7.1 Eenparige cirkelbeweging

Opgave 1

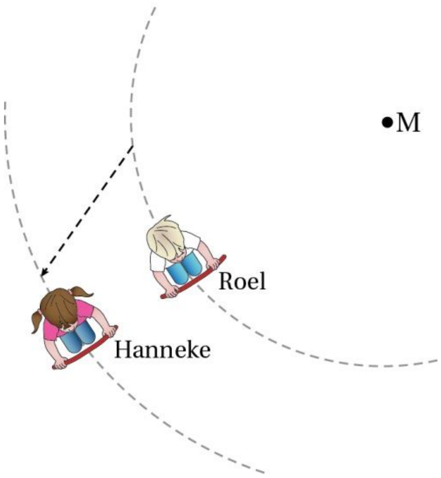
a De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.

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

$$v = \frac{2\pi \times 2{,}7}{5{,}2} = 3{,}26\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Afgerond: v_{baan} = 3,3 m s^{-1}

b Zie figuur 7.1.
Het snoepje krijgt op het moment van loslaten óók de baansnelheid van Roel mee. Omdat Roel dichter bij het middelpunt zit, is de baansnelheid van Roel kleiner dan die van Hanneke. Het snoepje beweegt dan in een schuine richting. Zie figuur 7.1. Het komt dan achter Hanneke terecht.



Figuur 7.1

Opgave 2

a De omlooptijd is de tijd voor één rondje.

$$T = \frac{10}{140} = 0{,}0714\ \mathrm{s}$$

Afgerond: T = 0,071 s.

b De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De straal is de helft van de diameter.

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

d = 60 cm = 0,60 m

$$r = \tfrac{1}{2} \times 0{,}60 = 0{,}30\ \mathrm{m}$$

$$v_{baan} = \frac{2\pi r}{T}$$

r = 0,30 m
T = 0,071 s (Zie antwoord vraag a)

$$v = \frac{2\pi \times 0{,}30}{0{,}071} = 26{,}5\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

Afgerond: v_{baan} = 27 m s^{-1}

c De afstand die de waterdruppel aflegt, bereken je met de baansnelheid en de tijd.

$s = v \cdot t$
v = 27 m s^{-1} (Zie antwoord vraag b)
t = 1 min = 60 s (Afstemmen eenheden)
$s = 27 \times 60 = 1620$ m
Afgerond: $s = 1{,}6 \cdot 10^3$ m

d Het toerental is het aantal omwentelingen in een minuut.

In tien seconden is het aantal omwentelingen 140.
In één minuut = 60 s zijn dat 6 × 140 = 840
Afgerond: $n = 8{,}4 \cdot 10^2$

Opgave 3

a De straal van de cirkelbaan van de satelliet is gelijk aan de straal van de aarde plus de hoogte waarop de satelliet zich bevindt.

Volgens BINAS tabel 31 is de straal van de aarde $6{,}378 \cdot 10^6$ m = $6{,}378 \cdot 10^3$ km.
De straal van de cirkelbaan van de satelliet is dan $6{,}378 \cdot 10^3 + 200 = 6{,}578 \cdot 10^3$ km.

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

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

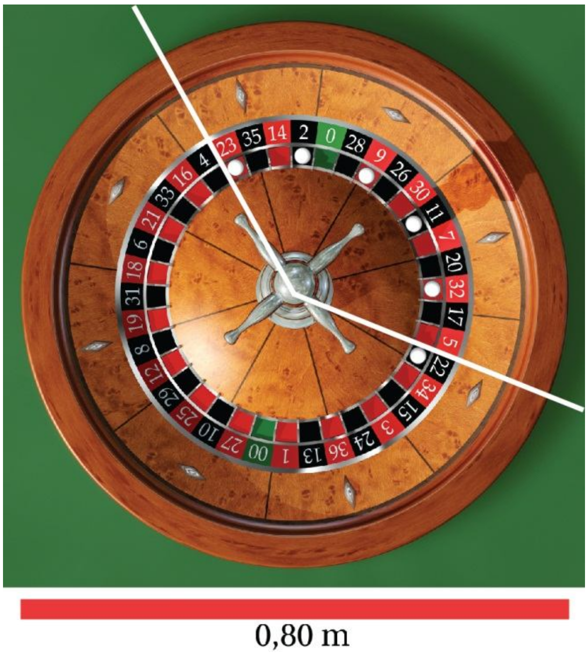
$r = 6{,}578 \cdot 10^3$ km = $6{,}578 \cdot 10^6$ m (Afstemmen eenheden)
T = 24 h = 24 × 3600 = 86400 s

$$v = \frac{2\pi \times 6{,}578 \cdot 10^6}{86400}$$

$v = 4{,}78 \cdot 10^2$ m s^{-1}
Afgerond: $v_{baan} = 4{,}8 \cdot 10^2$ m s^{-1}

