaar is het achtergrondgeluid met 15 dB toegenomen. Om over dezelfde afstand te kunnen blijven communiceren moet deze 15 dB volledig gecompenseerd worden. Dat kan door de frequentie te verlagen of de geluidssterkte te verhogen. Het is goed mogelijk dat de afname in frequentie een gevolg is van de toename in achtergrondgeluid.

11 26 km
De totale afname mag niet meer zijn dan 188 – 45 = 143 dB.
Bij deze toonhoogte is de afname per meter gelijk aan:
$\Delta L = 2 \cdot 10^{-7} \times 7^2 + 0{,}0003 \times 7 = 0{,}00211$ dB = 0,002 dB/m
Voor het verschil in geluidssterkte door de grotere afstand geldt nog steeds:
$\Delta L = 10 \log\frac{I}{I_0} = 10 \log r^{-2} = -20 \log r$
De totale afname is dus:
$\Delta L = 20 \log r + 0{,}00211\, r$
Omdat dit niet exact op te lossen is moet je een grafiek tekenen om het antwoord te bepalen.
De nieuwe grafiek voor de totale afname wordt:



Af te lezen is dat op een afstand van 26 km de totale absorptie gelijk is aan 143 dB.

Opgave 3 De kleurendriehoek van Maxwell

12 rood : groen : blauw
3 : 3 : 1

13 Alle kleuren die op de rand van de driehoek liggen kun je krijgen door twee kleuren te mengen. Alleen de kleuren in de hoeken krijg je met één kleur.

14 Uit *Binas* tabel 27A2 blijkt dat je kegeltjes het gevoeligst zijn voor licht met een golflengte van 422 nm, 535 nm en 568 nm.

15 Eigen antwoord.

16 Nee, je kunt alleen bepalen of er sprake is van rood-groen kleurenblindheid. Als één van beide kegeltjes niet werkt dan is de 2 in de figuur niet te onderscheiden van de achtergrond. Dit is echter het geval wanneer de rode niet werken, maar ook als de groene niet werken.

© Noordhoff Uitgevers bv

17 Eigen antwoord.

18 De kans bij mannen is 6%. De kans bij vrouwen is 6% van 6%, dus 0,36%.

Opgave 4 Oorthermometer

19 $\lambda_{max} = 9{,}352$ μm
Volgens de wet van Wien geldt: $\lambda_{max}T = k_w$
Dus $\lambda_{max} = \frac{k_w}{T} = \frac{2{,}8978 \cdot 10^{-3}}{36{,}7 + 273{,}15} = 9{,}352 \cdot 10^{-6}$ m.

20 Bij de stralingsthermometer vermindert een verontreiniging de energie die binnen de vaste periode de sensor bereikt. Hij wijst daardoor een te lage temperatuur aan. Bij een vloeistofthermometer heeft een verontreiniging nauwelijks invloed, want na wat langer meten wordt steeds de omgevingstemperatuur weergegeven.
Bij een vloeistofthermometer wordt de nauwkeurigheid dus het minst beïnvloed.

21 $P = 5{,}5$ W
Voor de warmtestroom geldt: $P = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$ met $R = \frac{d}{\lambda}$.
Voor polyetheen geldt $\lambda = 0{,}26$ W/m · K.
De dikte d is onbekend, deze moeten we eerst berekenen. Met de massa (4,5 mg) en de dichtheid (*Binas*: $0{,}93 \cdot 10^3$ kg/m³) is het volume van het schijfje te berekenen:
$V = \frac{m}{\rho} = \frac{4{,}5 \cdot 10^{-6}}{0{,}93 \cdot 10^3} = 4{,}84 \cdot 10^{-9}$ m³.
Voor het volume van het schijfje geldt:
$V = A \cdot d = \pi r^2 \cdot d \rightarrow d = \frac{V}{\pi r^2}$
$d = \frac{4{,}84 \cdot 10^{-9}}{\pi \times (0{,}5 \cdot 10^{-2})^2} = 6{,}2 \cdot 10^{-5}$ m
Dus: $R = \frac{d}{\lambda} = \frac{6{,}2 \cdot 10^{-5}}{0{,}26} = 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ m²K/W
De warmtestroom is dan:
$P = \frac{A \cdot \Delta T}{R} = \frac{\pi r^2 \cdot \Delta T}{R}$
$P = \frac{\pi \times (0{,}5 \cdot 10^{-2})^2 \times (36{,}7 - 20)}{2{,}4 \cdot 10^{-4}} = 5{,}5$ W

