

Uitwerkingen natuurkunde VWO-1998-I

Opgave 1 Collegedemonstratie

3p 1. Het volume van de bol is:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (0,136)^3 = 1,054 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Als de bol massief zou zijn, dan is zijn massa:

$$m = \rho V = 11,35 \cdot 10^3 \cdot 1,054 \cdot 10^{-3} = 119,6 \text{ kg} = 120 \text{ kg}.$$

Dit komt overeen met de in de tekst genoemde massa, dus de bol is massief.

3p 2. De lengte van de slinger wordt berekend uit de periode van de slinger:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{9,81 \cdot (6,10)^2}{4\pi^2} = 9,246 \text{ m} = 9,25 \text{ m}$$

De afstand tussen de bevestigingspunten is $\ell - r$

$$\ell - r = 9,246 - 0,136 = 9,110 \text{ m} = 9,11 \text{ m}$$

- 3p 3.
- Voor een ongedempte harmonische beweging kan de maximale snelheid berekend worden met $v_{\max} = 2\pi f r_{\max}$.
 - Dan is: $v_{\max} = 2\pi \cdot (1/6,10) \cdot 1,52 = 1,566 \text{ ms}^{-1}$.
 - De gemeten snelheid is dus $1,566 - 1,54 = 0,03 \text{ ms}^{-1}$ kleiner dan de berekende snelheid.

Opmerking:

Een aantal kandidaten zal niet vertrouwd zijn met de toepassing van de relatie $v_{\max} = 2\pi f r_{\max}$ op de slingerbeweging. Als er gewerkt wordt met de omzetting van zwaarte-energie naar bewegingsenergie, dan levert dat:

$$\Delta h = \ell \cdot (1 - \cos \alpha) = 9,246 \cdot (1 - \cos 9,46) = 0,1258 \text{ m}.$$

Met de omzetting $mg\Delta h = \frac{1}{2}m(v_{\max})^2$ is dan

$$v_{\max} = 1,571 \text{ ms}^{-1} \text{ en } \Delta v = 0,03 \text{ ms}^{-1}.$$

4p 4. Aangezien de tijd tussen de 'metingen' precies één periode bedraagt moet voor t de waarde 6,10 s genomen worden.

De (maximale) uitwijking is dan:

$$r(t) = r(6,10) = r(0) \cdot e^{-0,0031 \cdot 6,10} = 1,52 \cdot 0,98127 = 1,492 \text{ m}$$

De professor kan dus maximaal $1,52 - 1,492 = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$ naar voren komen.

4p 5. Als de kinetische energie (bij de eerste passage door de evenwichtsstand) volledig wordt omgezet in warmte, dan geldt:

$$U_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m(v_{\max})^2 = cm\Delta T$$

De kinetische energie (in de beschouwde beginsituatie) bedraagt $U_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 120 \cdot 1,54^2 = 142,3 \text{ J}$.

De temperatuurstijging is:

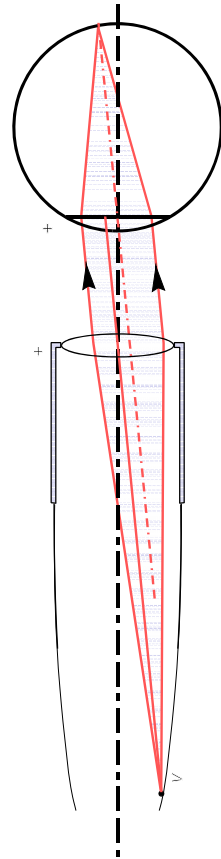
$$\Delta T = U_{\text{kin}}/cm \rightarrow \Delta T = 142,3/(0,128 \cdot 10^3 \cdot 120) = 9,264 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$$

Hierdoor neemt de diameter van de bol toe met:

$$\Delta d = 9,264 \cdot 10^{-3} \cdot 7,9 = 0,073 \text{ } \mu\text{m} = 73 \text{ nm}.$$