Opgave 4

De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De straal bereken je met de lengte van de straal in figuur 7.5 van het basisboek en de schaalfactor.
De schaalfactor bepaal je met de gemeten lengte van het balkje en de werkelijke lengte van het balkje.
De omlooptijd bepaal je uit de hoek tussen het eerste balletje en het zesde balletje in figuur 7.2 en benodigde tijd. Tussen eerste en zesde opname zijn vijf tijdsperioden.



Figuur 7.2

De straal van de cirkelbaan van het balletje bereken met je een verhoudingstabel. Zie tabel 7.1.

	straal cirkelbaan	balkje
gemeten lengte (cm)	1,9	7,2
werkelijke lengte (m)	*r*	0,80

Tabel 7.1

r = 0,211 m

De omlooptijd van het balletje bereken met je de verhoudingstabel van tabel 7.2.

	$1^e - 6^e$ balletje	omlooptijd
hoek (°)	146	360
tijd (s)	$5\times\frac{1}{30}$	T

T = 0,410 s

$$v=\frac{2\pi r}{T}$$
$$v=\frac{2\pi\times 0{,}211}{0{,}410}$$

$v_{baan} = 3{,}23\ \mathrm{m\,s^{-1}}$
Afgerond: $v_{baan} = 3{,}2\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

Opgave 5

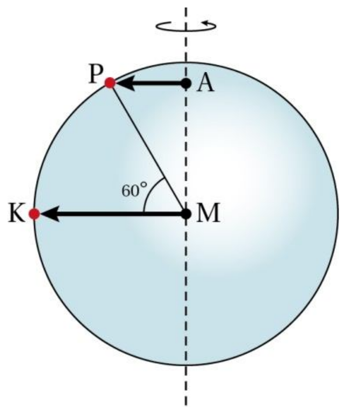
a Zie figuur 7.3.

De straal van de cirkelbaan van K is gelijk aan KM.
De straal van de cirkelbaan van P is gelijk aan PA.
PA bereken je met de rechthoekige driehoek PMA .
PM is gelijk aan KM.

Er geldt: $\sin 30° = \frac{r_P}{r_K} = 0{,}5$

Hieruit volgt: $r_p = 0{,}5\ r_k$. Dus $r_k : r_p = 2 : 1$.

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



Figuur 7.3

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

$$\frac{v_K}{v_P}=\frac{\frac{2\pi r_K}{T_K}}{\frac{2\pi r_P}{T_P}}=\frac{2\pi r_K}{T_K}\cdot\frac{T_P}{2\pi r_P}=\frac{r_K}{r_P}=\frac{r_K}{0{,}5 r_K}=\frac{2}{1}$$

Dus $v_K : v_P = 2 : 1$

7.2 Middelpuntzoekende kracht

Opgave 6

a Elektrische kracht
b Gravitatiekracht
c Normaalkracht
d Schuifwrijvingskracht

Opgave 7

Als de kogel wordt losgelaten, werkt er geen middelpuntzoekende kracht meer op. Vanaf dat moment beweegt de kogel in een rechte lijn. De baan is dus B.

Opgave 8

De waarden zoek je op in BINAS tabel 31.

a1 $384{,}4 \cdot 10^6$ m
a2 27,32 d
a3 $0{,}0735 \cdot 10^{24}$ kg
b De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.