22 $P = 6{,}6$ mW
$P = \frac{Q}{t} = \frac{cm\Delta T}{t} = \frac{2{,}2 \cdot 10^3 \times 4{,}5 \cdot 10^{-6} \times 0{,}60}{0{,}90} =$
$6{,}6 \cdot 10^{-3}$ W

23 0,090 W
De intensiteit van de uitgestraalde energie is $I = \sigma T^4$ en het vermogen is $P = I \cdot A$.
Voor het uitgestraalde vermogen geldt: $P = A \cdot \sigma T^4$
$P = \pi \times (0{,}5 \cdot 10^{-2})^2 \times 5{,}67 \cdot 10^{-8} \times (273{,}15 + 20)^4$
$P = 0{,}033$ W
Dit is alleen voor de koude kant, voor de warme kant is het
$P = \pi \times (0{,}5 \cdot 10^{-2})^2 \times 5{,}67 \cdot 10^{-8} \times (273{,}15 + 36{,}7)^4$
$P = 0{,}041$ W
In totaal is dat 0,074 W.

Opgave 5 Marathonloper

24 Voor het rendement geldt: $\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} \times 100\%$,
waarin $E_{nuttig} = 0{,}30$ kJ(/s) en $E_{in} = 1{,}50$ kJ(/s).
Hieruit volgt dat $\eta = \frac{0{,}30 \cdot 10^3}{1{,}50 \cdot 10^3} \times 100\% = 20\%$.

25 Er komt per L zuurstof 20,6 kJ vrij.
De hoeveelheid energie die door verbranding vrijkomt bij de opname van 1,00 L zuurstof is gelijk aan $\frac{\textit{de energie die in een minuut geproduceerd wordt}}{\textit{het aantal L zuurstof dat dan wordt opgenomen}}$.
In een minuut produceert de atleet $60 \times 1{,}50 \cdot 10^3 = 9{,}00 \cdot 10^4$ J.
Er komt dus per L zuurstof $\frac{9{,}00 \cdot 10^4}{4{,}36} = 20{,}6$ kJ vrij.

26 $t = 9{,}4$ minuten
De te produceren warmte is gelijk aan
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 3{,}47 \cdot 10^3 \times 74{,}8 \times 2{,}6 = 6{,}75 \cdot 10^5$ J
Voor het vermogen waarmee warmte wordt geproduceerd, geldt $P = \frac{E}{t} = \frac{Q}{t}$.
Hieruit volgt dat hij minimaal
$t = \frac{Q}{P} = \frac{6{,}75 \cdot 10^5}{1{,}20 \cdot 10^3} = 563$ s $= 9{,}4$ min moet inlopen.

27 4,1 kg vocht
De hoeveelheid vocht die hij verliest is gelijk aan $\frac{\textit{de tijdens de marathon geproduceerde warmte}}{\textit{de warmte nodig voor het verdampen van 1,0 kg vocht}}$.
Tijdens de marathon produceert de loper $(2 \times 60 \times 60 + 10 \times 60) \times 1{,}20 \cdot 10^3 = 9{,}36 \cdot 10^6$ J warmte.
Tijdens de marathon verliest de loper $\frac{9{,}36 \cdot 10^6}{2{,}3 \cdot 10^6} = 4{,}1$ kg vocht. Zoveel moet hij dus drinken om het verlies door zweten te compenseren.

© Noordhoff Uitgevers bv

Proefwerkopgaven

1 **a** Voor de frequentie van de toon geldt: $f = \frac{v}{\lambda}$. Dit is te combineren met de formule voor de golfsnelheid in een snaar: $f = \frac{\sqrt{\frac{\ell \cdot F_s}{m}}}{\lambda} = \sqrt{\frac{\ell \cdot F_s}{m \cdot \lambda^2}}$. De kracht is recht evenredig met f^2.

b Als je alleen naar de ℓ in het verband uit onderdeel a kijkt denk je dat de frequentie juist groter wordt. Maar de golflengte λ van de trilling is recht evenredig met ℓ en staat bovendien in het kwadraat. Dit betekent dat de frequentie juist afneemt. Het verschil komt dus onder andere door de langere stembanden.
Bovendien hebben langere stembanden meer massa en dus een nóg lagere frequentie.

c Als je stembanden opzwellen wordt de massa groter. In het verband uit onderdeel a staat de massa in de noemer. De frequentie wordt daarom lager. Een whisky-stem is dus een stem met een lage klank dankzij veelvuldig alcoholgebruik.

