



Uitwerkingen basisboek

15.1 EXAMENVRAGEN

1

- a De vectoren van a_{Him} hebben voor allebei de satellieten een component naar elkaar toe dus ze worden naar elkaar toe versneld.

- b Voor GRACE A geldt: $a_{\text{hor}} = a_{\text{Him}} \cdot \cos \alpha$ waarbij $\cos \alpha = \frac{\frac{1}{2}d}{r}$ en

$$a_{\text{Him}} = \frac{F_g}{m} = \frac{G \cdot \frac{M_1 \cdot m}{r^2}}{m} = \frac{G \cdot M_1}{r^2} \rightarrow a_{\text{hor}} = \frac{G \cdot M_1}{r^2} \cdot \frac{\frac{1}{2}d}{r} = G \cdot M_1 \cdot \frac{d}{2 \cdot r^3}.$$

GRACE B is identiek aan GRACE A zodat de onderlinge versnelling tussen GRACE A en GRACE B gelijk is aan $a_{\text{rel}} = 2 \cdot a_{\text{hor}} = G \cdot M_1 \cdot \frac{d}{r^3}$.

- 2 De hoeveelheid stof die in een tijdsduur Δt wordt opgeveegd door de frontale oppervlakte A is te berekenen met $\Delta m = \rho \cdot \Delta V = \rho \cdot \Delta s \cdot A = \rho \cdot v \cdot \Delta t \cdot A$. Dit invullen in formule (1) geeft: $F = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v = \frac{\rho \cdot v \cdot \Delta t \cdot A}{\Delta t} \cdot v = A \cdot \rho \cdot v^2$.

3

- a De snelheid van de ionen staat loodrecht op het magnetisch veld dus staat de lorentzkracht ook loodrecht op de snelheid. De lorentzkracht levert nu de benodigde middelpuntzoekende kracht voor de cirkelbeweging.

- b $F_{\text{mpz}} = F_L \rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = B \cdot q \cdot v \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$. Voor de snelheid van de cirkelbeweging geldt: $v = 2\pi \cdot r \cdot f \rightarrow f = \frac{v}{2\pi \cdot r} = \frac{\frac{B \cdot q \cdot r}{m}}{2\pi \cdot r} = \frac{B \cdot q}{2\pi \cdot m}$.

4

- a $v_{\text{max}} = 4,0 \text{ m/s}$ en $3 \cdot T = 4,5 \text{ s} \rightarrow T = 1,5 \text{ s}$.

- b $u(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \rightarrow v(t) = u'(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ dus $\frac{2\pi}{T} A = 4,0 \rightarrow A = \frac{4,0}{\frac{2\pi}{T}} \cdot T = \frac{4,0}{2\pi} \cdot 1,5 = 0,95 \text{ m}$.

- c De oppervlakte onder een u, t -diagram is de verplaatsing, dus de oppervlakte onder een 'bult' zou 0,95 m moeten zijn. Afschatting van deze oppervlakte:
 $1,3 \text{ m/s} \times 0,75 \text{ s} = 0,98 \text{ m}$.

- d $v(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \rightarrow a(t) = v'(t) = -\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ dus
 $a_{\text{max}} = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot A = \frac{4\pi^2}{1,5^2} \cdot 0,95 = 17 \text{ m/s}^2$.

- e De versnelling is de helling van een v, t -diagram. Teken een raaklijn in het steilste stuk van het v, t -diagram en bepaal de helling. Een raaklijn bij $t = 1,1 \text{ s}$ geeft
 $a_{\text{max}} = \frac{10}{0,6} = 17 \text{ m/s}^2$.

5

- a De wet van Ohm ($U = I \cdot R$) geldt alleen voor een 'ideale weerstand', maar niet alle geleiders gedragen zich 'ideaal' en voldoen aan deze wet van Ohm, of geleiders voldoen slechts in een bepaald temperatuurgebied aan deze wet.

- b Een voorbeeld van een natuurwet is de tweede wet van Newton: $F = m \cdot a$.

- c Bij een botsing van twee auto's blijft de impuls en de totale energie behouden.

- d De valversnelling heeft niet overal op aarde dezelfde waarde dus is dit geen natuurconstante.

- e De uitgezonden stralingsenergie van een ster moet zich, naarmate de afstand tot de ster toeneemt, over een steeds groter boloppervlak verdelen. De oppervlakte van een bol neemt kwadratisch evenredig toe met de straal van de bol en dus zal de stralingsintensiteit kwadratisch afnemen met de afstand tot de ster.



6

- a In het deeltjesmodel worden moleculen weergegeven met kleine balletjes.
- b Bij een iteratief proces wordt in stapjes steeds opnieuw de waarde van alle grootheden berekend, waarbij in elke stap de uitkomsten van de vorige stap worden gebruikt.
- c Als bij een computermodel de tijdstap te groot is zal de uitkomst van het model niet betrouwbaar zijn, maar als de tijdstap te klein is zal de computer heel lang aan het rekenen zijn.
- d De marges van de verwachtingswaarde worden beïnvloed door de gebruikte tijdstap, de benaderingen van de formules en de nauwkeurigheid van de beginwaarde.

7

- a Bij het eerste model bepaalt de versnelling (en dus de kracht) de toename van de snelheid en bepaalt de snelheid weer de kracht. De tijdstap speelt hier 1 keer een rol.
Bij het tweede model bepaalt de versnelling de toename van de snelheid per tijdstap en de snelheid bepaalt weer de toename van de plaats per tijdstap. Tenslotte wordt de kracht (en dus de versnelling) weer door de plaats bepaald. De tijdstap speelt hier dus 2 keer een rol: er is sprake van een verandering in 2 stappen.
- b Bij een massaveersysteem wordt de veerkracht bepaald door de uitwijking (= plaats) dus hierbij past het tweede model.
- c Bij een val met luchtweerstand wordt de luchtweerstand bepaald door de snelheid dus hierbij past het eerste model.
- d $F = -c \cdot v$ invullen in $a = \frac{F}{m}$ geeft $a = -\frac{c \cdot v}{m} \rightarrow v'(t) = -\frac{c}{m} \cdot v(t)$.
- e De afgeleide van $v(t)$ is evenredig met $v(t)$ en dat is ook zo bij exponentiële functies: $\frac{d}{dx}(e^{a \cdot x}) = a \cdot e^{a \cdot x}$.
- f $v(t) = s'(t)$ en $a(t) = v'(t)$ geeft $a(t) = (s'(t))' = s''(t)$.
- g $F = -c \cdot u(t)$ invullen in $a = \frac{F}{m}$ geeft $a(t) = -\frac{c}{m} \cdot u(t)$. Door nu de uitrekking $u(t)$ gelijk te maken aan de verplaatsing $s(t)$ krijgen we: $a(t) = -\frac{c}{m} \cdot s(t)$.
- h De tweede afgeleide van $s(t)$ is evenredig met $s(t)$ dus dit is modelstructuur 2 (het 2^e orde model).

8

- a Het massagetal blijft behouden dus kan er geen alfastraling vrijkomen, maar zal er bètastraling vrijkomen.
- b C-11 heeft atoomnummer (en dus ladingsgetal) 6 en B-11 heeft atoomnummer 5. Als het ladingsgetal met 1 daalt moet er een positron vrijkomen om te blijven voldoen aan de wet van behoud van lading.
- c Volgens de wet van behoud van impuls moeten de 2 gammafotonen in tegengestelde richting uitgezonden worden zodat de totale impuls 0 blijft.

9

- a Bij gelijkblijvende dichtheid is de wet van behoud van massa in deze situatie de wet van behoud van volume: het volume dat in 1 s voorbij stroomt blijft gelijk. Dit volume is $v \cdot A$, waarbij A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de rivier is. Als de rivier smaller wordt, wordt A kleiner en zal de stroomsnelheid v groter moeten worden.
- b Volgens de wet van behoud van energie zorgt de extra wrijving met de bodem in het ondiepe gedeelte voor een afname van de kinetische energie en dus voor een afname van de stroomsnelheid v . Volgens de wet van behoud van volume moet dan de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de golf groter worden zodat de golf hoger zal worden.

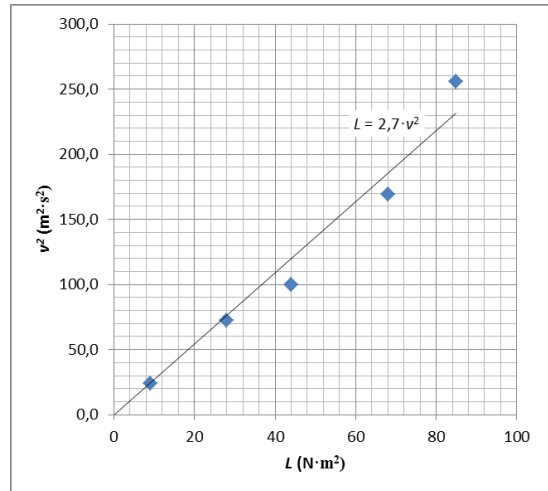


10

- a Bij een 2 x zo grote vogel is het volume en dus ook de massa m van de vogel 8 x zo groot. Het vleugeloppervlak A is 4 x zo groot, dus is de vleugelbelasting $8/4 = 2$ x zo groot.
- b Als L evenredig is met v^2 kun je met behulp van coördinatentransformatie L uitzetten tegen v^2 om de evenredigheidsconstante te vinden:

type/soort	$L \text{ (N} \cdot \text{m}^{-2})$	$v \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1})$	$v^2 \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$
kerkuil	9	4,9	24
boomvalk	28	8,5	72
buizerd	44	10	100
spreeuw	68	13	169
havik	85	16	256

Maak een grafiek van v^2 tegen L en bepaald de helling:
 $L = 2,7 \cdot v^2$.



- c Op grotere hoogte is de luchtdichtheid ρ lager dus zal volgens de formule $v = \sqrt{\frac{33m}{\rho \cdot A}}$ de kruissnelheid toenemen.
- d Als m kleiner wordt en het vleugeloppervlak gelijk blijft zal de kruissnelheid afnemen (zelfs als de afmetingen van de vogel afnemen zal de massa sneller afnemen dan het vleugeloppervlak (zie onderdeel a) dus ook dan zal de kruissnelheid afnemen).
- e Bij een 2 x zo grote vogel is de massa m 8 x zo groot en het vleugeloppervlak A 4 x zo groot, dus wordt de kruissnelheid $\sqrt{8/4} = 1,4$ x zo groot.
- f $L = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{75 \cdot 9,81}{20} = 37 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, maar de massa van de Ornithocheirus is 100 x zo groot als van de kerkuil en de havik. Om te kunnen vergelijking schalen we de afmetingen van de Ornithocheirus terug naar die van de kerkuil en de havik. De massa is 100 x zo klein, dus zijn de afmetingen $\sqrt[3]{100}$ x zo klein en is het vleugeloppervlak $(\sqrt[3]{100})^2$ x zo klein. Omdat $L = \frac{m \cdot g}{A}$ zal de vleugelbelasting $\frac{100}{(\sqrt[3]{100})^2} = \sqrt[3]{100} = 4,6$ x zo klein zijn $\rightarrow L = 37/4,6 = 8,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.
 De Ornithocheirus lijkt als schaalmodel dus het meest op een kerkuil, want die heeft een vleugelbelasting van $9,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.

11

- a Uit de figuur volgt dat de maximale versnelling gelijk is aan de helling van de grafiek op tijdstip nul. Aflezen uit de grafiek geeft: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{160}{50} = 3,2 \text{ m/s}^2$ en dat is $\frac{3,2}{9,81} = 0,33 \cdot g$.
- b $m = 1740$, $g = 9,81$, $P_{\max} = 3,75 \cdot 10^5$ en $F_{\max} = \frac{m \cdot g}{3}$ invullen in $v_{\text{grens}} = \frac{P_{\max}}{F_{\max}}$ geeft: $v_{\text{grens}} = \frac{3,75 \cdot 10^5}{1740 \cdot 9,81/3} = 66 \text{ m/s}$.
- c Als de snelheid onder de 66 m/s is moet de auto met maximale kracht optrekken, boven de 66 m/s is de kracht van de motor afhankelijk van de snelheid.
- d Op $t = 90 \text{ s}$ verandert de luchtweerstand met factor $1,2/0,1 = 12$.
- e Op $t = 90 \text{ s}$ is de snelheid 140 m/s (aflezen uit de grafiek) dus:
 $(F_{\text{rem}} + F_{\text{lucht}}) = 2500 + 1,2 \cdot v^2 = 2500 + 1,2 \cdot 140^2 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ N} \rightarrow$
 $a = \frac{(F_{\text{rem}} + F_{\text{lucht}})}{m} = \frac{2,6 \cdot 10^4}{1740} = 15 \text{ m/s}^2$.
- f $F_{\text{res}} = F_{\text{motor}} - F_{\text{rem}} - F_{\text{lucht}}$.