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

$r = 384{,}4 \cdot 10^6$ m
$T = 27{,}32$ d $= 27{,}32 \cdot 24 \cdot 3600 = 2360448$ s (Afstemmen eenheden)

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 384{,}4 \cdot 10^6}{2360448} = 1023 \text{ m s}^{-1}$$

c De middelpuntzoekende kracht bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

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

$m = 0{,}0735 \cdot 10^{24}$ kg
$v = 1023$ m s^{-1}
$r = 384{,}4 \cdot 10^6$ m

$$F_{\text{mpz}} = \frac{0{,}0735 \cdot 10^{24} \times 1023^2}{384{,}4 \cdot 10^6} = 2{,}00 \cdot 10^{20} \text{ N}$$

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

Opgave 9

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

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

$[m]$ = kg
$[v]$ = m s^{-1}
[r] = m

$$[F_{\text{mpz}}] = \frac{\text{kg} \cdot \left(\text{ms}^{-1}\right)^2}{\text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

kg·m·s^{-2} = N. Zie BINAS tabel 4 bij kracht.

b De middelpuntzoekende kracht bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.
De snelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De omlooptijd bereken je met het toerental.
De straal bereken je met de diameter van de trommen en de plaats van het zwaartepunt ten opzichte van de wand.

$r = \frac{1}{2}d - 6$

$r = \frac{1}{2} \times 50 - 6 = 19 \text{ cm}$

Toerental is 1200 omwentelingen per minuut.

$T = \dfrac{60}{1200} = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

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

r = 19 cm = 0,19 m (Afstemmen eenheden)
T = 5,0·10^{-2} s

$v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi \times 0{,}19}{2{,}0 \cdot 10^{-2}} = 23{,}88 \text{ ms}^{-1}$

$F_{\text{mpz}} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} = \dfrac{7{,}0 \times 23{,}88^2}{0{,}19} = 2{,}1009 \cdot 10^4 \text{ N}$

Afgerond: F_{mpz} = 2,1·10^4 N

c r en m worden kleiner. T blijft gelijk.
Combineren van de formules voor F_{mpz} en v_{baan} levert

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

Als r en m kleiner worden en T blijft gelijk, dan wordt F_{mpz} kleiner.

Opgave 10

a Combineren van de formules voor F_{mpz} en v_{baan} levert

$F_{mpz} = \dfrac{4\pi^2 mr}{T^2}$. Zie antwoord op vraag 9c.

m = 50 g = 0,050 kg (Afstemmen eenheden)
r = 42 cm = 0,42 m (Afstemmen eenheden)
T = 1,59 s

$F_{\text{mpz}} = \dfrac{4\pi^2 \times 0{,}050 \times 0{,}42}{1{,}59^2} = 0{,}327 \text{ N}$

Afgerond: 0,33 N

b De middelpuntzoekende kracht bereken je met de gearceerde rechthoekige driehoek in figuur 7.11b van het basisboek.
De zwaartekracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.

$F_{\text{zw}} = m \cdot g$
m = 50 g = 0,050 kg (Afstemmen eenheden)
g = 9,81 m/s^2
F_{zw} = 0,050 × 9,81 = 0,4905 N

$\tan 34° = \dfrac{F_{\text{res}}}{F_{\text{zw}}}$

$\tan 34° = \dfrac{F_{\text{res}}}{0{,}4905}$

F_{res} = 0,3308 N
Afgerond 0,33 N

c De middelpuntzoekende kracht is de resulterende kracht op een voorwerp.

De resulterende kracht wordt in deze situatie bepaald door de spankracht en de zwaartekracht.

7.3 Gravitatiekracht

Opgave 11

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

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

$[g]$ = m s^{-2}
$[m]$ = kg
$[r]$ = m
$[F]$ = N = kg m s^{-2}

$$\text{m}\,\text{s}^{-2} = [G]\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

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

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

b Bij de polen is r kleiner. Om de waarde van G en m niet veranderen, volgt uit $g = G\frac{m_{aarde}}{r^2_{aarde}}$ dat g bij de polen kleiner is.

Opgave 12

a De massa bereken je met de formule voor de dichtheid.
Het volume bereken je met de formule voor het volume van een bol.
De straal bereken je met de diameter.

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

$$r_{\text{A}} = \tfrac{1}{2} \times 5{,}0 = 2{,}5 \text{ cm}$$

$$r_{\text{B}} = \tfrac{1}{2} \times 30{,}0 = 15{,}0 \text{ cm}$$

$$V = \tfrac{4}{3}\pi \cdot r^3$$

$$V_{\text{A}} = \tfrac{4}{3}\pi \cdot r_{\text{A}}{}^3$$

$$V_{\text{A}} = \tfrac{4}{3}\pi \cdot 2{,}5^3$$

V_{A} = 65,45 cm^3

$$V_{\text{B}} = \tfrac{4}{3}\pi \cdot r_{\text{B}}{}^3$$

$$V_{\text{B}} = \tfrac{4}{3}\pi \cdot 15{,}0^3$$

V_{B} = 1,414·10^4 cm^3

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

ρ = 11,3·10^3 kg m^{-3}. (Zie BINAS tabel 8)
V_{A} = 65,45 cm^3 = 65,45·10^{-6} m^3 (Afstemmen eenheden)