2 **a** Volgens *Binas* tabel 27C1 is de gehoordrempel voor een toon van 500 Hz lager. Dit betekent dat de toon van 500 Hz beter hoorbaar is.
Opmerking: vanaf 60 foon komt het aantal foon bij 500 Hz overeen met meer decibel, dus dan is een toon van 375 Hz beter te horen. Als het aantal foon hoger ligt op de dB-schaal, klinkt een toon juist zachter (er is meer dB geluidsniveau nodig om dezelfde geluidssterkte te ervaren).

b Van 2,0 m naar 16 m is $\frac{16}{2,0} = 8$ maal zo ver. De geluidsintensiteit neemt dan af met een factor $8^2 = 64$. Dit betekent dat de geluidsintensiteit 6 maal gehalveerd is ($2^6 = 64$). Bij elke halvering van de geluidsintensiteit wordt het geluidsniveau 3 dB lager.
$110 - 6 \times 3 = 92$ dB

c Voor convergentie heb je beide ogen nodig, dit is een binoculaire aanwijzing.

d Monoculair: grootteperspectief, lijnperspectief, de verticale hoogte in het totaalbeeld, accommodatie.
Binoculair: verschilbeeld.

e Als de uiterste punten minder dan 1 boogminuut van elkaar verwijderd zijn is de auto niet meer te onderscheiden van de achtergrond.
$\tan\frac{1}{60} = \frac{1,70}{afstand}$
$afstand = \frac{1,70}{\tan\frac{1}{60}} = 5844$ m
Dus op een afstand van 5,8 km is de auto niet meer te zien.

3 **a** Per 10 m diepte neemt de druk toe met 1,0 bar. Op 5,0 m diepte is de druk toegenomen met 0,50 bar. De druk op zeeniveau is 1,0 bar, dus op 5,0 m diepte is de druk 1,5 bar, ofwel $1,5 \cdot 10^5$ Pa.

b Vanuit het middenoor wordt ook tegen het trommelvlies gedrukt. De lucht in het middenoor oefent een kracht uit op de andere kant van het trommelvlies.

c De verschildruk is 0,2 bar.
$p = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{p}$
$A = \frac{9,6}{0,2 \cdot 10^5} = 4,8 \cdot 10^{-4}$ m²

4 **a** $1,8 \cdot 10^2$ W
Er geldt $P_{verlies} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$.
Het oppervlak is te berekenen met
$A = \frac{\sqrt{\ell\, m}}{6} = \frac{\sqrt{1,83 \times 65}}{6} = 1,82$ m²
Voor de thermische weerstand geldt
$R = R_h + R_v = 2,5 \times 3,4 \cdot 10^{-2} + 10 \times 2,5 \cdot 10^{-2}$
$R = 0,335$ m²K/W
Het temperatuurverschil is $\Delta T = 37 - 4,0 = 33$ °C
$P_{verlies} = \frac{1,82 \times 33}{0,335} = 1,8 \cdot 10^2$ W

b $P = 3,4 \cdot 10^2$ W
Voor de uitstraling:
$I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 37)^4$
$I = 523,6$ W/m²
Voor de hoeveelheid warmte die per seconde wordt uitgestraald geldt
$P = I \cdot A = 523,6 \times 1,81 = 9,5 \cdot 10^2$ W
De ontvangen straling:
$I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 4,0)^4$
$I = 333,8$ W/m²
Voor de hoeveelheid warmte die per seconde wordt uitgestraald geldt
$P = I \cdot A = 333,8 \times 1,82 = 6,1 \cdot 10^2$ W
Het verschil: $P = 9,5 \cdot 10^2 - 6,1 \cdot 10^2 = 3,4 \cdot 10^2$ W.

c De wet van Hagen-Poiseulle luidt:
$Q = constante \cdot \Delta p \cdot r^4$
Als de straal van een ader een factor 1,2 maal zo klein wordt dan wordt het bloedstroomvolume $1,2^4 = 2,1$ maal zo klein.

d De koude lucht prikkelt zijn slijmvlies en kan een astma aanval veroorzaken. Als Bauke in de koude ruimte blijft gaat de astma aanval niet vanzelf over. Door het opzwellen van het slijmvlies in zijn longen neemt de luchtstroom met de vierde macht af. Het oplopende tekort aan lucht kan hem uiteindelijk fataal worden.

© Noordhoff Uitgevers bv