

TENTAMEN PLANETENSTELSELS

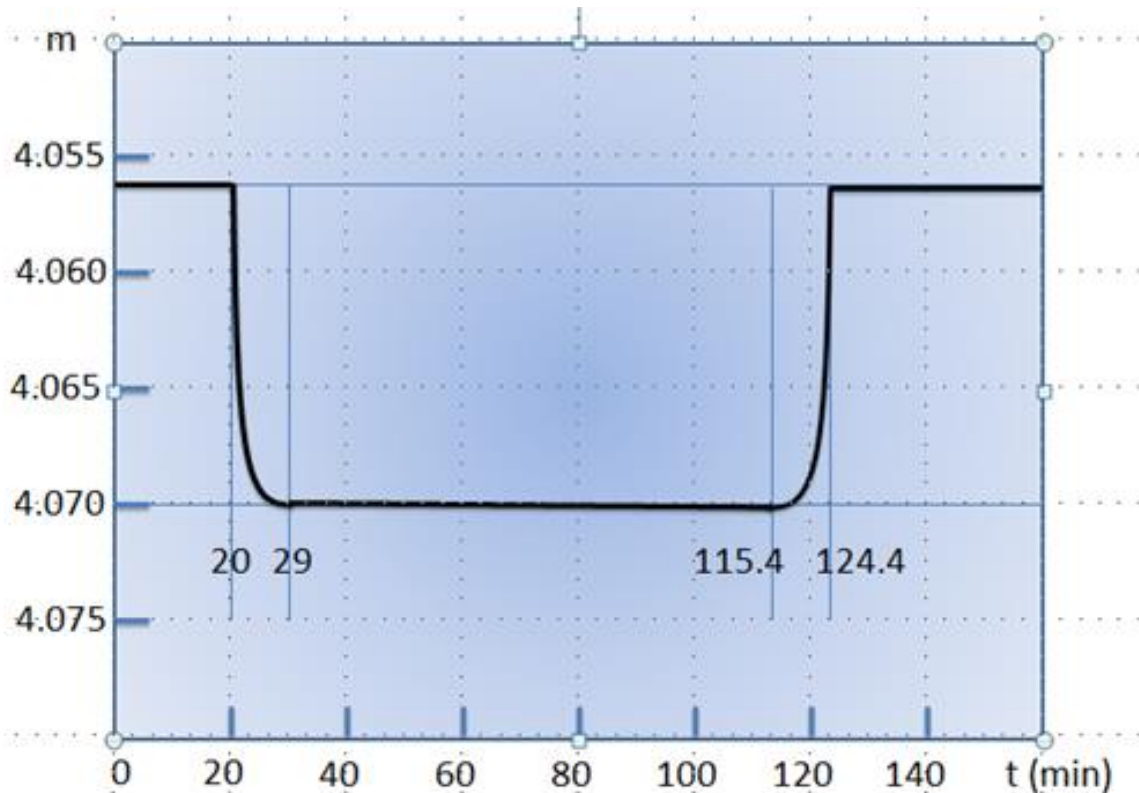
11 JULY 2016, 14.00- 17.00 UUR

LEES ONDERSTAANDE GOED DOOR:

- ▶ DIT TENTAMEN OMVAT DRIE OPGAVES.
- ▶ OPGAVE 1: 3 PUNTEN
OPGAVE 2: 2.5 PUNTEN
OPGAVE 3: 2.5 PUNTEN
- ▶ HET EINDCIJFER IS DE SOM VAN DE SCORE VOOR DE DRIE TENTAMENOPGAVES EN HET PRAKTIKUM/WERKCOLLEGE.
- ▶ **BELANGRIJK:**
DE OPGAVES WORDEN SEPARAAT NAGEKEKEN. MAAK DAAROM IEDERE OPGAVE OP EEN SEPARAAT BLAD.
- ▶ SCHRIJF OP IEDER BLAD JE NAAM EN JE STUDENTNUMMER
- ▶ SCHRIJF DUIDELIJK EN WERK OVERZICHTELIJK
- ▶ KLAD WORDT NIET NAGEKEKEN
- ▶ HET GEBRUIK VAN EEN REGULIERE REKENMACHINE IS TOEGESTAAN
- ▶ EEN OVERZICHT VAN CONSTANTEN EN ENIGE VEEL GEBRUIKTE GETALLEN (O.A. ZONNE PARAMETERS) IS BIJGEVOEGD.
- ▶ LAAT BIJ HET INLEVEREN VAN HET TENTAMEN JE COLLEGE KAART ZIEN.
- ▶ **BIJ CONSTATERING VAN FRAUDE WORDT VERDERE PARTICIPATIE AAN HET TENTAMEN UITGESLOTEN**
- ▶ HEEL VEEL SUCCES

