

Examen HAVO

2023

tijdvak 2

tijdsduur: 3 uur

**natuurkunde**

Dit examen bestaat uit 23 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

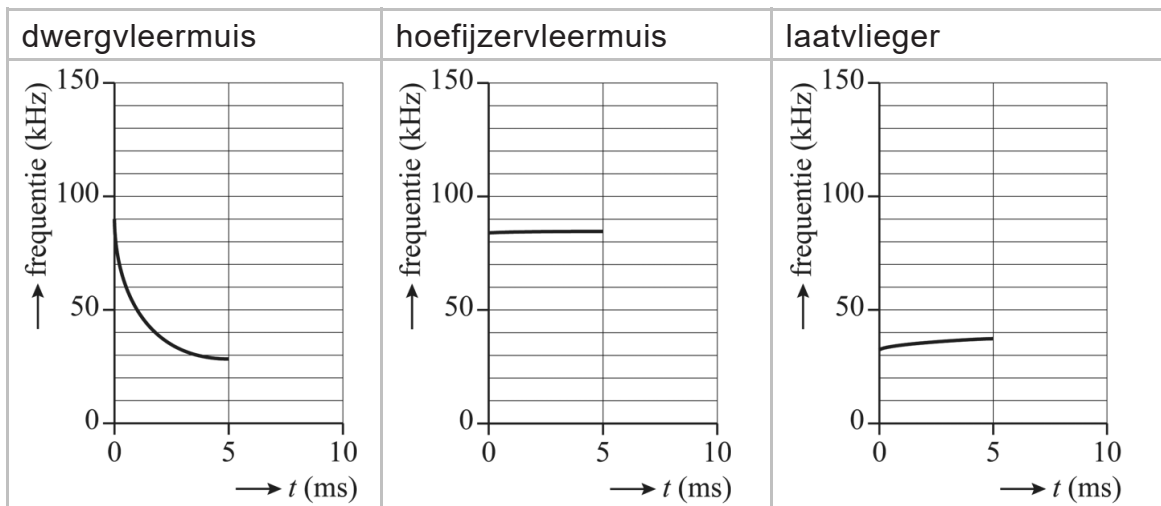
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

# Vleermuisdetector

Charlotte en Fabio doen onderzoek naar het geluid van de roep van vleermuizen. Ze ontdekken dat iedere soort vleermuis een eigen roep heeft. Per vleermuissoort verschilt het verloop van de frequentie van de roep in de tijd.

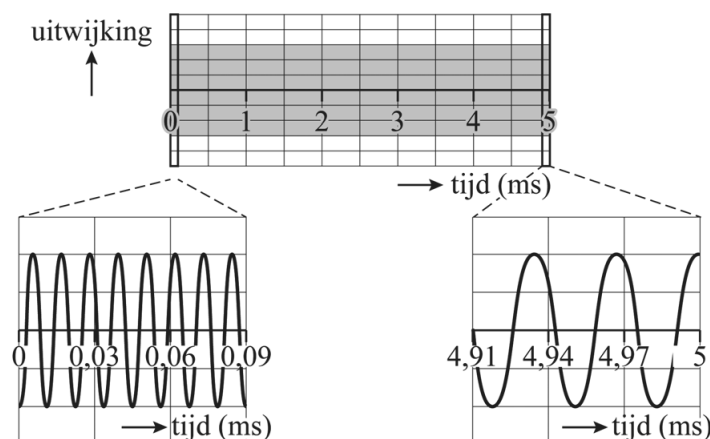
In figuur 1 is voor drie verschillende soorten vleermuizen weergegeven hoe de frequentie van hun roep verloopt in de tijd.

**figuur 1**



Fabio neemt een roep van een vleermuis op en verwerkt deze opname in een  $(u,t)$ -diagram; hij zoomt hierbij in op het begin en het einde van de geluidspuls. Zie figuur 2.

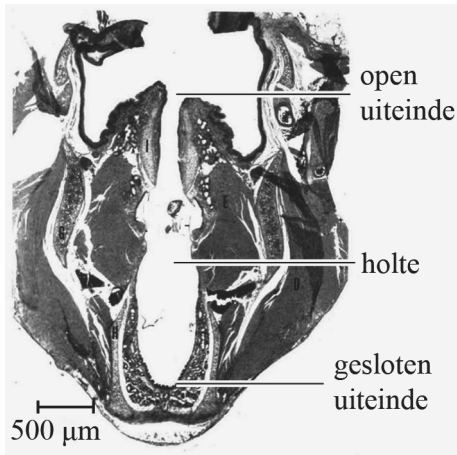
**figuur 2**



- 2p 1 Leg met behulp van figuur 1 uit van welke vleermuis Fabio de roep heeft opgenomen.

De roep van een vleermuis wordt gevormd in het strottenhoofd. Charlotte vat de holte in het strottenhoofd op als een luchtkolom met een open en een gesloten uiteinde. Zie de dwarsdoorsnede van het strottenhoofd van een vleermuis in figuur 3.

**figuur 3**



Mensen kunnen geluid met frequenties tussen 20 Hz en 20 kHz horen.

Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage. Neem aan dat de luchttemperatuur in het strottenhoofd 20 °C is.

5p 2

Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage het patroon aan van knopen K en buiken B dat hoort bij de grondtoon van deze luchtkolom.
- Toon met dit patroon aan dat deze grondtoon niet hoorbaar is voor mensen.

Een vleermuisdetector is een apparaat dat het geluid van een vleermuis, dat voor de mens onhoorbaar is, via een tussenstap hoorbaar kan maken. Zie figuur 4.

**figuur 4**

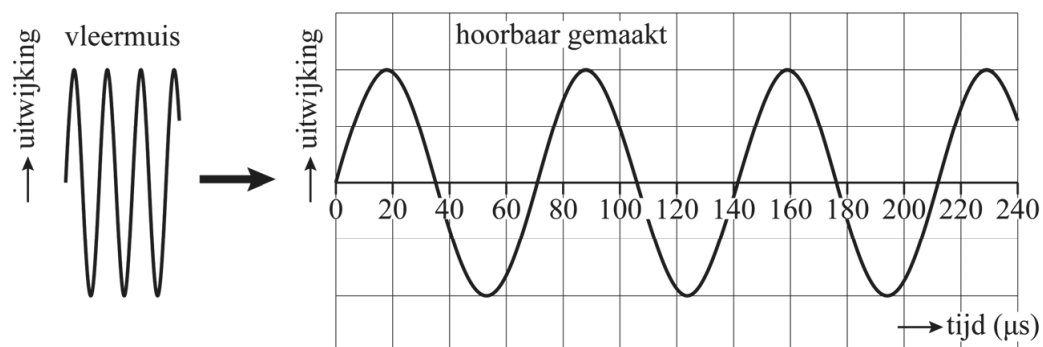


Er bestaan twee verschillende soorten vleermuisdetectoren. De eerste soort is de TE-detector. Deze detector neemt een aantal trillingen op en speelt deze trillingen vertraagd weer af. De frequenties in het geluid van de vleermuis worden daardoor verkleind met een ingestelde factor  $R$ . In formulevorm:

$$f_{\text{TE detector}} = \frac{f_{\text{vleermuis}}}{R} \quad (1)$$

In figuur 5 staat een  $(u,t)$ -diagram met daarin een deel van het geluid van de hoefijzervleermuis. De frequentie van dit geluid is 83 kHz. Daarnaast staat het  $(u,t)$ -diagram van hetzelfde deel, maar dan na bewerking door de TE-detector.

**figuur 5**



- 3p **3** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal de frequentie van het geluid na bewerking door de TE-detector.
  - Bepaal met behulp van formule (1) de ingestelde waarde van  $R$ .

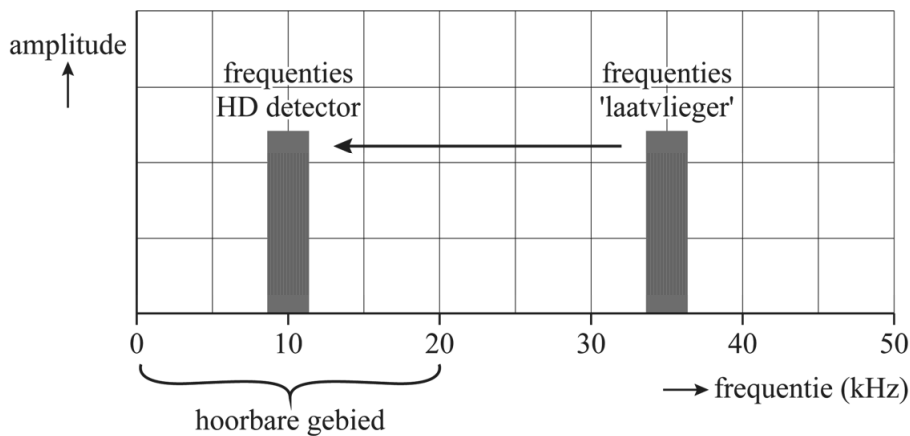
De tweede soort detector is de HD-detector. Deze detector gebruikt een techniek waarbij de frequenties in het geluid worden 'verschoven'. Met een knop kan worden ingesteld hoeveel de frequenties van het geluid moeten worden verschoven ( $\Delta f_{\text{instel}}$ ).

In formulevorm:

$$f_{\text{HD detector}} = f_{\text{vleermuis}} - \Delta f_{\text{instel}} \quad (2)$$

In figuur 6 is aangegeven hoe deze techniek werkt voor de roep van de laatvlieger (zie figuur 1).

**figuur 6**



- 2p **4** Bepaal met behulp van figuur 6 op welke waarde  $\Delta f_{\text{instel}}$  is ingesteld om het geluid van de laatvlieger hoorbaar te maken.

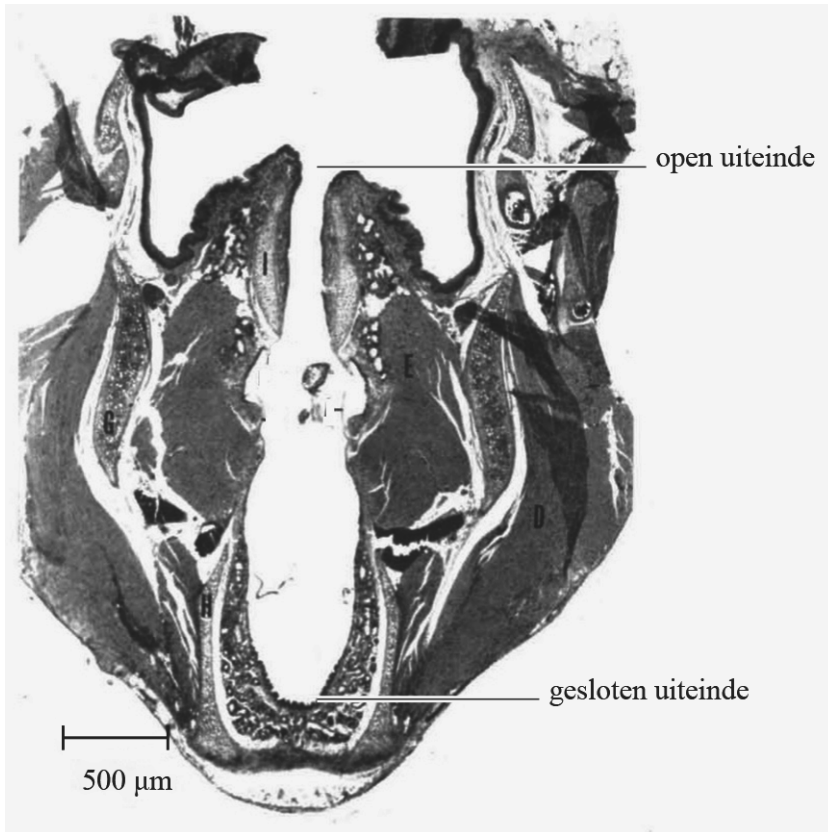
Fabio wil de roep van de dwergvleermuis (zie figuur 1) volledig kunnen horen.

- 3p **5** Vul de eerste zin op de uitwerkbijlage aan en omcirkel in iedere volgende zin het juiste antwoord.

## uitwerkbijlage

2

- Geef in de figuur het patroon aan van knopen K en buiken B dat hoort bij de grondtoon van deze luchtkolom.



- Toon met dit patroon aan dat deze grondtoon niet hoorbaar is voor mensen.

Antwoord: .....

.....

.....

.....

## uitwerkbijlage

- 5 Vul de eerste zin aan en omcirkel in iedere volgende zin het juiste antwoord.

Het geluid van de dwergvleermuis bevat frequenties van

.....kHz tot ..... kHz.

Het verschil tussen de hoogste en laagste frequentie van de roep van de dwergvleermuis is **groter / kleiner** dan het verschil tussen de hoogste en laagste frequentie van het hoorbare gebied.

