Jupiter ‘fly-by’

12 maximumscore 1

voorbeelden van een antwoord:
- Christy heeft ongelijk omdat er vanwege de wet van behoud van energie geen kinetische energie gewonnen kan worden zonder extra energie van buitenaf.
- Christy heeft ongelijk, want de verkenner krijgt weliswaar richting de planeet extra snelheid, maar zal deze extra snelheid na de passage weer verliezen.

13 maximumscore 3

voorbeelden van een berekening:

methode 1

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 0{,}7883 \cdot 10^{12}}{11{,}86 \cdot 3{,}16 \cdot 10^{7}} = 1{,}32 \cdot 10^{4}\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

- gebruik van $v = \dfrac{2\pi r}{T}$ — 1
- opzoeken van r en T — 1
- completeren van de berekening — 1

methode 2

Er geldt:

$$F_{\mathrm{g}} = F_{\mathrm{mpz}} \rightarrow G\frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}988 \cdot 10^{30}}{0{,}7883 \cdot 10^{12}}} = 1{,}30 \cdot 10^{4}\ \mathrm{m\,s^{-1}}.$$

- inzicht dat $F_{\mathrm{g}} = F_{\mathrm{mpz}}$ — 1
- gebruik van $F_{\mathrm{g}} = G\dfrac{mM}{r^2}$ en $F_{\mathrm{mpz}} = \dfrac{mv^2}{r}$ — 1
- completeren van de berekening — 1

14 maximumscore 1

voorbeeld van een antwoord

Als de (absolute) waarde van $2v_{\mathrm{j}} - v_x$ zo groot mogelijk moet zijn, betekent dit dat v_x en v_{j} tegengesteld gericht zijn.

15 **maximumscore 2**

voorbeeld van een antwoord:

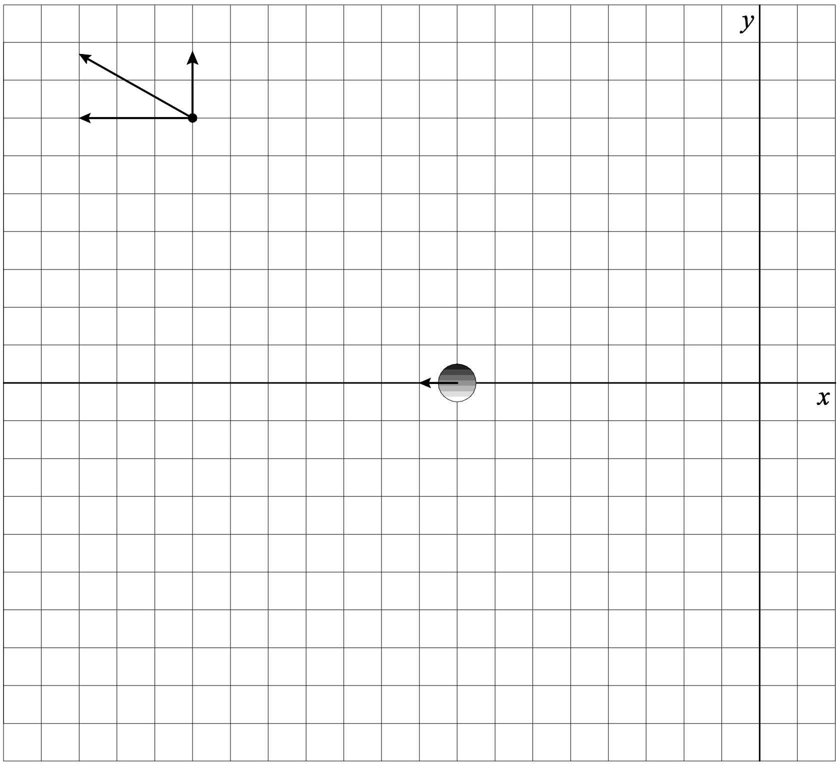
De energiewinst van de verkenner: $\Delta E_k = \frac{1}{2} m(v_{\text{na},x}{}^2 - v_{\text{voor},x}{}^2)$ is gelijk aan het energieverlies van Jupiter: $\Delta E_k = \frac{1}{2} M(v_{\text{j,na}}{}^2 - v_{\text{j,voor}}{}^2)$.

Omdat $M \gg m$, is er geen merkbaar verschil tussen $v_{\text{j,na}}$ en $v_{\text{j,voor}}$.

