

34 Voor het lanceren van een ruimtevaartuig is veel energie nodig. Maar ook een zachte landing op de aarde of de maan is niet eenvoudig. Als een ruimtevaartuig vanaf grote afstand een vrije val op een hemellichaam uitvoert, slaat het te pletter met een snelheid die gelijk is aan de ontsnappingssnelheid.

a Leg dit uit.

De aarde heeft een atmosfeer, die je kunt gebruiken om af te remmen. Er wordt dan wel veel warmte ontwikkeld. Daarom is een ruimtevaartuig bedekt met keramische tegels. Een ruimtevaartuig van staal zou al smelten als het minder dan 2% van de ontwikkelde warmte opneemt.

b Toon dit aan. Neem aan dat 480 J nodig is om 1,0 kg staal 1,0 °C in temperatuur te laten stijgen.

Heeft een hemellichaam geen atmosfeer, dan moet je remraketten gebruiken waarvoor brandstof nodig is. De Apollo-maanlanders wogen ongeveer 15 ton.

Raketbrandstof heeft een vergelijkbare stookwaarde per kilogram als benzine.

c Bereken hoeveel kilogram brandstof minstens nodig is voor een zachte landing op de maan.

Opgave 34

a Dat de snelheid gelijk is aan de ontsnappingssnelheid leg je uit met de wet van behoud van energie.

A (ruimtevaartuig op zeer grote hoogte)

De snelheid is dan minstens 0 m s⁻¹.

Op zeer grote hoogte is de gravitatie-energie 0 J.

Dus in situatie A is de energie 0.

B (ruimtevaartuig op het hemellichaam)

De capsule komt met een bepaalde snelheid neer op het hemellichaam.

De straal van het hemellichaam bepaalt de gravitatie-energie.

De gravitatie-energie en kinetische energie zijn van belang.

$$\sum E_{\text{in,A}} = \sum E_{\text{uit,B}}$$

$$0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + \left(-G \cdot \frac{m \cdot M}{r_B} \right)$$

$$\text{Hieruit volgt: } v_B = \sqrt{2 \cdot G \cdot \frac{m \cdot M}{r_B}}$$

En dit is de formule voor de berekening van de ontsnappingssnelheid.

b De temperatuurstijging bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

De hoeveelheid warmte bereken je met de kinetische energie van het ruimtevaartuig.

De snelheid van het ruimtevaartuig is de ontsnappingssnelheid.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

v is de ontsnappingssnelheid (zie vraag a).

$v = 11,2 \text{ km s}^{-1} = 11,2 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ (zie BINAS tabel 31)

Hiervan wordt 2% opgenomen door het staal.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \text{ met } Q = 0,02 \times \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$0,02 \times \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 480 \text{ J kg K}^{-1}$$

$$0,02 \times \frac{1}{2} \cdot m \cdot (11,2 \cdot 10^3)^2 = 480 \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 2,6 \cdot 10^3 \text{ K}$$

Het smeltpunt van staal is ongeveer 1700 K. Dus als het staal 2% van de warmte opneemt, smelt het.

c Hoeveel kilogram brandstof minstens nodig is bereken je met de stookwaarde van raketbrandstof en de chemische energie die nodig is om de raket af te remmen.

De stookwaarde van de raketbrandstof per kilogram bereken je met de stookwaarde van benzine per m³ en de dichtheid van benzine.

De chemische energie die nodig is om de raket af te remmen volgt uit de kinetische energie bij een vrije val.

De kinetische energie bereken je met de ontsnappingssnelheid op de maan.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

De snelheid waarmee de maanlander op de maan valt bij een vrije val is de ontsnappingssnelheid.

$$v = 2,38 \text{ km s}^{-1} = 2,38 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1} \text{ (zie BINAS tabel 31)}$$

$$m = 15 \text{ ton} = 15 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\text{Invullen levert: } E_k = \frac{1}{2} \times 15 \cdot 10^3 \times (2,38 \cdot 10^3)^2$$

$$E_k = 4,248 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

Tijdens het afremmen wordt chemische energie van de remraketten omgezet in warmte. De

hoeveelheid warmte is gelijk aan de kinetische energie die zou ontstaan bij een vrije val.

Dus de chemische energie van de brandstof is (minstens) 4,248 · 10¹⁰ J.

$$\text{De stookwaarde van benzine} = 33 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3} \text{ (zie BINAS tabel 28B)}$$

$$\text{De dichtheid van benzine} = 0,72 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ (zie BINAS tabel 11)}$$

$$1 \text{ kg benzine is dus } \frac{1}{0,72 \cdot 10^3} = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Dit levert } 1,39 \cdot 10^{-3} \times 33 \cdot 10^9 = 45,83 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\text{De stookwaarde van de raketbrandstof is dus } 45,83 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\text{Er is dus (minstens) } \frac{4,248 \cdot 10^{10}}{45,83 \cdot 10^6} = 926,9 \text{ kg aan raketbrandstof nodig}$$

Afgerond: 927 kg.