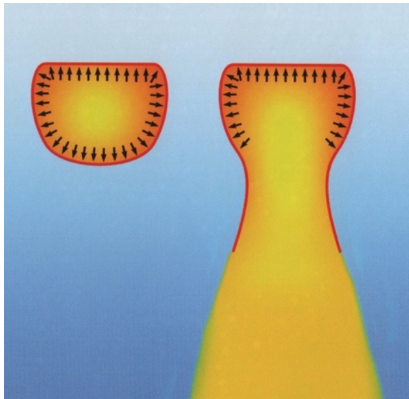


Project Apollo uitwerkingen



2. S-IC trap

Opgave 1



Opgave 2

Bij de raketmotor links wordt door het uitgezette gas overal op de motor een kracht uitgeoefend, al die krachten bij elkaar heffen elkaar op.

Bij de figuur rechts ontsnapt het gas aan de onderkant waardoor er nu wel netto een kracht naar boven is op de raketmotor.

Opgave 3

Hier geldt de 3e wet van Newton. Het gas wordt versneld naar beneden uitgestoten. Daarbij duwt het gas tegen de raket naar boven en de raket duwt het gas naar beneden.

Opgave 4

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lb} \cdot 32,174 \text{ ft/s}^2 = 4,535 \cdot 10^{-1} \text{ kg} \cdot 32,174 \cdot 3,048 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}^2 = 4,447 \text{ N}$$

Opgave 5

De massa neemt af van $6,38 \cdot 10^6 \text{ lb}$ tot $2,75 \cdot 10^6 \text{ lb}$ in de eerste twee minuten. Dat is $13,7 \cdot 10^3 \text{ kg/s}$. Er zijn vijf motoren dus: $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/s}$ per motor.

Opgave 6

$$\vec{p} = m\vec{v} = 5 \cdot 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 2,58 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 35 \cdot 10^6 \text{ kg m/s}$$

Opgave 7

De kracht die een motor levert op als deze op volle kracht werkt is gemiddeld 6,9 MN.

Eén derde daarvan komt in verticale richting op één dwarsstang te staan.

$$\text{Dus geldt: } \sin 74 = \frac{1}{3} \cdot 6,8 \text{ MN} / F_{\text{dwarsstang}}$$

$$\text{Daaruit volgt: } F_{\text{dwarsstang}} = 2,4 \text{ MN}$$



Opgave 8

$$F_{res} = m \cdot a = F_{stuwkracht} + F_{z//} + F_{w,lucht}$$

$$\text{Er geldt: } \cos 66 = \frac{F_{z//}}{F_z} = \frac{F_{z//}}{2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,4535 \cdot 9,81}$$

$$2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,4535 \cdot 3,1 \cdot 9,81 = 5 \cdot 6,9 \cdot 10^6 - 3,6 \cdot 10^6 + F_{w,lucht}$$

$$\text{Dus: } F_{w,lucht} = -3,3 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Opgave 9

De werklijnen van $F_{w,lucht}$ en F_z gaan door het draaipunt heen. De arm is dus 0.
Dus is het draaimoment van deze twee krachten 0.

Opgave 10

Er moet evenwicht voor de momentenwet gelden:

$$F_{stuwkracht} \cdot r_{stuwkracht} = F_{lift} \cdot r_{lift}$$

$$5 \cdot 6,9 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot 5,9 \text{ cm} = F_{lift} \cdot 1,7 \text{ cm}$$

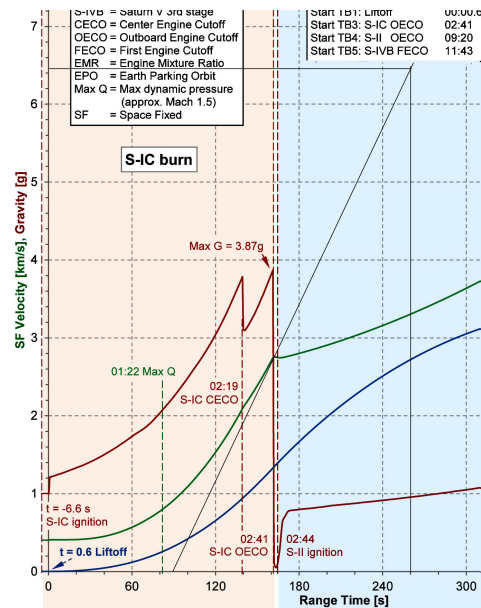
$$\text{Hieruit volgt: } F_{lift} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ N}$$