$$11{,}3 \cdot 10^3 = \frac{m_{\text{A}}}{65{,}45 \cdot 10^{-6}}$$

m_{A} = 0,736 kg
Afgerond: m_{A} = 0,74 kg

V_{B} = 1,414·10^4 cm^3 = 1,414·10^{-2} m^3 (Afstemmen eenheden)

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

m_{B} = 159,8 kg

Afgerond: m_B = 160 kg

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

$$F_g = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$m_1 = m_A$ = 0,74 kg
$m_2 = m_B$ = 160 kg
$r = r_{AB}$ = 45,0 cm = 0,450 m (Afstemmen eenheden)

$$F_g = 6,6726 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0,74 \times 160}{0,450^2} = 3,90 \cdot 10^{-8}\ \text{N}$$

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

Opgave 13

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

$$F_g = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$m_1 = m_{aarde} = 5,972 \cdot 10^{24}$ kg (Zie BINAS tabel 31)
$m_2 = m_{zon} = 1,9884 \cdot 10^{30}$ kg (Zie BINAS tabel 32C)
$r = 0,1496 \cdot 10^{12}$ m (Zie BINAS tabel 31

$$F_g = 6,6726 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,972 \cdot 10^{24} \times 1,9884 \cdot 10^{30}}{(0,1496 \cdot 10^{12})^2} = 3,540 \cdot 10^{22}\ \text{N}$$

Afgerond: $F_{grav} = 3,540 \cdot 10^{22}$ N

b Deze is even groot. Volgens de derde wet van Newton is de kracht die de zon uitoefent op de aarde gelijk aan de kracht die de aarde op de zon uitoefent. Alleen is de richting tegengesteld.

Opgave 14

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

$$F_g = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Als je beide gravitatiekrachten op elkaar deelt krijg je:

$$\frac{F_{g,4r}}{F_{g,r}} = \frac{\dfrac{m \cdot m_{aarde}}{(4r)^2}}{\dfrac{m \cdot m_{aarde}}{r^2}} = \frac{m \cdot m_{aarde}}{16r^2} \times \frac{r^2}{m \cdot m_{aarde}} = \frac{1}{16}$$

$F_{g,4r} : F_{g,r}$ = 1 : 16

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

$F_{mpz} = F_{grav}$.

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot m_{aarde}}{r^2}.$$

$$v^2 = G \cdot \frac{m_{aarde}}{r}.$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{m_{aarde}}{r}}.$$

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

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

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

$v_{,4r} : v_{,r} = 1 : 2$

d De verhouding van de oplooptijden leid je af met de formule voor de baansnelheid.

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

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

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

$T_{,4r} : T_{,r} = 8 : 1$

Opgave 15

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

$F_{mpz} = F_g$

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

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

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

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2}=G\frac{m_{\mathrm{aarde}}}{r}$$

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

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

$$\frac{r^3}{T^2}=G\cdot\frac{m_{\mathrm{aarde}}}{4\pi^2}$$

$m_{\mathrm{aarde}} = 5{,}972\cdot10^{24}$ kg

T = 24 uur = 24 × 3600 = $8{,}64\cdot10^4$ s (Afstemmen eenheden)

$$\frac{r^3}{(8{,}64\cdot10^4)^2}=6{,}6726\cdot10^{-11}\cdot\frac{5{,}972\cdot10^{24}}{4\pi^2}$$

$r = 4{,}22\cdot10^7$ m

$h = r - r_{\mathrm{aarde}} = 4{,}22\cdot10^7 - 6{,}371\cdot10^6 = 3{,}58\cdot10^7$ m

Afgerond: $r = 3{,}6\cdot10^7$ m

© ThiemeMeulenhoff bv

7.4 Model van de beweging van planeten en satellieten

Opgave 16

a Het model van de satelliet is gebaseerd op figuur 7.18 van het basisboek. Met de stelling van Pythagoras vind je dat $r^2 = x^2 + y^2$.

