**De baan van planeten en kometen in ons zonnestelsel**

In de zeventiende eeuw ontwikkelde Isaac Newton een methode om met zijn gravitatiewet de banen van de planeten en kometen in ons zonnestelsel te construeren. Hij kon het resultaat van zijn constructiemethode vergelijken met de echte, waargenomen banen van deze hemellichamen - en zo controleren of zijn gravitatie-wet juist was.

Newton moest de banen construeren met pen en papier. Tegenwoordig kan de computer dat veel sneller en nauwkeuriger. Met een aantal computer-simulaties ga je na dat de gravitatiewet van Newton niet alleen de beweging van de planeten in ons zonnestelsel verklaart (opdracht 1 t/m 3), maar ook de beweging van kometen (opdracht 4 en 5).

Planeetbanen

**1 De baan van Mars**

De computersimulatie *Newton-\_Mars* construeert (op schaal) de baan van Mars (het groene bolletje op het scherm) met de gravitatiewet van Newton bij een bepaalde waarde voor de massa van de zon. Die waarde kun je zelf instellen. De simulatie laat ook (op schaal) de echte, waargenomen beweging van Mars zien.

**a** Test de constructiemethode van Newton voor de planeet Mars met de computersimulatie. Dus: ga na of je een waarde voor de massa van de zon kunt vinden waarbij de berekende en de waargenomen baan van Mars samenvallen. Zo ja: noteer dan de waarde waarvoor dat lukt. Zo nee: geef dan aan welk(e) verschil(len) je niet kunt wegwerken.

**Opmerking** - Als je de planeet heel dicht langs de zon laat bewegen, krijg je onbruikbare resultaten.

Als de berekende en de waargenomen baan van Mars samenvallen, is het gelukt om de beweging van Mars met de gravitatiewet van Newton te verklaren.

**b** Volgt hier nu uit dat we met de gravitatiewet van Newton de beweging van alle planeten in ons zonnestelsel kunnen verklaren? Leg uit waarom wel of niet.

**2 De baan van de aarde**

De computersimulatie *Newton\_Aarde* construeert (op schaal) de baan van de aarde met de gravitatiewet van Newton bij een instelbare waarde van de massa van de zon. De simulatie laat ook (op schaal) de echte, waargenomen beweging van de aarde zien.

**a** Welke waarde van de massa van de zon zou je moeten instellen om de berekende en de waargenomen baan van de aarde te laten samenvallen? Leg uit waarom juist die waarde.

**b** Test de constructiemethode van Newton voor de planeet Aarde met de computersimulatie. Dus: ga na of bij de ingestelde waarde van de massa van de zon (vraag a) de berekende en de waargenomen baan van de aarde samenvallen.

**c** Volgt hier nu uit dat we met de gravitatiewet van Newton de beweging van alle planeten in ons zonnestelsel kunnen verklaren? Leg uit waarom wel of niet.

**3 Planeetbanen**

Met de computersimulatie *Winnende\_Stelsel* kun je de constructiemethode van Newton testen voor vier planeten tegelijk.

**a** Vallen de berekende en de waargenomen banen van de vier planeten inderdaad samen?

Op basis van zijn waarnemingen van de beweging van de planeten in ons zonnestelsel gaf Johannes Kepler het verband tussen de baanstraal *r* en de omlooptijd *T* van die planeten:

Later kon Isaac Newton met zijn gravitatiewet deze derde wet van Kepler ook afleiden.

De vier planeten in de computersimulatie zullen dus moeten bewegen volgens de derde wet van Kepler. Dat betekent: voor elk van de vier planeten zal de waarde van *r*3/*T*2 hetzelfde moeten zijn.

**b** Controleer of de beweging van de vier planeten in de computersimulatie voldoet aan de derde wet van Kepler. Noteer het resultaat van je metingen en berekeningen in de tabel hieronder.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| planeet | baanstraal *r* | omlooptijd *T* | *r*3/*T*2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

In de computersimulatie berekent de computer de baan van de planeten in ons zonnestelsel met de gravitatiewet van Newton. De computersimulatie laat zien dat de berekende en de waargenomen baan van deze planeten samenvallen. Dat betekent: met de gravitatiewet van Newton is de beweging van de planeten in ons zonnestelsel te verklaren.