3. S-II trap

Opgave 11

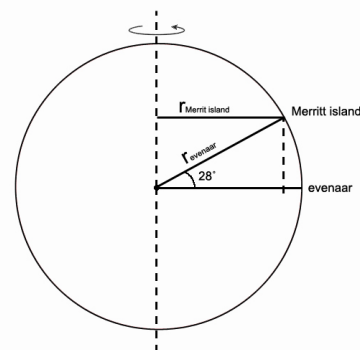
$$\left(a = \frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

$$a = \frac{6,47 \cdot 10^3}{(260 - 89)} = 37,8 \text{ m/s}^2 = 3,86 \text{ g}$$



Opgave 12

Merritt island ligt op de 28e breedtegraad ($28^\circ 21' 28''$), dat betekent dat de baanstraal op die hoogte kleiner is dan die aan de evenaar. De hoek in graden is $28,3578^\circ$ (via de graden toets op je rekenmachine).



$$\cos 28,3578 = \frac{r_{\text{Merritt island}}}{r_{\text{evenaar}}} \quad \text{dus } r_{\text{Merritt island}} = 5,606 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$v = \frac{2\pi r_{\text{Merritt island}}}{T} = \frac{2\pi \cdot 5,606 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600} = 407,7 \text{ m/s}$$

$$m = 6,2 \cdot 10^6 \text{ lb} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = 2,3 \cdot 10^9 \text{ J}$$

Opgave 13

Het energieverval van de S-II trap gaat zitten in kinetische energie en gravitatie-energie. Uit de figuur lezen we de volgende waarden af:

hoogte en snelheid bij ontbranding S-II trap: $h = 69 \text{ km}$, $v = 2,8 \text{ km/s}$

$$\text{dus } r_{\text{voor}} = 6,371 \cdot 10^6 + 69 \cdot 10^3 = 6,44 \cdot 10^6 \text{ m}$$

hoogte en snelheid op 9:20 min (S-II OECO): $h = 172 \text{ km}$, $v = 7,0 \text{ km/s}$

$$\text{dus } r_{\text{na}} = 6,371 \cdot 10^6 + 172 \cdot 10^3 = 6,543 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$E_{voor} = E_{na}$$

$$E_{kin,voor} + E_{gravitatie,voor} + E_{S-II} = E_{kin,na} + E_{gravitatie,na}$$

$$\frac{1}{2}mv_{voor}^2 - \frac{GmM}{r_{voor}} + E_{S-II} = \frac{1}{2}mv_{na}^2 - \frac{GmM}{r_{na}} \text{ met } M \text{ de massa van de aarde.}$$

$$\text{hieruit volgt: } E_{S-II} = 9,70 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Opgave 14

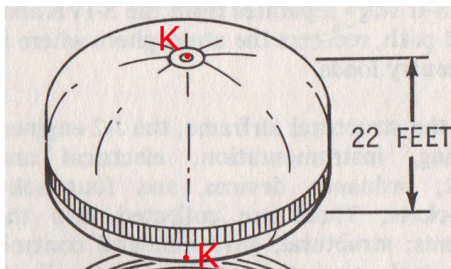
De raket heeft nog niet de benodigde snelheid voor de éénparige cirkelbeweging bereikt. Een tweede effect is dat de pitch angle nog te steil is. De snelheid langs de baan is dan nog te klein wanneer de raket de pitch angle heeft verkleind.

Opgave 15

Er zijn 16 trillingen van 327 tot 328 s. De frequentie is 16 Hz.

Opgave 16

De trilling beweegt zich van boven naar beneden en is een drukgolf. De uiteinden zijn gesloten, dus knopen aan de boven en onderkant.



Opgave 17

De trilling is het gevolg van drukverschillen in de vloeistof. Dus verdunningen en verdichtingen, de deeltjes trillen dus in dezelfde richting als de bewegingsrichting van de golf. De trilling is longitudinaal.