15.2 ELEKTRICITEIT | Elektrische Schakelingen en energiegebruik

12

- a Op het apparaat is het vermogen vermeld. De fabrikant kan niet van tevoren zeggen hoeveel energie het apparaat per jaar zal gebruiken, want dat hangt af van de tijd dat het apparaat aan staat. Maar de fabrikant kan wel zeggen hoeveel elektrische energie het apparaat per seconde gebruikt als het apparaat aanstaat. Dat is het elektrisch vermogen.
- b Met een kWh-meter wordt de energie gemeten.
- c $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.
- d Het rendement van een apparaat is het percentage van de ingaande energie dat wordt omgezet in nuttige energie.
- e Een grotere spanning zorgt voor een grotere elektrische kracht op de vrije elektronen in een metaaldraad. Door de grotere kracht ontstaat er een grotere stroomsterkte en wordt er ook meer elektrische energie omgezet. De stroomsterkte geeft aan hoeveel elektrische lading (in de vorm van elektronen) per seconde door een apparaat stroomt.

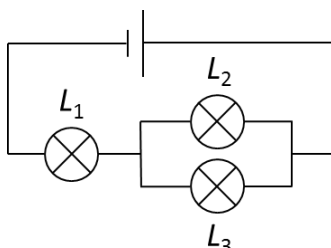
13

- a De geleidbaarheid is het omgekeerde van de weerstand $G = 1/R$. Bij een ohmse weerstand is de weerstand constant, dus is ook de geleidbaarheid constant.
- b Bij halfgeleiders kan de weerstand sterk veranderen, doordat het aantal vrije elektronen toe- of afneemt. Bij een NTC neemt het aantal vrije elektronen toe als de temperatuur stijgt en dus neemt de weerstand af. Bij een LDR neemt het aantal vrije elektronen toe als de lichtsterkte toeneemt waardoor de weerstand afneemt.
- c De weerstand van een draad hangt af van de lengte en de dikte van de draad en van de soortelijke weerstand van het metaal.

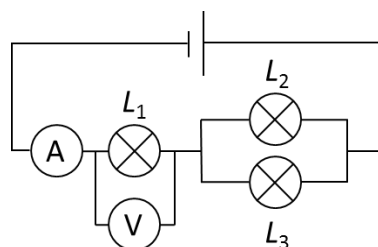
14

- a In huis zijn alle apparaten parallel aangesloten. Elk apparaat is daardoor rechtstreeks aangesloten op de spanningbron en heeft daardoor dezelfde spanning. De stroomsterkte door een apparaat hangt dan niet af van de andere apparaten.
- b Als je bij een parallelschakeling meer apparaten aansluit, wordt de stroomsterkte groter door de installatie, terwijl de spanning gelijk blijft. Bij een parallelschakeling is er dus sprake van stroomdeling. De stroomsterkte door elk apparaat is evenredig met de geleidbaarheid van het apparaat.
- c Bij een serieschakeling is er sprake van spanningsdeling: als je meer apparaten aansluit, wordt de stroomsterkte kleiner, terwijl de (totale) spanning gelijk blijft. De spanning van de bron wordt naar verhouding verdeeld over de weerstanden.

d

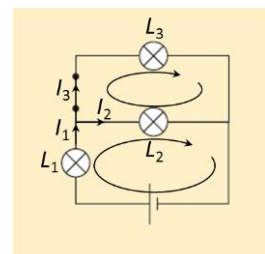


e



15

- a In de onderste kring is volgens de wet van Kirchhoff de spanning van de bron gelijk aan de som van de spanningen over de twee aangesloten lampen L_1 en L_2 .
- b In de bovenste kring is de spanning over de geopende schakelaar gelijk aan de spanning over de lampen L_2 en L_3 . De spanning over L_3 is echter 0 omdat daar geen stroom doorheen loopt, dus is de spanning over de schakelaar gelijk aan U_2 .





- c $I_1 = I_2 + I_3$.
d $U_{\text{bron}} = U_1 + U_2$ en $U_2 = U_3$.

16

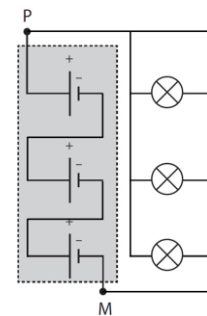
- a Voor de weerstand van een draad geldt $R = \rho \cdot \frac{l}{A} \rightarrow$
 $A = \rho \cdot \frac{l}{R} = 17 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{40}{0,85} = 8,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.
Met $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,0 \cdot 10^{-7}}{\pi}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,0 \text{ mm}$.
b Als de straalkachel wordt aangesloten, wordt de totale geleidbaarheid groter. Daardoor wordt de stroomsterkte door de aders van de kabel groter. Omdat de weerstand van de aders in de kabel constant blijft neemt daardoor de spanning over de aders in de kabel toe. De spanning over de lamp neemt dan af (omdat de kabel in serie staat met de lamp en de straalkachel) dus zal de lamp minder fel branden.
c $P_{\text{verlies}} = U_{\text{ader}} \cdot I$ en $U_{\text{ader}} = I \cdot R_{\text{ader}}$ geeft $P_{\text{verlies}} = I \cdot R_{\text{ader}} \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{ader}}$.
d De stroom gaat door 2 aders, dus $P_{\text{verlies}} = 2 \cdot 8,6^2 \cdot 0,85 = 126 \text{ W}$. Het totale vermogen is $P_{\text{totaal}} = U_{\text{totaal}} \cdot I = 230 \cdot 8,6 = 1978 \text{ W}$. Van deze energie wordt $\frac{126}{1978} \times 100\% = 6,4\%$ in de draden omgezet in warmte.

17

- a Zie figuur
b Als één van de lampjes kapot gaat blijft de stroom door de andere lampjes gelijk omdat de spanning over de lampjes gelijk blijft. Dus wordt de totale stroom kleiner.

18

- a Bij een lage temperatuur is de weerstand van de NTC groot. Hierdoor is de spanning over de NTC groot en de spanning over de led dus klein. Als de spanning over de led kleiner is dan 1,5 V brandt de led niet. (Bij een hogere temperatuur brandt de led dus wel.)
b Aflezen in figuur 33: bij 20 °C geldt $R_{\text{NTC}} = 0,59 \text{ k}\Omega$.
Als de led brandt is $U_{\text{NTC}} = U_{\text{bron}} - U_{\text{led}} = 5,0 - 1,5 = 3,5 \text{ V}$.
Uit $I_{\text{led}} = 1,0 \text{ mA}$ en $I_{\text{NTC}} = \frac{U_{\text{NTC}}}{R_{\text{NTC}}} = \frac{3,5}{0,59 \cdot 10^3} = 5,93 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 5,93 \text{ mA}$ volgt dat $I_R = I_{\text{NTC}} - I_{\text{LED}} = 5,93 - 1,0 = 4,93 \text{ mA}$.
De variabele weerstand en de led staan in serie geschakeld, dus $U_R = U_{\text{LED}} = 1,5 \text{ V}$.
Voor de R van de variabele weerstand geldt nu: $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{1,5}{4,93 \cdot 10^{-3}} = 3,0 \cdot 10^2 \Omega$.



19

- a Uit: $E = P \cdot t$ met $P = U \cdot I$ volgt dat
 $E = U \cdot I \cdot t = 1,5 \cdot 2300 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$.
b Voor de stroomsterkte die de batterij levert geldt $I = \frac{U}{R} = \frac{1,5}{12 \cdot 10^3} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ A}$.
 $I \cdot t = 2300 \text{ mAh} = 2,300 \text{ Ah} \rightarrow$
 $t = \frac{2,300}{I} = \frac{2,300}{1,25 \cdot 10^{-4}} = 1,84 \cdot 10^4 \text{ h} = \frac{1,84 \cdot 10^4}{365 \cdot 24} = 2,1 \text{ j}$.



- 20 Voor de weerstand geldt: $R = \frac{U}{I} = \frac{0,56}{0,23} = 2,43 \, \Omega$ en voor de weerstand van een draad geldt $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ met $\rho = 17 \cdot 10^{-9} \, \Omega \text{m}$ en

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot \left(\frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2 = 1,77 \cdot 10^{-6} \, \text{m}^2.$$

$$\text{Invullen geeft } l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{2,43 \cdot 1,77 \cdot 10^{-6}}{17 \cdot 10^{-9}} = 2,5 \cdot 10^2 \, \text{m}.$$

Eén winding van de spoel heeft een lengte van $\pi \cdot d = \pi \cdot 0,080 = 0,25 \, \text{m}$, dus de spoel heeft $\frac{2,5 \cdot 10^2}{0,25} = 1,0 \cdot 10^3$ windingen.

21

a $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \rightarrow P_{\text{str}} = \frac{P_{\text{elektr}}}{\eta} = \frac{3,75 \cdot 10^6}{0,13} = 2,88 \cdot 10^7 \, \text{W}.$

Voor de panelen geldt: $I_{\text{gem}} = 100 \, \text{W/m}^2$ dus $A = \frac{2,88 \cdot 10^7}{100} = 2,9 \cdot 10^5 \, \text{m}^2.$

b Voor de hele wijk is aan energie nodig: $E = 1600 \cdot 3565 = 5,850 \cdot 10^6 \, \text{kWh}.$

Voor de energie die de zonnepanelen leveren geldt:

$$E = P \cdot t = 3,75 \cdot 10^3 \, \text{kW} \cdot 365 \cdot 24 \, \text{h} = 3,3 \cdot 10^7 \, \text{kWh}.$$

De zonnepanelen leveren dus voldoende energie.

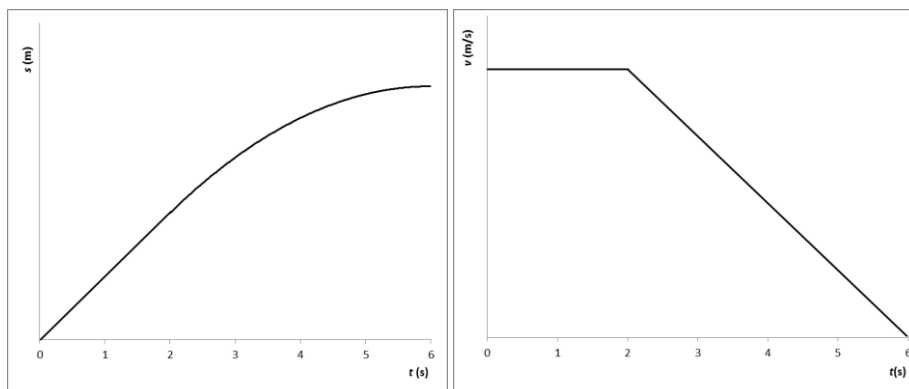
15.3 SPORT EN VERKEER | Bewegingen en krachten

22

- a Bij een eenparig versnelde beweging is de nettokracht constant en naar voren gericht.
- b Bij een eenparig versnelde beweging neemt de snelheid gelijkmatig toe. In het v, t -diagram zie je dan een rechte stijgende lijn.
- c Bij een v, t -diagram is de helling van de (raak)lijn gelijk aan de versnelling
- d De verplaatsing tijdens de beweging is de oppervlakte onder de lijn in een v, t -diagram.

23

a



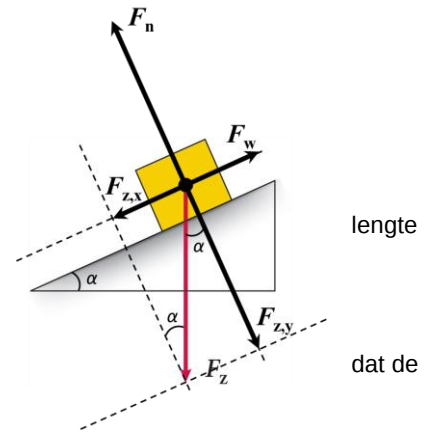
- b In het s, t -diagram zie je dat na $t = 2,0 \, \text{s}$ de lijn steeds minder stijl gaat lopen.
- c De snelheid van de auto vlak vóór het remmen is in het s, t -diagram gelijk aan de helling van de rechte lijn tot aan $t = 2,0 \, \text{s}$.
- d De gemiddelde snelheid tijdens het afremmen is uit het v, t -diagram te bepalen door de beginsnelheid en de eindsnelheid bij elkaar op te tellen en door 2 te delen (ofwel de helft van de beginsnelheid te nemen, want de eindsnelheid is $0 \, \text{m/s}$).
- e In het s, t -diagram is de gemiddelde snelheid tijdens het remmen te door de verplaatsing tussen $t=2$ en $t=6$ te delen door de tijd.