Hieruit volgt $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

b Uit figuur 7.18 leid je af dat:

$\sin\alpha = \dfrac{F_{gy}}{F_g}$ en $\sin\alpha = \dfrac{y}{r}$

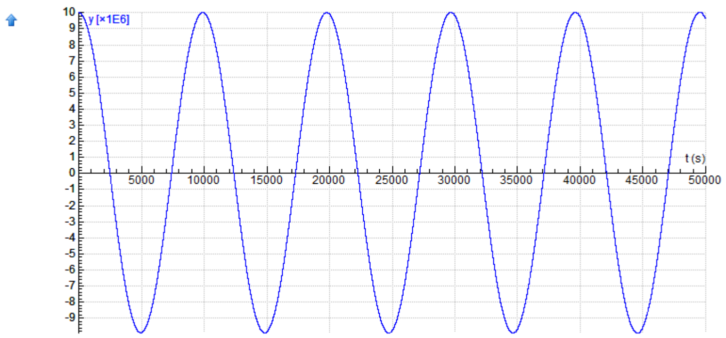
Hieruit volgt: $\dfrac{F_{gy}}{F_g} = \dfrac{y}{r}$

Dus $F_{gy} = F_g \cdot \dfrac{y}{r}$

Het minteken komt omdat F_{gy} naar beneden is gericht.

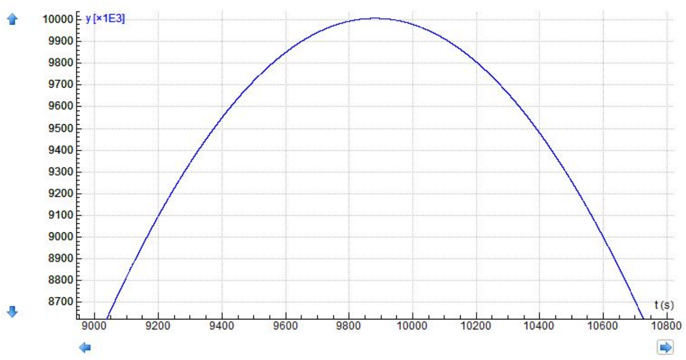
c De omlooptijd van de satelliet lees je af in een (y,t)-diagram.

In figuur 7.4a staat een (y,t)-diagram.



Figuur 7.4a

De omlooptijd is ongeveer 10000 s. Maak je met de ingedrukte muisknop een rechthoek rondom dit tijdstip, dan krijg je een figuur als figuur 7.4b.



Figuur 7.4b

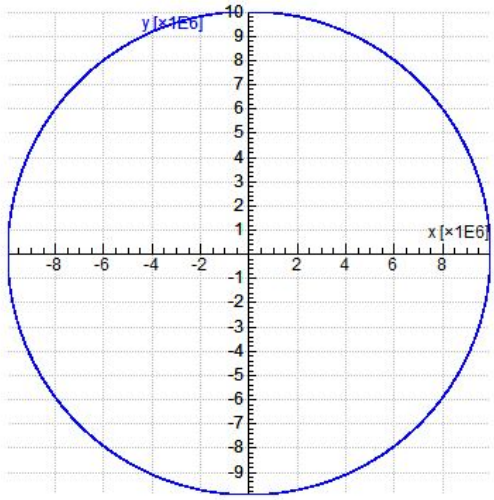
Aflezen geeft een waarde voor de omlooptijd T van $9{,}9 \cdot 10^3$ s.

© ThiemeMeulenhoff bv

d De middelpuntzoekende kracht die op de satelliet werkt, wordt hier geleverd door de gravitatiekracht. Hieruit kun je afleiden dat geldt $v = \sqrt{G \cdot \frac{m_{aarde}}{r}}$. Zie antwoord opgave 14b.

De snelheid van de satelliet is dus niet afhankelijk van zijn massa. Bij een twee keer zo zware satelliet zullen dus ook de omlooptijd en de vorm van de cirkelbaan niet veranderen.

e De baan van de satelliet beoordeel je aan de hand van een (x,y)-diagram.
Bij een massa van $1{,}0 \cdot 10^3$ kg krijg je figuur 7.5.