- inzicht dat de (kinetische) energie behouden is — 1
- inzicht dat $M\left(\text{Jupiter}\right) \gg m\left(\text{verkenner}\right)$ — 1

16 **maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:



- inzicht dat $\overrightarrow{v_y}$, met als aangrijpingspunt de verkenner in figuur 3c, identiek is aan de overeenkomstige vector in figuur 3a — 1
- gebruik van $v_{\text{na},x} = 2v_{\text{j}} - v_{\text{voor},x}$ — 1
- completeren van de constructie — 1

Vraag	Antwoord	Scores

17 **maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:

– M = 1,9.10^{27}
– xj = xj + vj*dt
– Op elk tijdstip is (x-xj) de horizontale afstand tussen Jupiter en de verkenner.

• inzicht dat M de massa van Jupiter is en opzoeken 1
• aanvullen van de modelregel voor xj met gebruik van vj 1
• inzicht dat (x-xj) de horizontale afstand tussen Jupiter en de verkenner is 1

18 **maximumscore 3**

voorbeeld van antwoord:

Vóór de passage: $t = 0$: $v_x = 1,44 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$ en $v_y = 2,49 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$.

Na de passage: $t = 1,2 \cdot 10^4$ s: $v_{\text{na},x} = -4,0 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$ en $v_{\text{na},y} = 2,49 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$.

Formule 1: $v_{\text{na},x} = 2v_\text{j} - v_x = 2 \cdot -1,3 \cdot 10^4 - 1,44 \cdot 10^3 = -4,0 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$. Klopt!

Formule 2: $v_{\text{na},\,y} = v_{\text{voor},\,y} = 2,49 \cdot 10^4\ \text{m s}^{-1}$. Klopt!

• aflezen van snelheden in figuur 5 1
• gebruik van $v_{\text{na},x} = 2v_\text{j} - v_{\text{voor},x}$ met de waarde van v_j 1
• consequente conclusies met betrekking tot formules 1 en 2 1

19 **maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:

De minimale waarde v_min is de snelheid waarbij (de afname van) de kinetische energie waarmee het ontsnappen begint gelijk is aan de (toename van de) gravitatie-energie tijdens het ontsnappen.

Dus geldt: $E_\text{k} = E_\text{g}$ ofwel: $\frac{1}{2} m {v_\text{min}}^2 = G\dfrac{mM}{r}$.

Dit levert: $\frac{1}{2} {v_\text{min}}^2 = 2G\dfrac{M}{r}$. Met $M = M_\text{zon}$ wordt dit: $v_\text{min} = \sqrt{\dfrac{2GM_\text{zon}}{r}}$.

• inzicht dat (de afname van) de kinetische energie waarmee het ontsnappen begint minstens gelijk moet zijn aan de (toename van de) gravitatie-energie 1
• gebruik van $E_\text{k} = \frac{1}{2} mv^2$ en van $E_\text{g} = -G\dfrac{mM}{r}$ 1
• completeren van het antwoord 1

20 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

– Uit de grafiek van figuur 5 blijkt dat voor de eindsnelheid van de verkenner na afloop van de passage geldt:

$$v_{\text{na}} = \sqrt{v_{\text{na},x}{}^2 + v_{\text{na},y}{}^2} = \sqrt{\left(4,0\cdot 10^4\right)^2 + \left(2,49\cdot 10^4\right)^2} = 4,7\cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}.$$

– Voor de minimale snelheid geldt:

$$v_{\text{min}} = \sqrt{\frac{2GM_{\text{zon}}}{r}} = \sqrt{\frac{2\cdot 6,67\cdot 10^{-11}\cdot 1,989\cdot 10^{30}}{0,7883\cdot 10^{12}}} = 1,83\cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}.$$

De verkenner kan nu inderdaad uit het zonnestelsel ontsnappen.

- inzicht dat in figuur 5: $v_{\text{na}} = \sqrt{v_{\text{na},x}{}^2 + v_{\text{na},y}{}^2}$ 1
- completeren van de bepaling van v_{na} 1
- opzoeken van $r_{\text{zon-Jupiter}}$ 1
- completeren van de berekening van v_{min} en consequente conclusie 1

Opmerkingen

– *Als de kandidaat concludeert dat de minimale snelheid kleiner is dan de eindsnelheid in de x-richting: goed rekenen.*

– *Bij dit antwoord een significantiefout niet aanrekenen.*