

Hoofdstuk 6 Cirkelbewegingen

6.1 Eenparige cirkelbeweging

Opgave 1

- a – ► De omlooptijd T bereken je met het toerental.
Het toerental is 1400 omwentelingen in 1 min = 60 s.

$$T = \frac{60}{1400} = 4,29 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

- ► De baansnelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

- De straal r bereken je met de formule voor de diameter.

$$r = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 60 \text{ cm} = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$$

- Invullen van r en T in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$v = \frac{2\pi \cdot 0,30}{4,29 \cdot 10^{-2}} = 43,94 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v = 44 \text{ m s}^{-1}$.

- b – ► De afstand s die de sok aflegt tijdens het centrifugeren bereken je met de formule voor de verplaatsing bij een eenparige beweging.

$$s = v \cdot t$$

$$v = 44 \text{ m s}^{-1} \text{ (zie vraag a)}$$

$$t = 15 \text{ min} = 15 \times 60 = 900 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } s = 44 \times 900 = 3,960 \cdot 10^4 \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } s = 4,0 \cdot 10^4 \text{ m.}$$

- c – Normaalkracht

- De richting van de zwaartekracht is steeds dezelfde: verticaal omlaag (naar het middelpunt van de aarde). Tijdens het centrifugeren verandert steeds de richting van de middelpuntzoekende kracht, dus kan de zwaartekracht niet (alleen) voor de middelpuntzoekende kracht zorgen.

Opgave 2

- a – ► Of de baansnelheid v van P groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de baansnelheid van Q, beredeneer je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

r is kleiner.

T is gelijk.

$$\text{Invullen levert: } v = \frac{2\pi \cdot (r \text{ is kleiner})}{(T \text{ is gelijk})}$$

Dus de baansnelheid v van punt P is kleiner dan die van punt Q.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- b ► Of de hoeksnelheid van P groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de hoeksnelheid van Q, beredeneer je met de beschrijving van de hoeksnelheid.
Punt P en punt Q leggen tijdens een omloop dezelfde hoek af: 360° .
De omlooptijd van punt P is gelijk aan die van punt Q.
Dus de hoeksnelheid van punt P is gelijk aan die van punt Q.

- c ► Of de omlooptijd T toeneemt of afneemt, beredeneer je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

v blijft gelijk.

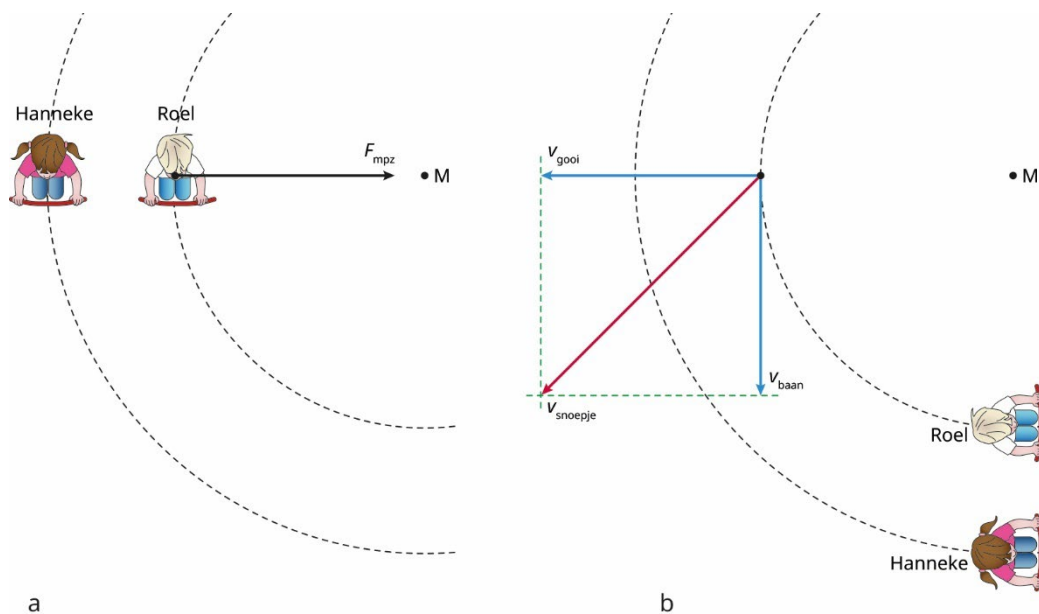
r neemt toe.

Invullen levert: (v blijft gelijk) $= \frac{2\pi \cdot (r \text{ wordt groter})}{T}$

Dus de omlooptijd T neemt toe.

Opgave 3

- a Als Roel een rondje in de draaimolen heeft gemaakt, dan heeft Hanneke dat ook gedaan. Dus de omlooptijd van Hanneke is gelijk aan die van Roel.
- b Zie de uitwerking in figuur 7.1a.



Figuur 7.1

- c De richting van de gooisnelheid is naar links. De richting van de baansnelheid valt samen met de raaklijn aan de cirkel en is dus loodrecht naar de onderkant van de pagina. Omdat de snelheden even groot zijn, is de baan van het snoepje onder een hoek van 45° met de horizontaal. Zie de constructie in figuur 7.1b.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 4

- a ► De straal r van de cirkelbaan bereken je met de straal van de aarde bij de evenaar en de hoogte boven de evenaar.

$$r = r_{\text{aarde}} + h$$

$$r_{\text{aarde}} = 6378,1 \text{ km} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$h = 200 \text{ km}$$

$$\text{Invullen levert: } r = 6378,1 + 200 = 6578,1 = 6,5781 \cdot 10^3 \text{ km}$$

$$\text{Afgerond: } r = 6,578 \cdot 10^3 \text{ km.}$$

- b ► De baansnelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = 6,578 \cdot 10^3 \text{ km} = 6,578 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$T = 88 \text{ min} = 88 \times 60 = 5,28 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } v = \frac{2\pi \times 6,578 \cdot 10^6}{5,28 \cdot 10^3} = 7,828 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{baan}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}.$$

Opgave 5

- a Normaalkracht (van de zijkant van het vakje waarin het balletje ligt)

- b ► De baansnelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

- De straal r bereken je met de lengte van de straal en de schaal van de foto in figuur 5.

