**Als je een ander antwoord vindt, zijn er minstens twee mogelijkheden:**
**óf dit antwoord is fout, óf jouw antwoord is fout.**

**Als je er (vrijwel) zeker van bent dat een antwoord fout is, stuur dan een briefje naar www.stevin.info. Alvast bedankt.**

## Opgaven 13.1 De gravitatiewet van Newton

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | | $\left.\begin{array}{l} F_c = \frac{mv^2}{r} \\ v = 2\pi r f \end{array}\right\} \Rightarrow F_c = \frac{m(2\pi r f)^2}{r} = 4\pi^2 m r f^2$ | – |
| 2 | *a* | $m$ = 0,2·10$^{-3}$ kg ; $v$ = 9 km/h = 2,5 m/s ;<br>90° ⇒ $t$ = 0,02 s dus 360° ⇒ $T$ = 0,08 s ⇒ $f$ = 12,5 Hz<br>$v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow r = \frac{vT}{2\pi} \Rightarrow$ $r$ = 0,03 m = 3 cm | 3 cm |
| | *b* | $F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{0{,}2\cdot10^{-3}\cdot2{,}5^2}{3\cdot10^{-2}} = 4\cdot10^{-2}$ N | 4·10$^{-2}$ N |
| 3 | - | $m$ = 9,1·10$^{-31}$ kg<br>Invullen van de gegevens in $F_c = \frac{mv^2}{r}$ levert: $F$ = 8,3·10$^{-8}$ N<br>Ga na dat je met de formule van Coulomb uit paragraaf 2 hetzelfde antwoord krijgt. | 8,3·10$^{-8}$ N |
| 4 | *a* | De factor is 65/50 = 1,3 | 1,3 |
| | *b* | $F \sim v^2$ ⇒ De factor = 1,3$^2$ = 1,69 | 1,7 |
| 5 | | De middelpuntzoekende kracht komt van het gewicht van de massa in het midden.<br>$F_c = F_z = M\cdot g = 40{,}0\cdot10^{-3}\cdot9{,}81 = 0{,}3924 = 0{,}392$ N<br>$F_c = \frac{m\cdot v^2}{r} \Rightarrow 0{,}3924 = \frac{5{,}0\cdot10^{-3}\cdot v^2}{0{,}55} \Rightarrow v = \sqrt{43{,}1..} = 6{,}56.. = 6{,}6$ m/s<br>$v = \frac{2\pi\cdot r}{T} \Rightarrow 6{,}56 = \frac{2\pi\cdot0{,}55}{T} \Rightarrow T = 0{,}525.. = 0{,}53$ s | 0,392 N<br>6,6 m/s<br>0,53 s |
| 6 | *a* | Ook de buitenrand van de band heeft een snelheid van 100 km/h = 27,7 m/s.<br>$v = 2\pi R_1\cdot f$ invullen geeft f = 15 Hz. | – |
| | *b* | $v = 2\pi R_2\cdot f$ invullen geeft $v$ = 17,2.. m/s | 17 m/s |
| | *c* | $F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{50\cdot10^{-3}\cdot17{,}2^2}{0{,}18} = 82{,}5..$ N | 83 N |
| 7 | *a* | $v = \frac{2\pi\cdot r}{T} = \frac{2\pi\cdot6{,}378\cdot10^6}{24\cdot3600} = 463{,}8.. = 464$ m/s<br>Eigenlijk moet je hier voor $T$ de siderische omlooptijd gebruiken die ook in tabel 31 genoemd wordt. $T_{siderisch}$ = 0,9973 d = 23,93 h. Hiermee wordt het antwoord 465 m/s.<br>Na één siderische omlooptijd is de positie t.o.v. de vaste sterren weer dezelfde.<br>Na 24 uur staat de zon weer in het zuiden. | 464 m/s |

**b** Voor de kracht op 1 kg geldt:

$$F_c = \frac{1 \cdot v^2}{r} = \frac{1 \cdot (463{,}8..)^2}{6{,}378 \cdot 10^6} = 0{,}03373.. = 0{,}0337 \text{ N}$$

Dit wordt de centripetale versnelling $a_c$ genoemd.
Bij gebruik van 23,93 h wordt dat 0,0339 N.

<u>Eerste manier</u>

Zie p. 12: $g_{evenaar} = 9{,}7805 \text{ m/s}^2$

Als de aarde stil zou staan, zou dat zijn 9,7805 + 0,0337 = 9,8142 m/s$^2$

$\frac{0{,}0337}{9{,}8142} = 0{,}00343.. = 0{,}34\%$

<u>Tweede manier</u>

Je kunt ook gebruik maken van $g = \frac{GM}{R_\oplus{}^2} = \frac{6{,}67384 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}976 \cdot 10^{24}}{(6{,}378 \cdot 10^6)^2} = 9{,}804 \text{ m/s}^2$

Deze waarden schelen 0,1%. De verklaring voor dat verschil weten we niet. Misschien heeft het ermee te maken dat de aarde geen perfecte homogene bol is.

