

## De kracht van het viriaal-theorema

### 12 maximumscore 4

uitkomst:  $v = 7,67 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$

voorbeeld van een berekening:

Er geldt:  $E_g = -G \frac{mM}{r}$  en  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ .

Invullen in  $E_g = -2E_k$  met  $r = R + h$  levert:

$$-6,674 \cdot 10^{-11} \frac{m \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{(6,371 + 0,409) \cdot 10^6} = -2 \cdot \frac{1}{2}mv^2.$$

Dit levert:  $v = 7,67 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$ .

- gebruik van  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  1
- gebruik van  $E_g = -G \frac{mM}{r}$  1
- inzicht dat  $r = R + h$  1
- completeren van de berekening 1

### 13 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Er geldt:  $F_g = F_{\text{mpz}}$ . Invullen levert:  $G \frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ .

Beide kanten vermenigvuldigen met  $-r$  levert:  $-G \frac{mM}{r} = -mv^2$ .

Dit is gelijk aan  $E_g = -2E_k$ .

- inzicht dat  $F_g = F_{\text{mpz}}$  1
- gebruik van  $F_g = G \frac{mM}{r^2}$  en van  $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$  1
- inzicht dat vermenigvuldigen met  $-r$  het gevraagde verband oplevert 1

*Opmerking*

*Een rekenvoorbeeld levert geen scorepunten op.*

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

**14 maximumscore 3**

uitkomst: 95 (%)

voorbeeld van een berekening:

Invullen van  $E_g = -2E_k$  levert:  $-\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} = -2 \cdot \frac{1}{2} Mv^2$ .

Dit levert:  $M = \frac{5}{3} \frac{v^2 R}{G} = \frac{5}{3} \frac{(1,7 \cdot 10^6)^2 \cdot 8,4 \cdot 10^{22}}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 6,1 \cdot 10^{45} \text{ kg}$ .

Van deze massa is dus  $\frac{6,1 \cdot 10^{45} - 3,2 \cdot 10^{44}}{6,1 \cdot 10^{45}} = 0,95 = 95\%$  donkere materie.

- invullen van de formules voor de grootheden in het viriaal-theorema 1
- uitrekenen van de massa die uit het viriaal-theorema volgt 1
- completeren van de berekening 1

**15 maximumscore 4**

voorbeeld van een antwoord:

– Voor de totale potentiële energie geldt:  $E_p = -185,9 + 27,9 = -158,0$ .

Dit is gelijk aan  $-2 \cdot 79,0 = -2E_k$ .

– Uit tabel 21C blijkt dat de energie die nodig is om de elektronen van de kern te verwijderen gelijk is aan  $(24,59 + 54,4 =) 79,0$  (eV).

Dit is gelijk aan de totale energie van het He-atoom.

- inzicht dat de twee termen van potentiële energie opgeteld moeten worden 1
- toepassen van het viriaal-theorema 1
- inzicht dat de twee waarden voor He in tabel 21C samen de totale energie vormen 1
- completeren van de berekening en consequente conclusie 1

**16 maximumscore 3**

Energie	eV
$E_k$	13,6
$E_{p,kern}$	-27,2
$E_{p,e-e}$	0
$E_{tot}$	-13,6

- $E_k$  en  $E_{tot}$  juist 1
- $E_{p,e-e}$  juist 1
- $E_{p,kern}$  juist 1