

## Gravitatiewet

### GRAVITATIEKRACHTEN

Gravitatiekrachten worden beschouwd als niet zo'n grote krachten, maar daartegenover staat dat zij over zeer grote afstanden werken. We zijn geïnteresseerd in de aantrekkingskracht tussen de aarde en Pluto, het verst verwijderde bekende planeetje binnen ons zonnestelsel.

We veronderstellen dat zowel de aarde als Pluto cirkelvormige banen om de zon beschrijven en dat op zeker moment de aarde op de verbindinglijn Zon-Pluto ligt.

Bereken voor dat moment de kracht die de aarde op Pluto uitoefent. Tabel 31 wist je te vinden, hoop ik.

Uitwerking:

We gaan er van uit dat de aarde tussen de zon en Pluto staat; bovendien dat de in Binas genoemde afstanden de afstanden tussen de middelpunten zijn.

$$F = G \times \frac{mM}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{0,013 \cdot 10^{24} \times 5,976 \cdot 10^{24}}{(5,91 \cdot 10^{12} - 0,15 \cdot 10^{12})^2} = 1,6 \cdot 10^{11} \text{ N}$$

opzoeken alle planeetgegevens voor bovenstaande formule  
goede formule

G

kwadraat verwerkt

### SPACESHUTTLE

De typische hoogte waarop een shuttle werkt is 296 km boven het aardoppervlak.

A Bereken hoe groot op die hoogte de valversnelling  $g$  is.

B Bereken de omlooptijd van de shuttle in zo'n baan.

Uitwerking:

$$mg = G \frac{mM}{r^2} \Rightarrow g = G \frac{M}{r^2} = 6,673 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{[(6378 + 296) \cdot 10^3]^2} = 8,95 \text{ m/s}^2$$

$$F_z = F_{Gr} \Rightarrow$$

Het betreft een cirkelbaan. De gravitatiekracht vervult de rol van middelpuntzoekende kracht en  $g$  de rol van middelpuntzoekende versnelling.

Dus óf je gebruikt  $g = v^2 / r$  om  $v$  te berekenen en dan met de straal de gevraagde tijd óf je doorloopt de volgende weg:

$$G \frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6,673 \cdot 10^{-11} \times 5,976 \cdot 10^{24}}{(6378 + 296) \cdot 10^3}} = 7730 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow 7730 = \frac{2\pi(6674 \cdot 10^3)}{T} \Rightarrow T = 5425 \text{ s}, \text{ dat is } 90,4 \text{ minuten.}$$

### MAAN

Een ruimtevaartuig heeft een massa van 1000 kg en bevindt zich tussen de maan en de aarde in op een afstand van  $200 \cdot 10^6$  m van de aarde.

Alvorens te landen op de maan gaat het 'vehicle' een rondje om de maan maken op een gemiddelde hoogte van 60 km.

Bereken zijn omlooptijd om de maan, als de baan een cirkel is.

#### SPACESHUTTLE

De typische hoogte waarop de spaceshuttle werkt, is 296 km.

A Bereken de waarde van de valversnelling  $g$  op die hoogte.

Als de spaceshuttle naar een hogere baan moet, is het nodig dat de snelheid wordt vergroot.

B Leg met behulp van de wet van behoud van impuls uit hoe men dat realiseert.

Uitwerking:

$$F = G \frac{mM}{r^2} = mg \Rightarrow g = G \frac{M}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{((6378 + 296) \cdot 10^3)^2} = 8,95 \text{ m/s}^2$$

A Door de raketmotor worden verbrandingsgassen met grote snelheid naar achteren uitgestoten. Die gassen krijgen een grote achterwaarts gerichte impulsverandering in de motor. De impuls kan alleen behouden blijven als de motor en de eraan vastzittende raket een even grote voorwaarts gerichte impulsverandering krijgen. De snelheid neemt dus toe.

#### IRIDIUM

Om de aarde, op een hoogte van 780 km, cirkelen de iridiumsattelieten. Zij waren bedoeld voor zogenaamde satelliettelefoons.

Zo'n satelliet heeft een massa van 700 kg.

Bereken de kracht waarmee de satelliet aan de aarde trekt.

## GRAVITATIEKRACHTEN

Gravitatiekrachten worden beschouwd als niet zo'n grote krachten, maar daartegenover staat dat zij over zeer grote afstanden werken. We zijn geïnteresseerd in de aantrekkingskracht tussen de aarde en Pluto, het verst verwijderde bekende planeetje binnen ons zonnestelsel.

We veronderstellen dat zowel de aarde als Pluto cirkelvormige banen om de zon beschrijven en dat op zeker moment de aarde op de verbindinglijn Zon-Pluto ligt.

Bereken voor dat moment de kracht die de aarde op Pluto uitoefent.

Uitwerking:

We gaan er van uit dat de aarde tussen de zon en Pluto staat; bovendien dat de in Binas genoemde afstanden de afstanden tussen de middelpunten zijn.

$$F = G \times \frac{mM}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{0,013 \cdot 10^{24} \times 5,976 \cdot 10^{24}}{(5,91 \cdot 10^{12} - 0,15 \cdot 10^{12})^2} = 1,6 \cdot 10^{11} \text{ N}$$

## SPIONAGE

Om te weten wat er overal op de wereld gebeurt, zijn spionagesatellieten een gewild object. Om voldoende details te kunnen waarnemen laat men ze op niet te grote hoogte hun rondjes draaien. Ditmaal niet om de evenaar, maar juist om de polen. De hoogte waarop een van deze satellieten zijn rondje draait, is 150 km.

- A Bereken voor deze hoogte de valversnelling.
- B Bereken de omlooptijd van deze satelliet.