0,034%

**c** Dan zou gelden: $a_c = g = 9{,}8142 \text{ m/s}^2$

$$a_c = \frac{v^2}{r} \Rightarrow 9{,}8142 = \frac{4\pi^2 6{,}378 \cdot 10^6}{T^2} \Rightarrow T = 5065,.. \text{ s} = 84{,}41.. \text{ min} = 84 \text{ min } 25 \text{ s}$$

84,4 min

**8** **a** $F_g = G\frac{Mm}{r^2}$ dus $1 = G\frac{M \cdot 1}{r^2}$ $G$ en $M$ invullen levert: $r = 1{,}996 \cdot 10^7$ m

$R_\oplus = 6{,}371 \cdot 10^6 \text{ m} \Rightarrow h = 1{,}996 \cdot 10^7 - 6{,}371 \cdot 10^6 = 1{,}3579 \cdot 10^7 \text{ m} = 13{,}6 \cdot 10^3 \text{ km}$

$13{,}6 \cdot 10^6$ km

**b** 2× want de satelliet komt na 12 h hetzelfde punt weer tegen.


2×

**9** **a** $g_{maan} = 1{,}62 \text{ m/s}^2$ ; $R_{maan} = 1{,}738 \cdot 10^6$ m

1,62 m/s$^2$
$1{,}738 \cdot 10^6$ m

**b** $F_c = 500 \cdot 1{,}62 = 8{,}10 \cdot 10^2$ N

$F_c = \frac{mv^2}{R}$ invullen geeft: $v^2 = 2{,}81.. \cdot 10^6 \Rightarrow v = 1{,}67.. \cdot 10^3$ m/s

$v = \frac{2\pi R}{T}$ invullen geeft $T = 6{,}50.. \cdot 10^3$ s = 1,81 h = 1h en 48 min

$8{,}10 \cdot 10^2$ N
$1{,}68 \cdot 10^3$ m/s
1h en 48 min

**10** **a** $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow \frac{GM}{r} = v^2$

De massa is weggevallen die kun je dus niet berekenen.
Als je de omlooptijd meet, kun je $r$ en dus de hoogte berekenen.
Als je de hoogte weet, kun je $T$ berekenen.

–

**b** $r = R_\oplus + 500 \cdot 10^3 = 6871 \cdot 10^3$ m ; $G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ Nm$^2$kg$^{-2}$ ; $M = 5{,}927 \cdot 10^{24}$ kg

invullen in $\frac{GM}{r} = v^2$ geeft $v^2 = 5{,}75.. \cdot 10^7 \Rightarrow v = 7{,}58.. \cdot 10^3$ m/s

combineren met $v = \frac{2\pi r}{T}$ geeft $T = 5{,}68.. \cdot 10^3$ s = 1,58 h = 1 h en 35 min

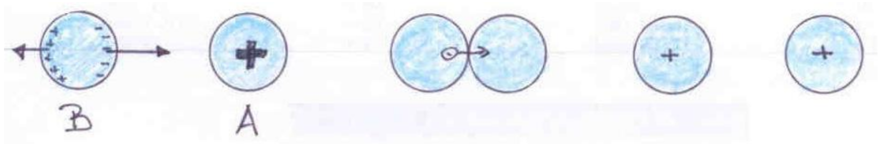
1h en 35 min

| | | | |
|---|---|---|---|
| **11** | **-** | $v_o = \sqrt{\dfrac{2GM}{R_s}}$ en $v_o = c \Rightarrow R_s = \dfrac{2GM}{c^2}$ | – |
| **12** | ***a*** | 5° in 100 s Bij *T* hoort 360° $\Rightarrow T = \dfrac{360}{5} \cdot 100 = 7{,}2 \cdot 10^3$ s = 2,0 h | 2,0 h |
| | ***b*** | Je hebt deze formules tot je beschikking:<br>$h = r - R_\oplus$ en $\dfrac{GMm}{r^2} = \dfrac{mv^2}{r} \Rightarrow \dfrac{GM}{r} = v^2$ en $v = \dfrac{2\pi r}{T}$<br>De waarden van *G*, *M* en *T* zijn bekend.<br>Om *r* te kunnen berekenen, moet je dus *v* wegwerken. Je vindt dan:<br>$\dfrac{GM}{r} = \dfrac{4\pi^2 r^2}{T^2} \Rightarrow \dfrac{r^3}{T^2} = \dfrac{GM}{4\pi^2}$<br>Dit is de derde wet van Kepler die in de leestekst van p. 14 wordt genoemd.<br>Invullen van alle bekende getallen in $r^3 = \dfrac{GMT^2}{4\pi^2}$ levert: $r^3 = 5{,}23..\cdot 10^{20} \Rightarrow$<br>$r = 8{,}05..\cdot 10^6$ m $h = r - R_\oplus \Rightarrow h = 1{,}68..\cdot 10^6$ m $= 1{,}7\cdot 10^3$ km | klopt |
| | ***c*** | $\Sigma E = E_k + E_g = \frac{1}{2}mv^2 - \dfrac{GMm}{r} = \frac{1}{2}m\dfrac{4\pi^2 r^2}{T^2} - \dfrac{GMm}{r}$<br>Invullen van alle bekende waarden levert: $\Sigma E = 3{,}72..\cdot 10^9 - 7{,}40..\cdot 10^9 = -3{,}72..\cdot 10^9$ J | $-3{,}7\cdot 10^9$ J |
| **13** | **-** | Die 32 km speelt geen rol bij de berekeningen. Je krijgt er een idee mee van de afmetingen: de lengte van de Afsluitdijk. De diameter van 8 km betekent dat de ‘tegenhoofders’ 8 km boven je zitten – bijna de Mount Everest hoog.<br>De cilinder draait om zijn lengteas.<br>$r = 4\cdot 10^3$ m en $F_c$ op een massa m moet de waarde $9{,}8\cdot m$ krijgen.<br>Dus: $9{,}8 \cdot m = \dfrac{mv^2}{4 \cdot 10^3} \Rightarrow v^2 = 3{,}92\cdot 10^4 \Rightarrow v = 1{,}98\cdot 10^2$ m/s<br>Pas $v = \dfrac{2\pi r}{T}$ toe $\Rightarrow T = 1{,}26..\cdot 10^2$ s = 2 min en 7 s | 2 min en 7 s |

## Opgaven 13.2 – De wet van Coulomb

**14** **-**
Er zijn twee mogelijkheden.

1 Bol A is geladen (bijvoorbeeld positief) en bol B niet.In dat geval wordt bol B 'gepolariseerd'. De positieve bol A trekt harder aan de negatieve kant van B dan dat hij de positieve kant van B afstoot. Tijdens het contact stromen elektronen van B naar A en zijn beide dus positief geworden. Daardoor stoten ze elkaar vervolgens af.




