

TENTAMEN PLANETENSTELSELS

01 JUNI 2015, 14.00- 17.00

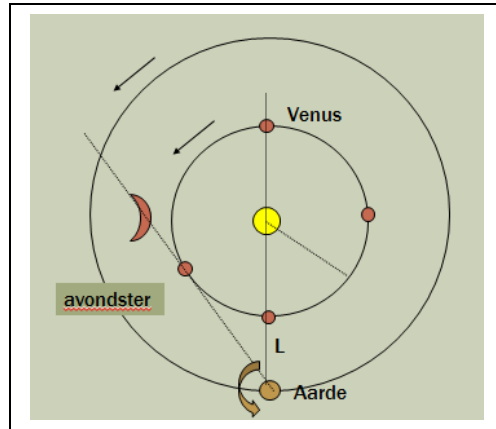
LEES ONDERSTAANDE GOED DOOR:

- ▶ **DIT TENTAMEN OMVAT DRIE OPGAVES.**
- ▶ **OPGAVE 1: 3.0 PUNTEN**
OPGAVE 2: 3.0 PUNTEN
OPGAVE 3: 2.0 PUNTEN
- ▶ **HET EINDCIJFER OMVAT DE DRIE TENTAMENOPGAVES EN HET PUNT VOOR HET WERKCOLLEGE.**
- ▶ **BELANGRIJK:**
MAAK IEDERE OPGAVE OP EEN SEPARAAT BLAD, OMDAT DE OPGAVES AFZONDERLIJK WORDEN NAGEKEKEN.
- ▶ **SCHRIJF OP IEDER BLAD JE NAAM EN STUDENTNUMMER**
- ▶ **SCHRIJF DUIDELIJK EN WERK OVERZICHTELIJK**
- ▶ **KLAD WORDT NIET NAGEKEKEN**
- ▶ **HET GEBRUIK VAN EEN REGULIERE REKENMACHINE IS TOEGESTAAN**
- ▶ **BIJ CONSTATERING VAN FRAUDE WORDT VERDERE PARTICIPATIE AAN HET TENTAMEN UITGESLOTEN**
- ▶ **HEEL VEEL SUCCES**
EN ALVAST EEN GOEDE VAKANTIE TIJD TOEGEWENST !

OPGAVE 1

- a) Op 6 juni a.s. bereikt Venus zijn grootste schijnbare afstand tot de zon en is dan een groot deel van de avond te zien. Teken in een diagram hoe Venus t.o.v. de Zon en Aarde staat. Teken hoe Venus er die avond uitziet, gezien door een telescoop.

Zie HC2 – slide 6. Als avondster staat Venus 'links' van de zon en de grootste schijnbare afstand wordt bereikt zoals hieronder weergegeven. Op dat moment is Venus ongeveer voor een kwart verlicht.



- b) Jupiter staat op een afstand van 5.2 AU van de zon, Saturnus staat op een afstand van 9.5 AU. Bereken hoeveel jaren er zitten tussen twee opeenvolgende opposities.

Dit is niets anders dan de "synodische periode" die wordt berekend volgens

$$1/P_{\text{syn}} = 1/P_{\text{jup}} - 1/P_{\text{sat}} \text{ ofwel } P_{\text{syn}} = 1/[(1/P_{\text{jup}}) - (1/P_{\text{sat}})]$$

Bereken dus de omlooptijden m.b.v. Kepler; $P^2/a^3 = 1$ (met P in jaren en a in A.U.). Daaruit volgt

$$P(\text{Jupiter}) = [5.2^3]^{1/2} = 11.86 \text{ jaar}$$

$$P(\text{Saturnus}) = [9.53]^{1/2} = 29.28 \text{ jaar}$$

$$\text{Invullen levert: } 1/[1/11.86 - 1/29.28] = 19.92 \text{ jaar}$$

Je kunt dit ook zelf beredeneren: twee planeten staan op een lijn en dat gebeurt weer, wanneer bij de volgende ronde de snellere planeet de langzamere planeet heeft ingehaald. Mathematisch betekent dit, dat je naar een gemeenschappelijke veelvoud moet zoeken:

$$(x+1) \cdot 11.86 = x \cdot 29.28 \rightarrow 11.86 x + 11.86 - 29.28 x = 0 \rightarrow x = 0.68$$

Dus ze staan weer op een lijn na $11.86 (1 + 0.68)$ of $0.68 (29.28) = 19.92$ jaar

- c) Leg uit waarom de waarde van het baanelement inclinatie (i) van Pluto vergeleken met dat van de planeten in ons zonnestelsel inzicht biedt in de oorsprong van Pluto ?