Opgave 2 Optimate

- 2p 6. De medewerker moet zonder optimate (sterk) accomoderen. Dit is vermoeiender dan het werken zonder accomodatie van de ogen.
- 4p 7. De reeds getekende lichtstraal is tevens bijas van de eerste lens. De richting van de bundel evenwijdige stralen tussen de lenzen wordt bepaald door de richting van deze bijas.
- Trek door de ooglenzen een bijas evenwijdig aan de bijas door de optimatelens.
 - Het snijpunt van deze bijas met het netvlies is het beeldpunt van V op het netvlies.
 - Vervolgens worden de bundelbegrenzende stralen tussen de lenzen evenwijdig aan de getekende bijassen getrokken.
 - Dan worden de verbindinglijnen met V en met het beeldpunt van V op het netvlies getrokken.
 - Tenslotte wordt de arcering aangebracht.
- 3p 8. Het blauwe licht wordt sterker gebroken ($n_{\text{blauw}} > n_{\text{rood}}$) en komt dus samen in punt P. Als het scherm dicht bij P loodrecht op de optische as gehouden wordt, zal de lichtvlek een rode rand vertonen omdat het blauwe licht in het midden geconcentreerd is. Dit komt overeen met de genoemde situatie. Het scherm bevindt zich dus dicht bij P. (Wordt het scherm dicht bij Q geplaatst, dan zal er een 'witte' vlek met blauwe rand zichtbaar zijn omdat daar juist het rode licht in het centrum wordt geconcentreerd).

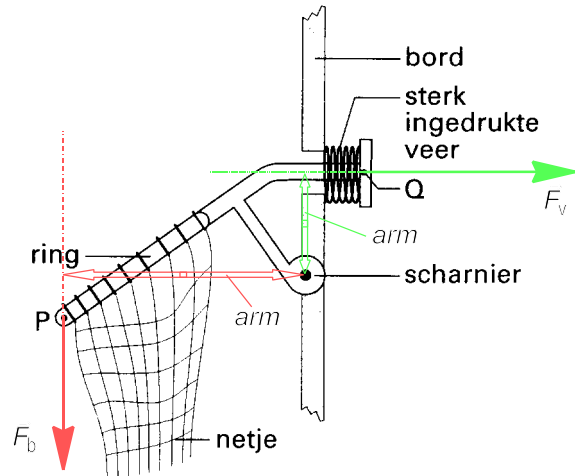


Opgave 3 Basketbal

- 5p 9. De momentenstelling moet toegepast worden waarbij de zwarte stip van het scharnier als draaipunt wordt genomen.

- In die afbeelding zijn de krachten F_b en F_v en hun armen ten opzichte van het draaipunt aangegeven.
- In de figuur op de bijlage is te meten:
de arm van $F_b \triangleq 6,3$ cm de arm van $F_v \triangleq 2,7$ cm
- Toepassing momentenstelling:
 $F_b * 6,3 = F_v * 2,7$
 $F_v = (6,3/2,7) * 90 * 9,81 = 2060$

$$N = 2,1 \cdot 10^3 \text{ N}$$



- 5p 10. De verticale snelheid op $t = 0,30$ s wordt bepaald via de stoot.

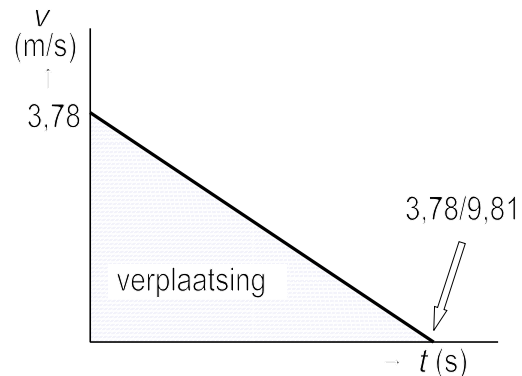
- De stoot S is gelijk aan het 'oppervlak onder het (F_s, t) -diagram'.
- Het 'oppervlak onder het (F_s, t) -diagram' is:
 $\frac{1}{2} * 1700 * 0,1 + 1700 * 0,1 + \frac{1}{2} * 1700 * 0,1 = 340 \text{ Ns}$
- $S = m\Delta v = mv_{\text{vert}}(0,30)$
 $v_{\text{vert}}(0,30) = 340/90 = 3,78 \text{ ms}^{-1}$
- De kinetische energie van de speler op $t = 0,30$ s wordt geheel omgezet in zwaarte-energie:
 $\frac{1}{2}m(v_{\text{vert}}(0,30))^2 = mg\Delta h$
 $\Delta h = \frac{1}{2} * (3,78)^2/9,81 = 0,7274 \text{ m} = 0,73 \text{ m}$