Opgave 18

De hoogte (de L in de formule) is 22 feet = 6,7056 m.

$$L = n \cdot \frac{1}{2} \lambda \text{ geeft: } 6,7056 = 1 \cdot \frac{1}{2} \lambda$$

$$\lambda = 13,4 \text{ m}$$

$$v = \lambda f = 13,4 \cdot 16 = 2,1 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

Opgave 19

Het zijn vaste uiteinden dus geldt: $L = n \cdot \frac{1}{2} \lambda$

Bij de eerste boventoon ($n = 2$) is de golflengte 2x zo klein geworden als de golflengte bij de grondtoon. Bij de tweede boventoon ($n = 3$) is de golflengte 3x zo klein geworden als de golflengte bij de grondtoon. Als de golflengte met een factor 3 afneemt, dan neemt de frequentie met een factor 3 toe, want $v = \lambda f$.



4. S-IV trap

Opgave 20

De hoogte is gelijk aan de straal van de aarde plus de hoogte van 172 km.

$$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r} = \frac{139,158 \cdot (7,80 \cdot 10^3)^2}{(6,371 \cdot 10^6 + 172 \cdot 10^3)} = 1,29 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Opgave 21

We kunnen hier gebruik maken van de perkenwet van Kepler:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

$$T = 5267 \text{ s} = 87,8 \text{ min} (1,46 \text{ h})$$

Opgave 22

De benodigde middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de gravitatiekracht.

Dat betekent: $F_{mpz} = F_{gravitatie}$

$$\frac{m_{apollo11} v^2}{r} = G \frac{m_{apollo11} m_{aarde}}{r^2}$$

Dit is te herleiden tot: $v^2 = \frac{G \cdot m_{aarde}}{r}$

De baanstraal van Apollo 11 is ietsje groter dan die van Apollo 17. Dus zal de snelheid van de Apollo 11 ietsje lager zijn dan de snelheid van Apollo 17.

Opgave 23

De oppervlakte onder de (a,t)-grafiek geeft het verschil in snelheid.

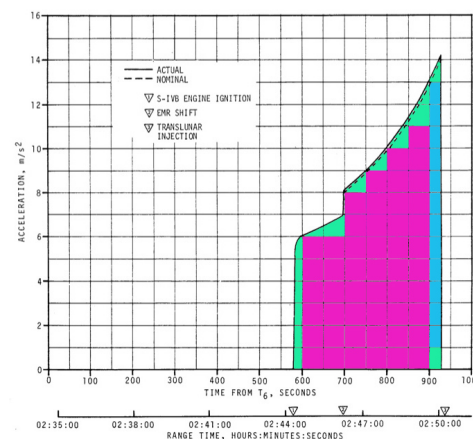
1 hokje komt overeen met een snelheidsverschil van 50 m/s.

Er zijn 63,2 hokjes, dus $\Delta v = 3,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

$$\Delta E_{kin} = \frac{1}{2} m (\Delta v)^2 = \frac{1}{2} \cdot 125 \cdot 10^3 \cdot (3,2 \cdot 10^3)^2$$

$$= 6,4 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$P = \frac{\Delta E_{kin}}{t} = \frac{6,4 \cdot 10^{11}}{(928 - 579)} = 1,8 \cdot 10^9 \text{ W}$$



Opgave 24

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

Opgave 25

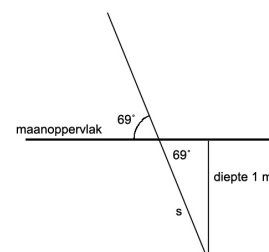
Er geldt hier de wet van Arbeid en Kinetische energie:

$$\sum W = \Delta E_{kin}$$

De afgelegde afstand is te berekenen met de sin.

$$F_{wrijving} \cdot s = F_{wrijving} \cdot 1,1 = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$F_{wrijving} = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ N}$$



Project Apollo - Uitwerkingen



Dus de orde van grootte is 10^{10} N



5. Instrument Unit (IU)

Opgave 26

$P = UI$, waaruit volgt $I = 0,054 \text{ A}$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{28}{0,054} = 0,52 \text{ k}\Omega$$

Opgave 27

Het verschil in vermogen is $\Delta P = 28,8 - 4,2 = 24,6 \text{ W}$.

$$E = Pt = 0,0246 \text{ kW} \cdot \frac{840 \text{ s}}{3600} = 5,74 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$$

Opgave 28

De schakeling is een parallelschakeling, dat betekent dat als de VHF AM ontvanger in de "key on" stand staat deze een grotere stroom doorlaat. Hierdoor zal de totale stroomsterkte die de bron moet leveren groter worden.

