

## Jupiter ‘fly-by’

Lees het artikel.

Een ruimteverkenner ( $m = 1,0$  ton) die het zonnestelsel wil verlaten, moet voldoende snelheid hebben om aan de aantrekkingskracht van de zon te ontsnappen. Daarom wordt een ruimteverkenner vaak bewust dicht langs planeten gestuurd, zodat hij gebruik kan maken van de aantrekkingskracht van een bewegende planeet. Dit noemt men een ‘fly-by’.

Door een fly-by langs Jupiter kregen ruimteverkenners als de Pioneers, de Voyagers en Ulysses extra snelheid om het zonnestelsel te kunnen verlaten.

Sanne en Christy bestuderen de fly-by. Daartoe stellen zij drie verschillende modellen op.

### model 1

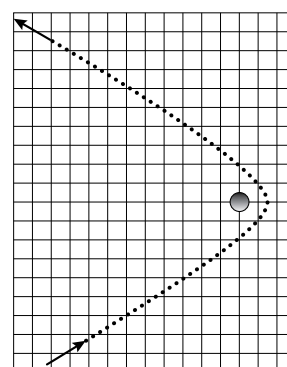
In dit model beweegt de verkenner om een stilstaande planeet. Zie figuur 1.

Christy beweert dat er uiteindelijk snelheidswinst ontstaat doordat de verkenner naar de planeet toe steeds sneller gaat.

1p 12 Waarom heeft Christy **geen** gelijk?

Om uiteindelijk snelheidswinst te boeken is het dus noodzakelijk dat de planeet zelf een snelheid heeft. Dit bestuderen ze in model 2.

**figuur 1**



### model 2

Als eerste berekenen ze dat de snelheid  $v_J$  van Jupiter in zijn baan om de zon gelijk is aan  $1,3 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$ .

3p 13 Laat dit zien met een berekening.

In model 2 stellen Sanne en Christy dat Jupiter een snelheid heeft in de negatieve  $x$ -richting. De verkenner beweegt op de manier die is aangegeven in figuur 2.

In figuur 2 zijn de posities van de verkenner en Jupiter op 12 tijdstippen weergegeven.

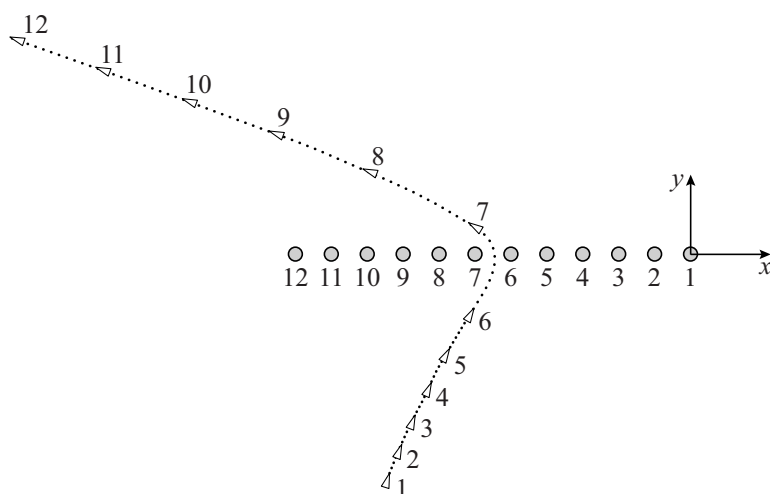
In figuur 3a is de situatie op tijdstip 1 weergegeven.

In figuur 3b is de situatie weergegeven als de verkenner het dichtst bij Jupiter is (ergens tussen de tijdstippen 6 en 7).

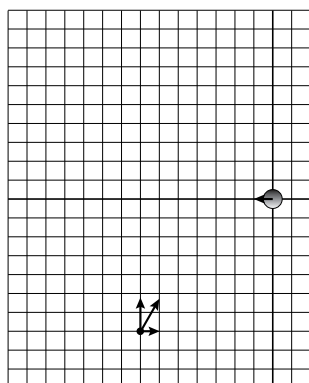
In figuur 3c is situatie op tijdstip 12 weergegeven.