Komeetbanen

De constructiemethode met de gravitatiewet van Newton werkt niet alleen voor de beweging van planeten, maar ook voor de beweging van kometen in ons zonnestelsel.

Bij deze constructiemethode wordt de beweging van een planeet of komeet opgedeeld in tijdstappen, bijvoorbeeld van een dag. Tijdens zo'n tijdstap neemt de computer aan dat de beweging eenparig is: de grootte en de richting van de snelheid zijn constant. Bij elke tijdstap rekent de computer met de gravitatiewet van Newton uit hoe groot de snelheid in die tijdstap is, welke richting die snelheid heeft en waar de planeet of komeet zich dan aan het eind van die tijdstap bevindt. Zo ontstaat een baan die bestaat uit lijnstukken die op elkaar aansluiten (zie figuur 1). Hoe kleiner de tijdstappen zijn, des te 'vloeiender' is de baan van de planeet of komeet die op het beeldscherm te zien is.

**4 Komeetbaan**

De computersimulatie *Constructie\_Komeet* construeert de baan van een komeet met tijdstappen van een dag. Met deze computersimulatie kun je de eigenschappen van een komeetbaan onderzoeken. Maar daarvoor moet je eerst de tijdstap instellen.

**a** Laat de computersimulatie lopen. Leg uit hoe je aan de getekende komeetbaan kunt zien dat de tijdstap van een dag te groot is. Halveer de tijdstap en laat de simulatie weer lopen. Geeft dat een duidelijke verbetering? Maak de tijdstap steeds kleiner. Bij welke waarde van de tijdstap is de simulatie naar jouw idee nauwkeurig genoeg?

**Opmerking** - Gebruik bij het instellen van de tijdstap een decimale punt in plaats van een komma.

**b** De baan van de komeet is een ellips. De snelheid van de komeet in zijn ellipsbaan is niet constant. Beschrijf hoe de snelheid verandert.

Met de computersimulatie is na te gaan of de baan van elke komeet een ellips is. Dat doe je door de beginsnelheid van de komeet aan te passen.

**c** Stel de tijdstap in op 0.20 en kies een iets andere waarde voor de snelheid. Is de komeetbaan nu ook een ellips?

**d** Wat verandert er aan de komeetbaan als je de snelheid iets kleiner of iets groter maakt? En hoe verandert daardoor de omlooptijd van de komeet rond de zon?

**5 De baan van de komeet Kirch**

Isaac Newton ontwikkelde zijn constructiemethode naar aanleiding van de

beweging van de komeet Kirch, waargenomen in 1680.

De computersimulatie *Constructie\_Kirch* construeert de baan van de komeet Kirch met tijdstappen van 0,2 dag. In deze computersimulatie zijn de berekende en de waargenomen baan te vergelijken. De komeet start in de waargenomen positie van 4 november 1680.

**a** Laat de computersimulatie lopen tot de komeet bij de volgende waargenomen positie is. Zet de simulatie dan stil met de pauzeknop. Na hoeveel dagen is de komeet aangekomen op de positie van 19 november 1680? Klopt dat met de waarnemingen?

**b** Laat de computersimulatie verder lopen en beschrijf wat er gebeurt in de buurt van de zon.

**Opmerking** - In de computersimulatie is zowel de zon als de komeet veel te groot getekend. Daardoor lijkt het alsof de komeet door de zon heen gaat. In werkelijkheid is dat dus niet het geval.

De computersimulatie beschrijft in de buurt van de zon duidelijk niet de werkelijke baan. De oorzaak daarvan is een te grote tijdstap.

**c** Verklein de tijdstap met een factor 10. Geeft dat een beter resultaat? Vind je het resultaat nu goed genoeg? Zo nee, maak de tijdstap dan nog kleiner tot je het resultaat wél goed genoeg vindt.

**d** Volgt hier nu uit dat we met de gravitatiewet van Newton de beweging van alle kometen in ons zonnestelsel kunnen verklaren? Leg uit waarom wel of niet.

In de computersimulatie berekent de computer de baan van de komeet Kirch in ons zonnestelsel met de gravitatiewet van Newton. De computersimulatie laat zien dat de berekende en de waargenomen baan van deze komeet samenvallen. Dat betekent: met de gravitatiewet van Newton is de beweging van de komeet Kirch in ons zonnestelsel te verklaren. En dat zal dan ook wel het geval zijn voor alle andere kometen.