In figuur 5 meet je dat de lengte van straal r overeenkomt met 1,5 cm en de lengte van de rode balk met 5,7 cm.

$$5,7 \text{ cm} \triangleq 0,80 \text{ m}$$

$$1,5 \text{ cm} \triangleq r$$

$$r = \frac{1,5 \times 0,80}{5,7} = 0,211 \text{ m}$$

- De omlooptijd T bepaal je uit de hoek tussen het eerste en het zesde beeld en de benodigde tijd.

Zie de uitwerking in figuur 7.2.

Tussen het eerste en zesde beeld zijn er vijf tussenposen en

$$\text{dus een tijd van } 5 \times \frac{1}{30} = 0,167 \text{ s.}$$

In figuur 7.2 meet je dat de hoek gelijk is aan 142° .

$$142 \triangleq 0,167 \text{ s}$$

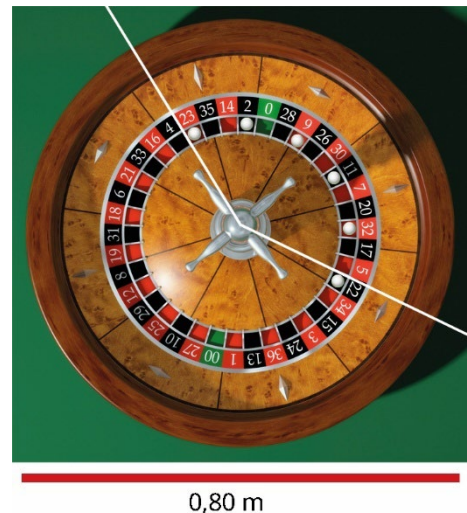
$$360 \triangleq T$$

$$T = \frac{360 \times 0,167}{142} = 0,4234 \text{ s}$$

- Invullen van r en T in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$v = \frac{2\pi \times 0,211}{0,4234} = 3,1312 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 3,1 \text{ m s}^{-1}.$$



Figuur 7.2

Opgave 6

- a ► De verhouding van de baanstralen bereken je met een goniometrische verhouding.

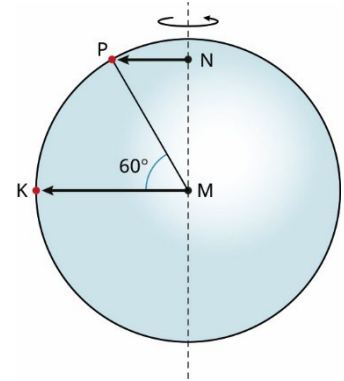
Zie de tekening van figuur 7.3.

$$\frac{r_P}{r_K} = \frac{PN}{KM}$$

KM is de straal van de aarde en dus gelijk aan PM.

$$\frac{PN}{PM} = \sin(30^\circ) = \frac{1}{2}$$

$$\text{Dus } \frac{r_P}{r_K} = \frac{1}{2}$$



Figuur 7.3

- b ► De verhouding van de baansnelheden bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

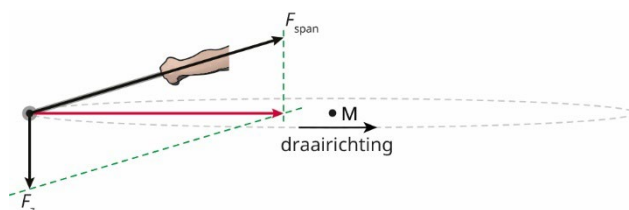
$$\frac{v_P}{v_K} = \frac{\frac{2\pi r_P}{T_P}}{\frac{2\pi r_K}{T_K}} = \frac{2\pi r_P}{T_P} \cdot \frac{T_K}{2\pi r_K}$$

$$T_P = T_K (= 24 \text{ h})$$

$$\text{Dus } \frac{v_P}{v_K} = \frac{r_P}{r_K} = \frac{1}{2}$$

Opgave 7

- a Als de kogel wordt losgelaten, werkt op de kogel geen middelpuntzoekende kracht meer. Vanaf dat moment beweegt de kogel vanaf boven gezien in een rechte lijn in de richting van de baansnelheid in punt P. De richting van de baansnelheid staat loodrecht op de baanstraal. De kogel volgt dus baan B.
- b – De richting van $F_{w,l}$ is tegengesteld aan de richting van de baansnelheid. De richting van de baansnelheid is loodrecht op de baanstraal. In de tekening van figuur 8a is die richting loodrecht op het vlak gevormd door F_{span} en F_z .
- De kogel beweegt tegen de richting van de klok in. In figuur 8a is de richting van de baansnelheid dus het vlak uit. De richting van $F_{w,l}$ is dan het vlak in.
- c De kogel blijft in figuur 8a op dezelfde hoogte. Dus is de snelheid in de verticale richting 0. Volgens de eerste wet van Newton is de resulterende kracht in de verticale richting dus 0 N en daarom moet $F_{span,vert}$ gelijk zijn aan F_z .
- d Zie de constructie in figuur 7.4. De resulterende kracht is dus naar het middelpunt M van de cirkel gericht en gelijk aan $F_{span,hor}$.