OPGAVE 1

Gegeven is een gedetailleerde transit curve van de bedekking van een zonachtige ster – je mag dus alle zonne-constanten gebruiken – door een exoplaneet.



a) Bereken in parsec op welke afstand de ster staat.

Gebruik $m_1 - m_2 = -2.5 \log S_1/S_2$ met voor $m_2 = -26.74$ en $S_2 = 1360 \text{ W/m}^2$, de referentie waarden voor de zon en voor m_1 en S_1 de waarden voor de ster, dus m^* en S^* . Uit het diagram volgt $m^* = 4.056$ (dus zonder transit).

$$\rightarrow S^* = S_2 \cdot 10^{(m_2 - m^*)/2.5} = 1360 \cdot 10^{(-26.74 - 4.056)/2.5} = 6.533 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$$

Verder weet je

$$\begin{aligned} \rightarrow S^* &= L/4\pi r^2 \rightarrow r = [L/4\pi S^*]^{1/2} = [3.83 \cdot 10^{26} / 4\pi \cdot 6.533 \cdot 10^{-10}]^{1/2} = \\ &= 2.16 \cdot 10^{17} \text{ m} \sim 7 \text{ parsec} \end{aligned}$$

b) Bereken de straal van de exo-planeet.

Bepaal hiertoe de fluxafname tijdens de bedekking.

$$\rightarrow S^*_{tr} = S_2 \cdot 10^{(m_2 - m^*_{tr})/2.5} = 1360 \cdot 10^{(-26.74 - 4.070)/2.5} = 6.45 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$$

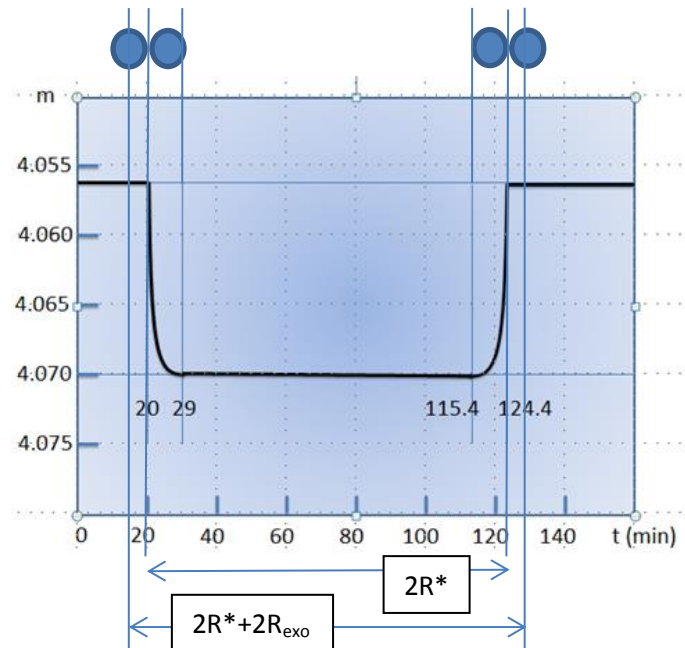
De flux moet inderdaad iets kleiner zijn dan zonder transit (zie antwoord a). Vervolgens weet je hoe de flux afname gekoppeld is aan het oppervlak dat wordt bedekt tijdens de transit.

$$\rightarrow S_{tr}^* = S^*(1 - (R_{exo}/R^*)^2) \rightarrow S_{tr}^*/S^* = 1 - (R_{exo}/R^*)^2$$

$$\rightarrow R_{exo}/R^* = [1 - S_{tr}^*/S^*]^{1/2} \rightarrow R_{exo} = R^* [1 - S_{tr}^*/S^*]^{1/2}$$

$$= 696500 \cdot [1 - 6.45/6.533]^{1/2} \sim 78500 \text{ km}$$

c) Bereken de baansnelheid van de exo planeet om zijn ster.