–

2 Beide bollen zijn geladen; A bijvoorbeeld positief en B negatief. Daardoor trekken ze elkaar aan. Als ze beide even sterk geladen zijn, ontladen ze lkaar bij het contact. Als A bijvoorbeeld wat meer lading heeft dan B, dan zijn beide na afloop van de botsing positief en stoten ze elkaar vervolgens af.

**15** **-**
$q = +e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C  $r = 10^{-10}$ m bij $H_2$ en $r = 10^{-15}$ m bij He

$F_e = 9{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot \dfrac{q^2}{r^2}$ Invullen van de gegevens geeft:

$F = 2 \cdot 10^{-8}$ N bij $H_2$ en $2 \cdot 10^{2}$ N bij He ; deze krachten zijn afstotend.

$2 \cdot 10^{-8}$ N
$2 \cdot 10^{2}$ N

**16** ***a***
$F_e = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot \dfrac{e^2}{r^2}$ Invullen van de gegevens geeft: $F_e = 8{,}22.. \cdot 10^{-8}$ N.

$8{,}2 \cdot 10^{-8}$ N

***b***
$E_e = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot \dfrac{e}{r^2}$ Invullen van de gegevens geeft: $E = 5{,}1 \cdot 10^{11}$ N/C.

$5{,}1 \cdot 10^{11}$ N/C

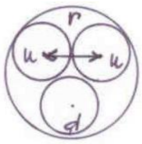
***c***
$F_e = F_c \Rightarrow 8{,}22.. \cdot 10^{-8} = \dfrac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2}{5{,}3 \cdot 10^{-11}} \Rightarrow v = 2{,}18.. \cdot 10^{6}$ m/s

$2{,}2 \cdot 10^{6}$ m/s

***d***
Pas $v = \dfrac{2\pi r}{T}$ toe $\Rightarrow$ $T = 1{,}52.. \cdot 10^{-16}$ s $\Rightarrow$ $f = 6{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz

$6{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz

**17** **-**




$d_{proton} \approx 3 \cdot 10^{-15}$ m $\Rightarrow$ $r \approx 1{,}5 \cdot 10^{-15}$ m  $q = \frac{2}{3} e = 1{,}068 \cdot 10^{-19}$ C

$$F = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot \frac{\left(1{,}068 \cdot 10^{-19}\right)^2}{\left(1{,}5 \cdot 10^{-15}\right)^2} = 4{,}6 \text{ N}$$

46 N

**18** ***a***
De 9,1 hoort bij de massa van het elektron en de $10^{-19}$ bij de lading.

–

***b***
Het neutron is ongeladen. De lading van de twee down-quarks moet duszijn:

$q = -\frac{1}{3} e = -5{,}340 \cdot 10^{-20}$ C

–

***c***
Invullen van de waarden in de formule van Coulomb levert 6,4 N.

6,4 N

**19** **-**
De ene bol krijgt $a \cdot Q$ en de andere $(1 - a) \cdot Q$. Voor de kracht tussen de twee bollen geldt dus: $F \sim a \cdot (1 - a) \cdot Q^2 = k(a) \cdot Q^2$.
Differentieer de functie $k(a) = a - a^2$ en stel $k'(a) = 0$ $\Rightarrow$ $1 - 2a = 0$ $\Rightarrow$ $a = ½$.
Beide bollen hebben dus de lading ½$Q$ gekregen.

½$Q$

**20** -

Dit is de proef van p. 17.

$$F \sim r^{-2} \Rightarrow F_2 = \frac{r_2^{-2}}{r_1^{-2}} \cdot F_1 \Rightarrow F_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot F_1 \Rightarrow m_2 = \frac{4{,}3^2}{2{,}5^2} \cdot 0{,}16 = 0{,}47 \text{ g}$$

0,47 g

**21** ***a***

$$E_A = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{1{,}0^2} - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{5{,}0^2} = -7{,}4.. \cdot 10^3 \text{ N/C}$$ Deze vector wijst naar links.

$7{,}4 \cdot 10^3$ N/C naar links

$$E_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{2{,}0^2} - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{2{,}0^2} = 4{,}50 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$ Deze vector wijst naar rechts.

$4{,}5 \cdot 10^2$ N/C naar rechts

$$E_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{7{,}0^2} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{3{,}0^2} = 7{,}46.. \cdot 10^3 \text{ N/C}$$ Deze vector wijst naar rechts.

$7{,}5 \cdot 10^2$ N/C naar rechts

***b*** Het gevraagde punt ligt tussen $Q_1$ en $Q_2$ in.

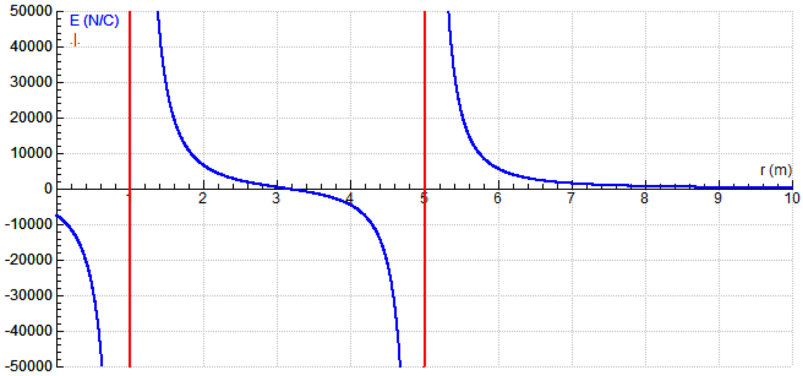
$$9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{r_1^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{r_2^2} \text{ met } r_1 + r_2 = 4{,}0 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\sqrt{8} : r_1 = \sqrt{6} : r_2 \Rightarrow r_1 = \sqrt{\frac{8}{6}} \cdot r_2 = 1{,}1547 \cdot r_2 \Rightarrow$$

$$r_1 = \frac{1{,}1547}{2{,}1547} \cdot 4 = 2{,}14 \text{ m en } r_2 = 4 - 2{,}14 = 1{,}86 \text{ m}$$