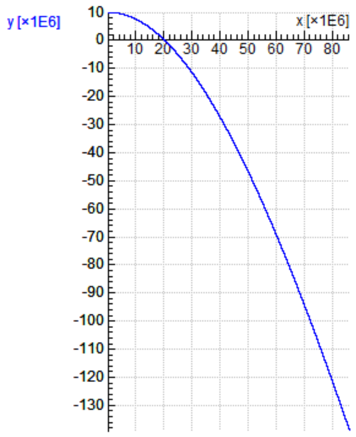


Figuur 7.5

Verander in het model *satelliet_rond_de_aarde.cma* de massa van de satelliet in $2{,}0 \cdot 10^3$ kg. en laat het programma vervolgens opnieuw lopen.
Je ziet dan dat de nieuwe baan precies over de oude heen valt.

f Verander in het model *satelliet_rond_de_aarde.cma* de snelheid v_x van de satelliet in stappen van $1 \cdot 10^3$ m s^{-1} . Bij een waarde van $9 \cdot 10^3$ m s^{-1} komt de satelliet buiten de invloed van de aarde. De baan van de satelliet wordt een rechte lijn. Zie figuur 7.6. Hierin is de baan van de satelliet te zien bij een snelheid van $9 \cdot 10^3$ m s^{-1}.

© ThiemeMeulenhoff bv



Figuur 7.6

Opgave 17

a De omlooptijd van de aarde rond de zon bereken je met de formule voor de baansnelheid.

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

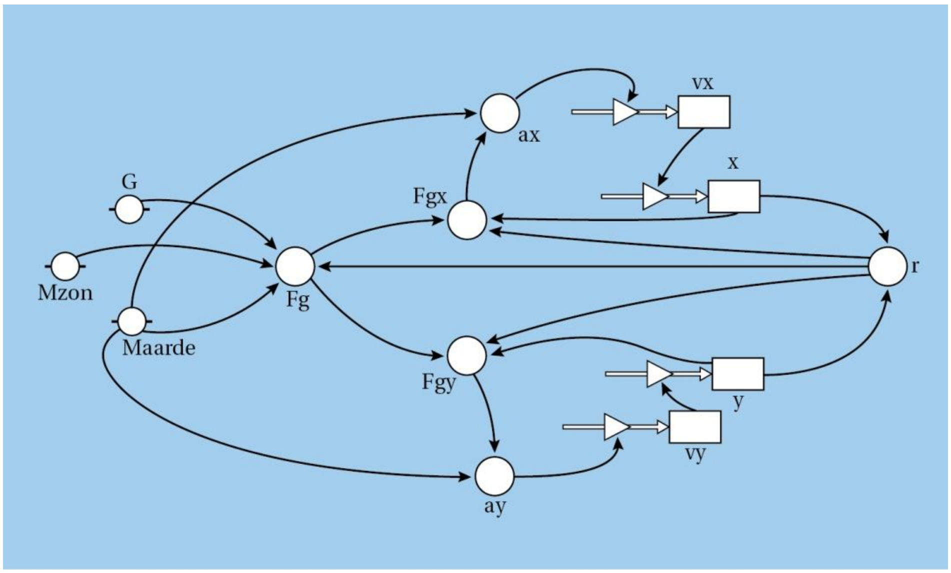
r = 0,1496·10^{12} m (BINAS tabel 31)

T = 365 × 24 × 3600 = 3,154·10^{7} s (Afstemmen eenheden)

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 0{,}1496 \cdot 10^{12}}{3{,}154 \cdot 10^{7}} = 2{,}980 \cdot 10^{4}\ \text{m}\,\text{s}^{-1}$$

Afgerond: 2,98·10^{4} m s^{-1}

b Je moet de relatiepijlen tussen M_{zon} en F_g en M_{aarde} en F_g invoegen. Zie figuur 7.7.



Figuur 7.7

c v_x is de baansnelheid van de aarde rond de zon.
De beginwaarde van y is de afstand van de aarde tot de zon en deze is 0,1496·10^{12} m. Zie BINAS tabel 31.

d -

Opgave 18

a De eenheid van f leid je af met de eenheden van de andere grootheden in de formule.

$$[F]=[f]\cdot\frac{[Q][q]}{[r]^2}$$

$[F]$ = N
$[Q]$ = C
$[q]$ = C
$[r]$ = m

$$\mathrm{N}=[f]\cdot\frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{m}^2}$$

$[f]$ = N m^2 C^{-2}

b De omlooptijd van een elektron rond de kern bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De baansnelheid bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de coulombkracht.