Alle planeten in ons zonnestelsel hebben een inclinatie die in de buurt van 0 ligt, indicatief voor een gemeenschappelijke ontstaans-geschiedenis, nl. uit een gemeenschappelijke proto-planetaire schijf. Voor Pluto wijkt i flink af en zeer waarschijnlijk is Pluto dus later ingevangen (uit de Oort wolk). Mogelijk heeft Pluto ook een of meerdere botsingen ondergaan.

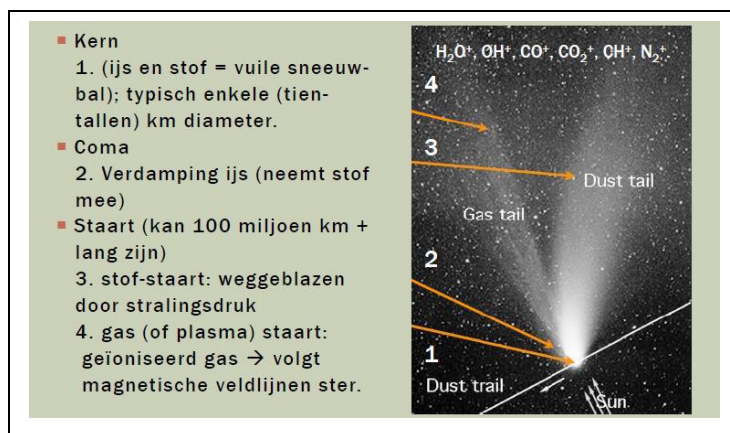
- d) Waarom kun je op Jupiter wel poollicht zien en op Mars niet ? Leg kort uit.

Poollicht ontstaat wanneer geladen deeltjes langs de veldlijnen van een planetair magnetisch veld 'inslaan' op de magnetische polen van de planeet. Mars heeft geen en Jupiter heeft wel een magnetisch veld; dit hangt samen met de opbouw van de kern van de planeten. Bij Jupiter (gasreus) zorgt metallisch waterstof voor een magneetveld, bij Mars (rotsplaneet) zou zo iets alleen via een vloeibare ijzerkern kunnen worden gerealiseerd. Die ontbreekt bij Mars.

- e) In de baan van Jupiter is een groot aantal Planetoïden stabiel ingevangen. Hoe heten de punten waar zich deze planetoïden bevinden en hoe groot is de afstand van Jupiter tot deze ingevangen Planetoïden? Je mag de massa van Jupiter verwaarlozen.

Deze Planetoïden (de zogenaamde Trojanen) worden ingevangen op de baan-Lagrange punten L4 en L5. Deze beide punten bevinden zich op de baan van Jupiter (bijna) even ver van Jupiter als van de zon – alleen dan is de netto zwaartekracht nul – en dus moet de afstand van Jupiter tot Trojanen net zo groot zijn als de afstand van Jupiter tot de Zon: ongeveer 5.2 AU (zie opg. 1b en HC2 - slide 36).

- f) Teken een komeet (in de nabijheid van de zon) en geef de positie van kern en coma weer evenals beide staarten. Leg uit wat beide staarten feitelijk laten zien en waarom ze niet samenvallen. Vergeet niet de bewegingsrichting van de komeet en de richting naar zon aan te geven.



- g) Voordat de komeet Shoemaker-Levy insloeg op Jupiter viel deze in fragmenten uit elkaar. Hoe kwam dat ?