Op 2,14 m rechts van de linker bol

***c***




```
r := r + dr
E = f*((r-1)/Abs(r-1)*Q1/(r-1)^2  + (r-5)/Abs(r-5)*Q2/(r-5)^2)
```

```
r := -0,001
dr := 0,002
f = 9e9
Q1 = 8e-7
Q2 = 6e-7
E = -f*(Q1/(r-1)^2+Q2/(r-5)^2)
```

–

***d***

$$E_A = -9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{1{,}0^2} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{5{,}0^2} = -6{,}9.. \cdot 10^3 \text{ N}$$ Deze vector wijst naar links.

$7{,}0 \cdot 10^3$ N/C naar links

$$E_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{2{,}0^2} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{2{,}0^2} = 3{,}15.. \cdot 10^3 \text{ N}$$ Deze vector wijst naar rechts.

$3{,}2 \cdot 10^3$ N/C naar rechts

$$E_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{7{,}0^2} - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{3{,}0^2} = -4{,}53.. \cdot 10^2 \text{ N}$$ Deze vector wijst naar links.

$4{,}5 \cdot 10^2$ N/C naar links

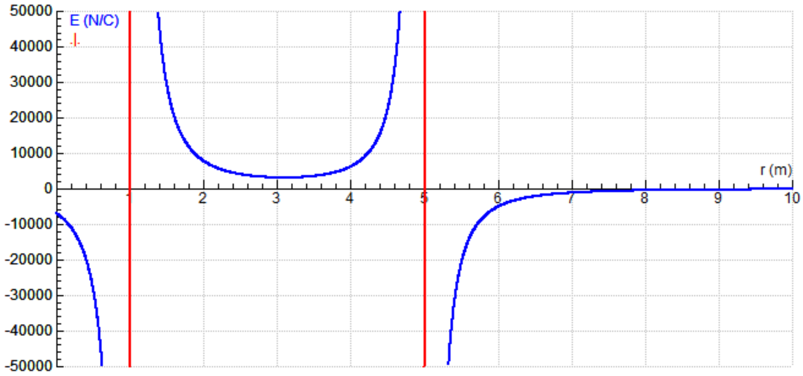
Het gevraagde punt ligt op een afstand x rechts van $Q_2$.

$$9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-7}}{(x+4)^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6{,}0 \cdot 10^{-7}}{x^2} \Rightarrow$$

$$\frac{(x+4)^2}{8} = \frac{x^2}{6} \Rightarrow x = 25{,}8.. = 26 \text{ m}$$

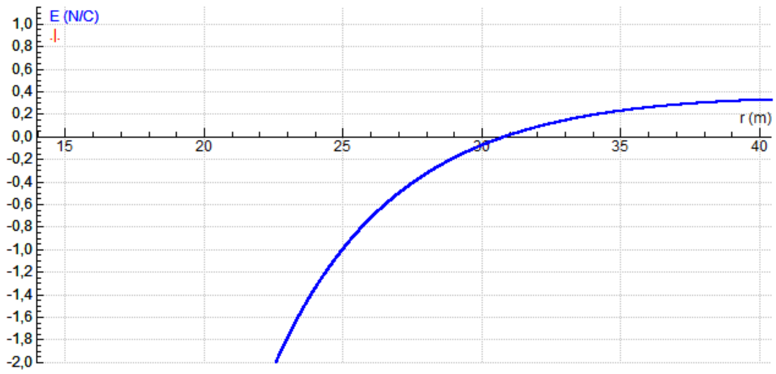
Zie de laatste grafiek bij deze opgave.

Op 26 m rechts van $Q_2$



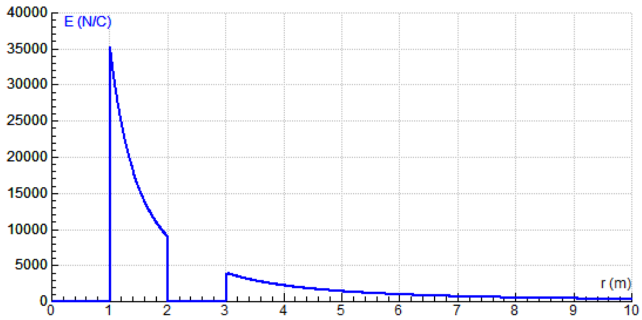

```
r := r + dr
E = f*((r-1)/Abs(r-1)*Q1/(r-1)^2  + (r-5)/Abs(r-5)*Q2/(r-5)^2)
```

```
r := -0,001
dr := 0,002
f = 9e9
Q1 = 8e-7
Q2 = -6e-7
E = -f*(Q1/(r-1)^2+Q2/(r-5)^2)
```




**22** ***a*** Zie p. 207 van vwo deel 2, *De kooi van Faraday*. Binnenin het metaal is de veldsterkte nul. Tussen de bollen en buiten de buitenste bol geldt:

$$E = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot \frac{4{,}00 \cdot 10^{-6}}{r^{2}} = \frac{36 \cdot 10^{3}}{r^{2}} \text{ N/C}$$




***b*** De velden van buiten kunnen niet de kooi van Faraday binnendringen.
Buiten de buitenste bol voel je het veld van de binnenste bol wel. Als die binnenste bol een zendantenne is, kan het signaal daarvan dus buiten worden opgevangen.

