

Ruimtepuin

Versleten satellieten en brokstukken van gebotste satellieten vliegen als ruimtepuin rond de aarde. In 2018 heeft een kunstenaar geprobeerd om mensen bewust te maken van dit ruimtepuin, dat vanaf de aarde onzichtbaar is. Hij heeft met lasers vanaf de grond de positie van ruimtepuin op hoogtes tussen $2,0 \cdot 10^5$ m en $2,0 \cdot 10^7$ m aangeduid. Zie een artist's impression in figuur 1.

figuur 1



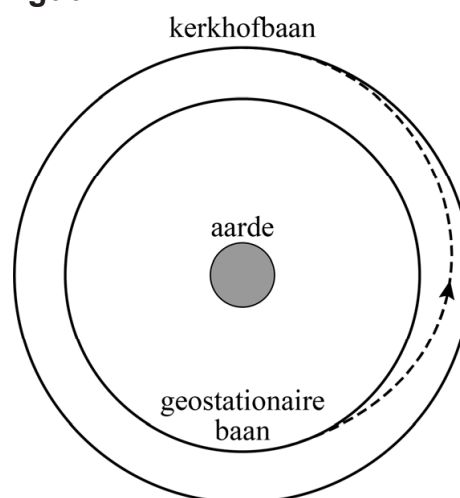
In 2009 vond de eerste botsing tussen twee satellieten plaats. Door deze botsing ontstonden veel brokstukken die nu nog om de aarde cirkelen. De baansnelheid van een van de satellieten in zijn cirkelbaan voor de botsing was $7,75 \cdot 10^3$ m s⁻¹.

- 5p 5 Toon met een berekening aan of deze botsing plaatsvond op een hoogte die de kunstenaar met de lichten heeft aangeduid.

Om botsingen te voorkomen wordt tegenwoordig al vóór de lancering van nieuwe satellieten nagedacht over het opruimen ervan aan het einde van de levensduur.

Een mogelijke oplossing voor een geostationaire satelliet is om hem aan het einde van zijn leven naar een speciale baan om de aarde te brengen: de kerkhofbaan. Zie figuur 2. Deze figuur is schematisch en niet op schaal.

figuur 2



Voor de overgang van de geostationaire baan naar de kerkhofbaan moet 7,0 MJ arbeid worden verricht. Deze arbeid wordt geleverd door een stuwraket die brandstof verbrandt met een rendement van 64%. De brandstof die wordt gebruikt, heeft een stookwaarde van $19,4 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$. De orde van grootte van de massa van een kleine satelliet is 100 kg.

- 5p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken hoeveel kilogram brandstof nodig is om de satelliet in de kerkhofbaan te krijgen.
 - Leg uit op basis van deze hoeveelheid of dit een haalbare mogelijkheid is.

Voor brokstukken die zijn ontstaan na een botsing, is een kerkhofbaan sowieso geen oplossing. Een voorstel is om dit ruimtepuin op te ruimen door bestraling met zeer krachtige lasers vanaf de aarde.

Door de bestraling met lasers neemt de snelheid van een brokstuk een beetje af. Hierdoor komt het dichterbij de aarde en zal het uiteindelijk door een snelle toename van temperatuur verdampen.

- 1p **7** Welke kracht is de directe oorzaak voor deze snelle toename van temperatuur?
- A** gravitatiekracht
 - B** luchtweerstandskracht
 - C** middelpuntzoekende kracht
 - D** zwaartekracht

De lasers verrichten arbeid en remmen hierdoor een brokstuk af. Dergelijke opruimacties zijn al gemodelleerd door wetenschappers, maar zouden de lasers van de kunstenaar ook krachtig genoeg zijn om een brokstuk voldoende af te remmen?

De arbeid die deze lasers samen per seconde verrichten op het brokstuk is $1 \cdot 10^2 \text{ J}$. De snelheid van dit brokstuk ($m = 2 \text{ kg}$) moet worden verlaagd van $7,6 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ naar $7,5 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$. De lasers raken het brokstuk in totaal 1 minuut.

- 4p **8** Leg met behulp van een berekening uit of deze lasers in dat geval genoeg arbeid verrichten om het brokstuk voldoende af te remmen.