



WB128: Is er zwaartekracht in de ruimte?

Opdrachten gemaakt door Eric-Wubbo Lameijer

Doelstelling

Weten dat gewichtsloosheid niet betekent dat er geen zwaartekracht is, maar dat je met dezelfde snelheid valt als je omgeving.

Niveau: klas 3 of hoger (wet van Newton moet bekend zijn)

Bekijk eerst het filmpje.

Inleiding

We kennen allemaal de beelden van astronauten die door hun raket lijken te 'zwemmen' en glazen drank waaruit de vloeistof ineens ontsnapt en als een bal blijft zweven. Hoe zit dat? Is er eigenlijk zwaartekracht in de ruimte?

Logischerwijs zou er zwaartekracht moeten zijn, de wet van Newton stelt immers dat de zwaartekracht omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen twee lichamen. In theorie zou de zwaartekracht van de aarde tot aan de randen van het heelal reiken, al zou hij daar zo zwak zijn dat je hem niet zou voelen.

Je gewicht is eigenlijk de kracht waarmee je op de vloer of op je stoel drukt. Je drukt erop, omdat de aarde aan je trekt (zwaartekracht), en de vloer drukt terug, en die druk voel je als gewicht. Maar als je in een lift zou staan en de bodem zou eruit vallen, dan zou je geen tegendruk meer voelen van de bodem, en je zou je dus zo licht voelen als een veertje. Als je dat wil meemaken, kun je naar een van de grote liften gaan die ruimtevaartorganisaties maken om hier op aarde de effecten van gewichtloosheid te onderzoeken. Die lift maakt een aantal seconden een vrije val, waardoor je je helemaal gewichtloos voelt worden. Dat komt doordat je niet meer op de vloer drukt. Bij een normale lift voel je je ook lichter worden, als de lift naar beneden gaat. Een 'zwaartekrachtlift' doet hetzelfde als een normale lift, alleen extremer.

Opdrachten

1. De universele zwaartekrachtswet van Newton is $F_z = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, waarin m_1 en m_2 de massa's (in kilogram) zijn van de objecten, r de afstand in meters, en G een constante van $6.674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.
 - a. Wat is de zwaartekracht die inwerkt op iemand van 60 kg die op het aardoppervlak staat (de straal van de aarde is gemiddeld 6371 kilometer, de massa van de aarde $5.9736 \times 10^{24} \text{ kg}$).
 - b. Wat is de zwaartekracht op iemand die ergens halverwege tussen aarde en maan is (de zwaartekracht van de maan niet meerekenend). Hoeveel 'kilo' zou die persoon dan lijken te wegen (de maan is gemiddeld op 383990 km van de aarde)?
2. a. Iets dat 'valt' maar toch niet naar beneden komt, lijkt ontzettend raar: er is toch een zwaartekracht die je naar beneden trekt.... Hoe komt het dat een astronaut niet naar beneden lijkt te tuimelen? Noem drie redenen.

b. Wat gebeurt er als je een astronaut een raketmotortje zou geven waarmee hij kan afremmen? Welke drie dingen kunnen er gebeuren als de astronaut juist iets versnelt in zijn bewegingsrichting?

c. Leid een formule af die aangeeft wat de snelheid (loodrecht op de lijn met het aardoppervlak) moet zijn om tot in eeuwigheid boven de aarde te blijven zweven. Hoe snel moet de maan bewegen om niet op aarde te vallen? Komt je antwoord overeen met het antwoord dat je kunt vinden op wikipedia?

Tips voor docenten

Antwoorden

1a. $6.674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} * 5.9736 \times 10^{24} \text{ kg} * 60 \text{ kg} / (6,371.106 \text{ m})^2 = 589 \text{ N}$ (beter: $5,9.10^{-2} \text{ N}$, omdat dat de significantie is met 60 kg). Dat komt inderdaad goed overeen wat je verwacht van $F_z = m \cdot g$, g van 9.8 (588 N).

1b. $6.674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} * 5.9736 \times 10^{24} \text{ kg} * 60 \text{ kg} / (1,920.108 \text{ m})^2 = 0,65 \text{ N}$. Dit zou overeenkomen met een gewicht van 66 gram(!). Je bent dus niet helemaal gewichtloos, al ben je wel behoorlijk licht; je weegt meer dan een veertje, maar ongeveer evenveel als een normaal formaat reep Mars.

2a. Astronauten lijken niet naar beneden tuimelen die je ook in het filmpje kunt. Allereerst valt de camera even hard mee. Omdat de afstand tussen camera en astronaut hetzelfde blijft, lijkt de astronaut te zweven. Ten tweede zit je zover van het aardoppervlak af dat zelfs als je valt, de aarde maar heel langzaam en onmerkbaar groter wordt, zodat je (visueel) niet lijkt te vallen, net zoals een toren op 10 kilometer afstand veel langzamer dichterbij lijkt te komen dan het paaltje op 5 meter afstand; en de aarde is honderden kilometers ver weg. Tenslotte draait het ruimteschip in elk geval voor een deel met de aarde mee. Dat betekent dat de zwaartekracht erg ineffectief is, en er voornamelijk voor zorgt dat de astronaut een baan om de aarde draait. Alleen als de astronaut iets trager gaat dan noodzakelijk is, kan hij in een baan naar binnen spiralen, tenminste tot het punt dat hij/zij door de zwaartekracht zoveel sneller is gegaan dat de astronaut in een stationaire baan blijft rondzweven (of neerstort, als de beginsnelheid daarvoor te laag is).

2b. Mogelijkheid 1: in een hogere of lagere baan rond de aarde terecht komen, en daar op dezelfde hoogte blijven zweven omdat de zwaartekracht van de aarde sterk genoeg is om te voorkomen dat hij de ruimte invliegt, maar niet sterk genoeg om hem naar het aardoppervlak te trekken.

Mogelijkheid 2: als de snelheid laag genoeg is, zal de astronaut in een spirallende baan op de aarde te pletter vallen.

Mogelijkheid 3: als de snelheid hoog genoeg is, is de zwaartekracht van de aarde niet genoeg om de astronaut vast te houden. Hij zal dus in de duistere diepten van het heelal verdwijnen.

2c. De snelheid die iemand moet hebben, hangt af van de hoogte. De kracht om een lichaam in een cirkel te laten draaien is de middelpuntzoekende kracht, $F = mv^2/r$. Een stabiele baan bereik je als die kracht hetzelfde is als de zwaartekracht, $F_z = G m_1 m_2 / r^2$. Je krijgt dus $G m_1 m_2 / r^2 = mv^2/r$. $m = m_1$, dus delen door m en vermenigvuldigen met r resulteert in: $G m_1 / r = v^2$, ofwel $v = (G m_1 / r)^{1/2}$. De maan moet dus met een snelheid van ongeveer 1,019 km/s bewegen, wat goed overeenkomt met het getal op wikipedia van 1,022 km/s (ofwel 3680 km/u).