**Opgaven hoofdstuk 13**

**23 a**
Bij gravitatie gaat het om krachten op massa's.
Bij elektriciteit gaat het om krachten op ladingen.
De veldsterkte is de kracht op de eenheid van massa (de kg) of op de eenheid van lading (de coulomb).

Antwoord: –

**b**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

Op de noordpool is $g$ groter dan op de Mount Everest. In de ruimte ben je gewichtloos, dus lijkt het daar of $g$ = 0 m/s$^2$. De slinger zwaait daar niet.

Antwoord: noordpool

**c**
Op Mars is $g$ veel kleiner dan op aarde. Een berg weegt daar dus minder en kan dus hoger worden voor hij hetzelfde gewicht heeft als een berg op aarde.

Antwoord: –

**d**
$r = R_\oplus + 8{,}9 \cdot 10^3 = 6371 \cdot 10^3 + 8{,}9 \cdot 10^3 = 6380 \cdot 10^3$ m

$$g \sim r^{-2} \Rightarrow g = 9{,}81 \cdot \left(\frac{6371}{6380}\right)^2 = 9{,}78 \text{ m/s}^2$$

Antwoord: 9,78 m/s$^2$

**24 a**
Grofweg heb je twee keer per dag eb en vloed. De tijd tussen eb en vloed is dus ongeveer 6 uu.

Antwoord: ≈ 6 h

**b**


De afstanden zijn natuurlijk niet op schaal. De 'waterbulten' zijn iets hoger dan bij gewone vloed.

Antwoord: –

**c**

$$F_{g,zon} = \frac{GM \cdot 1}{r^2} = \frac{6{,}67384 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30}}{\left(0{,}1496 \cdot 10^{12}\right)^2} = 5{,}92.. \cdot 10^{-3} \text{ N} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{g,maan} = \frac{GM \cdot 1}{r^2} = \frac{6{,}67384 \cdot 10^{-11} \cdot 0{,}0735 \cdot 10^{24}}{\left(384{,}4 \cdot 10^{6}\right)^2} = 3{,}31.. \cdot 10^{-5} \text{ N} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Antwoord: $6 \cdot 10^{-3}$ N
$3 \cdot 10^{-5}$ N

**d**
Het gaat om deze twee verhoudingen van afstanden:
[maan→Q] : [maan→R] en [zon→Q : zon→R]
Bij de maan is die verhouding veel groter dan bij de zon en daardoor is de invloed van de maan op eb en vloed veel groter dan die van de zon.

**25 a**
$F_s = F_z = 7{,}00 \cdot 9{,}81 = 68{,}7$ N

Antwoord: 68,7 N

**b**

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \text{ dus } 68{,}7 = \frac{5{,}00 \cdot v^2}{0{,}35} \Rightarrow v = 2{,}19.. \text{ m/s}$$

Antwoord: 2,19 m/s

**c**

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f \quad 2{,}19 = 2\pi \cdot 0{,}35 \cdot f \Rightarrow f = 0{,}99.. \text{ Hz}$$

Antwoord: 1,0 Hz

**26 a**
Dan is er geen last van luchtweerstand bij de bereikte hoge snelheden.

Antwoord: –

**b**
240 toeren per minuut betekent $f$ = 4,0 Hz.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f \quad \text{dus } v = 2\pi \cdot 6{,}0 \cdot 4{,}0 = 150{,}7.. = 1{,}5 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{5500 \cdot 150^2}{6} \Rightarrow F = 2{,}06.. \cdot 10^7 = 2{,}1 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Antwoord: $2{,}1 \cdot 10^7$ N

***c*** Pas de formule toe die je bij opgave 1 in elkaar gezet hebt:

$$\left.\begin{aligned} F_c &= \frac{mv^2}{r} \\ v &= 2\pi rf \end{aligned}\right\} \Rightarrow F_c = \frac{m(2\pi rf)^2}{r} = 4\pi^2 mrf^2$$

0,29 Hz

$4\pi^2 \cdot 15 \cdot f^2 = 5 \cdot 9{,}81 \Rightarrow f = 0{,}28..$ Hz

**27** ***a***

| r (m) | 10T (s) | T^2 (s^2) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 3,85 | 0,15 |
| 0,34 | 4,22 | 0,18 |
| 0,51 | 5,05 | 0,26 |
| 0,79 | 6,34 | 0,40 |
| 0,95 | 6,78 | 0,46 |
| 1 | | |

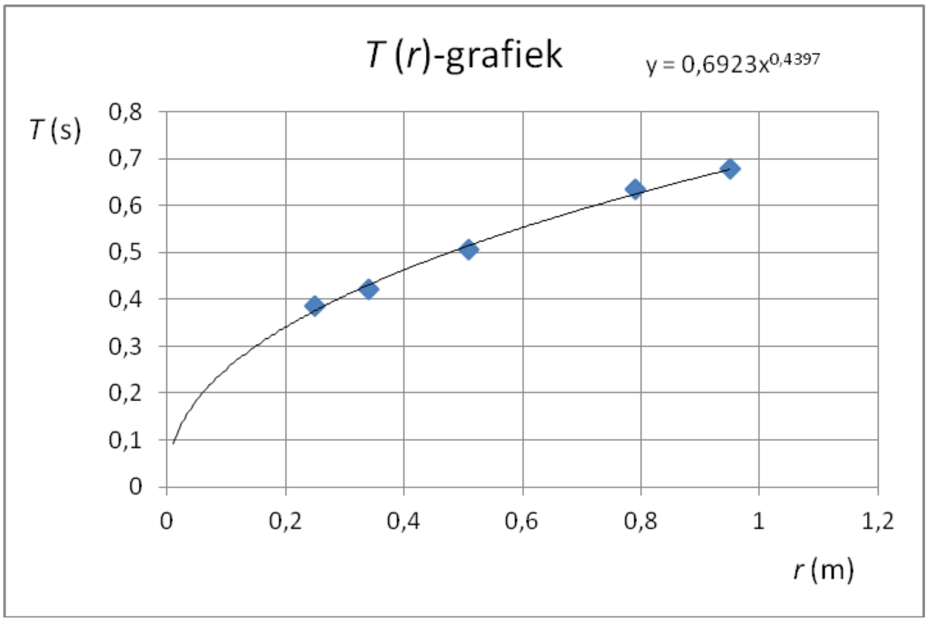
***b1***

$$\left.\begin{aligned} Mg &= \frac{mv^2}{r} \\ v &= \frac{2\pi r}{T} \end{aligned}\right\} \Rightarrow Mg = \frac{m\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 m}{Mg} \cdot r \Rightarrow k = \frac{4\pi^2 m}{Mg}$$