$F_{mpz} = F_C$

$$\frac{m\cdot v^2}{r}=f\cdot\frac{Q\cdot q}{r^2}$$

m = 1,6726·10^{-27} kg
r = 5,3·10^{-11} m
f = 9,0·10^{9}
$Q = q$ = 1,6·10^{-19} C

$$\frac{9{,}10\cdot10^{-31}\cdot v^2}{5{,}3\cdot10^{-11}}=9{,}0\cdot10^9\cdot\frac{(1{,}6\cdot10^{-19})^2}{(5{,}3\cdot10^{-11})^2}$$

v = 2,186·10^{6} m s^{-1}

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

$$2{,}186\cdot10^6=\frac{2\pi\times5{,}3\cdot10^{-11}}{T}$$

T = 1,52·10^{-16} s
Afgerond: 1,5·10^{-16} s

c Je past symbolen van grootheden en de waarden aan in het model satelliet_rond_de_aarde
G = f met de waarde 9·10^{9}
Mzon = Q met waarde 1,6·10^{-19}
Maarde = q met waarde 1,6·10^{-19}
De erbij behorende formules passen zich dan aan.
Daana pas je het model als volgt verder aan:
relatiepijlen van Q naar ax en ay verwijderen
constante m met waarde 9,1·10^{-31} toevoegen met relatiepijlen naar ax en ay
formules ax en ay aanpassen
y = 5,3·10^{-11}

Bij een waarde voor de beginsnelheid v_x van 2,19·10^{6} m s^{-1} is de baan (vrijwel) cirkelvormig.

7.5 Afsluiting

Opgave 19

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

$[F]$ = N.

Hieruit volgt $[G-\text{Force}]=\dfrac{[F_{\text{stoel}}]}{[F_{\text{zw}}]}=\dfrac{\text{N}}{\text{N}}=1$

G-Force heeft dus geen eenheid.

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

$F_{zw} = m \cdot g$
m =65 kg
g = 9,81 m/s^2
F_{zw} = 65 × 9,81 = 6,37·10^2 N

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

F_{stoel} = 1685 N (Aflezen maximale waarde in figuur 7.25 van het basisboek)

$$G-\text{Force}=\frac{1685}{6{,}37\cdot 10^{2}}=2{,}64$$

Afgerond G-Force = 2,6

c De snelheid van Jo bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De omlooptijd bepaal je in figuur 7.25 van het basisboek.

4T = 58,2 – 40,7 = 17,5 s
T = 4,375 s.

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

r =7,9 m

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

Afgerond v = 11 m s^{-1}

d De middelpunt zoekende kracht op Jo bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

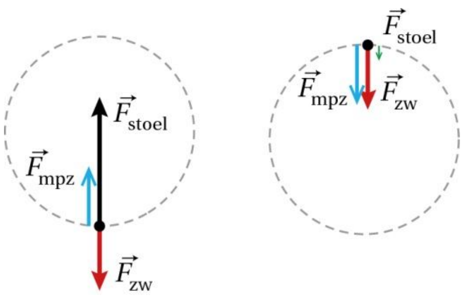
$$F_{\text{mpz}}=\frac{m\cdot v^{2}}{r}$$

m = 65 kg
v = 11 m/s. Zie antwoord op vraag c.
r = 7,9 m

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

Afgerond F_{mpz} = 1,0·10^3 N

e De middelpunt zoekende kracht op Jo is de resultante van de zwaartekracht en de stoelkracht.
Zie blauwe pijl figuur 7.8a.