Opgave 29

In een parallelschakeling mag je de vermogens bij elkaar optellen:

voor:	na (in de "key on" stand):
$P_{\text{totaal}} = 5,0 + 1,5 + 4,2 = 10,7 \text{ W}$	$P_{\text{totaal}} = 5,0 + 1,5 + 28,8 = 35,3 \text{ W}$
$I = \frac{P}{U} = \frac{10,7}{28} = 0,38 \text{ A}$	$I = \frac{P}{U} = \frac{35,3}{28} = 1,26 \text{ A}$
$R = \frac{U}{I} = 73 \Omega$	$R = \frac{U}{I} = 22 \Omega$

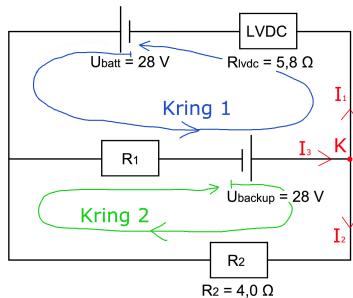
de afname is: $\frac{73-22}{73} \cdot 100 \% = 70 \%$

Opgave 30

$U = IR = 4,8 \cdot 5,8 = 27,8 \text{ V}$, waaruit volgt: $P = UI = 27,8 \cdot 4,8 = 0,13 \text{ kW}$

Opgave 31

Als eerste kiezen we de richting van de verschillende stromen (als de stroom later de andere kant uit blijkt te gaan dan zien we vanzelf een minteken verschijnen).



Nu passen we de spanning en stroomwet van Kirchhoff op knooppunt K toe:

$$\sum_{n=1}^3 I_n = I_1 + I_2 + I_3 = 0, \text{ als we de gekozen richtingen hierin verwerken geeft dit:}$$

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0 \quad \textbf{(vergelijking 1)}$$

De spanningwet voeren we twee keer uit, voor kring 1 (beginnend aan de negatieve kant van de batterij en dan tegen de klok in de kring met R_1 en de LVDC). En kring 2, beginnende aan de negatieve kant van de andere accu en dan met de klok mee langs R_2 en R_1 .

$$\sum_{n=1}^4 U_n = 0$$

$$U_{batt} - U_{R1} + U_{backup} - U_{LVDC} = 0 \quad U = IR \text{ en } U_{R1} \text{ en } U_{LVDC} \text{ vervangen geeft:}$$

$$+28 - I_3 \cdot R_1 + 28 - 5,8 \cdot 4,8 = 0 \quad \textbf{(vergelijking 2)}$$

$$\sum_{n=1}^3 U_n = 0$$

$$U_{backup} - U_{R2} - U_{R1} = 0 \quad U = IR \text{ en } U_{R1} \text{ en } U_{R2} \text{ vervangen geeft:}$$

$$+28 - I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_1 = +28 - 4 \cdot I_2 - I_3 \cdot R_1 = 0 \quad \textbf{(vergelijking 3)}$$

Vergelijking 2 uitwerken geeft: $I_3 \cdot R_1 = 28,16$

Dit invullen in vergelijking 3 geeft:

$$+28 - 4 \cdot I_2 - 28,16 = 0$$

I_2 is nu op te lossen: $I_2 = -0,04 \text{ A}$. De stroom I_2 loopt dus tegengesteld als gekozen.

Gebruik nu vergelijking 1 om I_3 uit te rekenen. $I_3 = I_1 + I_2 = 4,8 + -0,04 = 4,4 \text{ A}$

Met behulp van vergelijking 2 is nu R_1 uit te rekenen:

$$+56 - 4,8 \cdot R_1 - 27,84 = 0 \text{ waarmee } R_1 = 5,86 \Omega$$

Antwoord:

$$- R_1 = 5,86 \Omega$$

- De stroom loopt van links naar rechts door R_2 heen (dus tegen de klok in).