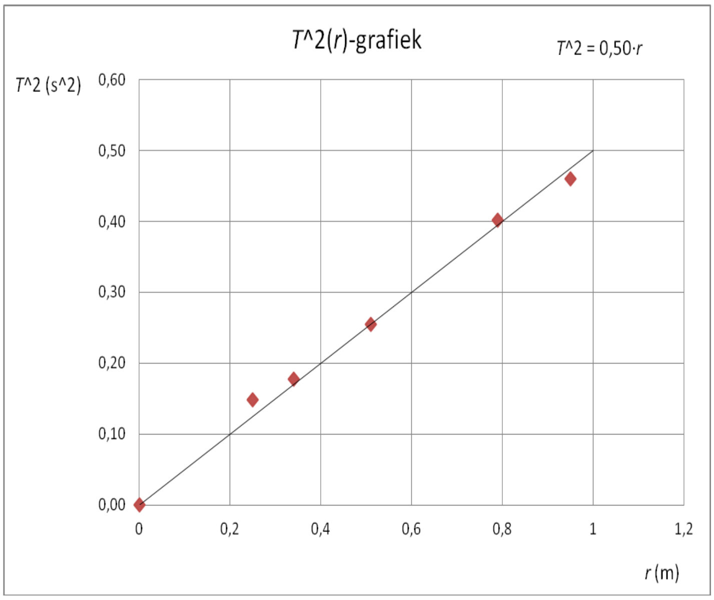
–

Invullen van de waarden van *m*, *M* en *g* levert $k = 0{,}50\ s^2/m$

**b2**




Je kunt hierboven alleen een trendlijn maken als je het punt (0,0) weglaat.




**b3** Uit de trendlijn volgt $k$ = 0,50 s²/m. — 0,50 $s^2$/m

**c** $T^2 = 0{,}50 \cdot 0{,}65 \Rightarrow 10T = 5{,}70$ s — 5,70 s

**28 a** Gebruik tabel 32D.
$m_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg $m_{\text{melkweg}} = 7{,}5 \cdot 10^{11} \cdot m_{\odot} = 1{,}5 \cdot 10^{42}$ kg

**b** aantal sterren is $2 - 4 \cdot 10^{11}$ Neem om te middelen maar $3 \cdot 10^{11} \Rightarrow$
een ster is ongeveer 2,5 keer zo zwaar als de zon.

**c** Je leest deze waarde af in tabel 32D: $2{,}20 \cdot 10^5$ m/s — $2{,}20 \cdot 10^5$ m/s

**d**

$$F_c = \frac{2 \cdot 10^{30} \cdot \left(2{,}20 \cdot 10^5\right)^2}{2{,}5 \cdot 10^{20}} = 3{,}8.. \cdot 10^{20} = 4 \cdot 10^{20}\text{ N}$$

$4 \cdot 10^{20}$ N

Meer significante cijfers heeft geen zin bij zo'n opgave. Het gaat om de orde van grootte.

**29** -

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

De zusterplaneten verschillen alleen in groote;ze hebben dus dezelfde dichtheid.
Hun massa's zijn dus evenredig met de volumes $V = 4/3 \cdot \pi \cdot R^3 \Rightarrow g \sim R \Rightarrow$
$g_A : g_B = R_A : R_B = 2 : 1$

Antwoord: 2 : 1

**30** -

$T = 178 \cdot 60 = 1{,}068 \cdot 10^4$ s

$$\left(1{,}068 \cdot 10^4\right)^2 = \frac{4\pi^2 \cdot \left(2413 \cdot 10^3\right)^3}{6{,}67384 \cdot 10^{-11} \cdot M_{\text{maan}}} \Rightarrow M_{\text{maan}} = 7{,}28.. \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

(Volgens *Binas* $7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg.)

$g = \dfrac{GM}{R^2}$ Tabel 31: $R_{\text{maan}} = 1738 \cdot 10^3$ m

Alle waarden invullen geeft: $g_{\text{maan}} = 1{,}60..$ m/s$^2$ (Volgens *Binas* 1,62 m/s$^2$.)

Antwoord: $7{,}29 \cdot 10^{22}$ kg; 1,61 m/s$^2$

**31 a** Tabel 31: 2,38 km/s

Antwoord: 2,38 km/s

**b** Die 1,5 km/s en 0,5 km/s zijn gemiddelde waarden. Dat betekent dat er op de maan ook moleculen zijn geweest die meer snelheid hadden dan 2,38 km/s. Die zijn weggelekt. Daarna waren er weer nieuwe snelle moleculen, enz. enz.