of: met verticale worp en de vergelijkingen

$$x(t) = x(0) + v(0)t + \frac{1}{2}at^2 \text{ en}$$

$$v(t) = v(0) + at$$

of: met snelheidsgrafiek



- 3p 11. $F_w = kv^2 \Rightarrow k = F_w/v^2 \Rightarrow [k] = [F_w]/[v]^2$
 $[k] = \text{N}/(\text{m s}^{-1})^2 = \text{kg m s}^{-2}/(\text{m}^2 \text{ s}^{-2}) = \text{kg m}^{-1}$

- 3p 12. De resulterende verticale kracht omlaag is gelijk aan de zwaartekracht vermeerderd met de verticale component van de wrijvingskracht, dus $F_{\text{res},y} = F_z + F_{w,y}$

De verticale versnelling (omlaag) is dan $a_y = F_{\text{res},y}/m$

Dus: $a_y = (F_z + F_{w,y})/m$ of $a_y = g + F_{w,y}/m$

- 3p 13. We hoeven bij de doorrekening van het model alleen maar te kijken naar de horizontale componenten:

$$v = 8,0 \quad (\text{m/s})$$

$$\alpha = \pi/3 \quad (\text{rad})$$

$$F_w = 0,025 * (8,0)^2 = 1,6 \quad (\text{N})$$

$$F_{w,x} = -1,6 * \cos(\pi/3) = -0,80 \quad (\text{N})$$

$$\begin{aligned}
 a_x &= -0,80/0,6 = -1,333333 & (\text{m/s}^2) \\
 v_x &= 8,0 \cdot \cos(\pi/3) - 1,333333 \cdot 0,02 = 3,973333 & (\text{m/s}) \\
 x &= 0 + 3,973333 \cdot 0,02 = 0,079467 \text{ m} = 0,07947 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- 3p 14. Grafiek **b** (model) loopt onder grafiek **a** (echte baan), dus de bal komt in werkelijkheid verder dan het model voorspelt. In het model is de invloed van de wrijvingskracht te groot. Om die invloed te verminderen moet de waarde van k kleiner gekozen worden.

Opgave 4 Pluto

- 4p 15. Bij onderstaande uitwerking wordt gebruik gemaakt van de volgende afkortingen:
Z = zon; P = Pluto; PFF = Pluto Fast Flyby
Aangezien PFF in punt Q evenveel aantrekkingskracht van de zon als van Pluto ondervindt geldt:

$$G \frac{m_Z m_{PFF}}{r_{Z-Q}^2} = G \frac{m_P m_{PFF}}{r_{P-Q}^2} \quad \text{dus} \quad r_{P-Q}^2 = \frac{m_P}{m_Z} r_{Z-Q}^2$$

Hierin is $r_{Z-Q} = r_{Z-P}$, zodat

$$r_{P-Q} = \sqrt{\frac{m_P}{m_Z}} * r_{Z-P} = \sqrt{\frac{0,013 \cdot 10^{24}}{1,989 \cdot 10^{30}}} * 5,91 \cdot 10^{12}$$

$$r_{P-Q} = 8,0845 \cdot 10^{-5} * 5,91 \cdot 10^{12} = 4,778 \cdot 10^8 \text{ m} = 4,8 \cdot 10^8 \text{ m}$$

- 3p 16. De hier gedefinieerde 'capaciteit' heeft als eenheid coulomb. De eenheid van de natuurkundige grootheid capaciteit is farad = coulomb per volt. De eenheden verschillen, dus de grootheden ook.