Om de roep van de dwergvleermuis volledig hoorbaar te maken, kunnen de frequenties dus

**verkleind / verschoven / naar keuze verkleind of verschoven** worden.

Om de roep van de dwergvleermuis volledig hoorbaar te maken

**is alleen de TE-detector / is alleen de HD-detector /**

**zijn beide detectoren** geschikt.

## Noodstroom voor de Arena

Voetbalstadions als de Johan Cruijff Arena worden gebruikt voor grote evenementen, zoals sportwedstrijden en concerten. Hiervoor wordt in de Arena 9,0 miljoen kWh per jaar aan elektrische energie verbruikt. De Arena wordt verduurzaamd. Een deel van de energie wordt nu geleverd door een oppervlak van  $7,20 \cdot 10^3 \text{ m}^2$  aan zonnepanelen. Het rendement van de zonnepanelen is 18%. De zon schijnt gemiddeld  $1,2 \cdot 10^3 \text{ h}$  per jaar op de zonnepanelen met een gemiddeld stralingsvermogen van  $7,5 \cdot 10^2 \text{ W}$  per vierkante meter zonnepaneel.

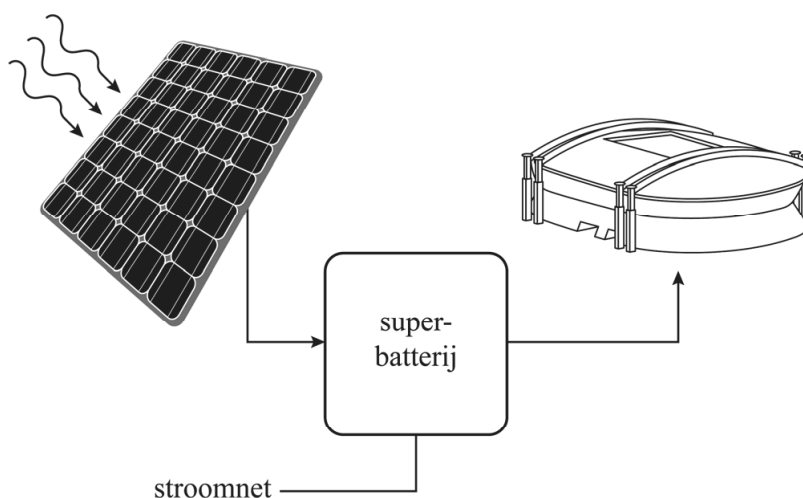
- 5p 6 Bereken hoeveel procent van het jaarlijkse energieverbruik in de Arena door de zonnepanelen wordt geleverd. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

De Arena is ook voorzien van een noodstroomstelsel. Als tijdens een evenement het stroomnet buiten het stadion is uitgevallen, wordt de elektriciteitsvoorziening binnen het stadion overgenomen door dieselgeneratoren die elektriciteit opwekken door diesel te verbranden. Diesel heeft een verbrandingswarmte van  $36 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3}$ . In de Arena wordt tijdens een evenement  $1,3 \cdot 10^3 \text{ kWh}$  elektrische energie voor de verlichting gebruikt.

- 4p 7 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken hoeveel liter diesel minimaal nodig is voor de verlichting tijdens dit evenement.
  - Geef een reden waarom het daadwerkelijke dieselvebruik hoger is.

Om de zonnepanelen ook geschikt te maken als duurzaam noodstroomstelsel wordt de energie van de zonnepanelen opgeslagen in een superbatterij. Hierdoor worden de dieselgeneratoren overbodig. Zie figuur 1.

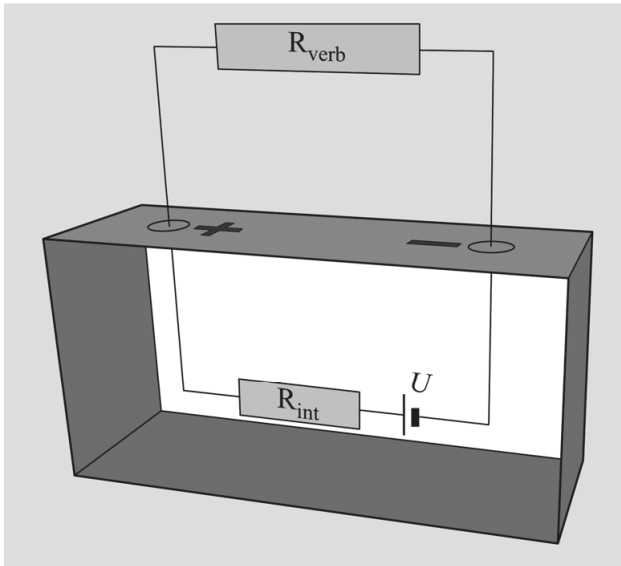
**figuur 1**





De superbatterij bestaat uit geschakelde accu's.  
Een accu is te beschouwen als een serieschakeling van een spanningsbron  $U$  en een interne weerstand  $R_{\text{int}}$ . Deze serieschakeling wordt aangesloten op een verbruiker met weerstand  $R_{\text{verb}}$ . Zie figuur 2.

**figuur 2**



De superbatterij van de Arena is gemaakt van gebruikte accu's van elektrische auto's.

Op een gegeven moment wordt de accu uit de auto ( $R_{\text{verb}}$  is klein) gehaald en in de superbatterij van de Arena geplaatst.

Iedere accu voorziet een klein deel van de Arena van energie. Per accu is de  $R_{\text{verb}}$  dan groot. De  $R_{\text{int}}$  verandert niet bij de overplaatsing van de auto naar de superbatterij. Als gevolg van de interne weerstand  $R_{\text{int}}$  wordt een accu warm tijdens het gebruik.

3p **8** Omcirkel in iedere zin op de uitwerkbijlage het juiste antwoord.

Voor het ontwerp van de superbatterij moest berekend worden hoeveel accu's nodig waren. Iedere accu bestaat uit 192 aparte cellen. Zie figuur 3.

**figuur 3**



Elke cel in een gebruikte accu heeft een capaciteit van 31 Ah bij een spanning van 3,0 V. De superbatterij in de Arena heeft een totale energieopslag nodig van  $2,8 \cdot 10^3$  kWh.

- 4p 9 Voer de volgende opdrachten uit.
- Bereken de energieopslag voor één gebruikte accu.
  - Bereken het benodigde aantal accu's voor de Arena.

## uitwerkbijlage

8 Omcirkel in iedere zin het juiste antwoord.

De totale weerstand van de schakeling (zie figuur 2)  
**neemt toe / neemt af / blijft gelijk** wanneer de accu wordt  
overgeplaatst van de auto naar de superbatterij.