- f Je kunt de remvertraging bepalen uit het v,t -diagram door de helling van de lijn na $t = 2,0$ s te bepalen.

24

- a Normaalkracht en wrijvingskracht.
- b Zie figuur.
- c De kist ligt stil dus moet $F_{z,x} = F_w$.
- d De normaalkracht is even groot als de component van de zwaartekracht die loodrecht op het steunvlak staat, dus is de normaalkracht kleiner dan de zwaartekracht.
- e Het hellingspercentage is de verhouding tussen de hoogte en de van de helling. In figuur 40 is dat $1,8 \text{ cm} / 3,9 \text{ cm} = 0,46$ (46%).
- f Zie figuur.
- g De hellingshoek α is ook de kleine hoek tegenover $F_{z,x}$, dus is de verhouding $F_{z,x} / F_z$ gelijk aan het hellingspercentage. Dat betekent component van de zwaartekracht langs de helling gelijk is aan het hellingspercentage maal de zwaartekracht.



- 25 De wrijvingskracht is het grootst als de banden net niet slippen, zodra ze slippen wordt de wrijvingskracht kleiner. ABS zorgt ervoor dat de banden voortdurend net niet slippen, dus heeft de auto steeds de maximale remkracht en daardoor zal de remweg zo kort mogelijk zijn.

26

- a De reactiekracht is de kracht van de bal op de hand.
- b Volgens de derde wet van Newton is de reactiekracht op het andere voorwerp (de hand) even groot als de actiekracht maar tegengesteld gericht.
- c De reactiekracht werkt op het andere voorwerp, dus kunnen de twee krachten nooit voor evenwicht op eenzelfde voorwerp zorgen.
- d Tijdens het contact draait de snelheid van de bal om (de snelheid verandert van grootte en richting). Volgens de tweede wet van Newton moet voor het veranderen van de snelheid gedurende enige tijd een nettokracht op het voorwerp werken.
- e Dat voor verandering van de snelheid gedurende enige tijd een nettokracht op het voorwerp moet werken wordt de traagheid van de bal genoemd.

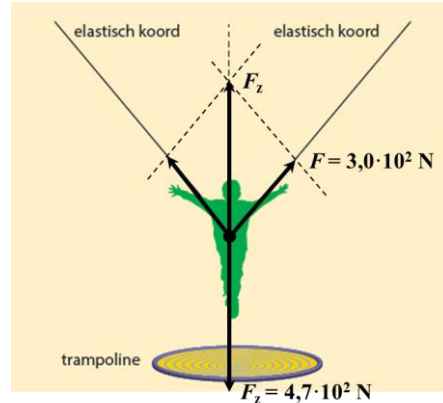
27

- a De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek tussen $t = 0$ s en $t = 160$ s. Van $t = 0$ s en $t = 105$ s neemt de snelheid toe en daarna is deze constant. De afgelegde afstand is dus $s = 0,5 \cdot 105 \cdot \frac{260}{3,6} + 55 \cdot \frac{250}{3,6} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ m}$.
- b Aflezen op $t = 80$ s: $F_{\text{res}} = 5,0 \text{ kN} \rightarrow a = \frac{F_{\text{res}}}{m} = \frac{5,0 \cdot 10^3}{8,1 \cdot 10^3} = 0,62 \text{ m/s}^2$.
- c Aflezen op $t = 80$ s: $F_{\text{motor}} = 8,5 \text{ kN}$, $F_{\text{res}} = 5,0 \text{ kN}$ en $v = 200 \text{ km/h}$. Voor de resulterende kracht geldt: $F_{\text{res}} = F_{\text{motor}} - F_{w,\text{rol}} - F_{w,\text{lucht}} \rightarrow 5,0 \cdot 10^3 = 8,5 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3 - k \cdot v^2 \rightarrow k \cdot \left(\frac{200}{3,6}\right)^2 = 2,2 \cdot 10^3 \rightarrow k = 0,71$.



28

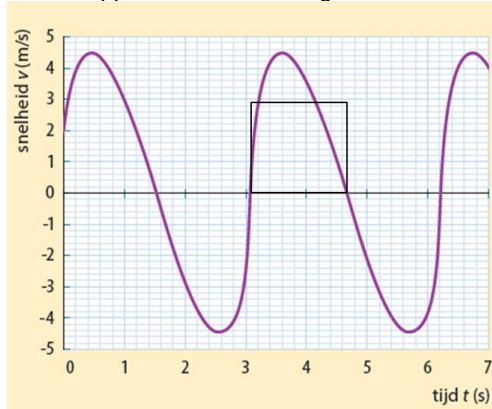
- a $F_z = m \cdot g = 48 \cdot 9,81 = 4,7 \cdot 10^2$ N. Teken een parallellogram en bepaal uit de verhoudingen de veerkracht



in het koord: $F_v = 3,0 \cdot 10^2$ N.

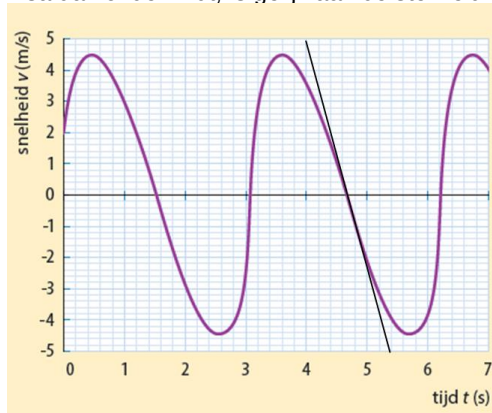
$$F_v = C \cdot u \rightarrow u = \frac{F_v}{C} = \frac{3,0 \cdot 10^2}{120} = 2,5 \text{ m.}$$

- b Als de snelheid nul is, bevindt Lisa zich in het hoogste of in het laagste punt. Het hoogteverschil is dus gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek tussen twee nuldoorgangen.



$$s = 1,6 \cdot 2,9 = 4,6 \text{ m.}$$

- c Lisa bevindt zich in het hoogste punt als de snelheid nul is en als de snelheidsgrafiek daalt. De versnelling die Lisa dan ondervindt, is gelijk aan de steilheid van de raaklijn in dat punt aan de grafiek.



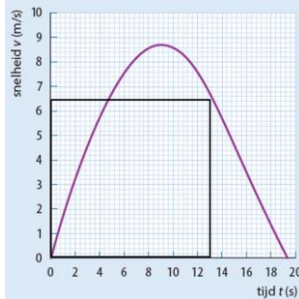
De steilheid is gelijk aan $\frac{5 - (-5)}{5,4 - 4,0} = 7,1 \text{ m/s}^2$. Deze (absolute) waarde is kleiner dan de (absolute) waarde van de gravitatieversnelling $g = 0,81 \text{ m/s}^2$. Dus moeten de elastieken nog een kracht uitoefenen op Lisa.

29

- a Uit het F, s -diagram blijkt dat na 85 m de wrijvingskracht F_w constant is omdat de lijn daar horizontaal loopt.

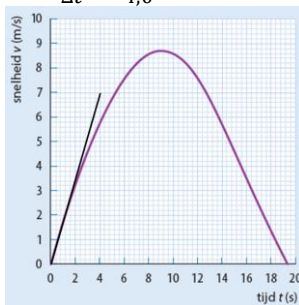


- b De wrijvingskracht wordt constant zodra de tractor met sleepwagen 85 m heeft afgelegd. De afgelegde weg is de oppervlakte onder het v, t -diagram. Zoek in de grafiek het tijdstip waarop de oppervlakte onder de grafiek 85 m is. Eén hokje in de grafiek is 2 m. Na 13 s is de oppervlakte onder de grafiek ongeveer 42,5 hokje.



Controle: teken een rechthoek met breedte 13 s en hoogte $\frac{85}{13} = 6,5 \text{ m/s}$. De oppervlakte van deze rechthoek komt goed overeen met de oppervlakte onder de grafiek tot 13 s.

- c De versnelling bij de start is gelijk aan de helling van de raaklijn aan het v, t -diagram bij de start. Hiervoor geldt: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{7,0}{4,0} = 1,75 \text{ m/s}^2$.



Dus voor de resultante kracht geldt: $F_{\text{res}} = m \cdot a = 16,5 \cdot 10^3 \cdot 1,75 = 2,89 \cdot 10^4 \text{ N}$. Er geldt: $F_{\text{res}} = F_{\text{aandr}} - F_{\text{w}}$. Lees F_{w} bij de start af: $F_{\text{w}} = 16 \text{ kN} \rightarrow F_{\text{aandr}} = F_{\text{res}} + F_{\text{w}} = 2,89 \cdot 10^4 + 16 \cdot 10^3 = 4,5 \cdot 10^4 \text{ N}$.

- d Uit de F, s -grafiek is af te lezen dat bij de start $F_{\text{w}} = 16 \text{ kN}$ en na 85 m is $F_{\text{w}} = 58 \text{ kN}$. Dit invullen in $F_{\text{w}} = F_0 + c \cdot m_{\text{blok}} \cdot x$ geeft $F_0 = 16 \text{ kN}$ en $58 \cdot 10^3 = 16 \cdot 10^3 + c \cdot 5,0 \cdot 10^3 \cdot 85 \rightarrow c = 0,10$.

- e Als de pull vergelijkbaar moet zijn, moet de versnelling gelijk zijn.

$$\text{Bij } x = 0 \text{ geldt } F_{\text{w}} = F_0 \rightarrow a = \frac{F_{\text{res}}}{m} = \frac{F_{\text{aandr}} - F_{\text{w}}}{m} = \frac{F_{\text{aandr}} - F_0}{m_{\text{trekker}} + m_{\text{blok}}} \text{ voor beide trekkers} \rightarrow \frac{45000 - 16000}{11500 + 5000} = \frac{55000 - F_0}{14000 + 5000} \rightarrow F_0 = 21606 = 22 \text{ kN}.$$

$$\text{Bij } x = 85 \text{ geldt } F_{\text{w}} = F_0 + c \cdot m_{\text{blok}} \cdot 85 \rightarrow a = \frac{F_{\text{res}}}{m} = \frac{F_{\text{aandr}} - F_{\text{w}}}{m} = \frac{F_{\text{aandr}} - F_0 - c \cdot m_{\text{blok}} \cdot 85}{m_{\text{trekker}} + m_{\text{blok}}} \text{ voor beide trekkers} \rightarrow \frac{45000 - 16000 - 0,10 \cdot 5000 \cdot 85}{11500 + 5000} = \frac{55000 - 21606 - c \cdot 5000 \cdot 85}{14000 + 5000} \rightarrow c = 0,115.$$

15.4 STRALING EN GEZONDHEID | Ioniserende straling

30

- a Uv-straling, röntgenstraling en gammastraling hebben een ioniserende werking.
- b Het belangrijkste verschil tussen gammafotonen en fotonen van radiogolven is de energie van de fotonen (of de frequentie of de golflengte).
- c De elektromagnetische straling die een atoomkern uitzendt is gammastraling.
- d Bij annihilatie van een positron en een elektron wordt gammastraling uitgezonden.



31

- a Bij de absorptie van gammafotonen wordt de energie geabsorbeerd en verdwijnt het foton, terwijl bètadeeltjes afgeremd worden en bij elke botsing een beetje energie afstaan.
De absorptie van gammafotonen is een toevalsproces, terwijl dat bij bètadeeltjes niet zo is.
De intensiteit van gammastraling neemt geleidelijk af als het absorberende materiaal dikker is, terwijl de bètadeeltjes na een zekere afstand stil staan.
- b Bètadeeltjes worden geleidelijk afgeremd en staan na een zekere afstand, de dracht, stil. De absorptie van gammastraling is een toevalsproces waarbij de gammafotonen verdwijnen, er is dus een bepaalde afstand waarop de helft van de gammafotonen nog maar over is.
- c Als lood röntgenstraling beter tegenhoudt, is de afstand waarop de helft van de straling is verdwenen kleiner. Lood heeft dus een kleinere halveringsdikte.
- d Als de energie van de deeltjes groter is zullen de deeltjes verder in het materiaal door kunnen dringen. De halveringsdikte is dan groter. De energie van gammafotonen is groter dan die van röntgenfotonen, dus is de halveringsdikte voor gammastraling groter.

32

- a Als een bron een activiteit van 2,5 kBq heeft wordt daarmee bedoeld dat de bron per seconde $2,5 \cdot 10^3$ deeltje uitzendt, omdat er per seconden $2,5 \cdot 10^3$ kernen vervallen.
- b Het aantal stabiele kernen is in die tijd ook met 10% afgenomen.

33

- a De radioactieve stoffen komen in het lichaam via ons voedsel, de lucht die we inademen en het water dat we drinken.
- b Het doordringend vermogen van α -straling is heel gering, de deeltjes komen niet door de dode cellen van de hoornlaag van de opperhuid en kunnen dus ook geen schade aanrichten. Binnenin het lichaam kunnen de α -deeltjes wel direct de organen bereiken en daar schade aanrichten.