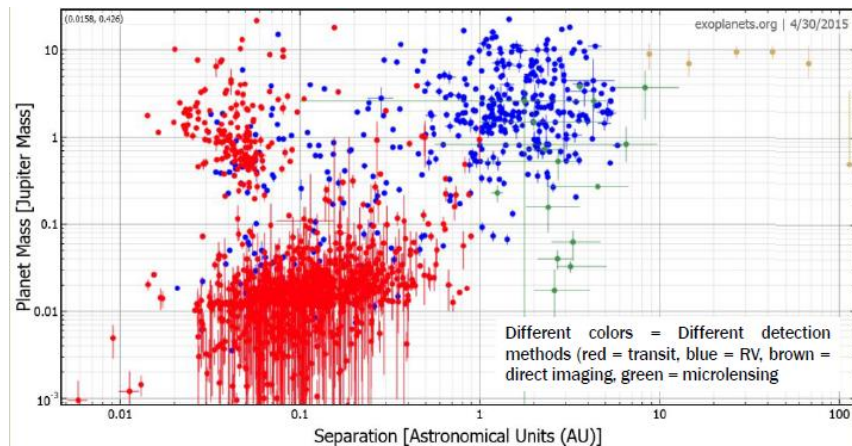
De getijdenkracht van Jupiter was groter dan het interne strekvermogen van de komeet waardoor deze uiteen werd gereten. Anders gezegd: de Roche limiet werd overschreden.

- h) Waarom zijn de maantjes van Mars niet rond ?

Ze zijn niet groot/zwaar genoeg (minder dan 500 km voor een rotsplaneet) om 'rots stroombaar te maken' en daarmee het materiaal een mogelijkheid te bieden om zich te vervormen tot zijn optimale energie toestand, een bolvorm. Zie HC4 – slides 3-5.

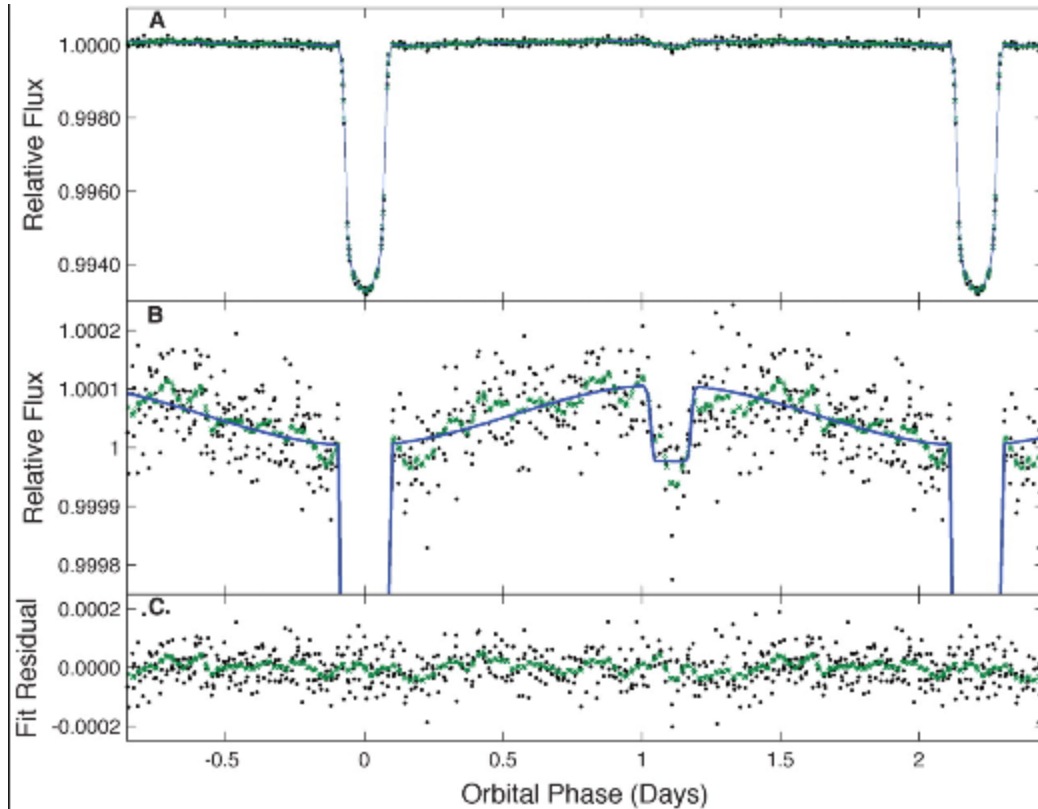
OPGAVE 2

- a) In de figuur staan alle exo-planeten (massa vs. afstand tot ster) die eenduidig zijn toegekend. Verschillende kleuren staan voor verschillende detectie methodes. Blijkbaar hangt het soort exo-planeten dat wordt ontdekt, samen met de methode die voor de detectie wordt gebruikt. Leg uit.