De stroomsterkte in deze schakeling  
**neemt dan toe / neemt dan af / blijft dan gelijk.**

De spanning over  $R_{\text{int}}$  in deze schakeling  
**neemt dan toe / neemt dan af / blijft dan gelijk.**

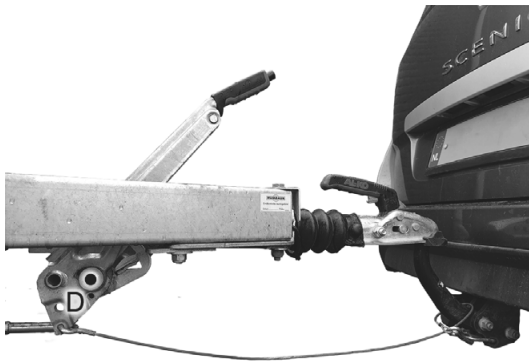
De warmteontwikkeling in  $R_{\text{int}}$   
**neemt dan toe / neemt dan af / blijft dan gelijk.**

## Caravanremmen

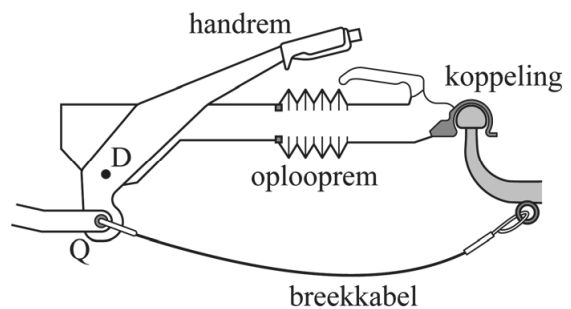
Caravans hebben een remsysteem dat remblokken tegen remschijven in de wielen drukt. Dit remsysteem kan op drie verschillende manieren geactiveerd worden:

- 1 Handmatig door het aantrekken van een hefboom (handrem).
  - 2 Met een breekkabel als de caravan losschiet van de trekhaak (losbreekrem).
  - 3 Doordat een afremmende auto tegen de koppeling duwt (oplooprem).
- Zie figuren 1 en 2.

figuur 1



figuur 2



### Handrem

De handrem wordt gebruikt bij het parkeren. De handrem werkt met een hefboom die draait rond draaipunt  $D$ . Hiermee wordt een kracht uitgeoefend op de remblokken bij de wielen. De hendel wordt omhoog getrokken met een spierkracht. De wielen zijn geblokkeerd totdat de rem wordt ontgrendeld met een knop.

Om de wielen te blokkeren moet op punt  $Q$  van de hefboom een kracht  $F$  van  $3,5 \cdot 10^3$  N werken.

Figuur 2 is een schematische weergave op schaal van figuur 1. In de uitwerkbijlage staat figuur 2 vergroot weergegeven. Ook zijn de werklijnen getekend van de twee krachten die op de hefboom werken.

4p 10 Voer de volgende opdrachten uit:

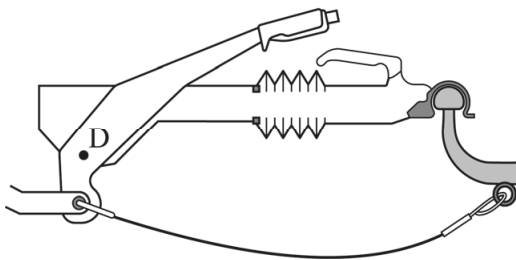
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de armen van de krachten.
- Bepaal de spierkracht waarmee de handrem moet worden aangetrokken om de wielen te blokkeren.

### Losbreekrem

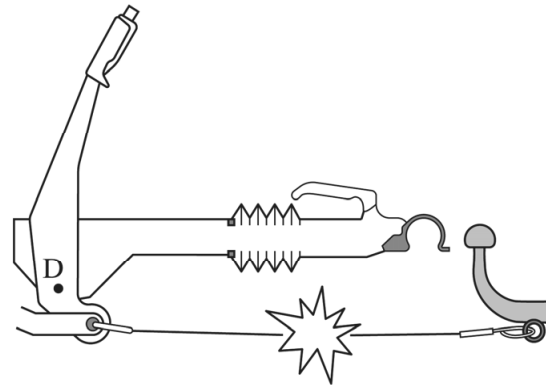
Als de caravan tijdens het rijden van de auto losraakt, moet de caravan zo snel mogelijk tot stilstand komen. Daarvoor zorgt de losbreekrem. Dit is een kabel die aan één kant vastzit aan de auto en aan de andere kant aan de hefboom van de handrem. Zie figuur 3.

Als de caravan tijdens het rijden loskomt van de auto, trekt de kabel de handrem aan. Zodra de rem in de blokkeerstand is getrokken, breekt de kabel en remt de caravan afzonderlijk van de auto af. Zie figuur 4.

figuur 3

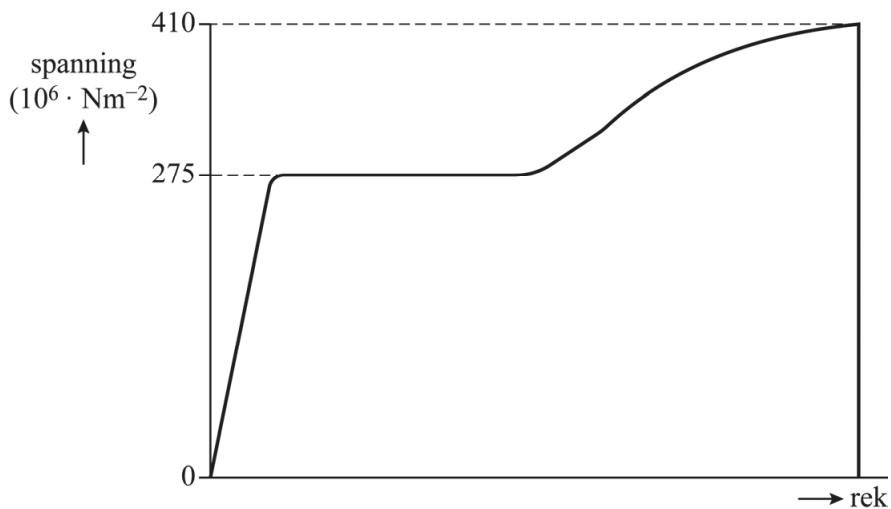


figuur 4



De stalen breekkabel is ontworpen om te breken bij  $3,5 \cdot 10^3$  N. Het spanning-rekdiagram van de gebruikte staalsoort staat in figuur 5.