34

- a Een voordeel van het gebruik van röntgenstraling bij medische beeldvorming is dat er een goed beeld met een goed contrast is te maken, een nadeel is de stralingsbelasting van de patiënt.
- b Een voordeel van het gebruik van ultrasone golven is dat het snel en goedkoop is en dat de patiënt geen stralingsbelasting oploopt, een nadeel is dat het beeld niet zo duidelijk is en dat het ongeschikt is voor botten en longweefsel.
- c Bij nucleaire diagnostiek (het maken van een scintigram) wordt gebruik gemaakt van gammastraling.
- d Bij een PET-scan wordt een stof ingebracht die positronstraling uitzendt. Het positron reageert meteen met een elektron waarbij annihilatie optreedt. Hierbij verdwijnen het positron en het elektron en worden er twee γ -fotonen uitgezonden in tegenovergestelde richtingen.
- e Het doordringend vermogen van α - en β -straling is zeer gering. Bij het inbrengen van een α - of β -straler is deze straling niet buiten het lichaam te registreren. Er kan dus geen beeld gemaakt worden. Het ioniserend vermogen van deze soorten straling is juist heel hoog zodat de stralingsbelasting van de patiënt ook groot zal zijn bij gebruik van deze soorten straling.



35

- a Voor de activiteit van het 'oude' hout geldt: $A(t) = \frac{326}{24 \cdot 3600} = 3,77 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$.
Voor C-14 is $t_{\frac{1}{2}} = 5730$ jaar en de activiteit van het verse hout is $A(0) = 0,231 \text{ Bq}$.

$$A(t) = A(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} \rightarrow 3,77 \cdot 10^{-3} = 0,231 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}} \rightarrow$$

$$\frac{t}{5730} = \frac{\log \frac{3,77 \cdot 10^{-3}}{0,231}}{\log 0,5} = 5,936 \rightarrow t = 5,936 \cdot 5730 = 3,40 \cdot 10^4 \text{ jaar.}$$

- b $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_7\text{C} + ^1_1\text{p}$ dus het atoom waarmee de reactie plaatsvindt is stikstof.

36

- a 3,9 miljard jaar is 3 halveringstijden. Na die tijd zijn er van 1000 K-atomen nog $\left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot 1000 = 125$ K-atomen over. Van de vervallen K-atomen is 11% omgezet in Ar. Dit zijn $0,11 \cdot 875 = 96$ atomen $\rightarrow$
 $\frac{\text{aantal gevormde Ar-40 atomen}}{\text{aantal nog aanwezige K-40 atomen}} = \frac{96}{125} = 0,77$ dus is de ouderdom van het gesteente ongeveer 3,9 miljard jaar.
- b Eierschalen zijn geen hard gesteente en houden het gasvormige argon niet vast. Bovendien is de halveringstijd van deze methode veel te groot vergeleken met de geschatte ouderdom, om nauwkeurig de leeftijd te bepalen.

37

- a Het eerste plaatje absorbeert 5% van de inkomende straling. Er komt dus 95% door het eerste plaatje. Het tweede plaatje absorbeert 5% van de overgebleven straling en dat is minder dan 5% van de beginstraling. Dus na 5 plaatjes is minder dan 25% geabsorbeerd.
- b $I(x) = I(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}} \rightarrow 0,01 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}} \rightarrow \frac{d}{d_{\frac{1}{2}}} = \frac{\log 0,01}{\log 0,5} = 6,64 \rightarrow$
 $d = 6,64 \cdot 0,042 = 0,28 \text{ m} = 28 \text{ cm.}$

38

- a Als $^{238}_{92}\text{U}$ verval naar $^{222}_{86}\text{Rn}$ komen in totaal 16 kerndeeltjes vrij. Dit komt overeen met een geheel aantal (4) alfadeeltjes (en een aantal bètadeeltje).
Als $^{232}_{90}\text{Th}$ verval naar $^{208}_{82}\text{Pb}$ komen er 10 kerndeeltjes vrij. Dit is niet een geheel aantal alfadeeltjes. Dus ontstaat $^{222}_{86}\text{Rn}$ niet uit $^{232}_{90}\text{Th}$ maar uit $^{238}_{92}\text{U}$.
- b Er is constante aanvoer. Op een bepaald moment ontstaat er evenwicht, waarbij er evenveel radon-222 verval als dat er bijkomt.
- c Ook voor de radondochters ontstaat er evenwicht. Per tijdseenheid vervallen er dan evenveel radondochters als dat er ontstaan en het aantal radondochters dat ontstaat is gelijk aan het aantal radon-222 kernen dat verval. Dus is de activiteit van de radondochters gelijk aan de activiteit van radon-222.
- d De energie die de longen ontvangen ten gevolge van alfastraling komt van het verval van polonium-218 en polonium-214. Het aantal kernen polonium-218 is $2,6 \cdot 10^4$ en de energie van de alfastraling van polonium-218 is 5,998 MeV ($1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$).
Alle aanwezige kernen vervallen na verloop van tijd tot polonium-214. Dit zijn er $2,6 \cdot 10^4 + 2,3 \cdot 10^5 + 1,7 \cdot 10^5 = 4,26 \cdot 10^5$. De energie de alfastraling van polonium-214 is 7,68 MeV.
 $D = \frac{E_{\text{str}}}{m} = \frac{2,6 \cdot 10^4 \cdot 5,998 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} + 4,26 \cdot 10^5 \cdot 7,68 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13}}{2,5} = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ Gy.}$

39

- a $^{63}_{28}\text{Ni} \rightarrow ^{63}_{29}\text{Cu} + ^0_{-1}\text{e}.$



b $A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N(t) \rightarrow$

$$N(t) = A(t) \cdot \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} = 5,0 \cdot 10^{10} \cdot \frac{85 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{0,693} = 1,93 \cdot 10^{20}.$$

De massa van één Ni-atoom is $62,93 \text{ u} = 62,93 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 1,04 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$.

De totale massa is dus $m = 1,93 \cdot 10^{20} \cdot 1,04 \cdot 10^{-25} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$.

c $P_{\text{kern}} = A \cdot E_{\beta} = 5,0 \cdot 10^{10} \cdot 62 \cdot 10^3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 4,97 \cdot 10^{-4} \text{ W} \rightarrow$

$$P_{\text{elektrisch}} = \eta \cdot P_{\text{kern}} = 0,040 \cdot 4,97 \cdot 10^{-4} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ W}.$$

d $N(t) = N(0) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} \rightarrow 0,90 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} \rightarrow \frac{t}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\log 0,90}{\log 0,5} = 0,152 \rightarrow$

$$t = 0,152 \cdot 85 = 13 \text{ jaar}.$$

15.5 MUZIEK EN TELECOMMUNICATIE | Trillingen en golven

40

- a** Een u,t -diagram heeft horizontaal de tijd staan, een u,x -diagram heeft horizontaal de plaats staan. Van een u,t -diagram kun je de trillingstijd aflezen, van een u,x -diagram de golflengte. Een u,t -diagram gaat over de beweging in de tijd van één punt, een u,x -diagram laat zien waar alle punten van het koord zijn op één tijdstip.
- b** Uit een u,t -diagram kun je de trillingstijd en de amplitude aflezen.
- c** Uit een u,x -diagram kun je de golflengte en de amplitude aflezen.
- d** Om uit een u,t -diagram de frequentie te bepalen, bepaal je eerst de trillingstijd T en reken je vervolgens uit: $f = 1/T$.
- e** Als de golf in een u,x -diagram naar rechts beweegt moet je kijken naar de positie van de golf links van het punt. Als de golf links van het punt hoger ligt, dan gaat het punt omhoog en als de golf links van het punt lager ligt, dan gaat het punt omlaag.

41

- a** Bij een trillende snaar is sprake van een golflengte en een golfsnelheid van de staande golf in de snaar.
- b** De golf in de snaar is een transversale golf.
- c** Een trillende vioolsnaar is aan twee kanten ingeklemd, dus heeft aan de twee uiteinden een knoop. Bij de grondtoon zit daar één buik tussen (dus een halve golflengte).
- d** Bij de tweede boventoon zullen er 3 halve golven passen in de snaar, er zitten dan dus 3 buiken in de snaar.
- e** De golflengte is dus 3x zo klein geworden ten opzichte van de grondtoon, dus is de frequentie 3x zo groot geworden: $3 \times 440 = 1,32 \cdot 10^3 \text{ Hz}$.
- f** De frequentie is kleiner dus is de trillingstijd groter. Een grotere massa in een massaveersysteem betekent een grotere trillingstijd dus is de massa van de gitaarsnaar groter geworden.
- g** De vorm van de klankkast is zodanig dat de lucht erin kan resoneren met de trillingen van de vioolsnaren. Op die manier wordt het geluid versterkt.

42

- a** 'AM' is de afkorting van Amplitude Modulatie. De informatie wordt dan aan de draaggolf toegevoegd door de amplitude van de draaggolf te variëren.
- b** De 747 kHz is de frequentie van de draaggolf.
- c** De bandbreedte is de breedte van het frequentiegebiedje waarbinnen de frequentie van de zender varieert.
- d** Een frequentiegebiedje wordt een kanaal genoemd. Om te zorgen dat deze frequentiegebieden elkaar niet overlappen zit er een niet gebruikt gebied tussen 2 kanalen. Het voorkomen van het overlappen van frequentiegebieden heet kanaalscheiding.



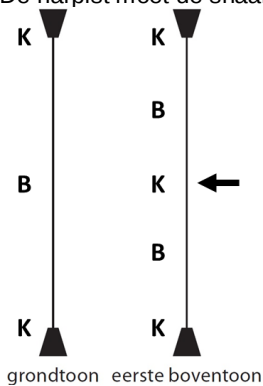
- e Het signaal van een AM-zender is analoog.
- f Bemonsteringsfrequentie en datatransfer rate horen bij het digitaliseren van een signaal. De bemonsteringsfrequentie is het aantal keer dat per seconde de uitwijking van de trilling wordt omgezet in een waarde. De datatransfer rate is de hoeveelheid informatie die per seconde wordt verstuurd (in Mbit/s).

43

- a Bij de grondtoon geldt dat $L = \frac{1}{2} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 2 \cdot L = 2 \cdot 0,45 = 0,90$ m.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{4,0 \cdot 10^2}{0,90} = 4,4 \cdot 10^2 \text{ Hz.}$$

- b Een langere snaar heeft een grotere golflengte en dus een lagere frequentie. De grondtoon is dus lager.
- c De harpist moet de snaar dempen bij het pijltje.



44

- a Als resonantie optreedt, komt de lengte van de gehoorgang overeen met een kwart golflengte. Dus geldt: $\lambda = 4 \cdot 0,028 = 0,112$ m. Dus geldt voor de resonantiefrequentie van de gehoorgang: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343}{0,112} = 3$ kHz.

Het klopt dus.

- b Bij een baby is de gehoorgang korter, dus is de resonantiefrequentie hoger.

45

- a In de grondtoon is de lengte van die spaak $l = \frac{1}{2} \cdot \lambda = 30$ cm $\rightarrow$

$\lambda = 60$ cm = 0,60 m. Voor de voortplantingssnelheid van golven in een spaak geldt: $v = \lambda \cdot f \rightarrow v = 0,60 \cdot 300 = 180$ m/s.

$$m_l = \frac{6,00 \cdot 10^{-3}}{0,30} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m} \rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{F_s}{m_l}} \rightarrow F_s = v^2 \cdot m_l = 180^2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-2} = 6,5 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- b Als de spaak strakker gespannen wordt, neemt de spankracht toe. Uit de formule volgt dat dan ook de snelheid van de golven in de spaak toeneemt. Omdat de golflengte gelijk blijft, neemt de frequentie en dus de toonhoogte van de spaak toe.

46

- a Bepaal uit figuur 82 de trillingstijd: $10 \cdot T = 0,019 \rightarrow T = 0,0019$ s.

De frequentie is dan $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0019} = 526$ Hz dus de opname is van strip 2.

- b Voor een strip die in de grondtoon trilt geldt: $l = \frac{1}{4} \cdot \lambda \rightarrow$

$$\lambda = 4 \cdot l = 4 \cdot 0,044 = 0,176 \text{ m.}$$

De golfsnelheid is dan $v = \lambda \cdot f = 0,176 \cdot 349 = 61$ m/s.