De detectiemethodes (transits, radial velocity/Doppler, direct imaging, microlensing en astrometrie) komen met voor- en nadelen. Grote planeten die dicht in de buurt staan van hun ster zijn veel gemakkelijker te zien m.b.v. een transit of astrometrische methode, dan een kleinere planeet die op grotere afstand staat. Planeten die zeer regelmatig rond hun ster draaien, zijn gemakkelijker te vinden met de transit methode dan planeten die er veel langer over doen om een minimum te veroorzaken (dit is de rede dat de rode spots typisch rond 0.1 AU liggen). RV waarden zijn weer gemakkelijker te detecteren voor zwaardere planeten die verder van hun ster staan; er moet een goed meetbaar Dopplereffect zichtbaar zijn. Direct imaging is alleen mogelijk, wanneer het magnitude verschil overbrugbaar is, dus bv. rond een minder heldere ster en op voldoende grote afstand (in het diagram rond 10 AU).

In de jacht op exoplaneten spelen zogenaamde Hot Jupiters een belangrijke rol. Een zo'n Hot Jupiter is Kepler-2b, die met een omlooptijd van 2.204 dagen om een gele witte dwerg draait (schijnbare magnitude $m^* = 10.5$, afstand 320 pc, $T = 6441$ K). In de figuur staat de transit curve weergegeven. Ga uit van een volledige bedekking.



- b) Bereken de afstand van deze exoplaneet tot zijn ster. De massa van deze ster bedraagt $1.47 M_{\text{zon}}$.

Zie HC2 – slide 16. Gebruik Newton: $P^2/a^3 = 4\pi^2/(GM)$

[let op: omdat de massa van de ster niet gelijk is aan die van de zon, kun je hier niet de truc $P^2/a^3 = 1$ gebruiken; gebruik SI eenheden]

$$a = [GMP^2/4\pi^2]^{1/3} =$$

$$[(6.668 \cdot 10^{-11} \cdot 1.47 \cdot 1.99 \cdot 10^{30}) (2.204 \cdot 24 \cdot 3600)^2 / 39.48]^{1/3} =$$

$$5.64 \cdot 10^9 \text{ m} = 0.0377 \text{ AU}$$

- c) Is het waarschijnlijk dat deze planeet ook op deze afstand tot de ster is gevormd? Leg uit.

Nee; in de nabijheid van de ster is er simpelweg te weinig materiaal voorhanden om een grote planeet te vormen. Zeer waarschijnlijk is de nabijheid tot de ster een gevolg van planetaire migratie.

d) Bereken de straal van de exo-planeet.

De straal van de exo-planeet kun je afleiden uit de flux reducering tijdens de transit; zie HC7 – slide 17. De waarde die je afleest uit de figuur is 0.994.

Tijdens de bedekking geldt:

$$(R_*^2 - R_{\text{exo}}^2) / R_*^2 = 1 - (R_{\text{exo}}/R_*)^2 = 0.994 \rightarrow$$

$$R_{\text{exo}}^2 = (1 - 0.994) R_*^2 = 0.006 R_*^2 \rightarrow R_{\text{exo}} = 0.077 R_*$$

Nu dus nog R_* afleiden en dit kan m.b.v. de gegevens in de opgave:

Stap 1) $M_* - m_* = 5 - 5 \log D(\text{pc}) \rightarrow$

$$M_* = m_* + 5 - 5 \log D(\text{pc}) = 10.5 + 5 - 5 \log(320) = 2.97$$

Stap 2) $M_* - M_{\text{zon}} = -2.5 \log (L_*/L_{\text{zon}}) \rightarrow$

$$L_* = 10^{(4.72-2.97)/2.5} L_{\text{zon}} = 5.81 \cdot L_{\text{zon}} = 5.81 \cdot 3.83 \cdot 10^{26} = 2.23 \cdot 10^{27} \text{ W}$$