De afstand die de planeet overbruggt op het moment dat de bedekking begint en totdat deze eindigt bedraagt: $2R^* + 2R_{exo} = 1393000 + 157000 = 1550000$ km en hierover doet de exoplaneet 104.4 minuten (= 6264 s). Zie diagram.

$$\rightarrow 1550000 / 6264 = 247.4 \text{ km/s.}$$

Alternatief: 9 minuten nodig voor $2R_{exo}$: 290 km/s (afrondding issue)

d) Bereken de omlooptijd van deze exo-planeet om zijn ster.

Uit de baansnelheid kun je de afstand tot de ster berekenen. Immers

$$v = [GM/a]^{1/2} \rightarrow a = GM / v^2$$

$$= (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.99 \cdot 10^{30}) / (247.4 \cdot 10^3)^2 =$$

$$2.17 \cdot 10^9 \text{ m} = 0.015 \text{ AU}$$

Via Kepler volgt dan:

$$P_{[jaar]}^2 / a_{[AU]}^3 = 1 \rightarrow P \sim 0.7 \text{ dag}$$

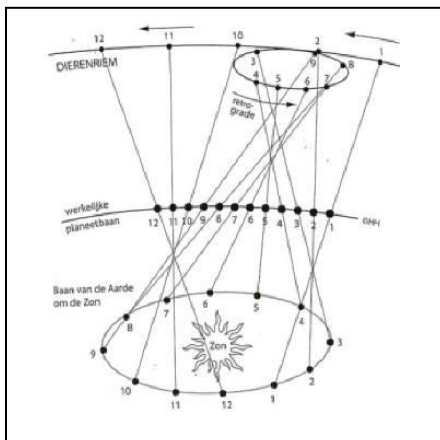
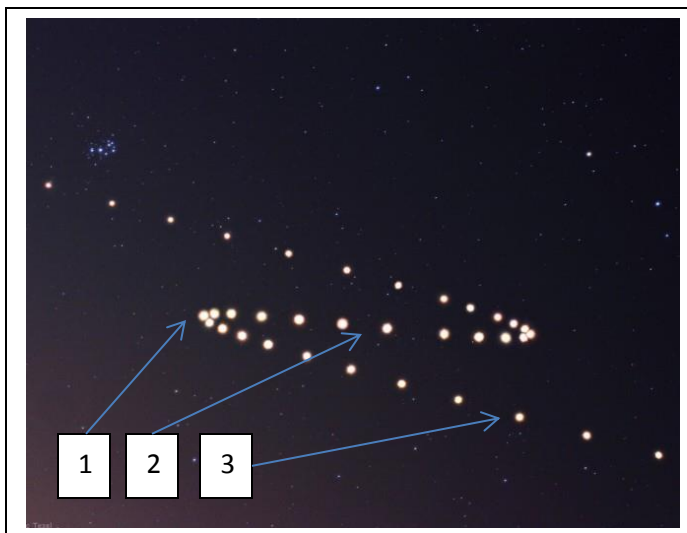
e) Wat is (in benadering) de temperatuur aan het oppervlak van deze 'Hot Jupiter' ? Neem als $T^* = 6000 \text{ K}$.

$$T_{\text{exo}} = (r^*/2a)^{1/2} T^* = (696500 \cdot 10^3 / 2 \cdot 2.17 \cdot 10^9)^{1/2} 6000 \sim 2400 \text{ K}$$

OPGAVE 2

a) Mars staat op een afstand van 1.52 AU en voert geregeld vanaf de Aarde gezien een retrograde beweging uit aan de hemel. Dit is op de foto weergegeven.