6. Command & Service Module (CSM)

Opgave 32

Aflezen van de spanning bij 0,6 A is 38 V. $R = \frac{U}{I} = \frac{38}{0,6} = 63 \Omega$

Opgave 33

De capsule die om de maan heen blijft draaien voert een éénparige cirkelbeweging uit. De benodigde middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de gravitatiekracht. Dat betekent: $F_{mpz} = F_{gravitatie}$

$$\frac{m_{capsule} v^2}{r} = G \frac{m_{capsule} m_{maan}}{r^2}$$

Dit is te herleiden tot: $v^2 = \frac{G \cdot m_{maan}}{r}$ waaruit volgt: $v = \sqrt{\frac{G \cdot m_{maan}}{r}}$

De baanstraal $r = r_{maan} + h = 1,738 \cdot 10^6 + 60 \cdot 1,609344 \cdot 10^3 = 1,83 \cdot 10^6 \text{ m}$
 $v = 1,6 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

Opgave 34

Wanneer de capsule de maximale snelheid heeft bereikt heeft deze een constante snelheid. Dus geldt: $F_{res} = 0 = F_z + F_{wrijving, lucht}$

$$mg - \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 = 0$$

$$mg = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

$v^2 = \frac{2mg}{\rho A C_d}$ en hieruit volgt het gevraagde:

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A C_d}}$$

Opgave 35

$$[v]^2 [C_d] = \frac{2[m][g]}{[\rho][A]}$$

$$\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 [C_d] = \frac{\text{kg m s}^{-2}}{\text{kg m}^{-3} \text{m}^2}$$

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

$$\text{m}^2 [C_d] = \frac{\text{m}}{\text{m}^{-1}} = \text{m}^2$$

Conclusie: C_d heeft geen eenheid.

Opgave 36

De dichtheid van de lucht op 7 km hoogte is $0,59 \text{ kg m}^{-3}$.

De oppervlakte A is $\pi r^2 = 11,9 \text{ m}^2$.

$v = 1,1 \cdot 10^2 \text{ m/s} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ km/h}$



7. Lunar Excursion Module (LEM)

Opgave 37

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2 \cdot 384,4 \cdot 10^6}{2,998 \cdot 10^8} = 2,564 \text{ s}$$

Opgave 38

De Dopplermeting recht vooruit zal een hogere frequentie van het signaal geven op het moment dat de LM vooruit vliegt (blauwverschuiving).

De Dopplermeting naar de linkerkant van het voertuig zal een hogere frequentie van het signaal geven als het naar links vliegt. Tegelijkertijd zal de Dopplermeting aan de rechterkant een lagere frequentie geven. Op het moment dat deze twee Dopplerverschuivingen nul zijn, dan vliegt de LM recht vooruit. Op die manier kan je dus het toestel sturen.

Opgave 39

De Dopplerverschuiving op het uitgezonden signaal treedt twee keer op. Bij het uitzenden vliegt de LM op de maan af (1e x), nadat het signaal door de maan gereflecteerd is komt het signaal naar de LM toe (2e x).

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

Gecombineerd met $c = \lambda f$ wordt dit:

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f = \frac{2 \cdot 18,3}{3,00 \cdot 10^8} \cdot 10,51 \cdot 10^9 = 1,28 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

De frequentie is groter geworden ("blauwverschuiving").

De Dopplermeting recht vooruit zal een hogere frequentie van het signaal geven op het moment dat de LM vooruit vliegt (blauwverschuiving).

Opgave 40

Het is een versnelde beweging zonder beginsnelheid.