Figuur 7.4

6.2 Middelpuntzoekende kracht

Opgave 8

- a ► De baansnelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = 26 \text{ m}$$

- De tijd T bereken je met de tijd voor een halve cirkelbaan.

De tijd voor een halve cirkelbaan is 5,88 s. Voor een volledige cirkel is de tijd twee keer zo groot.

$$T = 2 \times 5,88 = 11,76 \text{ s}$$

- Invullen van r en T in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$v = \frac{2\pi \cdot 26}{11,76} = 13,89 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 14 \text{ m s}^{-1}.$$

- b ► De snelheid v bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 82 \text{ kg}$$

$$r = 26 \text{ m}$$

$$F_{\text{mpz}} = 995 \text{ N, want } F_{\text{w,s,max}} \text{ levert de middelpuntzoekende kracht}$$

$$\text{Invullen levert: } 995 = \frac{82 \cdot v^2}{26}$$

$$v = \sqrt{\frac{995 \times 26}{82}} = 17,76 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 18 \text{ m s}^{-1}.$$

- c ► Of de maximale snelheid v verandert, beredeneer je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$F_{\text{mpz}} \text{ blijft gelijk omdat } F_{\text{w,s,max}} \text{ gelijk blijft.}$$

$$m \text{ blijft gelijk.}$$

$$r \text{ is kleiner in de binnenbocht dan in de buitenbocht.}$$

$$\text{Invullen levert: } (F_{\text{mpz}} \text{ blijft gelijk}) = \frac{(m \text{ blijft gelijk}) \cdot v^2}{(r \text{ wordt kleiner})}$$

$$\text{De maximale snelheid } v \text{ wordt dus kleiner.}$$

Opgave 9

- a ► De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = 384,4 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$T = 27,32 \text{ d} = 27,32 \times 86400 = 2,3604 \cdot 10^6 \text{ s} \quad (\text{zie Binas tabel 5 en 31})$$

$$\text{Invullen levert: } v = \frac{2\pi \cdot 384,4 \cdot 10^6}{2,3604 \cdot 10^6} = 1,02324 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 1,023 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}.$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- b ► De middelpuntzoekende kracht bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 0,0735 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 31})$$

$$v = 1023 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$r = 384,4 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{mpz}} = \frac{0,0735 \cdot 10^{24} \times (1,023 \cdot 10^3)^2}{384,4 \cdot 10^6} = 2,0010 \cdot 10^{20} \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 2,00 \cdot 10^{20} \text{ N.}$$

Opgave 10

- a ► De eenheid van F_{mpz} leid je af met de eenheden van de andere grootheden in de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$[F_{\text{mpz}}] = \frac{[m] \cdot [v]^2}{[r]}$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[v] = \text{m s}^{-1}$$

$$[r] = \text{m}$$

$$\text{Invullen levert: } [F_{\text{mpz}}] = \frac{\text{kg} \cdot (\text{m s}^{-1})^2}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{kg m s}^{-2} = \text{N} \quad (\text{zie Binas tabel 4 bij kracht})$$

- b ► De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 7,0 \text{ kg}$$

- De snelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = \frac{60}{1200} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ s, want het toerental is 1200 omwentelingen per minuut} = 60 \text{ s.}$$

- De straal r bereken je met de diameter van de trommel en de plaats van het zwaartepunt ten opzichte van de wand.

$$r = \frac{1}{2} d - x$$

$$d = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$$

$$x = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } r = \frac{1}{2} \times 0,50 - 0,06 = 0,19 \text{ m}$$

- Invullen van r en T in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$v = \frac{2\pi \times 0,19}{5,0 \cdot 10^{-2}} = 23,9 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m , v en r in de formule $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{7,0 \times (23,9)^2}{0,19} = 2,104 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 2,1 \cdot 10^4 \text{ N.}$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- c ► Dat de baansnelheid v toeneemt, bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

r wordt groter, want het zwaartepunt ligt dichterbij de trommelwand.

T blijft gelijk.

Invullen levert: $v = \frac{2\pi \cdot (r \text{ wordt groter})}{(T \text{ blijft gelijk})}$

De baansnelheid v wordt dus groter.

- d ► De formule leid je af met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de baansnelheid.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} \text{ en } v = \frac{2\pi r}{T}$$

Substitueren levert: $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{m \cdot \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}}{r} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$

- Of de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} verandert, bereken je met de gegeven formule.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$$

m wordt kleiner, want er gaat water uit het wasgoed.

r wordt groter, want het zwaartepunt ligt dichterbij de trommelwand.

T blijft gelijk.

Invullen levert: $F_{\text{mpz}} = \frac{4\pi^2 \cdot (m \text{ wordt kleiner}) \cdot (r \text{ wordt groter})}{(T^2 \text{ blijft gelijk})}$

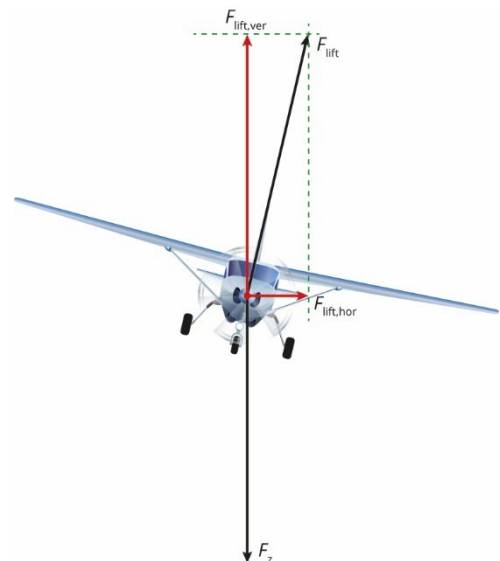
Je kunt dus niet berekenen welke verandering het grootste gevolg heeft voor F_{mpz} .