- c Voor de frequenties geldt de verhouding: $\frac{f_4}{f_3} = \frac{698}{349} = 2,00$. Als de golfsnelheden gelijk zouden zijn, moet dus gelden: $f_3 \cdot \lambda_3 = f_4 \cdot \lambda_4 \rightarrow \frac{\lambda_3}{\lambda_4} = \frac{f_4}{f_3} = 2,00$. Voor beide strips geldt dat $l = \frac{1}{4} \cdot \lambda$ dus als de golflengte van strip 3 2x zo groot is moet strip 3 ook 2x zo lang zijn als strip 4. In de foto van figuur 80 is duidelijk te zien dat dit niet zo is, dus zijn de golfsnelheden niet gelijk.

47

- a De downlinkfrequentie is $1,10 \cdot 1,88 = 2,07$ GHz. De bandbreedte is 40 MHz dus de frequentie kan 0,020 GHz groter of kleiner zijn. De downlinkfrequentie ligt tussen 2,05 en 2,09 GHz en overlapt dus niet met de uplinkfrequentie, die tussen 1,86 en 1,90 GHz ligt.
- b De frequentie van de draaggolf wordt gemoduleerd, dus er is sprake van frequentiemodulatie.
- c Zonder kanaalscheiding zouden de signalen elkaar overlappen en is niet meer duidelijk of er een signaal van de uplink of van de downlink wordt ontvangen.

15.6 SPORT EN VERKEER | Arbeid, energie en vermogen

48

- a Bij fietsen zorgen rolweerstand en luchtweerstand voor verlies van mechanische energie
- b Doordat de remmen warm worden merk je dat tijdens het remmen mechanische energie wordt omgezet in warmte.
- c Bij een grotere snelheid is de luchtweerstand hoger, dus moet je ook een grotere trapkracht leveren om de totale wrijvingskracht te overwinnen. Bij een grotere trapkracht wordt er meer arbeid verricht (als de afstand gelijk blijft).
- d De arbeid wordt groter en de tijd wordt korter, dus neemt het vermogen (de arbeid per seconde) meer toe.

49

- a Drie factoren die invloed hebben op het brandstofverbruik zijn snelheid, rendement en de wrijvingskrachten.
- b Bij hoge snelheid is de luchtweerstand veel groter dus is het brandstofverbruik veel groter.
- c In de stad moet steeds opnieuw worden afgeremd tot stilstand en weer opgetrokken. Bij het afremmen zet de remkracht de bewegingsenergie van de motor om in warmte en bij het optrekken is de motorkracht weer nodig om de auto bewegingsenergie te geven. Dit kost meer brandstof dan het gewoon op een constante snelheid blijven rijden.

50

- a Twee andere factoren die van invloed zijn op de maximale snelheid van een auto zijn de luchtweerstand en de rolweerstand.
- b Het vermogen is evenredig met de snelheid en met de tegenwerkende kracht. Bij een 2x zo grote snelheid wordt ook de tegenwerkende kracht (voornamelijk luchtweerstand) groter dus zal het vermogen meer dan 2x zo groot moeten zijn.
- c De luchtweerstand neemt kwadratisch toe met de snelheid en het vermogen is evenredig met de tegenwerkende krachten (voornamelijk luchtweerstand) en de snelheid, dus is het vermogen evenredig met derde macht van de snelheid.

51

- a Van bewegingsenergie naar zwaarte-energie en vervolgens weer naar bewegingsenergie.
- b De totale energie van de bal is in het hoogste punt kleiner dan bij de start. Als de bal weer onderaan komt is de totale energie van de bal nog kleiner dan in het hoogste punt.
- c De potentiële energie is het grootst in het hoogste punt.

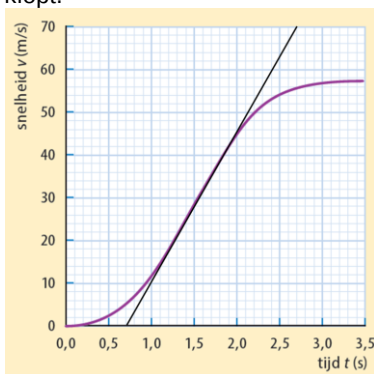


52

- a Tijdens het traplopen wordt de chemische energie door de spieren voornamelijk omgezet in zwaarte-energie en warmte.
- b De snelheid is tijdens het traplopen erg laag dus is de bewegingsenergie in verhouding tot de toename van de zwaarte-energie en de ontwikkelde warmte erg klein. Bovendien is de klimsnelheid vrijwel constant.
- c Dat het rendement bij traplopen ongeveer 20% is betekent dat $1/5^e$ deel van de energie van je spieren wordt omgezet in zwaarte-energie en de rest wordt omgezet in warmte.
- d Tijdens het traplopen wordt veel energie omgezet in zwaarte-energie, maar de energie van je spieren die omgezet wordt in warmte is 4x zo groot als de energie die wordt omgezet in zwaarte-energie dus zal je het snel warm krijgen.
- e De snelheid is constant en de spierkracht voornamelijk omhoog gericht, dus is de gemiddelde spierkracht tijdens het traplopen gelijk aan de zwaartekracht.

53

- a De maximale versnelling is gelijk aan de steilheid van de steilste raaklijn.
 $a = \frac{70-0}{2,7-0,7} = 35 \text{ m/s}^2$. Dit is $\frac{35}{9,81} = 3,6g$ dus de bewering dat de maximale versnelling groter is dan $3g$ klopt.



- b De trein krijgt in 3,5 s een snelheid van 57 m/s dus voor het gemiddelde vermogen geldt: $P_{\text{gem}} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 3,1 \cdot 10^3 \cdot 57^2}{3,5} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ W}$.

54

- a $P_{\text{motor}} = F_{\text{motor}} \cdot v = \text{constant}$. De snelheid neemt toe dus neemt F_{motor} af.
- b Het motorvermogen wordt gebruikt om de luchtweerstand te overwinnen en de kinetische energie te laten toenemen. Dus $P_{\text{motor}} = P_{\text{lucht}} + P_{\text{kinetische energie}}$.
 Op tijdstip $t = 50 \text{ s}$ geldt: $F_{\text{motor}} = 3,2 \text{ kN}$ en $F_{\text{lucht}} = 1,4 \text{ kN}$.
 Op dat tijdstip geldt $\frac{P_{\text{lucht}}}{P_{\text{motor}}} = \frac{F_{\text{lucht}} \cdot v}{F_{\text{motor}} \cdot v} = \frac{F_{\text{lucht}}}{F_{\text{motor}}} = \frac{1,4}{3,2} = 0,44$. Dus wordt van het motorvermogen 44% gebruikt voor het opheffen van de luchtweerstand en wordt $100\% - 44\% = 56\%$ gebruikt om de kinetische energie te laten toenemen.
- c De arbeid van de afremmende krachten is gelijk aan de afname van de kinetische energie ΔE_k . Aflezen van de snelheid van de Buckeye Bullet op $t = 90 \text{ s}$ geeft $v = 140 \text{ m/s}$. De arbeid per meter is dan

$$\frac{\Delta E_k}{s} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{s} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1740 \cdot 140^2}{1,9 \cdot 10^3} = 9,0 \cdot 10^3 \text{ J/m}$$

55

- a $W = E_{\text{veer}} + E_{z, \text{Lisa}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2 + m \cdot g \cdot h = 120 \cdot 3,1^2 + 48 \cdot 9,81 \cdot 2,3 = 2,2 \cdot 10^3 \text{ J}$



- b** Tijdens het springen blijven de koorden gespannen, dus zijn altijd iets uitgerekt.
 Bij het passeren van de evenwichtsstand is de uitrekking van de koorden 3,1 m is de snelheid van Lisa 4,4 m/s.
 Gebruik energiebehoud bij de evenwichtsstand en in het hoogste punt:
 $\sum E_{1, \text{bij passeren evenwichtsstand}} = \sum E_{2, \text{op hoogste punt}} \rightarrow$
 $E_{\text{veer},1} + E_{z,1} + E_{k,1} = E_{\text{veer},2} + E_{z,2} \rightarrow$
 $2 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 \rightarrow$
 $120 \cdot 3,1^2 + 48 \cdot 9,81 \cdot 2,3 + \frac{1}{2} \cdot 48 \cdot 4,4^2 = 120 \cdot u_2^2 + 48 \cdot 9,81 \cdot (2,3 + 2,6) \rightarrow$
 $u_2 = 1,8 \text{ m.}$

- 56** De wrijvingsarbeid is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek:

$$W_{\text{wrijving}} = F_w \cdot s = \left(\frac{15 \cdot 10^3 + 56 \cdot 10^3}{2} \right) \cdot 84 + 56 \cdot 10^3 \cdot 16 = 3,9 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

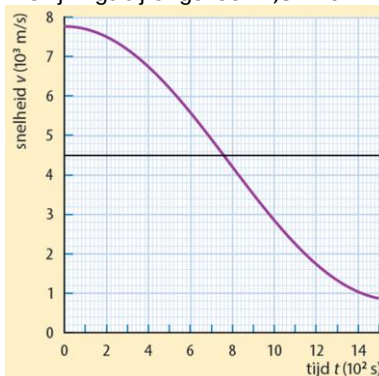
- 57** $P_{\text{hijs}} = \frac{E_z}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = m \cdot g \cdot v = 420 \cdot 9,81 \cdot 1,2 = 4,94 \cdot 10^3 \text{ W.}$

$$\eta = \frac{P_{\text{nut}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{hijs}}}{P_{\text{el}}} \rightarrow P_{\text{el}} = \frac{P_{\text{hijs}}}{\eta} = \frac{4,94 \cdot 10^3}{0,71} = 7,0 \cdot 10^3 \text{ W.}$$

58

- a** De afstand s die de shuttle aflegt, is gelijk aan de oppervlakte onder de v, t -grafiek. De oppervlakte is te bepalen door hokjes te tellen of door een zodanige horizontale lijn te trekken dat de oppervlakte onder deze lijn gelijk is aan de oppervlakte onder de grafiek.

Die lijn ligt bij ongeveer $4,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$, dus $s = 4,5 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^2 = 6,8 \cdot 10^6 \text{ m.}$



- b** De mechanische energie die tussen A en B in warmte wordt omgezet is gelijk aan $\Delta E_{\text{mech}} = (E_{zA} + E_{kA}) - (E_{zB} + E_{kB})$, met:

$$E_{zA} = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ J}, E_{kA} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot (7,8 \cdot 10^3)^2 = 2,80 \cdot 10^{12} \text{ J},$$

$$E_{zB} = 7,2 \cdot 10^9 \text{ J}, E_{kB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot (0,8 \cdot 10^3)^2 = 2,94 \cdot 10^{10} \text{ J. Dus}$$

$$\Delta E_{\text{mech}} = (1,1 \cdot 10^{11} + 2,80 \cdot 10^{12}) - (7,2 \cdot 10^9 + 2,94 \cdot 10^{10}) = 2,87 \cdot 10^{12} \text{ J.}$$

$$\text{Per seconde is dat gemiddeld } \frac{2,87 \cdot 10^{12}}{15 \cdot 10^2} = 1,9 \cdot 10^9 \text{ J.}$$

15.7 ZONNESTELSEL | Cirkelbaan en gravitatiekracht

59

- a** De richting van de snelheid verandert voortdurend, daar is een kracht voor nodig.
b Die (netto)kracht moet in de richting van het middelpunt van de cirkelbeweging werken.
c Bij planeten levert de gravitatiekracht (van de zon) de kracht die nodig is voor een cirkelbeweging. Bij satellieten die om de aarde draaien is dat de zwaartekracht van de aarde.



- d** De satelliet draait rondjes om de aarde met dezelfde omlooptijd als de tijd waarin de aarde om zijn as draait en zo lijkt het alsof de satelliet stil staat. De zwaartekracht van de aarde op de satelliet werkt als middelpuntzoekende kracht bij deze cirkelbeweging.

60

- a** De baanstraal van Jupiter is veel groter dan die van de aarde dus dan is de baansnelheid van Jupiter veel kleiner.
b Omdat de omtrek van de cirkelbaan van Jupiter groter is en zijn snelheid kleiner is de omlooptijd van Jupiter vele malen groter dan die van de aarde.
c De massa is niet van invloed op de baansnelheid en de omlooptijd dus als de massa van Jupiter even groot was als die van de aarde zou dat niets veranderen aan de baansnelheid en de omlooptijd van Jupiter.

61

- a** De valversnelling g hangt af van de massa en de straal van de aarde.
b Als je een voorwerp optilt neemt de zwaarte-energie van dat voorwerp toe.
c Als een satelliet naar de aarde terugvalt neemt de gravitatie-energie van dat voorwerp af.
d Als een voorwerp verder van de aarde af komt neemt zijn gravitatie-energie toe doordat de kinetische energie van het voorwerp wordt omgezet in gravitatie-energie. De gravitatie-energie is altijd negatief, dus als de som van kinetische energie en gravitatie-energie nul of meer is, heeft het voorwerp voldoende kinetische energie om aan de aarde te kunnen ontsnappen.
e Behalve de voorwaarde van vraag **d** moet het voorwerp zich van de aarde af bewegen (de richting van de snelheid moet van het middelpunt van de aarde af zijn gericht).