De figuren 3a, 3b en 3c staan vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

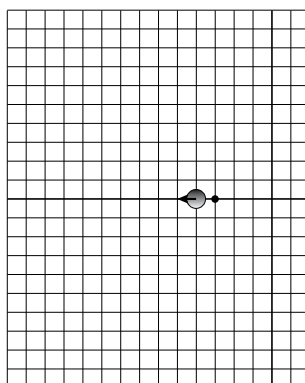
figuur 2



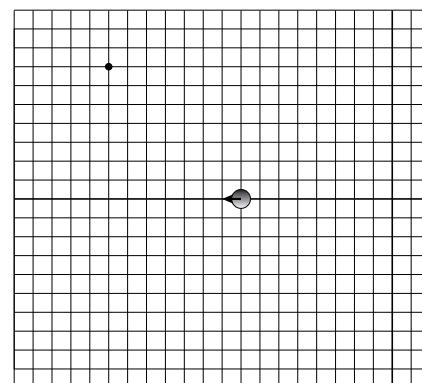
figuur 3a



figuur 3b



figuur 3c



De snelheid van de verkenners vóór de passage noemen ze  $v_{\text{voor}}$ ,  
 de snelheid ná de passage noemen ze  $v_{\text{na}}$ .  
 Model 2 levert eindsnelheden, die je kunt berekenen met de volgende  
 formules:

$$v_{\text{na},x} = 2v_j - v_{\text{voor},x} \tag{1}$$

$$v_{\text{na},y} = v_{\text{voor},y} \tag{2}$$

De verkenners haalt maximale winst aan kinetische energie als hij op de  
 heenweg **tegen** de bewegingsrichting van de planeet in beweegt.

1p 14 Waarom is dit zo?

De snelheidswinst ontstaat door het overdragen van de kinetische energie  
 van de planeet op de verkenners. De snelheidsverandering van Jupiter  
 daarbij is echter niet merkbaar.

2p 15 Leg dit uit.

3p 16 Construeer met behulp van model 2 in figuur 3c op de uitwerkbijlage de  
 snelheidsvector  $\vec{v}_{\text{na}}$  van de verkenners op de aangegeven plaats.

**model 3**

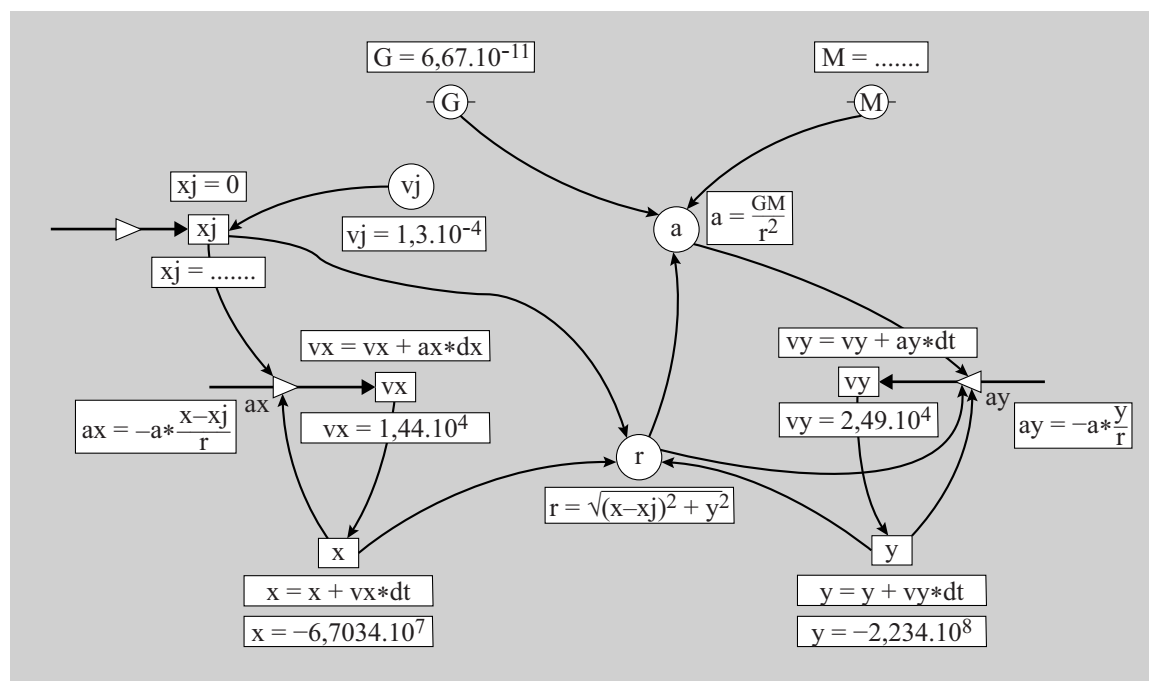
Dit is een computermodel.