Opgave 11

- De effecten verklaar je met de componenten van de liftkracht in de verticale richting en in de horizontale richting en de eigenschappen van een rechthoekige driehoek.
- De componenten construeer je met de omgekeerde parallellogrammethode.

Zie de uitwerking in figuur 7.5.

- De horizontale component $F_{\text{lift,hor}}$ wijst naar rechts en staat dus loodrecht op de beweging van het vliegtuig. Dit is de enige krachtcomponent loodrecht op de beweging van het vliegtuig. Daardoor zorgt deze component voor een middelpuntzoekende kracht, met als gevolg dat het vliegtuig een bocht maakt.
- De verticale component $F_{\text{lift,vert}}$ is een van de rechthoekszijden in een rechthoekige driehoek met F_{lift} als de schuine zijde. $F_{\text{lift,vert}}$ is dus kleiner dan F_{lift} . Er is gegeven dat F_{lift} gelijk is aan F_z . Dus is $F_{\text{lift,vert}}$ kleiner dan F_z . In de verticale richting is er dus een resulterende kracht die richting de aarde wijst. Daardoor is er een versnelling richting de aarde en verliest het vliegtuig hoogte.



Figuur 7.5

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 12

- a ► De formule voor de versnelling a leg je uit met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de tweede wet van Newton.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} \text{ en } F_{\text{res}} = m \cdot a$$

$F_{\text{mpz}} = F_{\text{res}}$ want de middelpuntzoekende kracht is een resulterende kracht.

Dus $F_{\text{mpz}} = m \cdot a_{\text{mpz}}$

$$m \cdot a_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r}$$

- b ► Wie gelijk heeft, leg je uit met de formule voor de middelpuntzoekende versnelling en de formule voor de baansnelheid.

$$a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r} \text{ en } v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$\text{Substitueren levert: } a_{\text{mpz}} = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{\frac{4\pi^2 r^2}{T^2}}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Als T constant blijft en r twee keer zo groot wordt, dan wordt a_{mpz} twee keer zo groot.

Fleur heeft dus gelijk.

Opgave 13

- a ► De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 50 \text{ g} = 0,050 \text{ kg}$$

- De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = 42 \text{ cm} = 0,42 \text{ m}$$

$$T = 1,59 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } v = \frac{2\pi \cdot 0,42}{1,59} = 1,660 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m , v en r in de formule $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{0,050 \times (1,660)^2}{0,42} = 0,328 \text{ N}$$

Afgerond: $F_{\text{mpz}} = 0,33 \text{ N}$.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- b ► De middelpuntzoekende kracht construeer je met de parallellogrammethode.

Zie de uitwerking in figuur 7.6.

- De middelpuntzoekende kracht bereken je met een goniometrische verhouding.

In driehoek ZAB is de hoek bij B gelijk aan 34° en AB is gelijk aan de pijl van F_z .

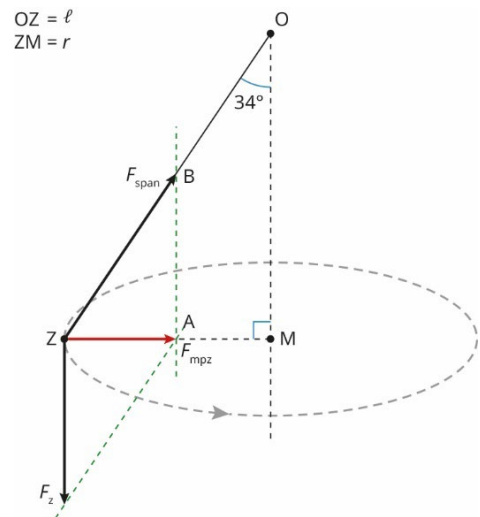
$$\tan(34^\circ) = \frac{F_{\text{mpz}}}{F_z}$$

$$F_z = m \cdot g = 0,050 \times 9,81 = 0,4905 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } \tan(34^\circ) = \frac{F_{\text{mpz}}}{0,4905}$$

$$F_{\text{mpz}} = 0,4905 \times \tan(34^\circ) = 0,3308 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 0,33 \text{ N.}$$



Figuur 7.6

- c ► Dat de spankracht toeneemt als Helle het blokje laat ronddraaien, beredeneer je met de constructie in figuur 7.6 en de eigenschappen van een rechthoekige driehoek.
- Als het blokje in rust is, hangt het verticaal omlaag. De spankracht is dan even groot als en tegengesteld gericht aan de zwaartekracht. Als Helle het blokje laat ronddraaien in een horizontaal vlak ontstaat de situatie in figuur 7.6. In figuur 7.6 is ZAB een rechthoekige driehoek. De spankracht is gelijk aan de schuine zijde van deze rechthoekige driehoek. De zwaartekracht is gelijk aan de rechthoekszijde AB. In een rechthoekige driehoek is de schuine zijde altijd groter dan elk van de rechthoekszijden (dit volgt ook uit de goniometrische verhoudingen). Dus is de spankracht groter dan de zwaartekracht. Dus neemt de spankracht toe als Helle het blokje laat ronddraaien.

