

Hawkingstraling

23 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Het stralingsvermogen van de ster is $10^{4,5}$ keer zo groot is als dat van de zon. Voor de massaverhouding geldt dan: $\frac{M}{M_{\text{zon}}} = \left(10^{4,5}\right)^{\frac{1}{3,8}} = 15$. Deze ster is meer dan 12 keer zo zwaar als de zon en zal dus eindigen als een zwart gat.

- bepalen van $\frac{P}{P_{\text{zon}}}$ 1
- gebruik van $\frac{P}{P_{\text{zon}}} = \left(\frac{M}{M_{\text{zon}}}\right)^{3,8}$ 1
- completeren van de berekening en consequente conclusie 1

24 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

(De kinetische energie aan het begin moet groot genoeg zijn om aan het gravitatieveld te ontsnappen.) Toepassen van de wet van behoud van energie: $(E_{\text{kin}} + E_{\text{g}})_r = (E_{\text{kin}} + E_{\text{g}})_{\infty}$, met $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ en $E_{\text{g}} = -G\frac{mM}{r}$.

Invullen geeft: $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{mM}{r} = 0$.

Omschrijven geeft vervolgens: $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

- gebruik van de wet van behoud van energie 1
- gebruik van $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ en $E_{\text{g}} = -G\frac{mM}{r}$ 1
- completeren van de afleiding 1

25 maximumscore 2

uitkomst: $5,9 \cdot 10^4$ m

voorbeeld van een antwoord:

Voor de schwartzschildstraal geldt formule (2) met $v = c$, Dus: $r_s = \frac{2GM}{c^2}$

Invullen geeft: $r_s = \frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 20 \cdot 1,99 \cdot 10^{30}}{(3,00 \cdot 10^8)^2} = 5,9 \cdot 10^4$ m.

- gebruik van formule (2) met $v = c$ 1
- completeren van de berekening 1

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

26 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

(De massa van een zwart gat is in de orde van 10^{31} kg of groter. Volgens formule (3) is de temperatuur dan in de orde van 10^{-8} K.)

Vanwege de grote massa van een zwart gat is de temperatuur (volgens formule (3)) extreem laag. Hierdoor zal de stralingsintensiteit van het zwarte gat heel laag zijn / Hierdoor zal de bijbehorende $\lambda_{\max}$ erg groot zijn.

- gebruik van het verband tussen massa en temperatuur 1
- inzicht in het verband tussen de temperatuur en de uitgezonden stralingsintensiteit / $\lambda_{\max}$ 1

27 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Voor het uitgestraalde vermogen geldt de wet van Stefan-Boltzmann:

$$P = \sigma AT^4, \text{ met } A = 4\pi r_s^2.$$

Volgens formule (3) geldt: $T \propto M^{-1}$.

Uit formule (2) is af te leiden dat: $r_s \propto M$.

Invullen geeft: $P \propto M^2 (M^{-1})^4$, dus $P \propto M^{-2}$.

- gebruik van $P = \sigma AT^4$, met $A = 4\pi r_s^2$. 1
- inzicht dat geldt $r_s \propto M$ en $T \propto M^{-1}$ 1
- completeren van de bepaling 1

28 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

Volgens formule (4) is het uitgestraalde vermogen groter naarmate de massa kleiner is. De uitgestraalde energie per seconde is dan groter en daarmee het massaverlies per seconde. In de loop van de tijd zal de massa van een zwart gat dus steeds sneller afnemen. Grafiek A geeft dus het juiste verband weer.

- gebruik van het verband tussen P en M 1
- gebruik van het verband tussen uitgestraalde energie en massaverlies en consequente conclusie 1