Stap 3) $L_* = 4\pi R_*^2 \sigma T^4 \rightarrow R_* = [L_* / (4\pi\sigma T^4)]^{1/2}$

$$[2.23 \cdot 10^{27} / 4\pi \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 6441^4]^{1/2} = 1.35 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$\text{Dus } R_{\text{exo}} = 0.077 \cdot 1.35 \cdot 10^9 = 1.04 \cdot 10^8 \text{ m} = 1.49 R_{\text{jup}}$$

(literatuurwaarde 1.421 RJ zijn, met $R_{\text{jup}} = 69900 \text{ km}$)

e) Kun je – in principe – uit het gegeven figuur de albedo van deze exo-planeet afleiden? Leg uit.

Dit kan en wel m.b.v. het secundaire minimum zoals dat in figuur b staat aangeduid. Dit wordt veroorzaakt doordat gereflecteerd licht van het oppervlak van de planeet door de ster wordt geblok op het moment dat de planeet achterlangs beweegt (vanaf de aarde gezien). Door naar het verschil in lichtintensiteit van voor en tijdens de bedekking te kijken, kun je afleiden hoeveel licht de planeet reflecteert (ervan uitgaande dat je thermische emissie mag verwaarlozen) en daarmee bepaal je de albedo.

Opgave 3

a) Leg uit hoe een meteor en hoe een meteoriet informatie biedt over de oorsprong van ons zonnestelsel.

Meteor en meteorieten die het aardoppervlak bereiken – meteorieten – zijn opgebouwd uit stof van asteroiden en kometen, objecten die geassocieerd worden met de oorsprong van ons zonnestelsel. Tijdens

de intrede in de atmosfeer verbrandt de meteor (grotendeels) en het lichtend spoor kan spectroscopisch worden onderzocht. Specifieke spectraallijnen geven informatie over de aan/afwezigheid van bepaalde componenten. Bereikt de meteor het aardoppervlak, dan kan de meteoriet in het laboratorium worden onderzocht. Samenstelling en structuur geven informatie over de chemische componenten en de fysische processen (bv. extreme verhitte) die het brokstuk heeft ondergaan.

- b) Zet in de juiste volgorde; op 1 wat het dichtst bij de zon staat/begint en op 10 wat zich het verst weg bevindt.

Oort wolk, L2, Kuiper belt object, Voyager 1, Kirkwood gaps, van Allen gordel, perihelium Mars, Titan, heliopauze en Io plasma torus.

Van Allen gordel, L2, perihelium Mars, Kirkwood gaps, Io plasma torus, Titan, Kuiper belt object, Heliopause, Voyager 1, Oort wolk

- c) Leg systematisch uit hoe planeten ontstaan.

- 1) Een interstellaire wolk met een massa $>$ Jeans massa stort onder zijn eigen zwaartekracht ineen.
- 2) De materie verdicht verder, hoekmoment wordt overgedragen, waarbij een accretieschijf ontstaat.
- 3) In het centrum ontstaat een nieuwe ster; het materiaal daaromheen – vooral stof - klontert samen tot planeten.
- 4) Wanneer deze groot genoeg zijn, kan er ook om een planeet een accretieschijf ontstaan, waaruit manen vormen.
- 5) De nieuwe planeten moeten hun stabiele baan (bepaald door de gravitatie van ster en andere planeten) zien te vinden.
- 6) De oorspronkelijke baan, mogelijke migratie en de uiteindelijke baan zijn medebepalend voor de chemische samenstelling (bv. rots vs gas/ijsplaneten).
- 7) Stof en gas worden verder opgeveegd; uiteindelijk blijven een aantal planeten over die over honderden miljoenen jaren een gravitationeel stabiel systeem opleveren.

- d) Maanbevingen zijn aanzienlijk onwaarschijnlijker dan Venusbevingen. Leg uit waarom.

De Maan heeft een aanzienlijk dikkere lithosfeer waardoor platentektoniek geen belangrijke rol speelt.