Opgave 14

- a Als Sara loskomt van haar stoel en gewichtloos is, werkt alleen de zwaartekracht op haar lichaam. Deze is verticaal omlaag gericht (naar het midden van de cirkelbaan). Dus treedt de zwaartekracht op als middelpuntzoekende kracht.

- De snelheid v bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de zwaartekracht.

$$F_{\text{mpz}} = F_z$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot g$$

$$\frac{v^2}{r} = g$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

- De straal r bereken je met de formule voor de diameter.

$$r = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 11 \text{ cm} = 5,5 \text{ m}$$

- Invullen van r en g in de formule $\frac{v^2}{r} = g$:

$$\frac{v^2}{5,5} = 9,81$$

$$v = \sqrt{9,81 \times 5,5} = 7,345 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 7,3 \text{ m s}^{-1}.$$

- b Zie de uitwerking in figuur 7.7.



Figuur 7.7

- Dat Sara een kracht van de schouderbeugels voelt, leg je uit met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

m blijft gelijk.

v is kleiner.

r blijft gelijk.

Invullen levert: $F_{\text{mpz}} = \frac{(m \text{ blijft gelijk}) \cdot (v \text{ is kleiner})^2}{(r \text{ blijft gelijk})}$

F_{mpz} is dus kleiner bij een lagere snelheid.

De middelpuntzoekende kracht is de resulterende kracht en is bij een lagere snelheid kleiner dan de zwaartekracht. Dat kan alleen als er ook een naar boven gerichte kracht op Sara werkt. Die kracht is dus F_{beugel} .

- c ► De kracht van de schouderbeugels bereken je met de resulterende kracht en de zwaartekracht.

$$F_{\text{res}} = F_z - F_{\text{beugel}}$$

$$F_z = m \cdot g = 60 \times 9,81 = 589 \text{ N}$$

- De resulterende kracht bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 60 \text{ kg}$$

$$v = 6,9 \text{ m s}^{-1}$$

$$r = 5,5 \text{ m}$$

Invullen levert: $F_{\text{res}} = \frac{60 \times 6,9^2}{5,5} = 519 \text{ N}$

- Invullen van F_{res} en F_z in de formule $F_{\text{res}} = F_z - F_{\text{beugels}}$:

$$519 = 589 - F_{\text{beugels}}$$

$$F_{\text{beugels}} = 70 \text{ N}$$

Afgerond: $F_{\text{beugels}} = 70 \text{ N}$.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 15

- a ► De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\tan(7,0^\circ) = \frac{F_{\text{mpz}}}{F_z}$$

$$F_z = m \cdot g = 1560 \times 9,81 = 1530 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } \tan(7,0^\circ) = \frac{F_{\text{mpz}}}{1530}$$

$$F_{\text{mpz}} = 1530 \times \tan(7,0^\circ) = 187,9 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 1,9 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- b ► De richting van $F_{\text{w,s,dwars}}$ beredeneer je met de resulterende kracht op Maxime en de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

m blijft gelijk.

v is kleiner.

r blijft gelijk.

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{mpz}} = \frac{(m \text{ blijft gelijk}) \cdot (v \text{ is kleiner})^2}{(r \text{ blijft gelijk})}$$

$$F_{\text{mpz}} \text{ is dus kleiner dan } 1,9 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

F_{res} is kleiner dan $1,9 \cdot 10^2 \text{ N}$ maar blijft wel horizontaal naar links gericht. Dus de component van $F_{\text{w,s,dwars}}$ in de horizontale richting moet tegengesteld gericht zijn aan de resulterende kracht van F_z en F_n . Dat kan alleen als de richting van $F_{\text{w,s,dwars}}$ langs de helling omhoog is.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

6.3 Gravitatiekracht**Opgave 16**

- a ► De massa m bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 11,3 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

- Het volume V bereken je met de formule voor het volume van een bol.

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

- De straal r bereken je met de formule voor de diameter.

$$r = \frac{1}{2} d$$

$$r_A = \frac{1}{2} \times 5,0 = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$r_B = \frac{1}{2} \times 30,0 = 15,0 \text{ cm} = 0,150 \text{ m}$$

Invullen van r in de formule $V = \frac{4}{3} \pi r^3$:

$$V_A = \frac{4}{3} \pi \cdot 0,025^3 = 6,545 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_B = \frac{4}{3} \pi \cdot 0,150^3 = 1,414 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

- Invullen van ρ en V in de formule $\rho = \frac{m}{V}$:

$$11,3 \cdot 10^3 = \frac{m_A}{6,545 \cdot 10^{-5}}$$

$$m_A = 11,3 \cdot 10^3 \times 6,545 \cdot 10^{-5} = 0,73959 \text{ kg}$$

$$\text{Afgerond: } m_A = 0,74 \text{ kg.}$$

$$11,3 \cdot 10^3 = \frac{m_B}{1,414 \cdot 10^{-2}}$$

$$m_B = 11,3 \cdot 10^3 \times 1,414 \cdot 10^{-2} = 159,78 \text{ kg}$$

$$\text{Afgerond: } m_B = 160 \text{ kg.}$$

- b ► De gravitatiekracht tussen de twee bollen bereken je met de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7})$$

$$m = m_A = 0,74 \text{ kg}$$

$$M = m_B = 160 \text{ kg}$$

$$r = r_{AB} = 45,0 \text{ cm} = 0,450 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } F_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{0,74 \times 160}{(0,450)^2} = 3,8999 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_g = 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ N.}$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 17

- a ► De formule leid je af met de formules voor de zwaartekracht en de gravitatiekracht.

$$F_z = F_g$$

$$m \cdot g = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{aarde}}}{r^2}$$

$$g = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r^2}$$

- b ► De eenheid van G leid je af met de eenheden van de andere grootheden in de formule en de eenheid van kracht.

$$[g] = [G] \cdot \frac{[M_{\text{aarde}}]}{[r]^2}$$

$$[g] = \text{m s}^{-2}$$

$$[M] = \text{kg}$$

$$[F] = \text{N} = \text{kg m s}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 4})$$

$$[r] = \text{m}$$

$$\text{Invullen levert: } \text{m s}^{-2} = [G] \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$[G] = \text{kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

$$\text{kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} = \frac{\text{kg}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg}} = \frac{[\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}}{\text{kg}} = \text{N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

- c ► Of g groter of kleiner is, beredeneer je met de gegeven formule.

$$g = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r^2}$$

r is kleiner bij de polen.