Model 3 staat weergegeven in de figuren 4a en 4b en op de uitwerkbijlage.

**figuur 4a**

	<b>Modelregels</b>	<b>Startwaarden (SI)</b>
1	$r = ((x - x_j)^2 + y^2)^{0,5}$	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$
2	$a = GM/r^2$	$M = \dots\dots$
3	$a_x = -a \cdot (x - x_j)/r$	$v_x = 1,44 \cdot 10^4$
4	$a_y = -a \cdot y/r$	$v_y = 2,49 \cdot 10^4$
5	$v_x = v_x + a_x \cdot dt$	$x = -6,7034 \cdot 10^7$
6	$v_y = v_y + a_y \cdot dt$	$y = -2,234 \cdot 10^8$
7	$x = x + v_x \cdot dt$	$x_j = 0$
8	$y = y + v_y \cdot dt$	$v_j = -1,3 \cdot 10^4$
9	$x_j = \dots\dots$	$t = 0$
10	$t = t + dt$	$dt = 5$

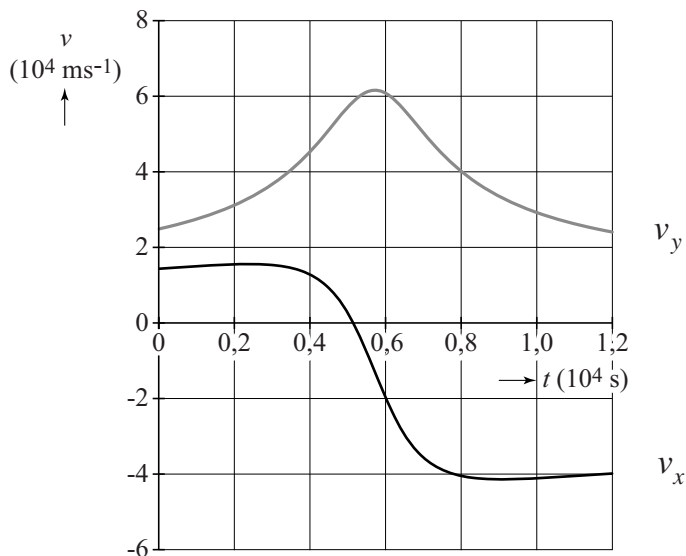
**figuur 4b**



- 3p 17 Voer over dit model de volgende opdrachten uit:
- Vul op de uitwerkbijlage de regel  $M = \dots\dots$  aan.
  - Vul op de uitwerkbijlage de regel  $x_j = \dots\dots$  aan.
  - Geef aan waarom gerekend wordt met  $(x-x_j)$  in plaats van met  $x$ .

De snelheden die volgen uit model 3 zijn weergegeven in figuur 5.

figuur 5



Model 2 van Sanne en Christy komt overeen met de snelheidsberekeningen van model 3 in figuur 5.

3p 18 Laat dit met behulp van getallen zien voor de formules (1) en (2).

Om op een bepaald *punt* uit het zonnestelsel te ontsnappen, moet de eindsnelheid  $v_{na}$  groter zijn dan een minimale waarde  $v_{min}$ .