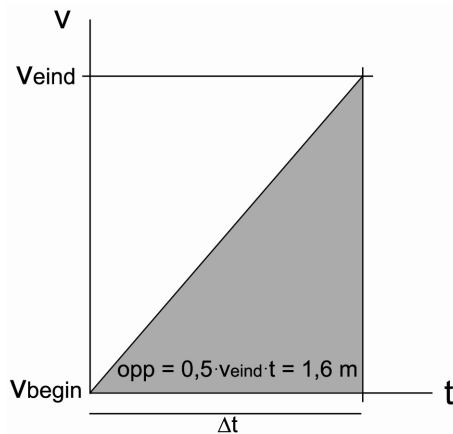
$$v_{gem} \cdot \Delta t = 1,6 \text{ m en } v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}. \text{ Omdat } v_{begin} = 0 \text{ geldt dat: } v_{gem} = \frac{1}{2} v_{eind}$$

$$\text{Daarmee krijgen we: } \frac{1}{2} v_{eind} \cdot \Delta t = 1,6 \text{ m} \quad (\text{vergelijking 1})$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t} = 1,62 \text{ Dit is te schrijven als: } v_{eind} = 1,62 \cdot \Delta t \quad (\text{vergelijking 2})$$

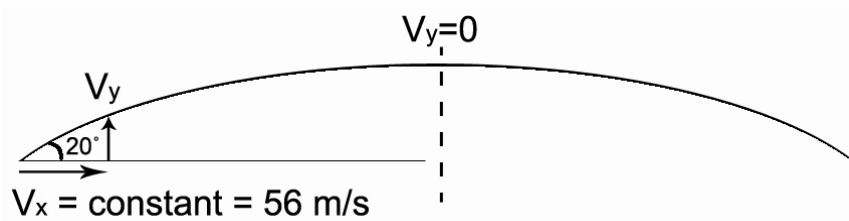
Als we vergelijking 2 substitueren in vergelijking 1 krijgen we: $\frac{1}{2} \cdot 1,62 \cdot \Delta t \cdot \Delta t = 1,6$ daaruit volgt dat $t = 1,4 \text{ s}$

Vergelijking 1 is ook af te leiden uit een v,t diagram.



Opgave 41

Er is geen wrijving op de maan, dat betekent dat de horizontale snelheid constant blijft. In de y-richting werkt alleen de gravitatiekracht van de maan en is de versnelling $1,62 \text{ ms}^{-2}$.



$$\tan 20 = \frac{v_y}{v_x} \text{ Dus } v_y = 20,38 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_{y,\text{begin}} - a \cdot t$$

Op het hoogste punt is de verticale snelheid gelijk aan 0.

$$0 = 20,38 - 1,62 \cdot t \text{ daaruit volgt } t = 12,58 \text{ s}$$

Opgave 42

De duur van de horizontale beweging is 2x zo lang als vanaf de grond tot aan het hoogste punt, dus 25,16 s.

$$s = v_x \cdot t = 56 \cdot 25,16 = 1,4 \text{ km}$$

1 mijl is 1609 m. Dus de bal ging niet mijlenver, maar toch wel rond de 1 mijl.



8. Launch Escape System (LES)

Opgave 43

De versnelling werkt slechts de eerste 5 seconden. Na die tijd werkt verticaal nog steeds de zwaartekrachtsversnelling, maar horizontaal werken er geen krachten meer (wrijving wordt verwaarloosd).

Opgave 44

Als de hoek α kleiner wordt, dan wordt ook de sin van de hoek kleiner. Dat betekent dat de verticale versnelling kleiner wordt.

Opgave 45

- (1) $a_x := \cos(\alpha) \cdot [\text{aantal } g] \cdot g$
 (8) ALS $t \leq 5$ Dan $[\text{aantal } g] := 5$
 Anders $[\text{aantal } g] := 0$
 EINDALS

Opgave 46

De capsule die in veiligheid wordt gebracht bevindt zich bijna bovenaan de raket. Dit is op een hoogte van ongeveer 100 m.

Opgave 47

De horizontale snelheid kan uit figuur 36 bepaald worden door de helling van de grafiek.

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{4000 - 500}{40,6 - 7,5} = 106 \text{ m/s}$$

De snelheid in de verticale richting bepaal je door een raaklijn aan de grafiek te tekenen waar de hoogte 0 m is.

$$v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{2200 - 0}{44,0 - 33,5} = 210 \text{ m/s}$$

Dat betekent dat de totale snelheid gelijk is aan:

$$v_{tot} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 235 \text{ m/s}$$

De hoek tussen de snelheid en de grond kan je uitrekenen met de tan.

$$\tan \alpha = \frac{210}{106} = 1,98 \text{ hieruit volgt dat hoek } \alpha = 63,2^\circ$$



9. Lunar Surface Experiments Package (ALSEP)

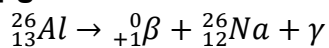
Opgave 48

Uit de figuur lees je af dat de afstand 357 km is.