Antwoord: –

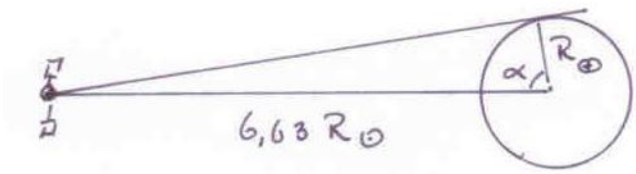
**32 a1** Zie opgave 7. Eigenlijk moet je niet 24 h gebruiken, maar de siderische rotatieperiode.
Die is 0,9973 d = 23,94 h. Het antwoord wordt verder berekend met $T$ = 24 h.
$G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ N/(m$^2$kg$^2$) $M = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg $T = 24 \cdot 3600 = 8{,}64 \cdot 10^4$ s
Invullen van deze waarden in de derde wet van Kepler levert:
$r^3 = 7{,}53. \cdot 10^{22} \Rightarrow r = 4{,}22.. \cdot 10^7$ m

Antwoord: $4{,}22 \cdot 10^7$ m

**a2** $R_\odot = 6{,}371 \cdot 10^6$ m $\Rightarrow r = 6{,}63 \cdot R_\odot \Rightarrow h = 5{,}63 \cdot R_\odot$

Antwoord: $5{,}63 \cdot R_\odot$

**b**




$\cos\alpha = 1/6{,}63 \Rightarrow \alpha = 81°$

Antwoord: 81°

**c** $r = R_\odot + h = 6371 + 500 = 6871$ km $= 6{,}871 \cdot 10^6$ m
Pas de derde wet van Kepler toe $\Rightarrow T^2 = 3{,}21.. \cdot 10^7 \Rightarrow$
$T = 5{,}66.. \cdot 10^3$ s = 1,57 h = 1 h en

Antwoord: 1 h en 34 min

**d**

$$\left.\begin{array}{l} \rho = \dfrac{M}{V} = \dfrac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \dfrac{3}{4\pi R^3} M \\ \dfrac{R^3}{T^2} = \dfrac{GM}{4\pi^2} \Rightarrow M = \dfrac{4\pi^2 R^3}{GT^2} \end{array}\right\} \Rightarrow \rho = \frac{3}{4\pi R^3} \cdot \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2} = \frac{3\pi}{GT^2}$$

Antwoord: –

**33** - Je kunt $F$ uitzetten tegen $r^{-2}$ of $\sqrt{F}$ tegen $r^{-1}$ of $F^{-1}$ tegen $r^2$.

Antwoord: –

**34 a** De maan gaat dan in een rechte lijn eenparig verder – eerste wet van Newton.

Antwoord: –

**b** Er geldt dan: $\dfrac{GMm}{r^2} = \dfrac{fQ^2}{r^2}$ dus:
$6{,}67384 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24} \cdot 0{,}0735 \cdot 10^{24} = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot Q^2 \Rightarrow Q = 5{,}7 \cdot 10^{13}$ C

Antwoord: $5{,}7 \cdot 10^{13}$ C

**35** - De eenheid van moment is N·m.

$T = k\dfrac{\varphi \cdot r^4}{\ell} \Rightarrow \text{N} \cdot \text{m} = [k] \cdot \dfrac{\text{m}^4}{\text{m}}$ (de eenheid van $\phi$, de radiaal, doet niet mee) $\Rightarrow$

$[k]$ = N/m$^2$

Antwoord: N/m$^2$

**36** - $Q_1$ en $Q_2$ moeten tegengesteld geladen zijn.
De afstanden tot $q$ verhouden zich als 2 : 1 $\Rightarrow Q_1 = -4Q_2$

Antwoord: $Q_1 = -4Q_2$

**37** -

Er geldt dan: $mg=\dfrac{fe^2}{r^2} \Rightarrow 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 9{,}81 = 9{,}0\cdot 10^{9}\cdot \dfrac{\left(1{,}6\cdot 10^{-19}\right)^2}{r^2} \Rightarrow r = 5{,}1$ m — 5,1 m

**38** ***a*** De formule voor de totale veldsterkte in de buurt van de getekende *q* is:

$$E(r)=9\cdot 10^{9}\cdot\left(\frac{-2\cdot 10^{-6}}{(0{,}1+r)^2}+\frac{1\cdot 10^{-6}}{r^2}\right)=9\cdot 10^{3}\cdot\left(\frac{-2}{(0{,}1+r)^2}+\frac{1}{r^2}\right)\text{ N/C}$$

$$E=0 \Rightarrow \frac{2}{(r+0{,}1)^2}=\frac{1}{r^2} \Rightarrow 2r^2=r^2+0{,}2r+0{,}01 \Rightarrow r^2-0{,}2r-0{,}01=0$$

pas de a,b,c -formule toe: $r = ½\cdot(0{,}2 \pm 0{,}28..) = 0{,}24$ m = 24 cm **V** $-0{,}04 = -4$ cm — 24 cm

Controle met niet-afgeronde waarden:
$r_1 = 0{,}2414 \Rightarrow 2\cdot 0{,}3414^{-2} = 17{,}16$ en $1\cdot 0{,}2414^{-2} = 17{,}16$ die waarde is dus goed
$r_2 = -0{,}0414 \Rightarrow 2\cdot 0{,}0586^{-2} = 583$ en $1\cdot(-0{,}0414)^{-2} = 583$ dus ook goed.

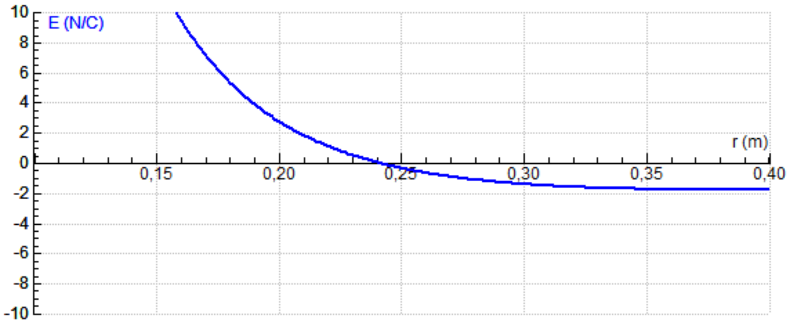
Echter: bij *r* = 4 cm zit je tussen beide ladingen in. De twee veldsterktes zijn daar dus wel even groot, maar ze wijzen beide naar links. De totale veldsterkte is daar dus niet nul.