figuur 5

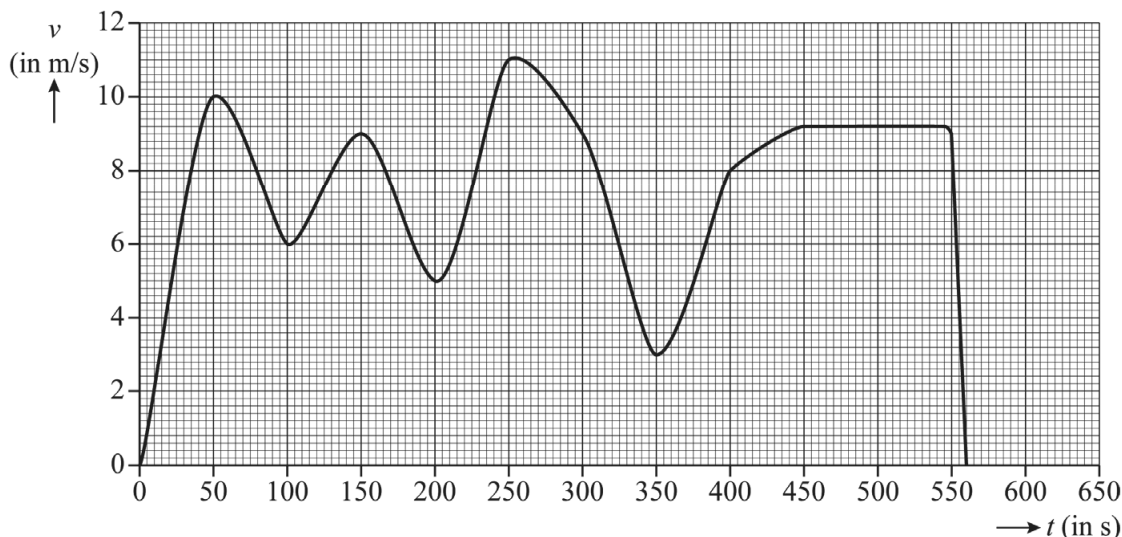


4p 11 Bepaal de diameter (dikte) die de staalkabel moet hebben.

## Oplooprem

Wanneer de auto afremt, werkt er een kracht van de auto op de caravan. Hierdoor wordt het remsysteem van de caravan geactiveerd, zodat de caravan zelf gaat remmen (oplooprem). Tijdens een lange afdaling kan het remsysteem constant blijven remmen. De remtrommels worden daardoor zeer heet. De ANWB heeft hier onderzoek naar gedaan. In figuur 6 is een  $(v,t)$ -diagram van een auto met caravan tijdens een afdaling weergegeven.

figuur 6



De combinatie auto met caravan heeft tijdens de afdaling een afstand afgelegd van 4,3 km.

- 1p 12 Geef aan hoe dat te bepalen is met behulp van figuur 6. Je hoeft de bepaling niet uit te voeren.

De motor van de auto is tijdens de afdaling niet gebruikt. De beginsnelheid en eindsnelheid van de rit zijn beide gelijk aan  $0 \text{ ms}^{-1}$ . Tussen het begin en het einde van de afdaling zit een hoogteverschil van 370 meter. De totale massa van de combinatie is  $3,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ .

- 5p 13 Bereken met behulp van de wet van behoud van arbeid en energie de gemiddelde remkracht op de combinatie. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

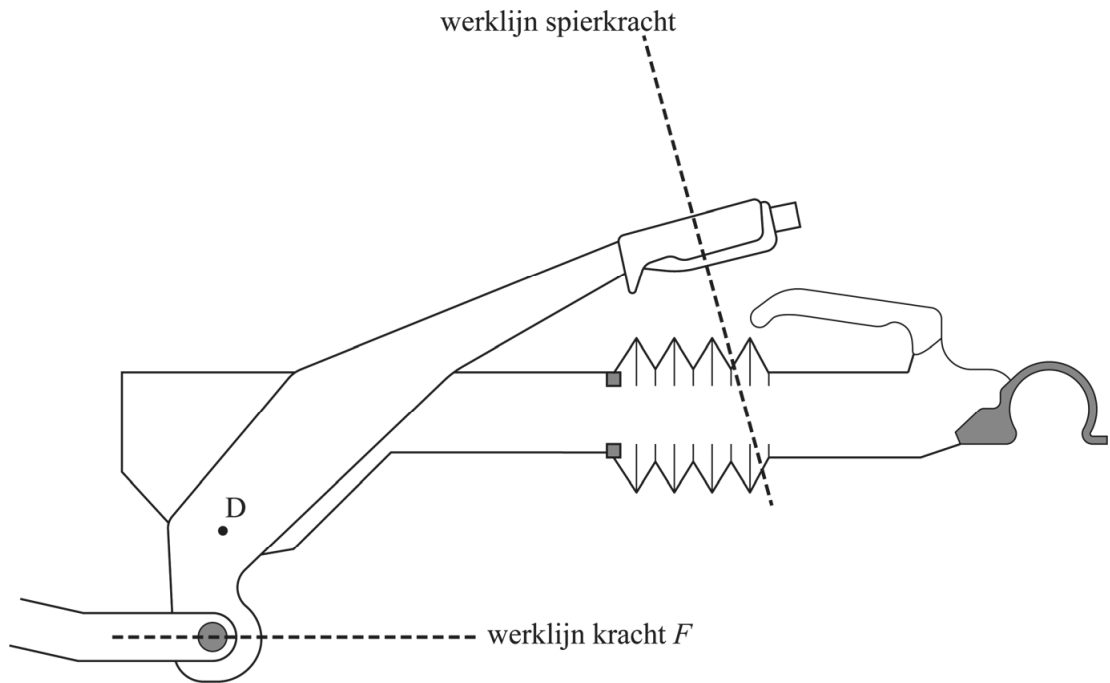
Tussen 550 s en 570 s remde de combinatie op een horizontale weg eenparig af tot stilstand. Figuur 6 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 3p 14 Bepaal met de tweede wet van Newton en de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de remkracht op de combinatie tijdens dit afremmen.

Tijdens de hele afdaling werd de temperatuur van de remtrommels continu gemeten. Tussen 450 en 545 seconden was de snelheid constant. De temperatuur van beide ijzeren remtrommels ( $m_{\text{tot}} = 5,2 \text{ kg}$ ) is gedurende deze periode opgelopen van  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  naar  $175 \text{ }^\circ\text{C}$ .