62

- a** De belangrijkste taak van de geostationaire satellieten is communicatie.
b Het middelpunt van de cirkelbaan van de satelliet moet samenvallen met het middelpunt van de aarde en de baan moet loodrecht staan op de draai-as van de aarde. De hoogte, en dus de snelheid, van de satelliet moet zodanig zijn dat de omlooptijd van de satelliet gelijk is aan de tijd van één omwenteling van de aarde. Dat is maar bij één baanstraal mogelijk.
c Als de observatiesatellieten over de polen draaien kunnen ze de hele aarde observeren en als de baanstraal kleiner is draaien ze in één dag meerdere keren over de aarde heen. Bovendien kunnen ze dan meer details zien.

63

- a** De gravitatie-energie is altijd negatief en is in het oneindige 0 dus tijdens de lancering neemt de gravitatie-energie toe.
b Omdat de som van de kinetische energie en gravitatie-energie constant is en de gravitatie-energie afneemt als de satelliet dicht bij de aarde is zal de kinetische energie dan toenemen. De snelheid is dus het grootst als de satelliet dicht bij de aarde is.

64

- a** Voor de satellietbaan geldt: $F_g = F_{\text{mpz}} \rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow v^2 \cdot r = G \cdot M \rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$.
b Voor de minimale ontsnappingsnelheid vanaf de aarde met straal R geldt:

$$E_k + E_g = 0 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - G \cdot \frac{m \cdot M}{R} = 0 \rightarrow \frac{1}{2} v^2 = G \cdot \frac{M}{R} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$



65

- a $r = 8,3 \text{ lm} = 8,3 \cdot 60 \cdot 3,00 \cdot 10^8 = 1,49 \cdot 10^{11} \text{ m/s}$ dus de snelheid is
 $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 1,49 \cdot 10^{11}}{365,25 \cdot 24 \cdot 3600} = 2,97 \cdot 10^4 \text{ m/s}$.
 Voor de cirkelbaan geldt $F_g = F_{\text{mpz}} \rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{zon}}}{r^2} = \frac{m \cdot v}{r} \rightarrow$
 $M_{\text{zon}} = \frac{v^2 \cdot r}{G} = \frac{(2,97 \cdot 10^4)^2 \cdot 1,49 \cdot 10^{11}}{6,674 \cdot 10^{-11}} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.
- b $\frac{r_{\text{Jupiter}}}{r_{\text{aarde}}} = \frac{43}{8,3} = 5,18$ en uit $F_g = F_{\text{mpz}}$ volgt $G \cdot M_{\text{zon}} = v^2 \cdot r$. Als de baanstraal van Jupiter 5,18x zo groot is, dan is de snelheid van Jupiter $\sqrt{5,18}$ x zo klein $\rightarrow$
 $v_{\text{Jupiter}} = \frac{v_{\text{aarde}}}{\sqrt{5,18}} = \frac{2,97 \cdot 10^4}{\sqrt{5,18}} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ m/s} = 1,3 \text{ km/s}$.
- c $v = \frac{2\pi r}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi r}{v}$ dus als de snelheid van Jupiter $\sqrt{5,18}$ x zo klein is en de baanstraal van Jupiter 5,18x zo groot is, dan is de omlooptijd van Jupiter $5,18 \cdot \sqrt{5,18}$ x zo groot $\rightarrow T_{\text{Jupiter}} = 5,18 \cdot \sqrt{5,18} \cdot 1,0 = 12 \text{ jaar}$.
- d $\frac{m_{\text{Jupiter}}}{m_{\text{aarde}}} = \frac{9,90 \cdot 10^{27}}{5,97 \cdot 10^{24}} = 1,66 \cdot 10^3$ en uit $F_g = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ volgt dat als de massa van Jupiter $1,66 \cdot 10^3$ x zo groot is en de baanstraal 5,18x zo groot dat de gravitatiekracht van de zon op Jupiter $\frac{1,66 \cdot 10^3}{5,18^2} = 62$ x zo groot is.

66

- a De zonnevlek bevindt zich op de evenaar dus de rotatiestraal is gelijk aan de straal van de zon. De zonnevlek legt in 11 dagen een halve baancirkel af dus de rotatieperiode van de zonnevlek 22 dagen: $T = 22 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,90 \cdot 10^6 \text{ s} \rightarrow v = \frac{2\pi \cdot R_{\text{zon}}}{T} = \frac{2\pi \cdot 6,963 \cdot 10^8}{1,90 \cdot 10^6} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.
- b $g = G \cdot \frac{M}{R_{\text{zon}}^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,9884 \cdot 10^{30}}{(6,963 \cdot 10^8)^2} = 274 \text{ m/s}^2$.

67

- a Voor een cirkelbeweging rond de aarde geldt: $F_g = F_{\text{mpz}} \rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow v^2 = \frac{G \cdot M}{r}$.
 Invullen van $v = \frac{2\pi r}{T}$ levert: $\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{G \cdot M}{r} \rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{G \cdot M} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M}}$.
- b Voor de baanstraal van de satelliet geldt:
 $r = r_{\text{aarde}} + h = 6,371 \cdot 10^6 + 400 \cdot 10^3 = 6,771 \cdot 10^6 \text{ m}$.
 $E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{aarde}}}{r} = -6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{156 \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{6,771 \cdot 10^6} = -9,18 \cdot 10^9 \text{ J}$.
 $F_g = F_{\text{mpz}} \rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow$
 $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_{\text{aarde}}}{r}} = \sqrt{\frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{6,771 \cdot 10^6}} = 7,672 \cdot 10^3 \text{ m/s} \rightarrow$
 $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 156 \cdot (7,672 \cdot 10^3)^2 = 4,59 \cdot 10^9 \text{ J}$.
- c De afstand van één omwenteling is $s = 2\pi r = 2\pi \cdot 6,771 \cdot 10^6 = 4,254 \cdot 10^7 \text{ m}$.
 De arbeid van de wrijvingskracht is dan
 $W_{\text{wrijving}} = F_w \cdot s = 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 4,254 \cdot 10^7 = 2,00 \cdot 10^5 \text{ J}$.
 $E_{\text{tot}} = E_k + E_g = (4,59 - 9,18) \cdot 10^9 = -4,59 \cdot 10^9 \text{ J}$.
 Dus is de arbeid van de wrijvingskracht $\frac{2,00 \cdot 10^5}{4,62 \cdot 10^9} \times 100\% = 4,36 \cdot 10^{-3} \%$.
- d Als de satelliet dichterbij de aarde komt wordt de dichtheid van de atmosfeer groter, waardoor de wrijvingskracht en dus ook de wrijvingsarbeid groter wordt.



68

- a De afstand van de zon tot de aarde is $0,1496 \cdot 10^{12}$ m en de afstand tot Aldebaran is $63,1 \cdot 10^{16}$ m $\rightarrow s = \frac{63,1 \cdot 10^{16}}{0,1496 \cdot 10^{12}}$ m = $4,22 \cdot 10^6$ AE. De snelheid is 2,6 AE per jaar dus $t = \frac{s}{v} = \frac{4,22 \cdot 10^6}{2,6} = 1,6 \cdot 10^6$ jaar.
- b De snelheid van Pioneer-10 is
 $v = 2,6 \text{ AE/jaar} = 2,6 \cdot \frac{0,1496 \cdot 10^{12}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,23 \cdot 10^4 \text{ m/s}$.
 Voor de ontsnappingssnelheid geldt: $E_k + E_g = 0 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = G \cdot \frac{m \cdot M}{R} \rightarrow$
 $v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 1,9884 \cdot 10^{30}}{6,2 \cdot 10^{12}}} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$.
 Dus de snelheid van de Pioneer-10 is groot genoeg.

69

- a De minimale benodigde energie om te ontsnappen aan het gravitatieveld van de aarde volgt uit: $E_k + E_g = 0$
 $\rightarrow$
 $E_k = -E_g = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{aarde}}}{(R_{\text{aarde}} + 300 \cdot 10^3)} = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{4,0 \cdot 10^3 \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{(R_{\text{aarde}} + 300 \cdot 10^3)}$
 $= 2,4 \cdot 10^{11} \text{ J}$
- b Op de juiste plaats geldt: $F_{\text{grav aarde}} = F_{\text{grav maan}} \rightarrow$
 $\frac{G \cdot m \cdot M_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2} = \frac{G \cdot m \cdot M_{\text{maan}}}{r_{\text{maan}}^2} \rightarrow \frac{r_{\text{aarde}}^2}{r_{\text{maan}}^2} = \frac{M_{\text{aarde}}}{M_{\text{maan}}} = 81 \rightarrow \frac{r_{\text{aarde}}}{r_{\text{maan}}} = 9,0 \rightarrow$
 $r_{\text{aarde}} = 9,0 \cdot r_{\text{maan}}$.
 Dit invullen in $r_{\text{aarde}} + r_{\text{maan}} = 384,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ geeft
 $9,0 \cdot r_{\text{maan}} + r_{\text{maan}} = 384,4 \cdot 10^6 \rightarrow r_{\text{maan}} = 3,8 \cdot 10^7 \text{ m}$.

15.8 ELEKTROMAGNETISME | Versnellen en afbuigen

70

- a Bij de rechterhandregel van een rechte stroomdraad geeft de duim de richting van de elektrische stroom aan en de (gekromde) vingers de richting van het magnetisch veld.
- b Bij de rechterhandregel van het magnetisch veld in een spoel geeft de duim de richting van het magnetisch veld in de spoel aan en de (gekromde) vingers de richting van de elektrische stroom.
- c Bij de rechterhandregel van de lorentzkracht geeft de duim de richting van de elektrische stroom aan en de vingers de richting van het magnetisch veld op de plaats waar de stroomdraad zich bevindt.
- d De lorentzkracht komt dan uit de palm van je hand en staat altijd loodrecht op de stroom én loodrecht op het magnetisch veld.
- e Deeltjes met een positieve lading bewegen in dezelfde richting als de stroom en bij deeltjes met een negatieve lading is de richting van de elektrische stroom tegengesteld aan de snelheid.

71

- a Bij een grotere veldsterkte zijn de veldlijnen dichter bij elkaar getekend, zo kun je aan het veldlijnenpatroon zien waar de sterkte van het veld het grootst is.
- b Bij kromme veldlijnen bepaal je de richting van de veldsterkte met een raaklijn aan de kromme in het punt waar je de richting wilt weten.
- c In een homogeen veld zijn de veldlijnen recht en op gelijke onderlinge afstand.

72

- a Als een deeltje versneld wordt door een elektrisch veld neemt de potentiële energie af.
- b Tijdens de beweging omhoog neemt de potentiële energie van de bal toe.
- c Met potentiaalverschil wordt dan bedoeld het verschil in (potentiële) elektrische energie per ladingseenheid.



- d Met potentiaal wordt bedoeld dat er energie omgezet kan worden.
- e Energieverschil per ladingseenheid heeft als eenheid J/C en het potentiaalverschil is ook de spanning dus is de eenheid van spanning ook J/C.

73

- a In een röntgenbuis worden elektronen versneld door een versnelspanning.
- b In een elektronenkanon worden ook elektronen versneld door een versnelspanning.
- c In een luidspreker wordt de conus heen en weer bewogen door de lorentzkracht van een magneet op de wisselende stroomsterkte en stroomrichting door de spoel.
- d Een elektromotor maakt ook gebruik van de lorentzkracht op een wisselende stroomsterkte en stroomrichting door een spoel.
- e In een dynamische microfoon brengt het geluid een trilplaatje met daaraan een spoel in een magnetisch veld in trilling waardoor een inductiespanning ontstaat.
- f Een dynamo maakt ook gebruik van inductie die veroorzaakt wordt door een ronddraaiende magneet in een spoel.

74

- a De ronddraaiende magneet zorgt voor een wisselend magneetveld in de spoel en juist dat wisselende magneetveld zorgt voor een wisselende inductiespanning.
- b De spanning die een dynamo levert is groter te maken door de magneet sneller te laten ronddraaien, door een sterkere magneet te gebruiken, door een spoel met meer windingen te gebruiken en door een spoel met een grotere oppervlakte te gebruiken.
- c De fluxverandering per tijdseenheid wordt groter de dynamo sneller ronddraait, als de magneet sterker is en als de spoel een grotere oppervlakte heeft.