G blijft gelijk.

M blijft gelijk.

$$\text{Invullen levert: } g = (G \text{ blijft gelijk}) \cdot \frac{(M_{\text{aarde}} \text{ blijft gelijk})}{(r \text{ is kleiner})^2}$$

g is dus groter bij de polen.

- d ► De massa van de planeet bereken je met de gegeven formule waarin de index aarde vervangen is door planeet.

$$g = G \cdot \frac{M_{\text{planeet}}}{r_{\text{planeet}}^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

- De valversnelling g op de planeet bereken je met de verhouding tussen de zwaartekracht op de planeet en de zwaartekracht op aarde en de formule voor de zwaartekracht.

$$F_{z,\text{planeet}} = 0,80 \cdot F_{z,\text{aarde}} \text{ en } F_z = m \cdot g$$

$$\text{Substitueren levert: } m \cdot g_{\text{planeet}} = 0,80 \cdot m \cdot g_{\text{aarde}}$$

De massa m van een voorwerp is gelijk op aarde en op de planeet. Dus de verhouding tussen de zwaartekracht op de planeet en de zwaartekracht op aarde is gelijk aan de verhouding tussen de valversnelling op de planeet en de valversnelling op aarde.

$$g_{\text{aarde}} = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } g_{\text{planeet}} = 0,80 \times 9,81 = 7,85 \text{ m s}^{-2}$$

- De straal bereken je met de formule voor de diameter.

$$r = \frac{1}{2}d = \frac{1}{2} \times 1,0 \cdot 10^4 \text{ km} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ km} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ m}$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- Invullen van g , G en r in de formule $g = G \cdot \frac{M_{\text{planeet}}}{r_{\text{planeet}}^2}$:

$$7,85 = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{M_{\text{planeet}}}{(5 \cdot 10^6)^2}$$

$$M_{\text{planeet}} = \frac{7,85 \times (5 \cdot 10^6)^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 2,942 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Afgerond: $M_{\text{planeet}} = 2,9 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Opgave 18

- a ► De verhouding van de gravitatiekrachten bereken je met de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

Hieruit volgt: $F_{g,r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ en $F_{g,4r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{(4r)^2}$.

Beide gravitatiekrachten op elkaar delen levert:

$$\frac{F_{g,4r}}{F_{g,r}} = \frac{\frac{m \cdot M}{(4r)^2}}{\frac{m \cdot M}{r^2}} = \frac{m \cdot M}{16r^2} \cdot \frac{r^2}{m \cdot M} = \frac{1}{16}$$

- b ► De formule voor de baansnelheid v leid je af met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M}{r}$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

- c ► De verhouding van de baansnelheden bereken je met de formule gegeven bij vraag b.

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$\frac{v_{4r}}{v_r} = \frac{\sqrt{G \cdot \frac{M}{4r}}}{\sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4r}}{\frac{1}{r}}} = \sqrt{\frac{r}{4r}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

- d ► De verhouding van de omlooptijden leid je af met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$\frac{T_{4r}}{T_r} = \frac{\frac{2\pi \cdot 4r}{v_{4r}}}{\frac{2\pi \cdot r}{v_r}} = \frac{2\pi \cdot 4r}{v_{4r}} \cdot \frac{v_r}{2\pi \cdot r} = \frac{4}{1} \times \frac{2}{1} = \frac{8}{1}$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 19

- a ► De gravitatiekracht F_g die de zon op de aarde uitoefent, bereken je met de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = m_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$M = m_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

$$r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

$$\text{Invullen levert: } F_g = 6,6743 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,972 \cdot 10^{24} \times 1,9884 \cdot 10^{30}}{(0,1496 \cdot 10^{12})^2} = 3,54133 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_g = 3,541 \cdot 10^{22} \text{ N.}$$

- b Als de zon een gravitatiekracht uitoefent op de aarde, dan oefent volgens de derde wet van Newton de aarde een even grote maar tegengesteld gerichte kracht uit op de zon. Dus zijn de gravitatiekrachten even groot.