5p **15** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken hoeveel warmte minimaal per seconde in de remtrommels werd ontwikkeld tijdens deze periode. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.
- Geef aan waarom het werkelijk opgewekte warmtevermogen in de remtrommels groter was dan de berekende minimale waarde.



Bepaling: .....

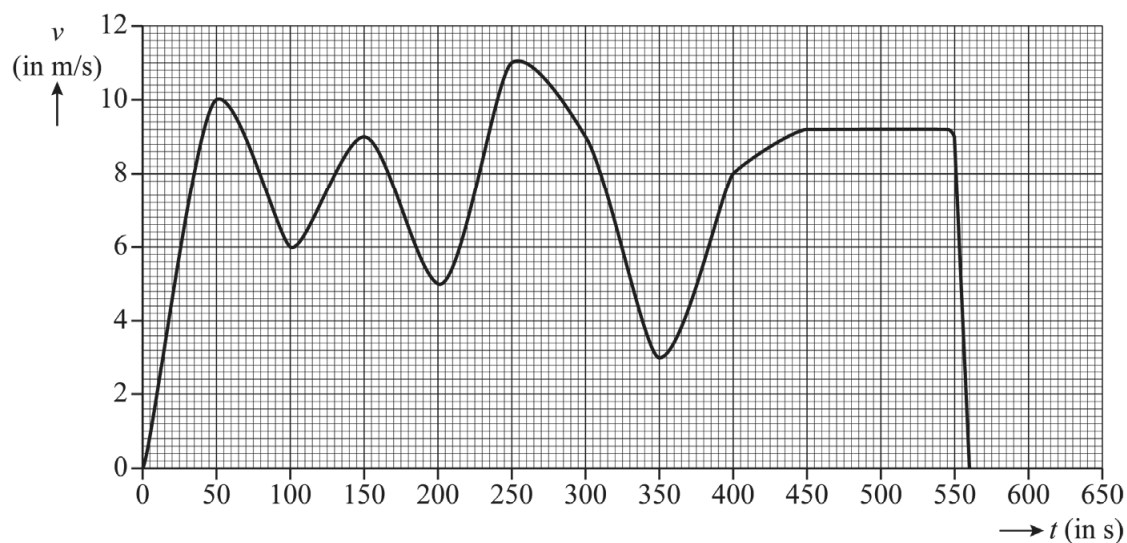
.....

.....

.....



14



Antwoord: .....

.....

.....

.....

.....

# Aluminium

Aluminium is een metaal dat vanwege zijn stofeigenschappen veel verschillende toepassingen heeft.

Door de lage dichtheid van aluminium is het bijvoorbeeld in voertuigen een interessante vervanging voor ijzer. Vermindering van gewicht betekent namelijk vermindering van energiegebruik door het voertuig. Ingenieurs hebben ooit de volgende vuistregel bepaald:

In een voertuig kan ijzer worden vervangen door aluminium in de verhouding 2:1 bij gelijkblijvende stevigheid van de constructie. Dit betekent dat 2 kilogram ijzer kan worden vervangen door 1 kilogram aluminium.

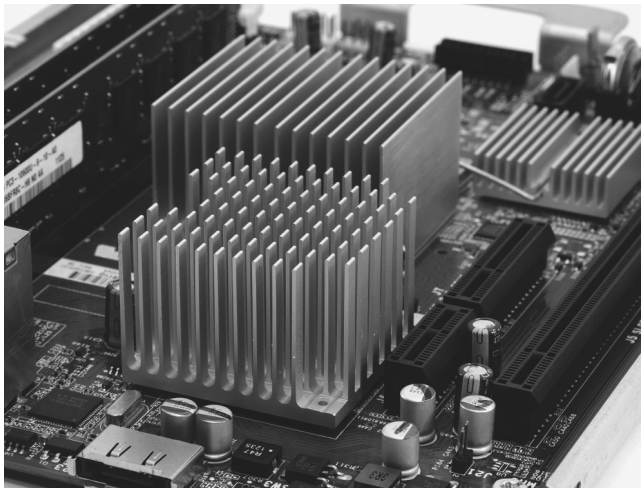
De stevigheid van een constructie wordt onder andere bepaald door de treksterkte van het materiaal.

3p 16 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de verhouding tussen de dichtheden van ijzer en aluminium.
- Geef een reden waarom de ingenieurs op een andere verhouding uitkomen dan uit de dichtheden volgt.

De thermische eigenschappen van aluminium maken dit metaal ook geschikt voor gebruik in zogenaamde koellichamen. In elektrische apparaten worden koellichamen gebruikt om warmte op te nemen en af te voeren tijdens langdurig gebruik van de elektronica. Zie figuur 1.

**figuur 1**



Voor een koellichaam zijn twee materiaaleigenschappen van belang:

- de soortelijke warmte
- de warmtegeleidingscoëfficiënt

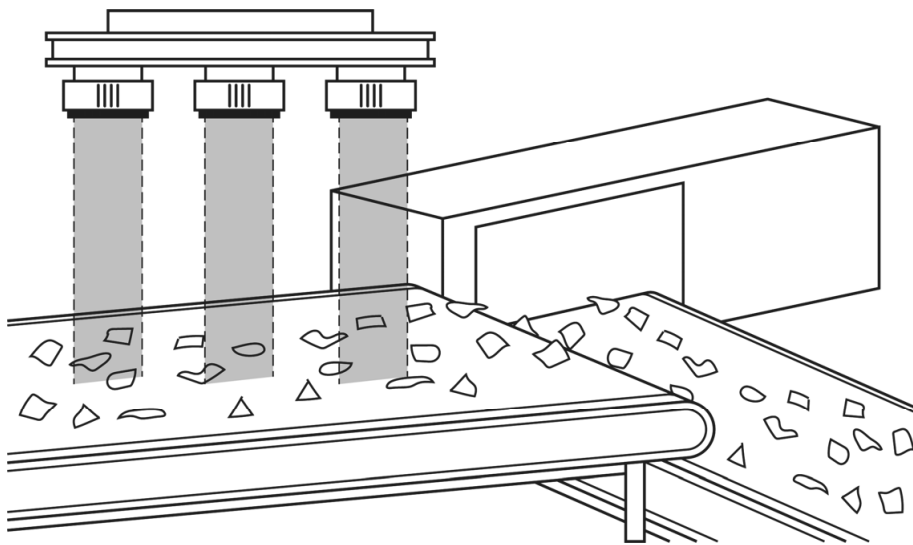
Op de uitwerkbijlage staan drie zinnen over de vergelijking tussen twee koellichamen van gelijke vorm en grootte, het ene gemaakt van aluminium en het andere van koper.