75

- a Noem het aantal keren dat de spanning doorlopen moet worden x .
 $\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{eind}^2 = q \cdot U \rightarrow$
 $\frac{1}{2} \cdot 1,673 \cdot 10^{-27} \cdot (1,2 \cdot 10^7)^2 = 1,602 \cdot x \cdot 5,0 \cdot 10^3 \rightarrow x = 1,5 \cdot 10^2.$
- b De richting van de stroom is de richting waarin de (positieve) protonen bewegen en de protonen worden in beide buizen naar links afgebogen dus moet de lorentzkracht in beide buizen naar links zijn. Volgens de rechterhandregel is dan de richting van het magneetveld in de linker buis naar beneden en in de rechter buis naar boven. Zie figuur.



- c Dit is alleen af te leiden met behulp van relativiteit.
- d $F_{mpz} = F_L \rightarrow \frac{E}{r} = B \cdot q \cdot c \rightarrow B = \frac{E}{r \cdot q \cdot c}.$

De omtrek van de LHC is 27 km dus de straal is $r = \frac{27 \cdot 10^3}{2\pi} = 4,30 \cdot 10^3 \text{ m}.$

$$B = \frac{7,0 \cdot 10^{12} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{4,30 \cdot 10^3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 3,00 \cdot 10^8} = 5,4 \text{ T}.$$



- e Er gaan 2808 groepjes protonen rond en elk proton heeft een snelheid van bijna $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s. De omtrek van de LHC is 27 km dus de tijd die een proton doet over één rondje is $t = \frac{s}{v} = \frac{27 \cdot 10^3}{3,0 \cdot 10^8} = 9,0 \cdot 10^{-5}$ s.
Noem het aantal protonen in één groepje x .
De totale stroomsterkte is dan $I = \frac{Q}{t} = \frac{2808 \cdot x \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{9,0 \cdot 10^{-5}} = 0,582 \text{ A} \rightarrow$
 $x = 1,2 \cdot 10^{11}$.

76

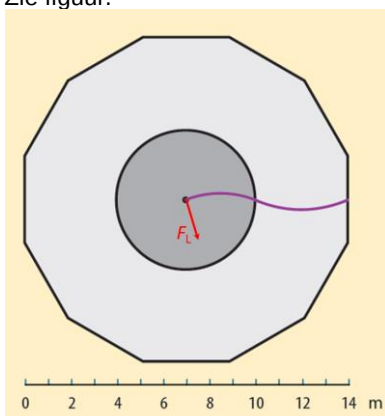
- a De stroomrichting door draad A is naar beneden dus is de richting van het magneetveld van draad A van bovenaf gezien met de klok mee en dat betekent dat het magneetveld in punt Q naar voren is gericht. Zie linker figuur.



- b Het magneetveld in punt Q is naar voren gericht en de stroomrichting naar beneden dus is met de rechterhandregel te bepalen dat de richting van de lorentzkracht naar links is. Zie linker figuur.
c Het magneetveld van de rechterdraad in punt Q is naar achteren en de stroomrichting naar beneden dus is de richting van de lorentzkracht naar rechts. Zie rechter figuur.
d Door elke stroomdraad gaat 12,5 A, dus
 $B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi r} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{12,5}{2\pi \cdot 0,040} = 6,27 \cdot 10^{-5} \text{ T.} \rightarrow$
 $F_L = B \cdot I \cdot l = 6,27 \cdot 10^{-5} \cdot 12,5 \cdot 0,50 = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$
e Je berekent de lorentzkracht van het magneetveld van de ene draad op de andere draad en niet de lorentzkracht van een draad op zichzelf dus moet je de magnetische veldsterktes niet bij elkaar optellen.

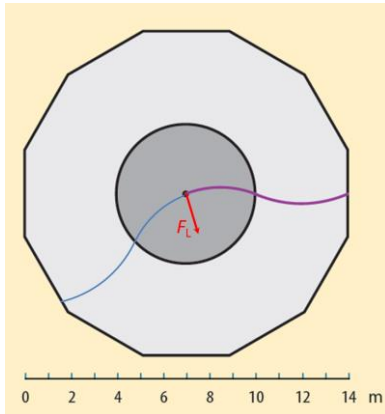
77

- a Het magnetisch veld in het donkergrijze gebied zorgt voor een lorentzkracht loodrecht op de baan van het deeltje waardoor dit een cirkelbaan gaat beschrijven.
b Zie figuur.





- c Het anti-muon heeft een positieve lading dus is de richting van de 'stroom' naar rechts. Met de rechterhandregel is nu te bepalen dat de richting van het magneetveld in het donkergrijze gebied het papier uit moet zijn. In het lichtgrijze gebied wordt het anti-muon naar boven afgebogen dus is de lorentzkracht naar boven en de richting van het magneetveld het papier in.
- d Het muon heeft een negatieve lading, dus is de richting van de 'stroom' tegen de bewegingsrichting in en wijst de lorentzkracht weer naar beneden. Zie verder de figuur.



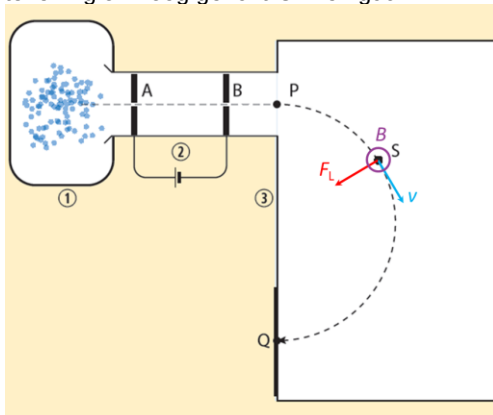
- e Invullen van de eenheden in de formule: $E = B \cdot q \cdot c \cdot r \rightarrow \text{J} = \text{T} \cdot \text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m} \rightarrow \text{N} \cdot \text{m} = \text{T} \cdot \text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}$.
De formule voor de lorentzkracht luidt $F_L = B \cdot q \cdot v \rightarrow \text{N} = \text{T} \cdot \text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Combineren van beide levert: $\text{N} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m}$.
- f Als de snelheid van het deeltje afneemt wordt zijn energie kleiner en uit de formule voor het wegschietende deeltje $E = B \cdot q \cdot c \cdot r$ volgt dat de straal dan ook kleiner wordt. Dus de grotere straal in het lichtgrijze gebied kan niet veroorzaakt worden doordat de snelheid van het deeltje is afgenomen.
- g Uit de formule voor het wegschietende deeltje $E = B \cdot q \cdot c \cdot r$ volgt dat als de energie van het deeltje gelijk blijft en het magneetveld kleiner wordt, de straal groter moet worden. Dus de grotere straal in het lichtgrijze gebied kan wel veroorzaakt worden doordat het magnetisch veld in het lichtgrijze gebied kleiner is dan in het donkergrijze gebied.
- h De straal van de baan de grijze cirkel is $r = 4 \text{ m} \rightarrow$
 $E = B \cdot q \cdot c \cdot r = 4,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 3,0 \cdot 10^8 = 8 \cdot 10^{-10} \text{ J}$.

78

- a Voor het versnellen geldt: $q \cdot U_{AB} = \Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ en q en U_{AB} zijn voor alle ionen gelijk. Dus is de snelheid van de isotopen met de kleinste massa het grootste en heeft lood-206 de grootste snelheid.



- b** In punt S is de richting van de snelheid gelijk aan de raaklijn. De isotopen zijn positief dus is de richting van de snelheid ook de richting van de 'stroom'. De middelpuntzoekende kracht (wordt geleverd door de Lorentzkracht en) is naar het middelpunt van de cirkelbaan gericht. Hieruit volgt dat het magnetische veld vanuit het vlak van tekening omhoog gericht is. Zie figuur.



- c** Voor het versnellen van het deeltje geldt: $q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ en voor de cirkelbeweging geldt: $F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow B \cdot q \cdot r = m \cdot v$.

In de af te leiden formule komt de snelheid niet meer voor, dus schrijf $B \cdot q \cdot r = m \cdot v$ om naar $v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$ en vul dit in in de eerstgenoemde vergelijking:

$$q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{m^2} \rightarrow m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}}$$

- d** Voor m geldt: $m = 206,98 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} = 3,4369 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ en

$$m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}} \rightarrow U_{AB} = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot m} = \frac{0,182^2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot \left(\frac{0,560}{2}\right)^2}{2 \cdot 3,4369 \cdot 10^{-25}} = 605 \text{ V}.$$

79

a $q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow U = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot q} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (9,0 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}} = 4,2 \cdot 10^5 \text{ V}.$

b $\Delta E_{el} = q \cdot U = 0,42 \text{ MeV}.$

- c** $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$ en voor de door de elektrische kracht verrichtte arbeid geldt:

$$W = \Delta E_{el} \rightarrow F_{el} \cdot s = q \cdot U \rightarrow q \cdot E \cdot s = q \cdot U \rightarrow$$

$$s = \frac{U}{E} = \frac{4,2 \cdot 10^5}{5,5 \cdot 10^6} = 0,077 \text{ m} = 7,7 \text{ cm}.$$

80

- a** Als de spoel wordt aangesloten op een wisselspanning ontstaat er in die spoel een veranderend magnetisch veld. Dit magnetisch veld zit in de weekijzeren kern. De aluminium ring omvat dit magnetisch veld dus ook. De aluminium ring is een gesloten stroomkring en dus veroorzaakt het veranderend magnetisch veld een inductiestroom in deze ring. Deze stroom is sterker dan de stroom in de spoel omdat de aluminium ring maar uit één winding bestaat en de spoel heel veel windingen heeft.
- b** Alleen bij een veranderend magnetisch veld ontstaat een inductiespanning.

15.9 ZONNESTELSEL EN HEELAL | Astrofysica

81

- a** De zon zendt voornamelijk zichtbaar licht, infrarode en ultravioletstraling uit.
- b** Met behulp van radiogolven kun je koude objecten in de ruimte waarnemen.



- c De atmosfeer laat de radiogolven gewoon door, dus is het eenvoudiger om deze waarnemingen op aarde te doen.
- d Voor de waarneming van infraroodstraling, gammastraling, röntgenstraling en ultravioletstraling moet wel een ruimtetelescoop worden gebruikt.

82

- a Door de stralingskromme te vergelijken met de theoretische planckkromme kan de oppervlaktetemperatuur van de ster bepaald worden.
- b Bij een hogere temperatuur zendt een voorwerp niet alleen méér stralingsenergie uit maar is de kleur van de uitgezonden straling ook anders. Er worden dan ook fotonen van een hogere energie uitgezonden zodat de gemiddelde fotonenergie groter is als de oppervlaktetemperatuur van de ster hoger is.
- c De fotonenergie van blauw licht is hoger dan van rood licht dus een blauwe ster is heter dan een rode ster.
- d De buitenste gasvormige laag van de ster absorbeert bepaalde golflengtes van het door de zon uitgezonden licht. De golflengtes van deze absorptielijnen zijn de golflengtes die het gas zelf uitzendt en komen dus overeen met de emissielijnen van de elementen die aan de buitenkant van de ster aanwezig zijn.
- e Met behulp van de verschuiving van het gemeten absorptiespectrum ten opzichte van het emissiespectrum van de elementen van de ster is aan de hand van het dopplereffect te bepalen hoe snel de ster van de aarde af of naar de aarde toe beweegt.
- f Bij een roodverschuiving beweegt het sterrenstelsel van ons af dus dit betekent dat het heelal uitdijt.

83

- a Een elektron in een atoom kan vaak op meerdere manieren (met verschillende tussenniveaus) terugvallen naar de grondtoestand dus horen bij elke aangeslagen toestand één of meerdere spectraallijnen.
- b Aan de hand van het energieniveauschema is het energieverschil tussen twee niveaus te bepalen en met behulp van dit energieverschil is de energie en daarmee ook de golflengte van het uitgezonden foton uit te rekenen.
- c De fotonenergie is omgekeerd evenredig met de golflengte dus bij een grote energiestap hoort een foton met veel energie en een kleine golflengte.
- d Vanuit $n = 4$ kunnen er 6 verschillende fotonen worden uitgezonden ($4 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 1$).

84

- a Het stralingsvermogen van de zon wordt verdeeld over een bol met als straal de afstand tot de zon. De zonneconstante is dan het stralingsvermogen van de zon gedeeld door het oppervlak van de bol met als straal de afstand van de aarde tot de zon. Dus door de zonneconstante te vermenigvuldigen met dit boloppervlak is het stralingsvermogen van de zon te berekenen.
- b Als de afstand 5 x zo ver is, is het boloppervlak 25 x zo groot dus is de zonneconstante bij Jupiter 25 x zo klein.
- c De stralingsintensiteit is het stralingsvermogen per m^2 dus door het stralingsvermogen te delen door de stralingsintensiteit wordt het boloppervlak berekend waarvan de straal de afstand van de sonde tot de zon is.