- c ► De baansnelheid bereken je door de formules voor de middelpuntzoekende kracht en de gravitatiekracht aan elkaar gelijk te stellen.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{aarde}}}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r}$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r}}$$

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$M_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

$$\text{Invullen levert: } v = \sqrt{6,6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{1,496 \cdot 10^{11}}} = 51,617 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 51,6 \text{ m s}^{-1}.$$

- d ► De omlooptijd bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v = 51,6 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie vraag c})$$

$$r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

$$\text{Invullen levert: } 51,6 = \frac{2\pi \times 1,496 \cdot 10^{11}}{T}$$

$$T = \frac{2\pi \times 1,496 \cdot 10^{11}}{51,6} = 1,822 \cdot 10^{10} \text{ s} = \frac{1,822 \cdot 10^{10}}{3,15 \cdot 10^7} = 5,78 \cdot 10^2 \text{ jaar}$$

Dit is niet gelijk aan een jaar.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Opgave 20

- a ► De formule leid je af met de formules voor de middelpuntzoekende kracht, de gravitatiekracht en de baansnelheid.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M}{r}$$

- v^2 druk je uit in r en T met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v^2 = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

- Substitueren van v^2 in de formule $v^2 = G \cdot \frac{M}{r}$:

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = G \cdot \frac{M}{r}$$

Herschrijven levert: $\frac{r^3}{T^2} = G \cdot \frac{M}{4\pi^2}$

- b ► De hoogte waarop een geostationaire satelliet beweegt, bereken je met de straal van de baan van de satelliet en de straal van de aarde.

$$h = r - r_{\text{aarde}}$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

- De straal r van de baan van de satelliet bereken je met de derde wet van Kepler.

$$\frac{r^3}{T^2} = G \cdot \frac{M}{4\pi^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7})$$

$$M = m_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$T = 24 \text{ h} = 24 \times 3600 = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$$

Invullen levert: $\frac{r^3}{(8,64 \cdot 10^4)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{4\pi^2}$

$$r = \sqrt[3]{6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{4\pi^2} \times (8,64 \cdot 10^4)^2} = 4,223 \cdot 10^7 \text{ m}$$

- Invullen van r en r_{aarde} in de formule $h = r - r_{\text{aarde}}$:

$$h = 4,223 \cdot 10^7 - 6,371 \cdot 10^6 = 3,5859 \cdot 10^7 \text{ m}$$

Afgerond: $h = 3,6 \cdot 10^7 \text{ m} = 3,6 \cdot 10^4 \text{ km}$.

Opgave 21

- a ► De afstand bereken je met de omrekeningsfactor van lichtjaar.

$$1,0 \text{ ly} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 5}).$$

$$s = 2,7 \cdot 10^4 \text{ ly} = 2,7 \cdot 10^4 \times 9,461 \cdot 10^{15} = 2,554 \cdot 10^{20} \text{ m}$$

Afgerond: $s = 2,6 \cdot 10^{20} \text{ m}$.

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

- b ► Het aantal omwentelingen n bereken je met de verhouding tussen de leeftijd van het heelal en de omlooptijd.

$$n = \frac{t}{T}$$

$$t = 4,6 \text{ miljard jaar} = 4,6 \cdot 10^9 \times 3,15 \cdot 10^7 = 1,449 \cdot 10^{17} \text{ s} \quad (\text{zie Binas tabel 5})$$

- De omlooptijd T bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v = 250 \text{ km s}^{-1} = 250 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$r = 2,6 \cdot 10^{20} \text{ m} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$\text{Invullen levert: } 250 \cdot 10^3 = \frac{2\pi \times 2,6 \cdot 10^{20}}{T}$$

$$T = \frac{2\pi \times 2,6 \cdot 10^{20}}{250 \cdot 10^3} = 6,53 \cdot 10^{15}$$

- Invullen van t en T in de formule $n = \frac{t}{T}$:

$$n = \frac{1,449 \cdot 10^{17}}{6,53 \cdot 10^{15}} = 22,19$$

Afgerond: $n = 22$ keer.

- c ► Het aantal sterren n is de verhouding tussen de massa M in het midden van de Melkweg en de massa van de zon.

$$n = \frac{M}{m_{\text{zon}}}$$

$$m_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

- De massa M in het midden van de Melkweg bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M}{r^2}$$

$$v = 250 \text{ km s}^{-1} = 250 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

$$r = 2,6 \cdot 10^{20} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 250 \cdot 10^3 = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{M}{2,6 \cdot 10^{20}}$$

$$M = \frac{2,6 \cdot 10^{20} \times 250 \cdot 10^3}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 2,44 \cdot 10^{41} \text{ kg}$$

- Invullen van M en m_{zon} in de formule $n = \frac{M}{m_{\text{zon}}}$:

$$n = \frac{2,44 \cdot 10^{41}}{1,9884 \cdot 10^{30}} = 1,2271 \cdot 10^{11}$$

Afgerond: $n = 1,2 \cdot 10^{11}$.

6.4 Afsluiting

Opgave 22

- a De eenheid van de G-Force leid je af met de eenheden van F_{stoel} en F_z .

$$[\text{G-Force}] = \frac{[F_{\text{stoel}}]}{[F_z]}$$

$$[F] = \text{N}$$

$$\text{Invullen levert: } [\text{G-Force}] = \frac{\text{N}}{\text{N}} = 1$$

Dus G-Force heeft geen eenheid.

- b ► De maximale waarde van de G-Force bereken je met de formule voor G-Force.

$$\text{G-Force} = \frac{F_{\text{stoel}}}{F_z}$$

$$F_{\text{stoel}} = 1685 \text{ N} \quad (\text{aflezen van maximale waarde op de grafiek in figuur 21})$$

$$F_z = m \cdot g = 65 \times 9,81 = 6,38 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } \text{G-Force} = \frac{1685}{6,38 \cdot 10^2} = 2,6411$$

$$\text{Afgerond: } \text{G-Force} = 2,6.$$

- c ► De snelheid v van Jo bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = 7,9 \text{ m}$$

- De omlooptijd T bepaal je uit figuur 21.

$$4T = 58,2 - 40,7 = 17,5 \text{ s}$$

$$T = \frac{17,5}{4} = 4,375 \text{ s}$$

- Invullen van r en T in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$v = \frac{2\pi \times 7,9}{4,375} = 11,35 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 11 \text{ m s}^{-1}.$$