3p 17 Omcirkel in iedere zin op de uitwerkbijlage het juiste antwoord.

De productie van nieuw aluminium uit erts kost veel energie. Aluminium is echter goed herbruikbaar; gebruikt aluminium is met minder energie volledig te recyclen. Om aluminium voor recycling te herkennen in een mengsel van metaalafval, wordt gebruikgemaakt van de stofeigenschap halveringsdikte.

Het metaalafval wordt eerst versnipperd en daarna doorstraald met een evenwijdige bundel röntgenfotonen met een energie van 50 keV. Zie figuur 2.

figuur 2



De hoeveelheid doorgelaten straling wordt gemeten. Wanneer een stukje aluminium wordt gedetecteerd dan wordt dit stukje van de band geblazen en opgevangen. De overige metalen blijven op de band liggen.

Er wordt een stukje metaal van 14 mm dikte doorstraald. Van de röntgenstraling die erop valt wordt 17% doorgelaten.

4p 18 Leg met een berekening uit of dit stukje moet worden weggeblazen.

De röntgenbron is extreem krachtig en daarom zeer goed afgeschermd. De gebruikte bron zendt 15 kW aan stralingsvermogen uit.

Röntgenstraling heeft een weegfactor 1. Wanneer een medewerker per ongeluk zijn hand ( $m = 500 \text{ g}$ ) gedurende 0,1 s onder de bron zou houden en de hand 25% van de uitgezonden straling zou absorberen, dan zou de jaarlijkse stralingsbeschermingsnorm van 500 mSv al flink worden overschreden.

4p 19 Toon dit met een berekening aan.

## uitwerkbijlage

- 17 Omcirkel in iedere zin het goede antwoord.

Bij een gegeven temperatuur van de elektronica hangt de hoeveelheid warmte die het koellichaam per seconde afstaat aan de omgeving af van de **soortelijke warmte / warmtegeleidingscoëfficiënt** van het gebruikte materiaal.

De waarde van deze stofeigenschap is voor aluminium **groter / kleiner** dan voor koper.

Een elektrisch onderdeel in een computer bereikt daardoor een lagere temperatuur als het wordt gekoeld met een koellichaam van **aluminium / koper**.

## OSIRIS-REx

In 2016 werd de satelliet OSIRIS-REx gelanceerd. Deze satelliet moest een bezoek brengen aan planetoïde Bennu om bodemmonsters op te halen voor onderzoek. Een planetoïde is een klein hemellichaam dat net als een planeet in een baan rond de zon beweegt.

Met behulp van observaties en metingen vanaf aarde hebben onderzoekers de massa van Bennu bepaald op  $7,329 \cdot 10^{10}$  kg.

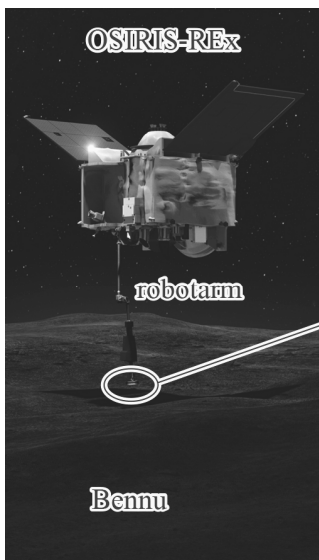
In 2020 arriveerde OSIRIS-REx bij Bennu. Om veilig te kunnen landen moest de valversnelling op Bennu bekend zijn. De onderzoekers hebben daarom een model van Bennu gemaakt. Bennu werd gemodelleerd als een bol met een straal van  $2,45 \cdot 10^2$  m.

Volgens dit model is de gravitatieversnelling op Bennu  $1,2 \cdot 10^5$  keer zo klein als de valversnelling op aarde.

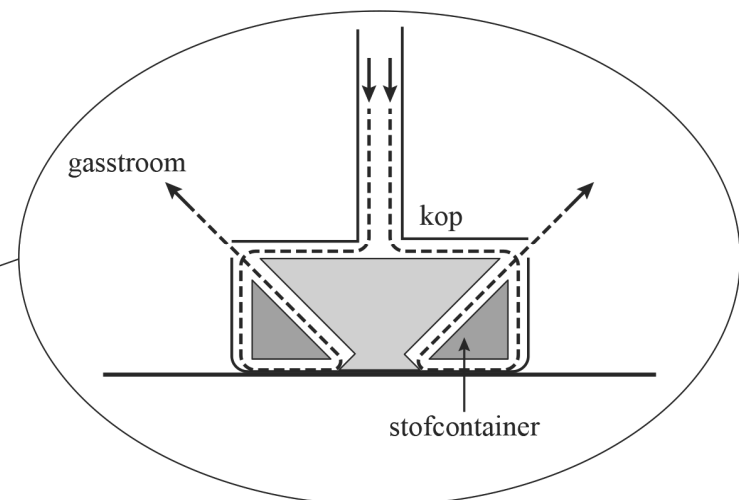
3p 20 Toon dit met een berekening aan.

De valversnelling bleek te klein voor een echte landing. Daarom werd een andere methode gekozen: OSIRIS-REx maakte alleen met een robotarm contact met Bennu. Zie figuur 1. Tijdens het contact werd gas door de kop van de robotarm geperst. Dit gas liet stof van het oppervlak opwaaien. Dit stof werd verzameld in stofcontainers. Het gas perste zich ten slotte via openingen in de kop naar buiten. Zie schematisch in figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Het gas zorgde voor twee even grote krachten  $F$  aan de linker- en rechterkant van de kop. De verticale componenten van beide krachten zorgden ervoor dat de kop tegen het oppervlak van Bennu aangedrukt werd.

Op de uitwerkbijlage is een vergroting van een deel van figuur 2 afgebeeld. Hierin is de richting van de kracht  $F$  ( $F=3,3 \cdot 10^{-1}$  N) aan de rechterkant weergegeven.