85

- a De oppervlaktetemperatuur van een ster kan bepaald worden door de stralingskromme te vergelijken met de theoretische planckkromme.
- b Om het stralingsvermogen te berekenen moet je naast de oppervlaktetemperatuur ook de grootte van de ster weten want een grotere ster zal een hoger stralingsvermogen hebben.
- c In het Hertzsprung-Russel-diagram worden de grootte van de ster, de oppervlaktetemperatuur en het stralingsvermogen weergegeven.
- d $\log \frac{L}{L_{\odot}} = 0$ in Binas tabel 33 betekent dat $L = L_{\odot}$ dus dat de lichtsterkte gelijk is aan de lichtsterkte van de zon. In figuur 27 van het boek staat $\log \frac{P}{P_{\odot}} = 0$ en dat betekent dat het stralingsvermogen gelijk is aan dat van de zon. Verder zit de zon op de lijn $1 \cdot R_{\odot}$ en dat betekent dat de straal gelijk is aan de straal van de zon.



- e Als deze ster middenin de hoofdreeks ligt en als $\log T_{\text{eff}} = 4,00$ dan is $\log \frac{P}{P_{\odot}} \approx 2$ dus is het stralingsvermogen van deze ster ongeveer 10^2 x zo groot als het stralingsvermogen van de zon.
- f De straal van deze ster is groter dan die van de zon want de ster bevindt zich boven de lijn $1 \cdot R_{\odot}$.

86

- a Lijnen in het zonnenspectrum die veroorzaakt worden door de aanwezigheid van waterstof zijn: 397 nm, 410 nm, 434 nm, 486 nm en 656 nm.
- b $E_f = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3,00 \cdot 10^8}{\lambda} = \frac{1,988 \cdot 10^{-25}}{\lambda}$.
- $\lambda = 397 \text{ nm} = 3,97 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E_f = 5,01 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,
 $\lambda = 410 \text{ nm} = 4,10 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E_f = 4,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,
 $\lambda = 434 \text{ nm} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E_f = 4,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,
 $\lambda = 486 \text{ nm} = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E_f = 4,09 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,
 $\lambda = 656 \text{ nm} = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E_f = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

87

- a $493 + 7 = 500 \text{ nm}$ en $493 - 7 = 486 \text{ nm}$. De lijn met golflengte 486 nm hoort in het waterstofspectrum, het is de sprong van $n = 4$ naar $n = 2$.
- b De gemeten golflengte is groter dan de golflengte van de betreffende waterstoflijn dus is er sprake van een roodverschuiving en beweegt het sterrenstelsel van de aarde af.
- c $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{7}{493} \cdot 3,00 \cdot 10^8 = 4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

88

- a $P_{\text{bron}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 = \sigma \cdot 4\pi \cdot R^2 \cdot T^4$ en voor Sirius A is $R = 1,7 \cdot R_{\odot}$ en $T = 9,9 \cdot 10^3 \text{ K}$ dus
 $P_{\text{bron}} = 5,670 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi \cdot (1,7 \cdot 6,963 \cdot 10^8)^2 \cdot (9,9 \cdot 10^3)^4 = 9,6 \cdot 10^{27} \text{ W}$.
- b De grafiek bevat ongeveer $1 \cdot 10^4 \cdot (160 - 120) = 4 \cdot 10^5$ fotonen per s op 1 cm^2 .
- c De energie van één foton is ongeveer
 $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{140 \cdot 10^{-9}} = 1,4 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ dus geldt voor het gebied van de grafiek: $I = 4 \cdot 10^5 \cdot 1,4 \cdot 10^{-18} = 5,7 \cdot 10^{-13} \text{ W/cm}^2 = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$.
- De totale intensiteit van Sirius A is $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} = \frac{9,6 \cdot 10^{27}}{4\pi \cdot (8,2 \cdot 10^{16})^2} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$.
- Dus is de bijdrage van het spectrumdeel van 120 tot 160 nm ten opzichte van het totaal ontvangen vermogen:
 $\frac{5,7 \cdot 10^{-9}}{1,1 \cdot 10^{-7}} \times 100\% = 5\%$

89

- a In de figuur is te zien dat in ongeveer 5,5 dag de zonnevlek een kwart periode verder is gedraaid. De rotatieperiode is dus ongeveer $4 \times 5,5 = 22$ dagen.
- b Volgens Binas tabel 32 B is de effectieve temperatuur van de zon $5,78 \cdot 10^3 \text{ K}$. De absolute effectieve temperatuur van zonnevlekken is 1250 °C lager dus deze temperatuur is $5,78 \cdot 10^3 - 1250 = 4,53 \cdot 10^3 \text{ K}$.
- c $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{k_W}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{4,53 \cdot 10^3} = 6,40 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 640 \text{ nm}$.
- d Voor de het stralingsvermogen de vlek geldt $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$ en de intensiteit is evenredig met het vermogen. De temperatuur van een zonnevlek is
 $\frac{4,53 \cdot 10^3}{5,78 \cdot 10^3} = 0,784$ x de temperatuur van het zonne-oppervlak dus is de gemiddelde stralingsintensiteit van de vlek $0,784^4 \times 100\% = 38\%$ van de stralingsintensiteit van het zonne-oppervlak.
- e $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r = \sqrt{\frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot I}} = \sqrt{\frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4\pi \cdot 1368}} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$.



90

- a $I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi \cdot r^2} = \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4\pi \cdot (7,3 \cdot 10^9)^2} = 5,75 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$.
- b Het vermogen dat op 1 m^2 wordt ingestraald is $P_{\text{in}} = 5,75 \cdot 10^5 \text{ W}$ en voor het uitgestraalde vermogen van 1 m^2 geldt $P_{\text{uit}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 = \sigma \cdot 1 \cdot T^4$.
- $$P_{\text{in}} = P_{\text{uit}} = \sigma \cdot T^4 \rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{in}}}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{5,75 \cdot 10^5}{5,670 \cdot 10^{-8}}} = 1,78 \cdot 10^3 \text{ K}.$$

15.10 QUANTUMWERELD | Deeltjes en quantumverschijnselen

91

- a Pas vanaf een bepaalde frequentie hebben de fotonen voldoende energie om een elektron uit het oppervlak van het metaal los te maken.
- b De energie loopt in een rechte lijn schuin omhoog, dus is de fotonenergie evenredig met de frequentie.
- c Pas als de fotonenergie gelijk is aan de uittree-energie komt er een elektron vrij en de kinetische energie van dat elektron is dan nul. De lijn wordt gestippeld doorgetrokken onder de nullijn van de kinetische energie tot aan het snijpunt met de verticale as omdat het elektron geen negatieve kinetische energie krijgt als de fotonenergie minder groot is als de uittree-energie.
- d De constante van Planck is de helling van de lijn: $h = \frac{h \cdot f}{f} = \frac{E_f}{f}$.

92

- a Elke kleur licht zal een ander interferentiepatroon laten zien dus als er geen monochromatisch licht wordt gebruikt lopen er verschillende interferentiepatronen door elkaar en zijn de afzonderlijke lichtvlekken moeilijker te onderscheiden.
- b Interferentie is een golfverschijnsel: de lichtgolven uit de twee spleten doven elkaar uit op sommige plekken en versterken elkaar op andere plekken.
- c Als de afstand tussen de spleten kleiner wordt gemaakt waaiert het interferentiepatroon verder uit.
- d Als het dubbelspleetexperiment met elektronen wordt gedaan toont dit het golfkarakter van de elektronen aan. Hiermee is dan de de Broglie-golflengte van de elektronen te bepalen.
- e De de Broglie-golflengte van de elektronen is veel kleiner dan de golflengte van licht en dus moet de afstand tussen de spleten veel kleiner gemaakt worden om een interferentiepatroon waar te kunnen nemen.

93 De de Broglie-golflengte van de elektronen die gebruikt worden in een elektronenmicroscop is veel kleiner dan de golflengte van licht dus zal er niet zo snel interferentie optreden bij het zichtbaar maken van kleine details.

94

- a Als de spanning groter wordt gemaakt is de energie-barrière voor de elektronen kleiner waardoor de kans op tunneling groter wordt.
- b De kans op tunneling hangt ook af van de afstand tussen de tip van de STM en het onderzoeksobject.
- c Als de afstand tussen de tip en de atomen op het oppervlak van het onderzoeksobject afneemt, neemt de kans op tunneling toe en daardoor neemt de gemeten stroomsterkte toe. Zo wordt het hele oppervlak van het object afgetast en wordt overal de stroomsterkte gemeten. Dit wordt vertaald naar een 'hoogtekaart' van het oppervlak van het object.

95

- a De bohrstraal is de afstand tot de kern waarbij de kans om het elektron te detecteren het grootst is.
- b De onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg zegt dat het onmogelijk is om tegelijkertijd zowel de positie als de impuls van een elektron nauwkeurig waar te nemen. Als de positie nauwkeurig bepaald kan worden, blijkt de impuls niet nauwkeurig bepaald te kunnen worden en andersom.



96

- a De energie van een elektron in een atoom wordt negatief gerekend, omdat het elektron zich in een gebonden toestand bevindt. Er moet daardoor energie worden toegevoerd om het elektron los te maken uit het atoom. Als het elektron helemaal vrij is op grote afstand van de kern en zonder snelheid, is de energie 0 volgens de algemeen geldende afspraak.
- b Bij een groot molecuul heeft het elektron een grote de Broglie-golflengte.
- c Bij een groot molecuul heeft een kleine nulpuntsenergie.
- d Bij grote moleculen is de onbepaaldheid in positie groot, en dus is de onbepaaldheid in impuls en ook de nulpuntsenergie klein.

97

- a De gedeelde elektronen in CO₂ kunnen zich meer bewegen zodat hun onbepaaldheid in positie groot is. Uit de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg volgt dan dat de onbepaaldheid in impuls en de nulpuntsenergie kleiner is dan bij een los atoom zuurstof of koolstof.
- b De aantrekkende elektrische kracht op de elektronen is het grootst bij zuurstof.
- c Omdat zuurstof harder aan zijn elektronen trekt is de gemiddelde afstand van de elektronen tot de kern groter en dus is de bohrstraal van zuurstof kleiner dan van koolstof.
- d De bohrstraal van zuurstof is kleiner, dus is de onbepaaldheid in plaats van de elektronen in het zuurstofatoom kleiner en dat betekent dat de onbepaaldheid in impuls en de ionisatie-energie van zuurstof groter is dan van koolstof.

98

- a $E_n = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \cdot n^2 \rightarrow$
 $L = \frac{h}{\sqrt{8 \cdot m \cdot E_n}} \cdot n = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{8 \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot 13,6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}} \cdot 1 = 1,66 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$
- b $\frac{E_{\text{proton}}}{E_{\text{elektron}}} = \frac{140 \text{ eV}}{13,6 \text{ eV}} = 10^4 \text{ x zo groot.}$
- c $\frac{m_{\text{proton}}}{m_{\text{elektron}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 1,8 \cdot 10^3 \approx 10^4 \text{ x zo groot.}$
- d $L = \frac{h}{\sqrt{8 \cdot m \cdot E_n}} \cdot n$ dus als de massa en de energie allebei 10^4 x zo groot zijn zal de grootte van de atoomkern van 10^4 x zo klein zijn. De orde van grootte van de atoomkern is dan 10^{-14} .

- 99 De ruimte voor de elektronen wordt ongeveer 3 x zo groot. Voor de energie van quantumtoestand n geldt: $E_n = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \cdot n^2$, dus als de ruimte L 3 keer zo groot wordt, wordt de energie van elke quantumtoestand 9 keer zo klein.
 $\frac{13,62}{9} = 1,5$ en $\frac{11,26}{9} = 1,3$ dus is de nulpuntsenergie van het gedeelde elektron in CO₂ ongeveer 1,5 eV.

100

- a De de Broglie-golflengte van deze elektronen is $\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^3} = 10^{-6} \text{ m.}$ Dit is veel kleiner dan de afmetingen van een spijker, dus zullen er geen waarneembare quantumverschijnselen optreden.
- b Het is een continu spectrum.

101

- a $E_f = E_2 - E_1 = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} \cdot (2^2 - 1^2) = \frac{3 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2}$ en $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ geeft $\frac{3 \cdot h^2}{8 \cdot m \cdot L^2} = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow L = \sqrt{\frac{3 \cdot h \cdot \lambda}{8 \cdot m \cdot c}} =$
 $\sqrt{\frac{3 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{8 \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot 2,998 \cdot 10^8}} = 7,1 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$



- b** Als de lengte L van het doosje twee keer zo klein is, dan is de energie E_n van elke quantumtoestand vier keer zo groot en dus is ook het energieverval tussen de grondtoestand en de eerste aangeslagen toestand vier keer zo groot.
- c** Als de energie van het geabsorbeerde foton vier keer zo groot is zal de golflengte vier keer zo klein zijn. De golflengte wordt dan 138 nm en dat valt buiten het zichtbare gebied (ultraviolet).