Figuur 7.8

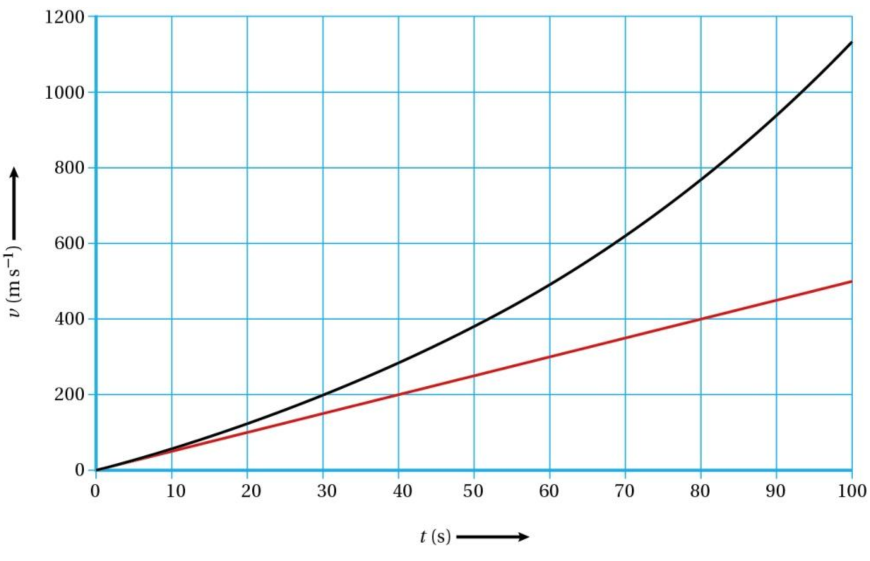
f De middelpuntzoekende kracht is op ieder punt van de beweging even groot en naar het midden van de cirkelbaan gericht. Zie blauwe pijl figuur 7.8b.
De stoelkracht die in het bovenste punt van de beweging op Jo werkt, is de resultante van de zwaartekracht en de middelpuntzoekende kracht. Zie groene pijl figuur 7.9b.

Opgave 20

a Volgens de derde wet van Newton (actie = −reactie) is de kracht waarmee de verbrandingsgassen naar achteren worden gestoten even groot als en tegengesteld gericht aan de kracht die de gassen naar voren uitoefenen op de raket.

b De stuwkracht die op de raket werkt, bereken je met zwaartekracht en de resulterende kracht op de raket.
De zwaartekracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.
De resulterende kracht op de raket bereken je met de tweede wet van Newton.
De versnelling volgt uit de steilheid van raaklijn aan de (*v*,*t*)-grafiek van figuur 7.27 van het basisboek.

Zie figuur 7.9.



Figuur 7.9

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

$$a = \frac{520}{100} = 5{,}1\ \text{m s}^{-2}$$

$F_{res} = m \cdot a$
$m = 7{,}14 \cdot 10^5$ kg

$F_{res} = 7{,}14 \cdot 10^5 \times 5{,}1$
$F_{res} = 3{,}64 \cdot 10^6$ N

$F_{zw} = m \cdot g$
$m = 7{,}14 \cdot 10^5$ kg
$F_{zw} = 7{,}14 \cdot 10^5 \times 9{,}81 = 7{,}00 \cdot 10^6$ N

$F_{res} = F_{stuw} - F_{zw}$
$3{,}64 \cdot 10^6 = F_{stuw} - 7{,}00 \cdot 10^6$
$F_{stuw} = 1{,}064 \cdot 10^7$ N
Afgerond $F_{stuw} = 1{,}1 \cdot 10^7$ N

c Deze formule kun je afleiden met de formule voor de gravitatiekracht.

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

Als de massa m zich op het aardoppervlak bevindt, is $r = R$ en $F_g = F_{zw} = m \cdot g$

$m \cdot g = G \cdot \dfrac{m \cdot m_{aarde}}{R^2}$ Hieruit volgt: $g \cdot R^2 = G \cdot m_{aarde}$

Als de massa zich op hoogt h boven het aardoppervlak bevindt, geldt $r = R + h$.

$$F_g = G \frac{m \cdot m_{aarde}}{(R+h)^2}$$

$$F_g = \frac{m \cdot G \cdot m_{aarde}}{(R+h)^2}$$

$$F_g = \frac{m \cdot g \cdot R^2}{(R+h)^2}$$

$$F_g = m \cdot g \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

d De wrijvingskracht zal eerst toenemen, doordat de snelheid van de raket toeneemt. Op grotere hoogte is de dichtheid van de lucht kleiner en zal de wrijvingskracht weer afnemen.

e De voorstuwende kracht is constant.
Op 100 km hoogte is de gravitatiekracht kleiner dan op 40 km hoogte.
Op 100 km hoogte is ook de wrijvingskracht kleiner dan op 40 km hoogte.
Op 100 km hoogte is de massa van de raket kleiner dan op 40 km hoogte, doordat de raket verbrandingsgassen heeft uitgestoten.
In de formule $a = \dfrac{F_{stuw} - F_g - F_w}{m}$ wordt de teller dus groter en de noemer kleiner.
Dus de versnelling zal op 100 km hoogte groter zijn dan op 40 km hoogte.

© ThiemeMeulenhoff bv