- d ► De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} op Jo bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$m = 65 \text{ kg}$$

$$v = 11 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie vraag c})$$

$$r = 7,9 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{mpz}} = \frac{65 \times 11^2}{7,9} = 995,6 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

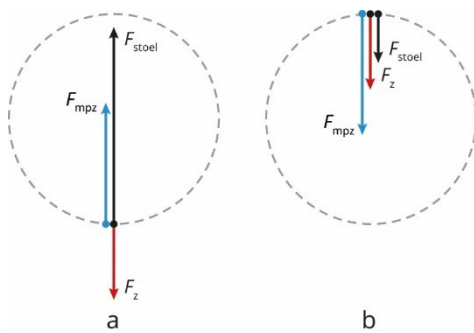
- e ► De middelpuntzoekende kracht F_{mpz} op Jo construeer je met de resulterende kracht van de zwaartekracht en de stoelkracht.

$$\vec{F}_{\text{mpz}} = \vec{F}_{\text{stoel}} + \vec{F}_z$$

$$F_{\text{mpz}} = F_{\text{stoel}} - F_z$$

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

Zie de blauwe pijl in figuur 7.8a.



Figuur 7.8

- f ► De kracht F_{stoel} construeer je met de middelpuntzoekende kracht en de zwaartekracht.

$$\vec{F}_{\text{mpz}} = \vec{F}_{\text{stoel}} + \vec{F}_z$$

$$F_{\text{mpz}} = F_{\text{stoel}} + F_z$$

F_{mpz} is constant en naar het middelpunt van de cirkelbaan gericht, want het is een eenparige cirkelbeweging. Dus in figuur 7.8b is de lengte van de blauwe pijl even groot als in figuur 7.8a maar tegengesteld gericht.

F_z is constant en gericht naar de onderkant van de pagina. Daardoor zijn de rode pijlen van F_z in de figuren aan elkaar gelijk.

De lengte van de pijl voor F_{stoel} is het verschil tussen de lengtes van pijlen van F_{mpz} en F_z . Zie de zwarte pijl in figuur 7.8b.

Opgave 23

- a ► De formule leid je af met de formules voor de middelpuntzoekende kracht en de gravitatiekracht.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M}{r}$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

- b ► De snelheid bereken je met de formule gegeven bij vraag a.

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N kg}^2 \text{ m}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

- De straal r bereken je met de straal van de aarde en de hoogte h .

$$r = r_{\text{aarde}} + h$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m (zie Binas tabel 31)}$$

$$h = 425 \text{ km} = 425 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } r = 6,371 \cdot 10^6 + 425 \cdot 10^3 = 6,796 \cdot 10^6 \text{ m}$$

- Invullen van G , M en r in de formule $v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$:

4 vwo hoofdstuk 6 uitwerkingen

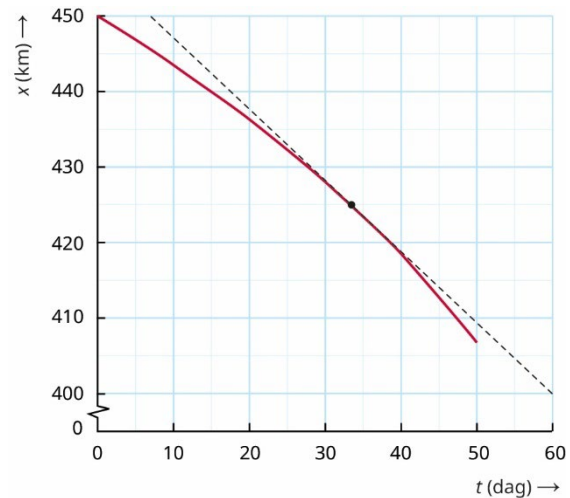
$$v = \sqrt{6,6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{6,796 \cdot 10^6}} = 7,65837 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v = 7,658 \text{ km s}^{-1}$.

- c ▶ Het hoogteverlies per omwenteling bereken je met het hoogteverlies per dag en de tijd van een omwenteling.
- ▶ Het hoogteverlies per dag bepaal je met de steilheid van de raaklijn aan de grafiek bij $h = 425 \text{ km}$.

$$\text{steilheid} = \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

Zie de uitwerking in figuur 7.9.



Figuur 7.9

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}} = \frac{400,0 - 450,0}{60,0 - 7,0} = -9,434 \text{ km dag}^{-1}$$

- ▶ De omlooptijd T van de satelliet bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v = 7,658 \text{ km s}^{-1} = 7,658 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$r = 6,796 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 7,658 \cdot 10^3 = \frac{2\pi \times 6,796 \cdot 10^6}{T}$$

$$T = \frac{2\pi \times 6,796 \cdot 10^6}{7,658 \cdot 10^3} = 5,5759 \cdot 10^3 \text{ s} = \frac{5,5759 \cdot 10^3}{86400} = 6,45359 \cdot 10^{-2} \text{ dag}$$

Dus het hoogteverlies per omwenteling is $0,9434 \times 6,45359 \cdot 10^{-2} = 0,060883 \text{ km}$.

Afgerond: $\Delta h = 61 \text{ m}$.

- d ▶ Of de baansnelheid steeds groter of kleiner wordt leg je uit met de formule bij vraag a.

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

G blijft gelijk.

M blijft gelijk.

r wordt kleiner omdat de hoogte afneemt.

$$\text{Invullen levert: } v = \sqrt{(G \text{ blijft gelijk}) \cdot \frac{(M \text{ blijft gelijk})}{(r \text{ wordt kleiner})}}$$

De baansnelheid v wordt dus groter.