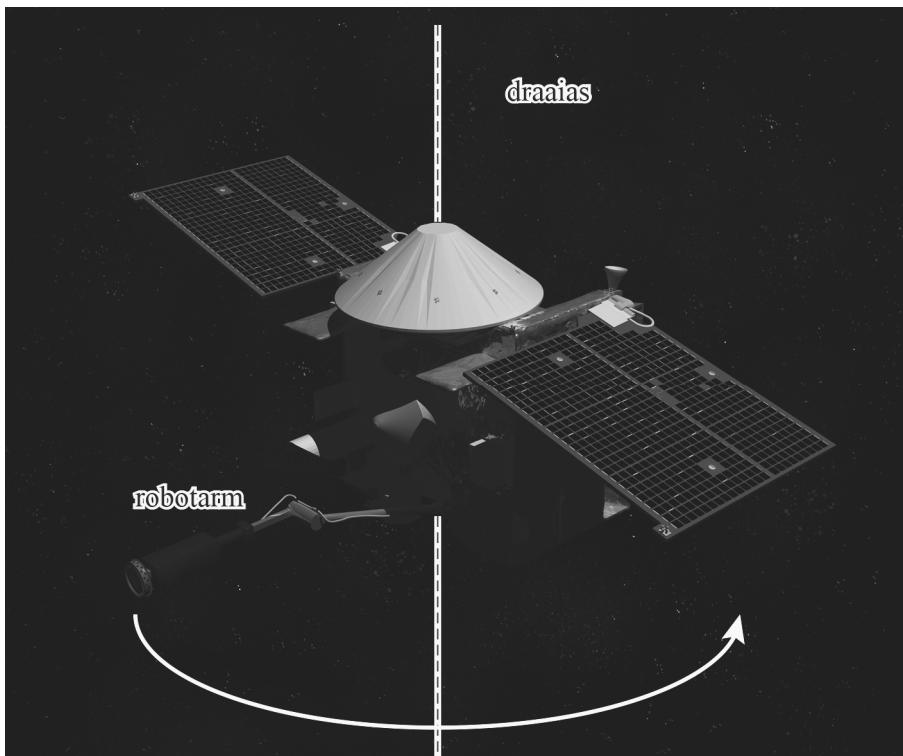
4p 21 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal met een constructie de grootte van de verticale component  $F_v$  van deze kracht  $F$ .
- Leg met behulp van figuur 2 uit dat de kop in horizontale richting geen versnelling ondervond.

Door de kleine valversnelling was het moeilijk om nauwkeurig de massa te bepalen van het verzamelde materiaal. Om deze massa toch te kunnen bepalen, was een zogenaamde spin-manoeuvre bedacht.

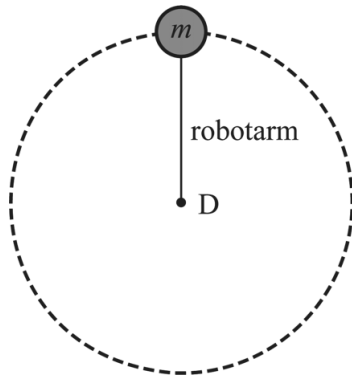
Tijdens deze manoeuvre werd de robotarm met het verzamelde materiaal volledig uitgestrekt. Vervolgens werd OSIRIS-REx met behulp van een stuwraak rondgedraaid. Zie figuur 3.

figuur 3



Van het ronddraaien van het materiaal kan een eenvoudig model worden gemaakt. In dit model draait het materiaal met onbekende massa  $m$  aan een massaloze arm met een bekende lengte rond een draaipunt D. Omdat de massa van OSIRIS-REx veel groter is dan de massa van het materiaal is D tevens het zwaartepunt van OSIRIS-REx. Zie het bovenaanzicht in figuur 4.

figuur 4



- De kracht van de robotarm op het materiaal werd gemeten.
- 2p 22 Leg uit met behulp van een formule uit het informatieboek welke andere grootheid ook gemeten moest worden om de massa te kunnen bepalen.

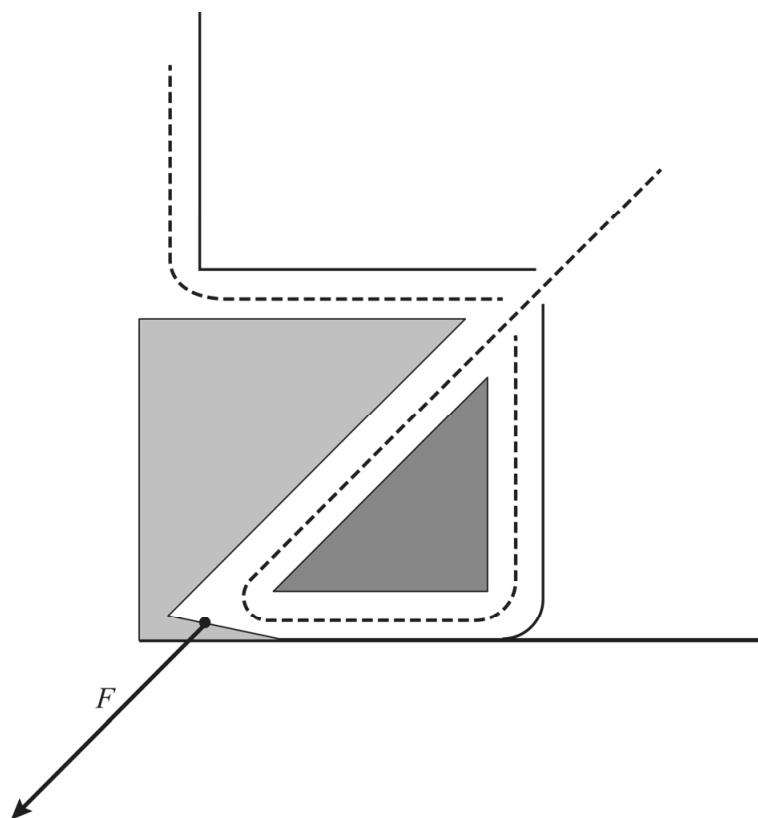
OSIRIS-REx moet het materiaal uiteindelijk afleveren op aarde. Om het verzamelde materiaal ongeschonden door de dampkring heen te krijgen, is het opgeslagen in een capsule met een hitteschild. De capsule is zo ontworpen dat de warmtestroom door het hitteschild zo klein mogelijk is, om de temperatuur in de capsule zo laag mogelijk te houden. Op de uitwerkbijlage staat een tabel met verschillende eigenschappen van het hitteschild waarvoor een ontwerpkeuze is gemaakt.

- 2p 23 Geef op de uitwerkbijlage met een kruisje per eigenschap aan of die eigenschap zo groot mogelijk of zo klein mogelijk moet zijn.

---

#### Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.



Bepaling: .....

.....  
 .....

Antwoord: .....

.....  
 .....

23 Geef met een kruisje per eigenschap aan of die eigenschap zo groot mogelijk of zo klein mogelijk moet zijn.

eigenschap	zo groot mogelijk	zo klein mogelijk
dikte van het hitteschild		
oppervlak van het hitteschild		
warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal		