



H08. Het zwarte gat

Auteur

Team

Laatst gewijzigd

Licentie

Webadres

Bètapartners

Wikiwijs Maken Auteurs

8 mei 2015

CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie

<https://maken.wikiwijs.nl/45790/>



Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

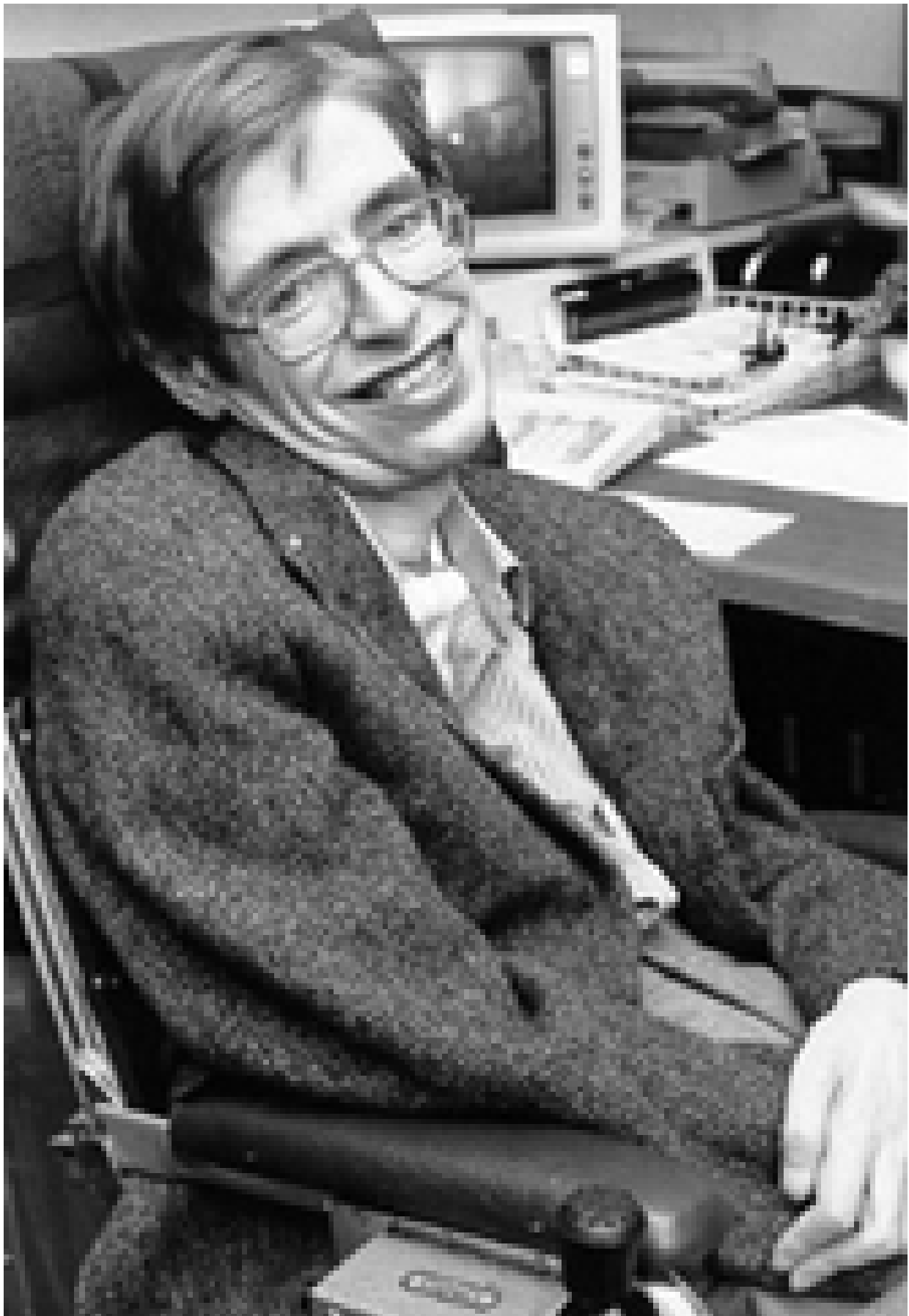
Inhoudsopgave

8.1 Is er écht een zwart gat?	2
8.2 Magnitudes	5
8.3 Ontsnappingssnelheid	11
Over dit lesmateriaal	19

8.1 Is er écht een zwart gat?

8.1 Is er écht een zwart gat?

Je hebt na al deze theorie een idee van hoe massa beweegt. On opdracht 3 heb je gezien dat er iets bijzonders aan de hand is rond SgrA*. Kijk nog even terug naar die opdracht als je het niet meer weet. De vraag is nu of er een zwart gat in het centrum van ons melkwegstelsel staat. Deze vraag kunnen we met de kennis die we hebben beantwoorden.



*The questions are clear, and deceptively simple.
Both the answers have always seemed well
beyond our reach. Until now.
Stephen Hawking (natuurkundige, 1942)*

Bij de metingen van S2 zagen we dat deze ster met een grote snelheid in een ellipsbaan om het centrum van de Melkweg beweegt (opdracht 20). De grote snelheid van de sterren in het centrum van de Melkweg wijst erop dat er een grote massa in het midden aanwezig is. Dit kan zowel een zwart gat zijn als een cluster van vele sterren. In dit hoofdstuk zullen we nagaan welke van de twee opties de meest waarschijnlijke is.

Metingen laten zien dat sterren massa's hebben in de orde van grootte van 0,08 tot 120 keer de massa van de Zon. De totale massa van het centrum van de Melkweg is veel groter. We zullen zo berekenen hoe groot die precies is. Onafhankelijk van het soort ster waar we mee te maken hebben, heeft de ster S2 een te verwaarlozen massa in vergelijking met de massa waar hij omheen draait. Dat er een zwart gat of een cluster van vele sterren in het midden van de Melkweg zit, is dus een zeer aannemelijke aanname. Het verschil tussen deze beide twee mogelijkheden is dat sterren licht uitzenden en een zwart gat niet.



Wat denk je?

Waarom kijken we met deze meetmethode eigenlijk naar een zwart gat in onze directe nabijheid en niet in ver weg gelegen sterrenstelsels?

Plaats hier je muis

8.2 Magnitudes

8.2 Magnitudes

Als je op een heldere avond naar de sterrenhemel kijkt, zie je heldere en zwakke sterren. De helderheid van de ster wordt bepaald door het soort ster en door de afstand van de ster tot de Aarde. Sommige sterren zijn helder, maar lijken erg zwak doordat ze ver weg staan. Andere sterren zijn zwak, maar lijken juist heel helder doordat ze 'dichtbij' de Aarde staan. Als we vanaf de Aarde naar een ster kijken, zien we een puntje licht. Met een telescoop is het net zo. Er is geen structuur te zien, alleen maar licht. Het licht kan ons iets vertellen over het soort ster, de levensfase waarin de ster zich bevindt, de samenstelling van de ster en de afstand tot de Aarde. Om verschillen in sterren te bepalen maken we gebruik van een indeling in helderheidsklassen. We noemen dit een indeling in magnitudes. Hierbij geldt dat de zwakste sterren een hoge magnitude hebben en de helderste sterren een lage magnitude. De schijnbare magnitude m van een ster is een maat voor de helderheid zoals we deze vanaf de Aarde waarnemen. Je meet deze helderheid ten opzichte van een referentierster. Dit is een ster waarvan de helderheid bekend is. In formulevorm wordt de schijnbare magnitude gegeven door:

$$m = m_{\text{ref}} - 2,5 \log \left(\frac{I}{I_{\text{ref}}} \right)$$



Het sterrenbeeld Orion, met Betelgeuze en Rigel. bron: NASA

waarin:

- m = de schijnbare magnitude van de ster (zonder eenheid)
- m_{ref} = de schijnbare magnitude van de referentie ster (zonder eenheid)
- I = de intensiteit van de ster in Watts per vierkante meter (W/m^2)
- I_{ref} = de intensiteit van de referentie ster in Watts per vierkante meter (W/m^2)

Uit de formule is ook af te leiden dat zwakkere sterren (sterren met een kleine lichtintensiteit) hogere magnitudes hebben en heldere sterren lagere magnitudes.

Sirius is de helderste ster die we 's nachts met het blote oog kunnen zien. Sirius heeft een schijnbare

magnitude m van -1,4. Bij volle maan is de schijnbare helderheid van de maan ongeveer -12,7. Je kunt nu berekenen dat de maan ongeveer $3,3 \cdot 10^4$ keer helderder is dan Sirius:

$$m = m_{ref} - 2,5 \log \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \rightarrow -12,7 = -1,4 - 2,5 \log \left(\frac{I_M}{I_S} \right)$$

Dus

$$2,5 \log \left(\frac{I_M}{I_S} \right) = 11,3$$

en daaruit volgt

$$\frac{I_M}{I_S} = 10^{4,52} \approx 33.113$$

Met de schijnbare magnitude beschrijf je de helderheid van een ster ten opzichte van een voor jou bekende ster. De schijnbare magnitude geeft aan hoe helder je een ster waarneemt, maar zegt niets over de eigenschappen van de ster. Om de eigenschappen van een ster goed te kunnen vergelijken, is het begrip absolute magnitude M ingevoerd. De absolute magnitude M van een ster is gedefinieerd als de schijnbare magnitude die de ster zou hebben als deze op een afstand van 10 parsec ten opzichte van de Zon zou staan.

Maak de volgende vragen in je Werkdocument_Kepler.



[werkdocument II Kepler](#)



Opdracht 24

Oefenen met de afstandsvergelijking

Op de afbeelding hierboven zie je het sterrenbeeld Orion. Linksboven zie je Betelgeuze, een rode koele ster bij de 'linkerschouder' van het Orion. Het is een rode superreus. Met het blote oog kun je zien dat de ster een duidelijk oranjerode tint heeft. Rechtsonder zie je Rigel, een blauwe hete ster.

Betelgeuze heeft een schijnbare magnitude van $m = 0,45$ en een absolute magnitude van $M = -5,14$.

- Bereken de afstand D van de Aarde tot Betelgeuze.
- Hoeveel lichtjaar is dat?
- En hoeveel kilometer?

De absolute magnitude M is gedefinieerd als de schijnbare magnitude die een ster zou hebben als hij op een afstand van 10 parsec van de Zon staat.

- Zou het niet juister zijn om deze afstand ten opzichte van de Aarde te meten? Waarom maakt het niet uit of we de afstand ten opzichte van de Zon of van de Aarde meten?

Wega is de helderste ster in het sterrenbeeld Lier en maakt deel uit van de zogeheten Zomerdriehoek. Wega heeft een absolute magnitude van $M = 0,58$.

- Bereken de schijnbare magnitude van Wega als deze op 10 parsec zou staan (de afstand is in werkelijkheid 7,76 parsec).



Opdracht 25

Een zwart gat of vele sterren?

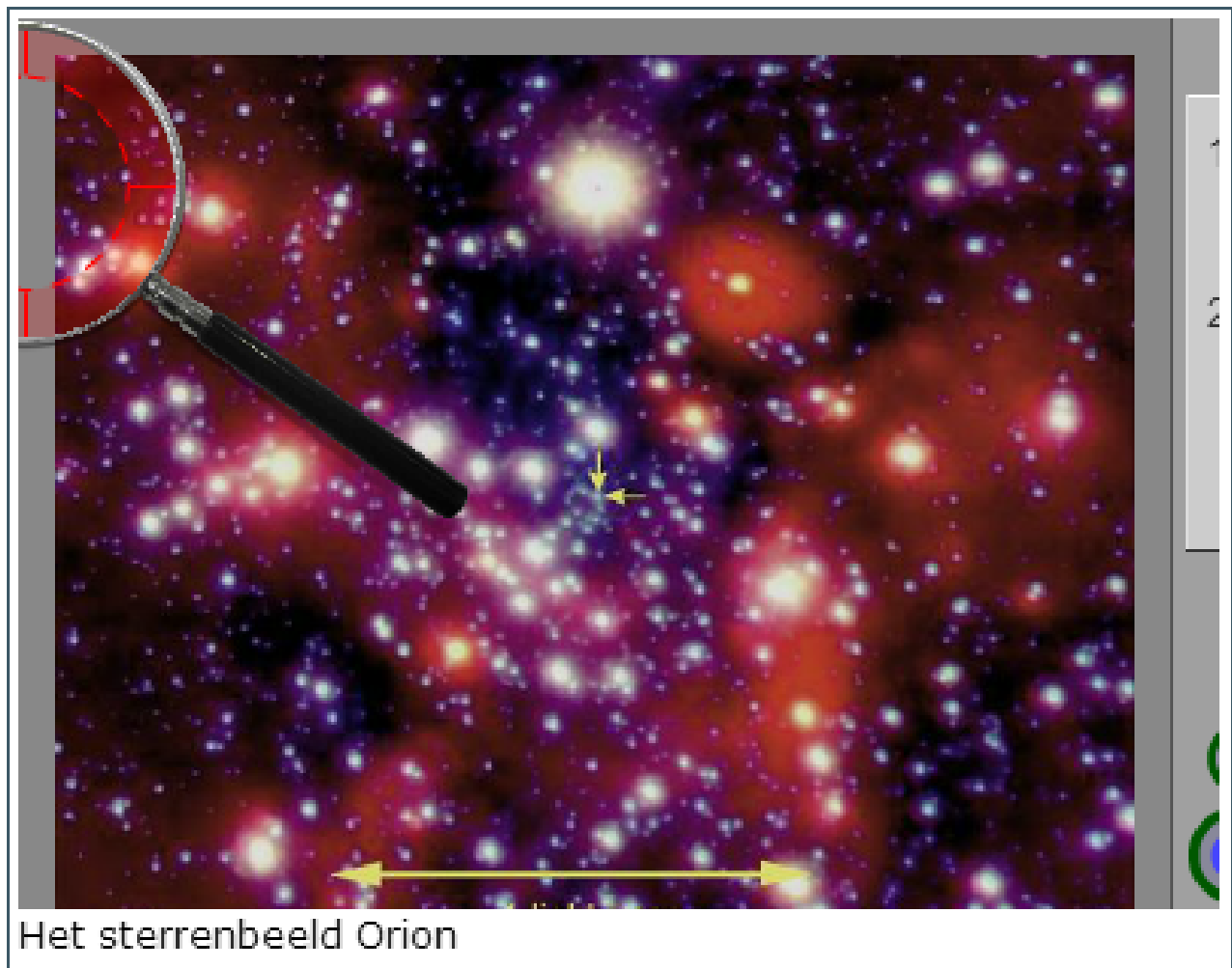
De derde wet van Kepler geldt ook weer voor de beweging van ster S2 om SgrA*. Ook nu heb je immers te maken met een relatief grote massa waar een kleinere massa omheen beweegt.

- Bereken met behulp van de derde wet van Kepler, de gevonden omlooptijd (uit opdracht 18) en de gevonden halve lange as (uit opdracht 20), de totale massa van het zwarte gat SgrA* en de ster S2.

Voor een eerste bepaling kun je aannemen dat de massa die je berekend hebt toebehoort aan sterren met dezelfde eigenschappen als de Zon. De massa van de Zon is ongeveer $1,989 \cdot 10^{30}$ kg.

- Hoeveel zonnen n_{zon} zijn nodig op de positie van SgrA* (het midden van de Melkweg) om ervoor te zorgen dat de totale massa overeenkomt met de berekende massa?
- Het stralend vermogen van de Zon is ongeveer $3,85 \cdot 10^{26}$ W. Welk stralend vermogen verwacht je bij de gemeten massa als je uitgaat van de aanname 'veel zonnen'?
- Bereken de schijnbare helderheid van de Zon als deze zich in het centrum van de Melkweg zou bevinden. Neem voor de afstand D tot het centrum van de Melkweg ongeveer 8,0 kpc. De absolute magnitude van de Zon is +4,83.
- Wat zou de schijnbare helderheid zijn als n_{zon} zonnen op positie SgrA* aanwezig zijn?

Astronomen hebben gemeten dat er vrijwel geen licht afkomstig is vanuit het centrum van de Melkweg. Dit kun je ook zien in onderstaande figuur. Het licht afkomstig van positie SgrA* is minder dan van de omliggende sterren.



Kijk met je vergrootglas naar het centrum van deze afbeelding.

Opdracht 25 vervolg

e. Probeer nu aan de hand van je antwoord op vraag d en de schijnbare magnitude van de nog duidelijk zichtbare ster Betelgeuze uit opdracht 24 te beredeneren of er op positie SgrA* een grote hoeveelheid sterren is of dat er sprake is van een zwart gat.

Om bij deze opdracht 25e een conclusie te kunnen trekken moest je een flink aantal stappen doorlopen (klik op het plaatje voor een vergroting):

Stap	Opdracht	Doel	Nodig
1	12	Bepalen van de halve lange as a	metingen van S2 kenniskaart 'Ellipsen'
2	15	Bepalen van de omlooptijd T	Stap 1 2 ^e wet van Kepler, $\Delta A = \frac{\Delta t}{T} \cdot A_{ell}$
3	17	Bepalen van de totale massa in het centrum	Stap 1 en 2 3 ^e wet van Kepler, $T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} \cdot a^3$
4	18.2 a, b	Bepalen bijpassend stralend vermogen	Stap 3 Gegevens van de zon
5	18.2 c, d	Bepalen bijpassende schijnbare helderheid	Stap 4 Afstandsvergelijking, $m - M = 5 \log D - 5$
6	18.2 e	Vergelijken en conclusie trekken	

8.3 Ontsnappingsnelheid

8.3 Ontsnappingsnelheid

Ontsnappingsnelheid

De snelheid die nodig is om aan een zwaar voorwerp, bijvoorbeeld een planeet of zwart gat, te ontsnappen, wordt ook wel de ontsnappingsnelheid genoemd. De snelheid die je moet hebben om aan een bolvormig lichaam met massa M en straal r te ontsnappen, kun je berekenen met de volgende formule:

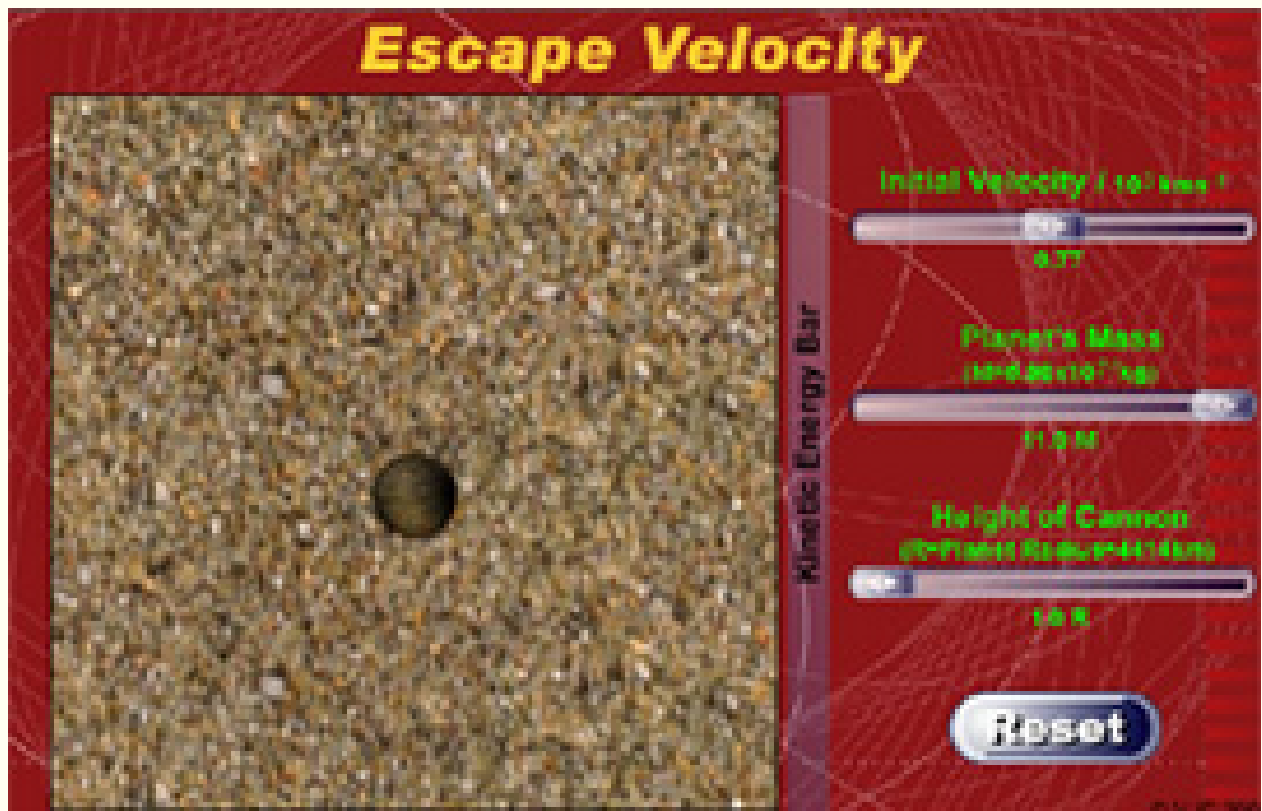
$$V_{\text{ontsnapping}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

waarin:

- $V_{\text{ontsnapping}}$ = de ontsnappingsnelheid in meters per seconde (m/s)
- G = de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M = de massa van het bolvormige lichaam in kilogrammen (kg)
- r = de straal van het lichaam in meters (m)

Wat denk je?

Met de volgende applet kun je ontsnappen aan de wereld. Wat is de invloed van de massa van de planeet? Wat verandert er als je de hoogte van het kanon boven de aarde groter maakt?



Klik op het plaatje voor de applet. Je computer heeft wel de shockwave plugin voor internet explorer nodig. Die kun je [hier](#) ophalen.

Plaats hier je muis

Achtergrondinformatie: Schwarzschildstraal

Eerder noemden we de waarnemingshorizon, een point of no return, een grens rondom het zwarte gat. Deze grens is met behulp van de formule te bepalen door voor vontsnapping de lichtsnelheid c in te vullen. De straal R_s die nu te bepalen is heet de Schwarzschildstraal. Binnen deze straal R_s , kan niets meer ontsnappen aan het zwarte gat. We vinden:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

- R_s = de Schwarzschildstraal in meters (m)
- G = de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M = de massa in kilogrammen (kg)
- c = de lichtsnelheid in meters per seconde (m/s)

Kenniskaart: ontsnappingssnelheid

Leerlingen met natuurkunde kunnen onderstaande afleiding volgen, voor leerlingen zonder natuurkunde is vooral het resultaat van belang.

Een lichaam met massa m dat zich op een hoogte van h meter boven het aardoppervlak voortbeweegt met een snelheid van v m/s heeft zowel kinetische energie als zwaarte-energie. De formules voor kinetische energie en zwaarte-energie zijn:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_z = mgh$$

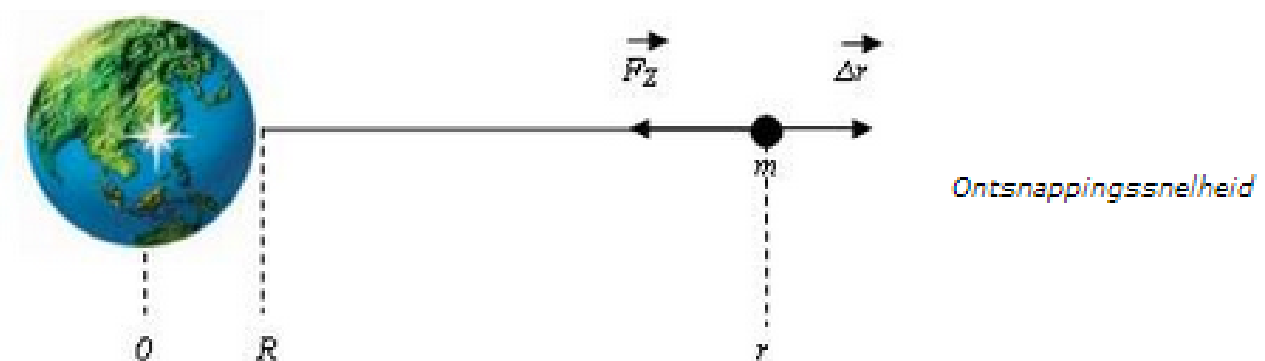
waarin:

- E_{kin} = de kinetische energie in joules (J)
- E_z = de zwaarte-energie in joules (J)
- m = de massa in kilogrammen (kg)
- v = de snelheid in meters per seconde (m/s)
- g = de zwaartekrachtversnelling in meters per seconde kwadraat (m/s^2)
- h = de hoogte in meters (m)

Als je een steentje omhoog gooit met een snelheid v , stijgt het tot een hoogte h en keert daarna weer terug doordat de zwaartekracht het omlaag trekt. Tijdens de tocht omhoog heeft de zwaartekracht (negatieve) arbeid verricht en is de kinetische energie omgezet in zwaarte-energie. Als h zeer groot is, neemt F_z af en mogen we mgh niet meer gebruiken voor de zwaarte-energie. De negatieve arbeid die de zwaartekracht over een kleine afstand Dr verricht is:

$$\Delta W = - \frac{GmM}{r^2} \cdot \Delta r$$

In dit geval gebruiken we Δr omdat we van het centrum van de Aarde uitgaan. M is de massa van de Aarde.



Tussen $r = R$ en $r = r$ verricht de zwaartekracht de arbeid:

$$W_z = - \int_R^r \frac{GmM}{r^2} dr = - \left[- \frac{GmM}{r} \right]_R^r = \frac{GmM}{r} - \frac{GmM}{R}$$

Door deze arbeid verandert de zwaarte-energie E_z . Laten we r tot ∞ naderen, dan volgt voor E_z op afstand r van het centrum:

$$E_z(r) = - \frac{GmM}{r} \text{ met } E_z(\infty) = 0$$

Een voorwerp met massa m heeft op het aardoppervlak ($r = R$) dus een zwaarte-energie

$$E_g = - \frac{GmM}{R}$$

Het minteken staat erbij omdat we te maken hebben met een aantrekkende kracht. Een voorwerp kan alleen aan een planeet ontsnappen als het op het aardoppervlak voldoende kinetische energie bezit om de negatieve zwaarte-energie tot 0 te laten toenemen. Dan moet gelden:

$$\frac{1}{2}mv^2 > \frac{GmM}{R} \quad \text{ofte wel} \quad v \geq \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

De minimale snelheid die het voorwerp moet hebben wordt de ontsnappingssnelheid v_0 genoemd. We vinden dus:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

waarin:

- v_0 = de ontsnappingssnelheid in meters per seconde (m/s)
- G = de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M = de massa van de planeet in kilogrammen (kg)
- R = de straal van de planeet in meters (m)

Maak de volgende vragen in je schrift.



Opdracht 26

Wanneer krijg je een zwart gat?

- a. Bereken de ontsnappingssnelheid vanaf de Aarde. Maak gebruik van Binas.
- b. Bereken de ontsnappingssnelheid als de straal van de Aarde maar 0,5 cm is.
- c. Bereken tot slot de ontsnappingssnelheid als de Aarde weer z'n echte straal heeft, maar een massa van 2200 keer de massa van de Zon.

?



Opdracht 27

Als je zelf een zwart gat was...

- a. Neem de massa van je eigen lichaam en bereken de straal die nodig is om een

ontsnappingsnelheid te krijgen die gelijk is aan de lichtsnelheid. Je moet jezelf tot een bol met een dergelijke straal samenpersen om jezelf in een zwart gat te veranderen.

b. Vergelijk het antwoord op vraag a met de straal van een atoom. De straal van een atoom is ongeveer 10^{-10} m en van een kern is ongeveer 10^{-15} m.
Is het mogelijk om zelf een zwart gat te worden?

Over dit lesmateriaal

Colofon

Auteurs	Bètapartners
Team	Wikiwijs Maken Auteurs
Laatst gewijzigd	8 mei 2015 om 13:57
Licentie	De Nederlandse Creative Commons 3.0 licentie waarbij de gebruiker het werk mag kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken mag maken onder de voorwaarden: Naamsvermelding en Gelijk Delen, zie http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/ . Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie licentie.

Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

Leerniveaus	VWO 6, VWO 5
Leerinhoud en doelen	Natuur, leven en technologie, Zonnestelsel en heelal, Waarnemingen aan het heelal, Ruimte, Natuurkunde
Eindgebruiker	leerling/student
Trefwoorden	e-klassen rearrangeerbaar