- 4p 17. *methode 1:*

- De totale hoeveelheid energie die in de 7,0 jaar geleverd moet worden is $U_{\text{tot}} = Pt$
 $U_{\text{tot}} = 15 \cdot 10^3 * 7,0 * 365 * 24 * 60 * 60 = 3,311 \cdot 10^{12} \text{ J}$
(of direct met BINAS tabel 6: 1 jaar = $3,1536000 \cdot 10^7 \text{ s}$)
- De geleverde energie per accu is $U_{\text{accu}} = VIt$ dus
 $U_{\text{accu}} = V * \text{'capaciteit'} = 12 * 120 * 60 * 60 = 5,184 \cdot 10^6 \text{ J}$
- Er zijn dus in totaal (minimaal) nodig
 $U_{\text{tot}}/U_{\text{accu}} = 3,311 \cdot 10^{12} / 5,184 \cdot 10^6 = 6,388 \cdot 10^5 = 6,4 \cdot 10^5$ accu's van de genoemde soort.

methode 2:

Het voortdurend benodigde vermogen is $P = 15 \cdot 10^3 \text{ W}$.

- De voortdurend te leveren stroomsterkte wordt hieruit berekend:
 $P = VI = 12I \rightarrow I = 15 \cdot 10^3 / 12 = 1250 \text{ A}$
- $t = 7,0 \text{ jaar} = 7,0 * 365 * 24 \text{ uur} = 6,132 \cdot 10^4 \text{ uur}$
- De minimaal benodigde 'capaciteit' is dus:
 $It = 1250 * 6,132 \cdot 10^4 = 7,665 \cdot 10^7 \text{ Ah}$
- Daarvoor zijn van het genoemde soort accu's nodig:
 $7,665 \cdot 10^7 / 120 = 6,388 \cdot 10^5 \text{ accu's} = 6,4 \cdot 10^5 \text{ accu's}$.

5p 18. Het door de zon uitgestraalde vermogen is $3,90 \cdot 10^{26}$ W.

- Voor de stralingsintensiteit ('lichtsterkte') geldt:
 $I(r) = P/4\pi r^2 \text{ Wm}^{-2}$
Op afstand $r_{Z-P} = 5,91 \cdot 10^{12}$ m van de zon is de stralingsintensiteit gelijk aan
 $3,90 \cdot 10^{26} / 4\pi (5,91 \cdot 10^{12})^2 = 0,8885 \text{ Wm}^{-2}$
- Van dit stralingsvermogen per m^2 wordt door een zonne-paneel 20% omgezet in elektrisch vermogen. Dus per vierkante meter wordt $0,20 \cdot 0,8885 \text{ W} = 0,1777 \text{ W}$ omgezet in elektrisch vermogen.
- Er is dus een zonnepaneeloppervlakte nodig van $15 \cdot 10^3 / 0,1777 = 8,441 \cdot 10^4 = 8,4 \cdot 10^4 \text{ m}^2$

2p 19. De halveringstijd van plutonium-241 is 14 jaar. De andere in BINAS vermelde plutoniumisotopen hebben alle een veel langere halveringstijd en dus bij een zelfde aantal kernen een veel kleinere activiteit. De uitgezonden α -deeltjes hebben voor de verschillende isotopen ongeveer dezelfde energie. Bij gelijke massa hebben de andere plutoniumisotopen een te kleine activiteit om het benodigde vermogen te kunnen leveren. (Of: Om het benodigde vermogen te kunnen leveren moet er een aanzienlijk grotere massa plutonium meegenomen worden).

5p 20. · De energie van een α -deeltje van Pu-241 is 4,91 MeV

$$U_\alpha = 4,91 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 7,866 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

- Na 7,0 jaar moeten er per seconde vrijkomen:
 $P/U_\alpha = 15 \cdot 10^3 / 7,866 \cdot 10^{-13} = 1,907 \cdot 10^{16} \alpha\text{-deeltjes.}$
Dus $A(7,0) = 1,9 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$

- $A(t) = N(t) \cdot \ln 2 / \tau$ dus $N(t) = A(t) \cdot \tau / \ln 2$
Het aantal plutoniumkernen dat na 7,0 jaar nog aanwezig moet zijn is:
 $N(t) = 1,907 \cdot 10^{16} \cdot 14 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / \ln 2$ kernen
 $N(t) = 1,215 \cdot 10^{25}$ kernen