Voor  $v_{min}$  geldt:

$$v_{min} = \sqrt{\frac{2GM_{zon}}{r}}$$

Hierin is:

- $M_{zon}$  de massa van de zon;
- $r$  de afstand tussen de satelliet en de zon.

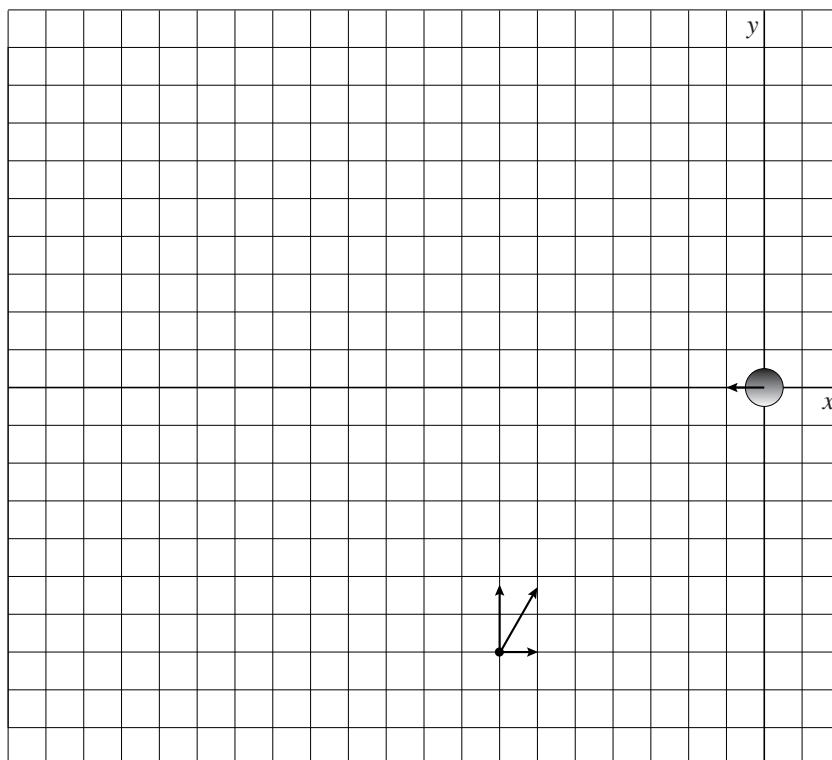
3p 19 Leid de formule voor  $v_{min}$  af met behulp van formules in BiNaS.

4p 20 Voer de volgende opdrachten uit:

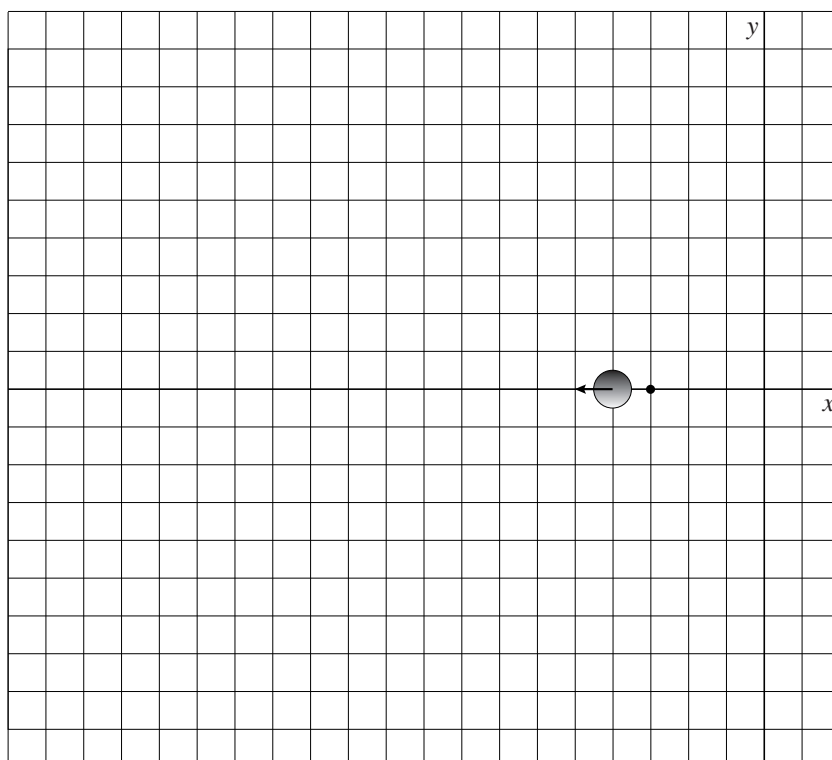
- Bepaal de eindsnelheid  $v_{na}$  die uit model 3 volgt.
- Laat zien met een berekening of deze eindsnelheid voldoende is om uit het zonnestelsel te ontsnappen.

