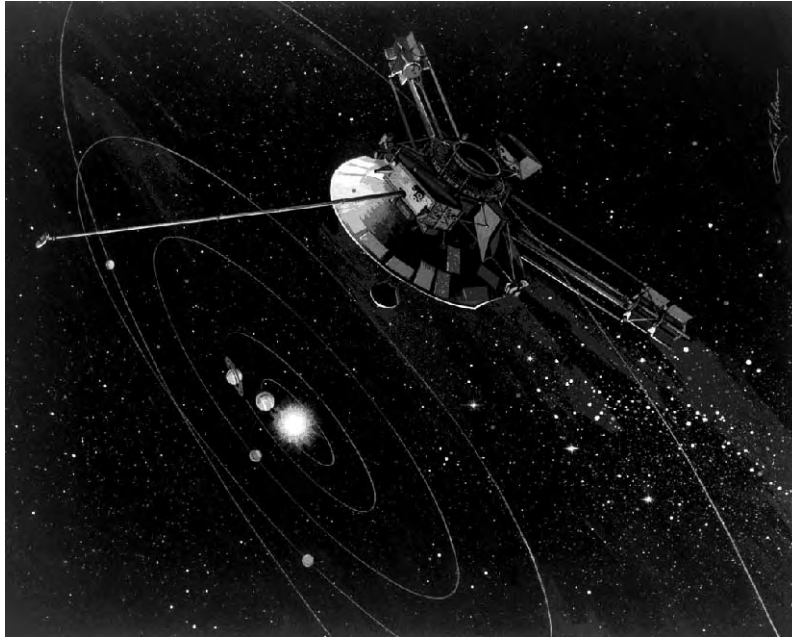


Opgave 2 Pioneer-10

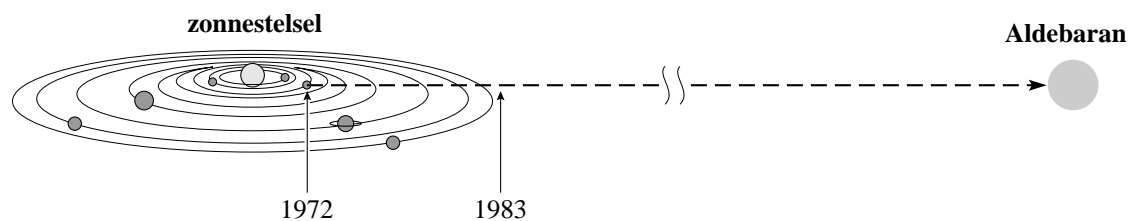
De verkenner Pioneer-10 werd gelanceerd in 1972 en was in 1983 het eerste ruimtevaartuig dat ons zonnestelsel verliet. Zie de 'artist impression' in figuur 1.

figuur 1



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 5 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_{gem} minder dan 2,6 AE per jaar is door de invloed van de zon. Maaïke meent dat v_{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 6 Leg uit wie er gelijk heeft.

Pioneer-10 kan het zwaartekrachtveld van de zon alleen verlaten als de kinetische energie van de Pioneer-10 groter is dan de bindende gravitatie-energie.

Voor de bindende gravitatie-energie E_g geldt:
$$E_g = G \frac{mM}{r}.$$

Hierin is:

- G de gravitatieconstante;
- M de massa van de zon;
- m de massa van Pioneer-10;
- r de afstand van Pioneer-10 tot de zon.

- 4p **7** In 1983 bevond Pioneer-10 zich op een afstand $r = 6,2 \cdot 10^{12}$ m van de zon. Toon aan dat zijn snelheid dan ruimschoots voldoende is om uit het zonnestelsel te ontsnappen.

Pioneer-10 beweegt op zijn reis door de Kuipergordel. Dit is een gebied van ijzig 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:

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

- 3p **8** 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 **9** 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.