

## Opgave 2 Pioneer-10

De verkener Pioneer-10 werd gelanceerd in 1972. Voordat Pioneer-10 het zonnestelsel verliet, beschreef hij een baan langs verschillende planeten.

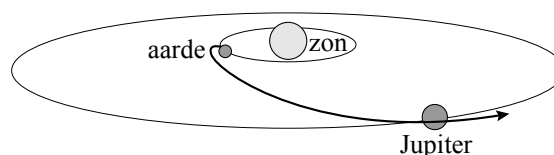
Op een bepaald moment bevond Pioneer-10 zich op een afstand van  $5,09 \cdot 10^{11}$  m van de zon en had een snelheid van  $1,87 \cdot 10^4$  m s<sup>-1</sup> loodrecht op de verbindinglijn van Pioneer-10 met de zon.

Deze snelheid is groter dan de snelheid die Pioneer-10 zou hebben als hij op dezelfde afstand in een éénparige cirkelbaan om de zon zou bewegen.

- 4p 5 Toon dat aan met een berekening.

De baan van Pioneer-10 is dus geen cirkelbaan maar een langgerekte baan richting Jupiter. Zie figuur 1. Tim en Maaïke proberen de kromming van de baan van Pioneer-10 te verklaren.

figuur 1

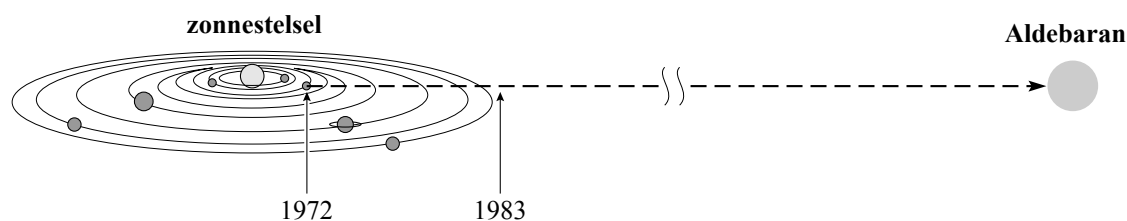


Tim meent dat de aantrekkingskracht van de zon de kromming veroorzaakt. Maaïke denkt dat de kromming het gevolg is van de lancering met de draaiing van de aarde mee.

- 2p 6 Verklaar voor beide standpunten of ze natuurkundig juist zijn.

In 1983 bewoog Pioneer-10 met een snelheid van ongeveer 2,6 AE per jaar in de richting van de rode ster Aldebaran. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal. Eén AE (Astronomische Eenheid) is gelijk aan de gemiddelde afstand van de zon tot de aarde.

figuur 2



- 3p 7 Bereken hoeveel jaar Pioneer-10 over zijn reis naar Aldebaran zal doen als hij zijn hele reis met de gegeven snelheid beweegt.

In het begin van de reis wordt Pioneer-10 door de zon vertraagd. Aan het eind van zijn reis wordt Pioneer-10 door Aldebaran versneld. Tim en Maaïke bespreken het effect hiervan op de gemiddelde snelheid van Pioneer-10.

Tim denkt dat  $v_{\text{gem}}$  minder dan 2,6 AE per jaar is door de invloed van de zon. Maaïke meent dat  $v_{\text{gem}}$  meer dan 2,6 AE per jaar is, omdat de massa van Aldebaran 25 keer zo groot is als de massa van de zon.

- 2p 8 Leg uit wie er gelijk heeft.

Om continu de snelheid van Pioneer-10 te bepalen en commando's over te brengen, gebruikt men radiocommunicatie. Hiertoe zendt men vanaf de aarde een draaggolf van 2,11 GHz uit (uplink), waarvan de frequentie na ontvangst in Pioneer-10 met een factor  $\frac{240}{221}$  wordt vermenigvuldigd en teruggezonden (downlink). Uren later wordt het downlink-signaal op aarde ontvangen, terugvermenigvuldigd en met het oorspronkelijke signaal vergeleken.

De commando's worden gegeven door de draaggolf met een bandbreedte van 40 MHz te moduleren. Het vermenigvuldigen met de factor  $\frac{240}{221}$  zorgt ervoor dat de uplink- en downlink-signalen in gescheiden kanalen zitten.

3p **9** Toon dat met een berekening aan.

Zonder kanaalscheiding treedt er storing op tussen de uplink- en downlink-signalen.

2p **10** Leg uit door welk natuurkundig verschijnsel deze storing veroorzaakt wordt.

Pioneer-10 beweegt op zijn reis door de Kuipergordel. Dit is een gebied van ijsig interplanetair stof dat ons zonnestelsel omgeeft, op een afstand tussen 30 AE en 100 AE. Doordat Pioneer-10 dit interplanetaire stof 'opveegt', neemt de massa van Pioneer-10 toe.

Een voorwerp dat tijdens zijn beweging in massa toeneemt, ondervindt daardoor een tegenwerkende kracht:

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v. \quad (1)$$

Voor de tegenwerkende kracht op Pioneer-10 ten gevolge van het 'opvegen' van het stof geldt:

$$F = A\rho v^2. \quad (2)$$

Hierin is:

- $\rho$  de stofdichtheid in  $\text{kg m}^{-3}$ ;
- $A$  de frontale oppervlakte van Pioneer-10 in  $\text{m}^2$ ;
- $v$  de snelheid van Pioneer-10 in  $\text{ms}^{-1}$ .

3p **11** Leid formule (2) af. Maak gebruik van formule (1) en van formules uit Binas.

De snelheid van Pioneer-10 blijkt iets sterker af te nemen dan verklaard kan worden door de aantrekkingskracht van het zonnestelsel. Als de extra vertraging het gevolg is van bovenstaande tegenwerkende kracht, is daarmee de waarde voor de stofdichtheid van de Kuipergordel te bepalen.

De antenneschotel van Pioneer-10 heeft een diameter van 2,74 m. De frontale oppervlakte van Pioneer-10 is gelijk aan de oppervlakte van de antenneschotel. Op een bepaalde plaats in de Kuipergordel had Pioneer-10 (massa = 241 kg) een snelheid  $v$  van  $1,23 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$  en ondervond een extra vertraging van  $8,74 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-2}$ .

3p **12** Bereken hieruit de stofdichtheid op die plaats in de Kuipergordel, als aangenomen wordt dat deze extra vertraging volledig veroorzaakt wordt door het 'opvegen' van het stof.