De tijd die het signaal er over heeft gedaan is $44,1 + 12$ s.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{357 \cdot 10^3}{56,1} = 6,36 \text{ km/s}$$

Opgave 49



Opgave 50

Bepalen van de steilheid van de grafiek.

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{180-40}{87-20} = 2, \text{ dus de hoeveelheid activiteit van het Aluminium is 2x zo groot als de activiteit van het Natrium in het gesteente.}$$

Opgave 51

De hoeveelheid Natrium in het gesteente is heel veel kleiner dan de hoeveelheid Aluminium. Daardoor kan de activiteit van Aluminium toch groter zijn dan die van Natrium.

Opgave 52

De tijdsduur is 3 dagen, 13 uur en 54 min, dat is 309 240 s.

De w_r van een gammafoton is 1 en de energie het gammafoton is

$$1,81 \text{ MeV} = 1,81 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,900 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

Uit figuur 41 lezen we af dat de minimale activiteit van de maanstenen verzameld door de Apollo 11 astronaut 80 dpm/kg is, oftewel 1,3 Bq per kg.

$$H = w_r \cdot D = \frac{1 \cdot 2,900 \cdot 10^{-13} \cdot 1,3 \cdot 0,5 \cdot 21,5 \cdot 309\,240}{80} = 16 \text{ nSv}$$

Opgave 53

Bij het verval van Al-26 komen er twee deeltjes vrij, een elektron met een energie van 2,99 MeV en een gammafoton met een energie van 1,81 MeV.

$$m = \rho V = 1,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{-6})^3 = 1,8 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$$

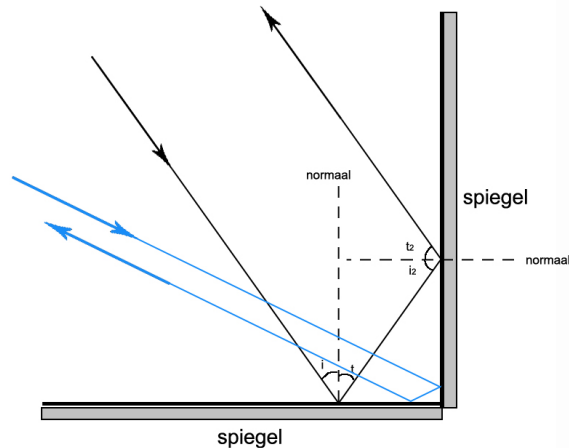
$$D = \frac{(2,99 \cdot 10^6 + 1,81 \cdot 10^6) \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot N}{1,8 \cdot 10^{-14}} = 15 \cdot 10^3$$

Het aantal kernen Al-26 dat moet vervallen is $N = 3,5 \cdot 10^2$.

Opgave 54

Teken de normaal op het oppervlak.
De hoek van inval is gelijk aan de hoek van terugkaatsing. De teruggekaatste straal valt op de andere spiegel en daar geldt hetzelfde.

Het spiegelen van de andere lichtstraal gaat op dezelfde manier. Het is ook mogelijk om een punt op de lijn te kiezen en dat punt te spiegelen in de spiegel en op die manier de teruggekaatste straal te tekenen.

**Opgave 55**

Voor een goede werking van een vlakke spiegel moet de hoek precies 90 graden zijn, anders komt de bundel niet terug op aarde.

De maan staat niet altijd onder dezelfde hoek aan de hemel. (Ook maakt het baanvlak van de maan een hoek met dat van de aarde. Dat geeft nog een extra verschil). Bij de hoekkubussen wordt de lichtstraal teruggekaatst in dezelfde richting als waar deze vandaan kwam (net als bij een fietsreflector).

Opgave 56

De energie van één foton bij deze golflengte is:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 2,861 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

In één puls zitten derhalve $\frac{3 \text{ J/puls}}{2,861 \cdot 10^{-19} \text{ J/foton}} = 1 \cdot 10^{19} \text{ fotonen/puls}$

Slechts 1 op de $30 \cdot 10^6$ van deze fotonen valt op de reflector op de maan.