Op deze hoogte is de luchtdruk 0,01 Pa en de temperatuur 300 K.

- C Bereken hoeveel moleculen/deeltjes er per kubieke meter aanwezig zijn daarboven.

Hier in het lokaal is de druk 1014 mbar en de temperatuur 20°C.

- D Als we een kubieke meter van die atmosfeer mee naar de aarde zouden nemen in een gesloten ballon, hoe groot zou het volume van die ballon dan zijn in dit lokaal?

De druk van de atmosfeer daarboven lijkt erg laag, maar toch ondervinden de satellieten daar nog wrijving van. Het gevolg is dat ze steeds langzamer gaan bewegen.

- E Beredeneer wat het gevolg daarvan is voor de satelliet. Verwijdert deze zich daardoor van de aarde, blijft hij daar draaien op die hoogte met een wat grotere omlooptijd, of daalt de satelliet langzaam maar zeker naar de aarde toe.

## MIR 2

De formule voor de gravitatie-energie van twee massa  $M$  en  $m$  t.o.v. elkaar is

$$E_G = -G \times \frac{M \cdot m}{r}$$

De MIR kwam van 300 km hoogte en een van de brokstukken woog nog 3000 kg. Bereken de vrijkomende gravitatie-energie van dat brokstuk bij het afdalen en bereken hoeveel het brokstuk alleen daarmee in temperatuur zou kunnen stijgen. Kies daarbij zelf een materiaal.

Antw:  $8,4 \cdot 10^9$  J

## GEOSTATIONAIRE SATELLIET

Geostationaire satellieten draaien om de evenaar van de aarde. Maar er zijn ook satellieten die om de polen draaien.

Een zo'n satelliet draait op 150 km hoogte en heeft een massa van 3546,12 kg. Bereken de omlooptijd van deze satelliet.

## ODYSSEY

Een ruimtesonde, de Odyssey, van 462,3 kg, moet daar op 400 km hoogte cirkelbaantjes gaan draaien. Daarover gaan de volgende twee vragen.

- a Bereken de versnelling van de zwaartekracht daar op 400 km.
- b Bereken de snelheid van de Odyssey.

- a De versnelling volgt uit  $F = m \times a$   
De kracht die werkt, is de gravitatiekracht, dus

$$m \cdot a = G \frac{m \cdot M}{r^2} \Rightarrow g = G \frac{M}{r^2} = \frac{6,6726 \cdot 10^{-11} \times 0,642 \cdot 10^{24}}{(3,393 \cdot 10^6 + 400 \cdot 10^3)^2} = 3,03 \text{ m/s}^2$$

$m$  is de massa van de satelliet;  $M$  is de massa van Mars;  $r$  is de straal van de baan.

- b  $F_G = F_{mpz} \Rightarrow mg = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{gr} = \sqrt{3,03 \times (3,393 \cdot 10^6 + 400 \cdot 10^3)} = 3390$

De snelheid  $v = 3,39$  km/s.

### Weersatelliet

Een weersatelliet draait met een constante snelheid rondjes om de aarde op een hoogte van  $1,2 \cdot 10^3$  km. De straal van de aarde bedraagt  $6,4 \cdot 10^3$  km. De versnelling die de satelliet ondervindt is  $7,0 \text{ ms}^{-2}$ .

- Bereken met behulp van deze gegevens de baansnelheid van de satelliet.
- Bereken het aantal rondjes dat de satelliet per etmaal zal maken.

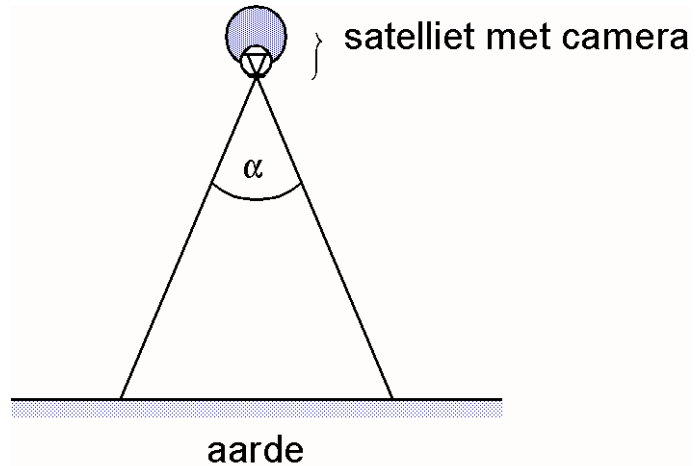
Op een beeld, dat met behulp van de weersatelliet tot stand kwam, is een gebied te zien van 2200 km bij 2200 km.

Dit gebied wordt vanuit het midden van de lens gezien onder een hoek  $\alpha$ . Het geheel is weergegeven in de tekening.

- Bereken de grootte van hoek  $\alpha$ .

Het beeldformaat bedraagt 70 mm bij 70 mm en het beeld is opgebouwd met 50 beeldpunten per centimeter.

- Bereken de brandpuntsafstand  $f$  van de lens.
- Bereken de afmeting van het kleinst mogelijk waarneembare voorwerp.



### APOLLO

In de jaren 70 zond men mensen naar de maan. Dat ging getrap. Eerst bracht men een capsule in een baan rond de maan en een gedeelte vertrok vanuit daar naar het maanoppervlak om te landen.

- Controleer door een berekening de waarde van de valversnelling aan het maanoppervlak zoals die in BINAS staat vermeld. Je kunt bij deze berekening gebruik maken van de andere gegevens die in BINAS over de maan zijn vermeld.
- Bereken de omlooptijd van de capsule als die op een hoogte van 100 km boven het maanoppervlak zijn rondjes draaide.