***b*** De formule voor de totale veldsterkte in de buurt van de getekende *q* is:

$$E(r)=9\cdot 10^{3}\cdot\left(\frac{-2}{(0{,}1+r)^2}+\frac{1}{r^2}\right)\text{ N/C}$$

Als de waarde van *E* positief is, wijst $\vec{E}$ naar rechts en als hij negatief is naar links.
Neem voor *r* een waarde die iets groter is dan 0,2414 m, bijvoorbeeld 0,25 m.
Dan krijg je als uitkomst $E = -2{,}9\cdot 10^3$ N/C. De lading *q* wordt dus weer naar zijn oude plaats getrokken.
Neem nu *r* = 0,23 m. Dan krijg je $E = 4{,}8\cdot 10^3$ N/C. Ook nu wordt *q* naar zijn oude plaats getrokken. Op de verbindingslijn levert *r* = 0,2414 m dus een stabiele situatie.

Je kunt ook met Coach een grafiek maken van het gedeelte tussen de haken:




Ook nu zie je dat je bij *r* = 0,2414 m een stabiele situatie hebt.

Als *q* iets boven de verbindingslijn terechtkomt wijst de som van de twee vectoren $\vec{E}$ naar boven en wordt *q* dus nog verder weggeduwd. Boven en onder de verbindingslijn is de situatie dus niet stabiel.

**39** ***a*** $F_z = F_e \Rightarrow mg = \dfrac{fQ^2}{r^2}$ Invullen van de gegevens levert $Q = 4{,}2\cdot 10^{-6}$ C = 4 μC — klopt

***b*** $Q = 4{,}2\cdot 10^{-6}$ C en $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ C $n=\dfrac{Q}{e} \Rightarrow n = 2{,}6\cdot 10^{13}$ elektronen te weinig — $2{,}6\cdot 10^{13}$

**40** ***a*** $\varepsilon_{r,\,lucht} = 1{,}00056$ We werken in de regel niet met zes significante cijfers. — –

***b*** $F_e=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0\cdot\varepsilon_r}\cdot\dfrac{Q_1\cdot Q_2}{r^2}$ en $\varepsilon_{r,\,water} = 80$ — –

De elektrische krachten tussen de ionen houden de kristallen bij elkaar. In water zijn die 80 keer zo klein. Daardoor lossen veel zouten in water op.

**41** ***a*** $Q_{\text{Na-kern}} = 11 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 1{,}762 \cdot 10^{-18}$ C en $q_\alpha = 2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} = 3{,}204 \cdot 10^{-19}$ C

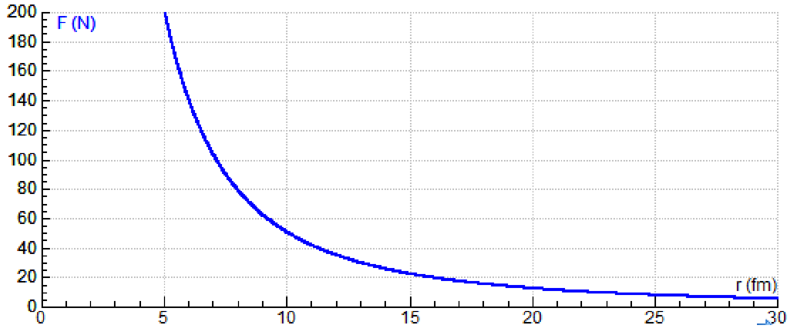
$137 = 9 \cdot 10^9 \dfrac{Q_{\text{Na-kern}} \cdot q_\alpha}{r^2} \Rightarrow r = 6{,}08.. \cdot 10^{-15}$ m

$6{,}1 \cdot 10^{-15}$ m

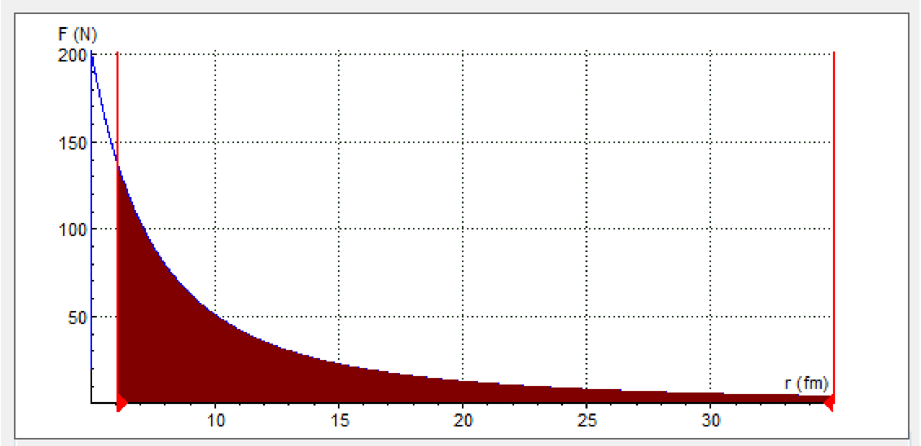
***b*** $E = \dfrac{137}{q_\alpha}$ Invullen geeft $E = 4{,}3 \cdot 10^{20}$ N/C

$4{,}3 \cdot 10^{20}$ N/C

***c***




***d*** Het oppervlak stelt de potentiële energie van het α-deeltje voor als het stilstaat bij $r$ = 6,1 fm.




**42** - Zo'n stofdeeltje is 'meteen' op volle snelheid. We nemen daarom aan dat het deeltje eenparig beweegt.

$\Sigma F = 0$ dus $F_e = F_w \Rightarrow 400 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}0 \cdot 10^5 = 1{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot v \Rightarrow$

$v = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ m/s

$8{,}0 \cdot 10^{-3}$ m/s