Daarvan valt 1 op de $30 \cdot 10^6$ op de telescoop op de aarde.

Dus het aantal fotonen dat gedetecteert wordt is $1 \cdot 10^4 \text{ fotonen}$.

Opgave 57

Het tijdsverschil is 8 ns, de pulsen gaan met de lichtsnelheid.

Dus: $s = ct = 2 \text{ m}$

Opgave 58

Het signaal werd eerder ontvangen dan de verwachte aankomsttijd. Dus de maan stond dichterbij.

**Opgave 59**

Eerst de massa die verwarmd wordt uitrekenen met:

$$m = \rho V = 1650 \cdot 48 \cdot 10^{-6} = 0,079 \text{ kg}$$

De opwarmtijd is 150 minuten, dus 9000 seconden. Het temperatuurverschil op 150 minuten aflezen levert 0,300 K.

$$Q = cm\Delta T = 150 \cdot 60 \cdot 0,002 = c \cdot 0,079 \cdot 0,300$$

$$c = 7,6 \cdot 10^2 \text{ J/kg K}$$

Opgave 60

Uit figuur 50 het temperatuurverschil aflezen tussen sensoren TG12A en TG12B door de middelpunten van de meetpunten te nemen: $\Delta T = 0,04 \text{ K}$

$$P = \frac{\lambda A \Delta T}{d} = \frac{\lambda \cdot 1,75 \cdot 0,04}{(1,33 - 0,91)} = 0,002$$

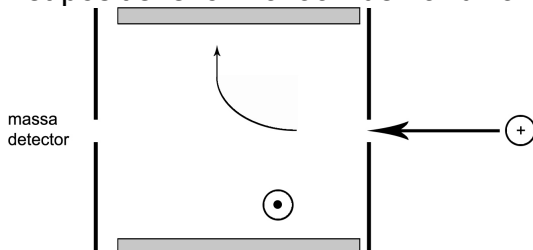
hieruit volgt: $\lambda = 0,012 \text{ W/mK}$

Opgave 61

Voordat de astronauten op de maan landen wisten ze niet of de maan geladen zou zijn en zo ja hoe groot die lading zou zijn (bijvoorbeeld tientallen Volt). Door de spanning van het grondscherf te variëren kan het effect van een spanning van de maan bij een bepaalde ingestelde spanning te niet worden gedaan. Zo kunnen ook ionen met een lage energie in de detector komen en hun oorspronkelijke energie gemeten worden.

Opgave 62

Het positieve ion zal aan de hand van de FBI regel naar boven worden afgebogen.

**Opgave 63**

Het positieve ion zal recht doorgaan de detector in als de Lorentzkracht gelijk is aan de elektrische kracht.

$$\text{Dus: } \vec{F}_{lor} = \vec{F}_{el}$$

$$\vec{B}q\vec{v} = q\vec{E}$$

oftewel als $v = \frac{\vec{E}}{\vec{B}}$ zal het ion rechtdoor gaan. Dus door de waarden van het elektrische veld aan te passen op de magnetische inductie kan een ion met een specifieke snelheid geselecteerd worden.

**Opgave 64**

De sterkte van het elektrisch veld is: $\vec{E} = \frac{24,3 \text{ V}}{0,0503 \text{ m}} = 483 \text{ N/C}$

Hieruit volgt:

$$v = \frac{\vec{E}}{\vec{B}} = \frac{483}{10,0 \cdot 10^{-3}} = 48,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Opgave 65

$$48,6 \text{ eV} = 48,6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 7,786 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = 7,79 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$m = 6,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 4,02 \text{ u}$$

Bij een atomaire massa van 4,0 u hoort het atoom Helium.

Opgave 66

Hier geldt de wet van behoud van energie: $-\Delta E_{el} = \Delta E_{kin}$

$$-\Delta E_{el} = -qU = -2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot -3,5 \cdot 10^3 = 1,12 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$E_{kin,eind} = -\Delta E_{el} + E_{kin,begin}$$

$$\frac{1}{2}mv_{eind}^2 = 7,786 \cdot 10^{-18} + 1,12 \cdot 10^{-15}$$

Hieruit volgt: $v_{eind} = 5,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$