uitwerkbijlage

16 figuur 3a

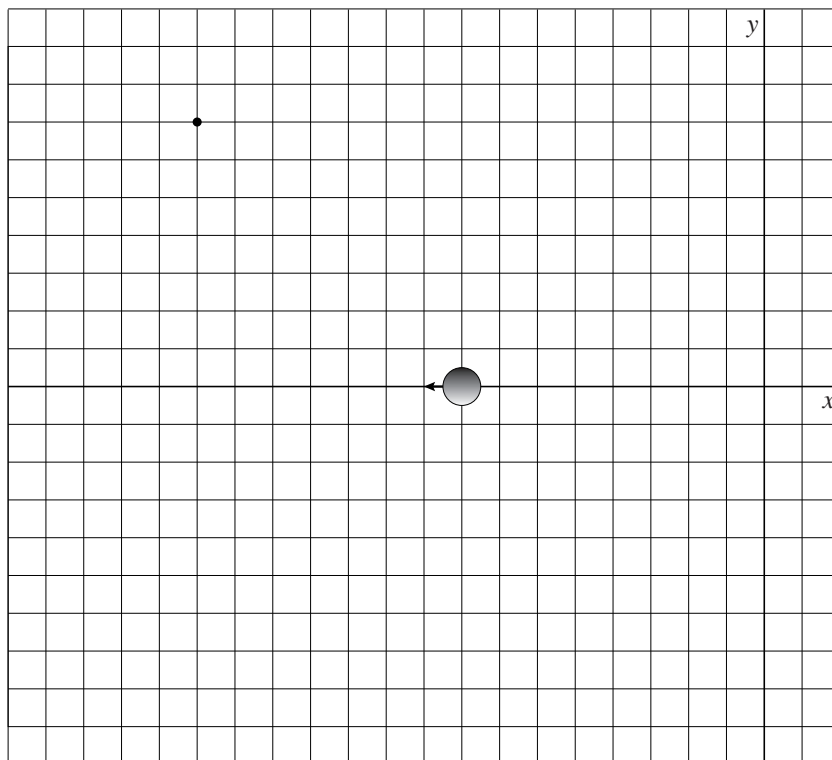


figuur 3b



uitwerkbijlage

figuur 3c



**uitwerkbijlage**

17

	<b>Modelregels</b>	<b>S (SI)</b>
1	$r = ((x - x_j)^2 + y^2)^{0,5}$	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$
2	$a = GM/r^2$	$M = \dots\dots$
3	$a_x = -a \cdot (x - x_j)/r$	$v_x = 1,44 \cdot 10^4$
4	$a_y = -a \cdot y/r$	$v_y = 2,49 \cdot 10^4$
5	$v_x = v_x + a_x \cdot dt$	$x = -6,7034 \cdot 10^7$
6	$v_y = v_y + a_y \cdot dt$	$y = -2,234 \cdot 10^8$
7	$x = x + v_x \cdot dt$	$x_j = 0$
8	$y = y + v_y \cdot dt$	$v_j = -1,3 \cdot 10^4$
9	$x_j = \dots\dots$	$t = 0$
10	$t = t + dt$	$dt = 5$