- $N(t) = N(0) \cdot (1/2)^{t/\tau}$ dus $N(0) = N(t) \cdot 2^{t/\tau}$
Het aantal plutoniumkernen dat aan het begin van de reis minimaal aanwezig moet zijn is:

$$N(0) = 1,215 \cdot 10^{25} \cdot 2^{7,0/14} = 1,718 \cdot 10^{25}$$

- De massa per plutoniumatoom is 241,05674 u, dus aan het begin van de reis moet minimaal aanwezig zijn
 $m(0) = 1,718 \cdot 10^{25} \cdot 241,05674 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $m(0) = 6,876 \text{ kg} = 6,9 \text{ kg plutonium-241.}$

Opgave 5 Antiprotonen vangen

2p 21. De quarksamenstelling van een proton is u-u-d

3p 22. De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de lorentzkracht op de antiprotonen: $F_{\text{mpz}} = F_{\text{lor}} \Rightarrow mv^2/r = Bqv$

$$B = \frac{mv}{rq} = \frac{1,673 \cdot 10^{-27} * 2,9 \cdot 10^7}{0,95 * 1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,3187 \text{ T} = 0,32 \text{ T}$$

3p 23. Voor een spoel geldt:

$$B = \mu_o \frac{NI}{l} \Rightarrow I = \frac{lB}{\mu_o N} = \frac{0,50 * 2,8}{1,25664 \cdot 10^{-6} * 30.000} = 37,14 \text{ A} = 37 \text{ A}$$

3p 24. Als het antiproton (negatief geladen) plaatje 2 niet meer mag bereiken, mag de kinetische energie van het antiproton na het passeren van plaatje 1 maximaal gelijk zijn aan de toename van de elektrische energie.

$$\Delta V = 3,0 \text{ kV} \Rightarrow \Delta U_{\text{el}} = 3,0 \text{ keV} = U_{\text{kin,na}} \text{ (na plaatje 1)}$$

$$U_{\text{kin,na}} = q\Delta V = 1,602 \cdot 10^{-19} * 3,0 \cdot 10^3 = 4,807 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

De kinetische energie waarmee plaatje 1 wordt bereikt is

$$U_{\text{kin,voor}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} * 1,673 \cdot 10^{-27} * (2,9 \cdot 10^7)^2 = 7,033 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

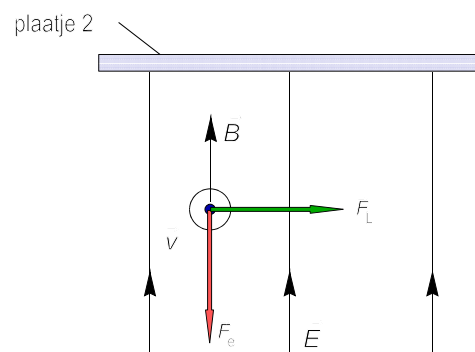
Het percentage van de oorspronkelijke energie dat de antiprotonen in dit geval over mogen hebben is:

$$\frac{4,807 \cdot 10^{-16}}{7,033 \cdot 10^{-13}} * 100\% = 0,06834\% = 0,068\%$$

3p 25. De lorentzkracht en de elektrische kracht zijn aan elkaar gelijk, dus $F_{\text{lor}} = F_{\text{el}}$

$$Bqv = qE \Rightarrow E = Bv = 2,8 * 6,2 \cdot 10^5 = 1,7 \cdot 10^6 \text{ V m}^{-1}$$

5p 26. Het antiproton is negatief geladen en heeft een snelheid loodrecht op het papier, naar ons toe. De richting van het magneetveld is in het vlak van de afbeelding recht omhoog. De lorentzkracht op het antiproton is dan naar rechts gericht (een richtingsregel toepassen). De richting van de elektrische veldsterkte is per definitie de richting van de elektrische kracht die een positief geladen deeltje ter plekke ondervindt. Het



antiproton is negatief geladen, dus is de richting van de elektrische kracht op dit deeltje tegengesteld aan de richting van de elektrische veldsterkte.

Aangezien F_{lor} gelijk is aan F_{el} en beide loodrecht op elkaar staan, is:

$$F_{\text{res}} = \sqrt{F_{\text{lor}}^2 + F_{\text{el}}^2} = \sqrt{2F_{\text{el}}^2} = F_{\text{el}} \sqrt{2} = qE \sqrt{2}$$

$$F_{\text{res}} = 1,602 \cdot 10^{-19} * 1,736 \cdot 10^6 * \sqrt{2} = 3,9 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$