- Leg met een tekening uit, hoe dit profiel tot stand komt.
- Op welk moment zijn Mars en Aarde in oppositie (positie 1, 2 of 3 ?)
- Hoe kun je het moment van oppositie ook nog op een andere manier in de foto herkennen ?



- Zie tekening links
- Oppositie bij 2
- Tijdens oppositie is de afstand minimaal en de planeet dus ook het helderste. Dit is duidelijk in de foto te zien.

- b) Hoeveel tijd zit er tussen twee opeenvolgende opposities van de planeten Aarde en Mars ?

Bereken hiertoe eerst de "synodische periode" die wordt bepaald volgens

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

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

$$P(\text{mars}) = [1.52^3]^{1/2} = 1.87 \text{ jaar}$$

P (Aarde) is bekend en 1 jaar

Invullen levert: $1/[1/1 - 1/1.87] = 2.15 \text{ jaar}$

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:

$$(x+1) \cdot 1 = x \cdot 1.87 \rightarrow 0.87 \cdot x = 1 \rightarrow x = 1.15 \text{ jaar}$$

Dus ze staan weer op een lijn na (voor Mercurius) 1 (1 + 1.15) of 2.15 jaar.

- c) Tijdens oppositie lijkt de schijnbare diameter van Mars 9". Bereken de valversnelling op het oppervlak van Mars wanneer gegeven is dat haar massa $6.4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$ bedraagt.

$$F_{g,\text{mars}} = Gm_1m_{\text{mars}}/r^2 = m_1g_{\text{mars}}$$

Je moet dus de straal te weten komen.

Tijdens oppositie is de afstand minimaal, dus $1.52 - 1 = 0.52 \text{ AU}$. Je kunt met een driehoekje dan de straal van Mars berekenen.

$$\text{tg}(9'') = r_{\text{mars}} / (0.52 \cdot 149.6 \cdot 10^6 \text{ km})$$

$$\rightarrow r_{\text{mars}} = 43.6 \cdot 10^{-6} \cdot 77.79 \cdot 10^6 \sim 3390 \text{ km}$$

Nu invullen:

$$\rightarrow g_{\text{mars}} = Gm_{\text{mars}}/r^2 = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 6.4 \cdot 10^{23} / (3390 \cdot 10^3)^2 = 3.71 \text{ m/s}^2$$

- d) Mars heeft twee maantjes. Beide hebben een onregelmatige vorm en dat komt doordat ze niet groot genoeg zijn om voldoende zwaartekracht te genereren om het gesteente in een bolvorm te transfereren. Wat zou de oorzaak kunnen zijn dat de maantjes niet groot genoeg zijn ?

Het meest waarschijnlijke scenario is, dat de beide maantjes geen echte manen zijn (d.w.z. samen met Mars ontstaan in een planetaire disk), maar dat het ingevangen objecten zijn uit de asteroïden gordel.

- e) Een van de twee maantjes, Phobos, komt per ongeveer 2 meter dicht bij Mars. Wat verwacht je dat er uiteindelijk gaat gebeuren ?

Twee mogelijkheden: het maantje stort op het oppervlak van Mars, maar veel waarschijnlijker is, dat het door getijdenkrachten uit elkaar wordt getrokken (de maan blijkt vrij poreus te zijn) en dat het restmateriaal resulteert in een ring rond de planeet.

OPGAVE 3

- a) Er zijn 6 baanelementen. Welk(e) van deze elementen is/zijn voor kometen duidelijk anders dan voor planeten ? Leg uit hoe dat komt.

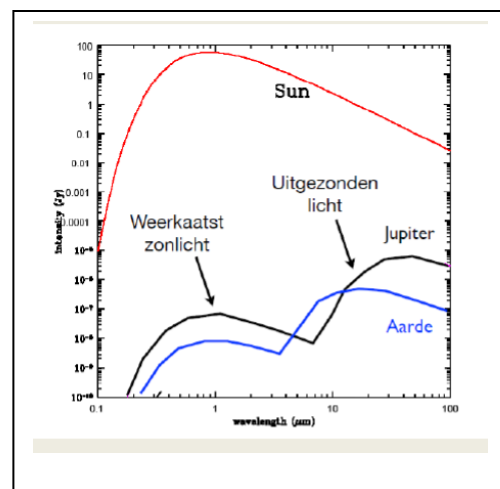
- Planeten bewegen zich over banen die in benadering bijna cirkelvormig zijn (dus $e \sim 0$); kometen volgen langgerekttere maar wel gesloten banen. De waarde van e is groter maar kleiner dan 1.
- Er zijn kometen die zich bewegen binnen onze planetengordel (dus de halve lange as a heeft waardes te vergelijken met die van onze planeten), maar er zijn ook kometen, die van veel verder komen, en dus ook een veel grotere a -waarde hebben.
- De periode van perihelion passage kan op grond van dezelfde reden zeer verschillend zijn en varieert van eens in de paar jaren tot eens in de vele honderden jaren.
- Kometen bevinden zich vaak niet in het vlak van de ecliptica, dus de inclinatie i is anders; ze hoeven niet te zijn ontstaan in het vlak van de protoplanetaire schijf.

- b) Leg uit waarom direct imaging van de thermische emissie van een exoplaneet vaak beter werkt dan via zijn gereflecteerd licht ?

De hoeveelheid gereflecteerd licht wordt bepaald door de albedo en de afstand van een exo-planeet tot een ster. De thermische emissie wordt bepaald door de temperatuur, waarbij wordt aangenomen, dat de planeet als een zwart lichaam kan stralen.

Voor voldoende hoge temperatuur is deze emissie (typisch in het IR en volgens Wien) intenser dan de reflectie van (optisch) licht.

Zie figuur.



- c) Leg uit waarom de maan Titan zo bijzonder is.

Titan is de enige maan met een atmosfeer (vergelijkbaar qua druk met die van de aarde). In de atmosfeer vindt een groot aantal chemische reacties plaats, vooral hydrocarbon chemie, doordat op Titan (vloeibaar) methaan voorkomt, vergelijkbaar met de wijze waarop water voorkomt op Aarde.

- d) Leg uit waarom de Trojanen zich op ongeveer 5.2 AU afstand bevinden van Jupiter ?

De Trojanen zijn ingevangen asteroiden die zich ophopen in L4 of L5, dus een van de Lagrangepunten van Jupiter. Deze bevinden zich evenver van Jupiter als Jupiter zich van de zon bevindt, dus 5.2 AU.



- e) Afgelopen week is het ruimtevaartuig Juno bij Jupiter aangekomen. Juno gaat vooral het magneteveld van Jupiter bestuderen. Wat is daaraan zo bijzonder ?

Jupiter heeft een bijzonder sterk magneteveld (de magnetosfeer is een van de grootste 'objecten' in ons zonnestelsel). De oorsprong is van dit sterke magneteveld is niet geheel duidelijk; zeer waarschijnlijk komt dit door een kern van metallisch waterstof. Ook dit wordt onderzocht.

Constanten

zwaartekrachtskonstante	$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
lichtsnelheid in vacuüm	$c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
constante van Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
constante van Planck	$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
constante van Boltzmann	$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
atomaire massa-eenheid	$m_0 = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
massa van het proton	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
straal van het proton	$R_p = 2.3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
massa van het elektron	$m_e = 9.31 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
lading van het elektron	$e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$
dielektrische constante	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2 \text{ Coulomb}^2$
gaskonstante	$R = 8.314 \cdot 10^3 \text{ J K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$
getal van Avogadro	$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

(1 mol = $6.022 \cdot 10^{23}$ moleculen)

Enige andere veel gebruikte getallen

parsec	$\text{pc} = 3.0857 \cdot 10^{16} \text{ m}$
astronomische eenheid	$\text{AE} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
lichtkracht van de zon	$L_{\odot} = 3.83 \cdot 10^{26} \text{ W}$
massa van de zon	$M_{\odot} = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
straal van de zon	$R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$
abs. bolometrische magn. v.d. zon	$M_{\text{bol}} = 4.83$
zonnekonstante	$= 1.36 \cdot 10^3 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
schijnbare magnitude v.d. zon	$m_{\text{zon}} = -26.74$