HC-5
Kleine objecten in ons zonnestelsel

VALLENDE STERREN, METEOREN METEOROÏDEN EN METEORIETEN

Een vallende ster, ook wel meteoor genoemd, is een stofdeeltje – een meteoroïde - dat bij het binnentreden van onze atmosfeer (ongeveer op 100 km hoogte) verbrandt en dat soms het aardoppervlak bereikt; we spreken dan van een meteoriet.

We kunnen veel informatie halen uit meteoroïden en meteorieten; banen van kometen door het zonnestelsel en chemische samenstelling van materiaal van buiten de Aarde.

VALLENDE STERREN, METEOREN METEOROÏDEN EN METEORIETEN

- Perseiden 13-15 augustus
- Orioniden 21-22 oktober
- Leoniden 13-17 november
- Geminiden 7-16 december
- ….
- Genoemd naar sterrenbeeld waarin radiant ligt.

- Vallende sterren lijken uit één punt te komen, de zg. radiant. Waarom ?
- Meerdere (20+) zwermen per jaar; van een paar tot vele tientallen vallende sterren per uur.
- Zwerm wordt genoemd naar sterrenbeeld waarin radiant ligt.

VALLENDE STERREN, METEOREN METEOROÏDEN EN METEORIETEN

- Meteorenzwermen vinden hun oorsprong vaak in kometair stof (Orioniden zijn bv. stukjes van de komeet Halley), maar zeker niet alleen: er bestaan ook maan/mars/planetoïden-meteorieten (gebaseerd op chemische samenstelling).
- De Aarde doorkruist jaarlijks de baan van verschillende kometen.
- Meteorenzwermen kunnen dus ook informatie geven over rondvliegende objecten.
- Soms zijn sterreregens intensiever; dan doorkruist de Aarde het centrum van een stofwolk, of het is ook mogelijk, dat de komeet net fris materiaal heeft aangeleverd.
- Bijzonder zijn de Leoniden. Deze zijn eens in de 33 jaar bijzonder actief, met 100-1000den vallende sterren per uur; laatste keer in 1966; 1999 minder dan verwacht.
- De Leoniden zijn bijzonder snel (zo'n 70 km/s), waardoor hun impact op satellieten/ISS groot kan zijn ($1/2\ mv^2$).

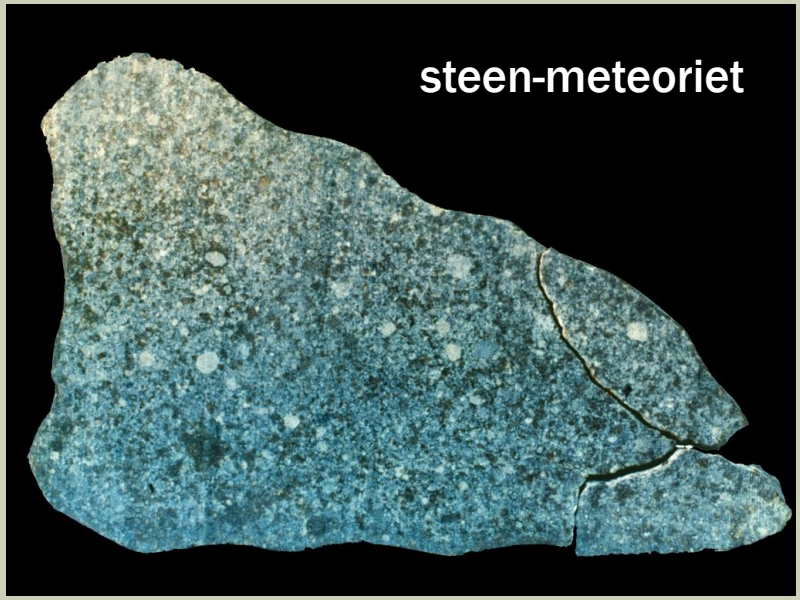
VALLENDE STERREN, METEOREN METEOROÏDEN EN METEORIETEN

- Meteorieten vind je ‘gemakkelijk’ in de woestijn of op grote ijsvlaktes (Antarctica); zoek naar stenen met afwijkende kleur.
- Soms ook daar waar een inslag te zien is.

- Of in je dakgoot (geen grap: micro-meteorieten).
- Ook spectroscopisch onderzoek van meteoren is een mogelijkheid.
- Aarde veegt iedere dag nog tonnen ruimtemateriaal op.

CLASSIFICATIE METEORIETEN

- ijzer-meteorieten (magnetisch)
- steen-meteorieten
- ijzer/steen-meteorieten



- verder andere componenten, zelfs aminozuren !

TSJELJABINSK INSLAG: 15/2/2013

- Wanneer de objecten groter worden, zijn de effecten anders.
- Recent voorbeeld: impact boven Tsjeljabinsk. Object van 17-20 meter, massa 7000-10.000 ton, v ~ 20 km/s.
- Explodeert op 20-25 km hoogte; gigantische schokgolf.
- Frequentie van vergelijkbare inslagen: paar keer per eeuw.

GLOBAL KILLERS

- Aarde heeft er al eens last van gehad: 65 miljoen jaar geleden is een asteroide ingeslagen op het schiereiland Yucatan.
- De Chicxulub krater is (met heel veel moeite) nog „zichtbaar“.
- Kans is klein, maar reëel.
- Daarom wereldwijd programma om te zoeken naar ‚kosmisch zwerfpuin‘. Ook voor amateurs:

http://www.nu.nl/apps/4011871/nasa-app-laat-amateurs-meezoeken-planetoiden.html

- Vooral grotere brokken zijn een probleem (kometen, asteroïden); waar komen die ‚opeens‘ vandaan ?

KLEIN GRUIS IS GEMAKKELIJK TE BEINVLOEDEN

- Gravitationele inwerking
- Lagrange punten: ingevangen op punten waar de zwaartekracht van twee objecten een netto zwaartekracht van nul oplevert → Trojanen. 'Safe'
- Kan ook anders: banen hoeven niet gesloten te zijn; ze zijn dan 'chaotisch'. Bv. wanneer ze binnen een Hill straal komen, waarvoor de zwaartekracht van een minder zwaar object sterker is dan die van een zwaarder object. R_H kun je afschatten, Neem daarvor aan dat een satelliet aanzienlijk vaker om een planeet draait dan die planeet om de zon draait.

→

$$\Omega_{\rm pl} \geq \Omega_{\odot}$$

Met $\Omega = \dfrac{2\pi}{P}$ en $P^2 = \dfrac{4\pi^2 a^3}{G(m_1+m_2)}$ volgt $\Omega = \sqrt{\dfrac{G(m_1+m_2)}{a^3}}$

HILL STRAAL

- Voor planeet: $m_1 = m_p$, $m_2 = m_s$, $a = r_s$ (straal baan satelliet)
- Voor zon: $m_1 = M$, $m_2 = m_p$, $a = a_{pl}$

- Voor $\Omega_{pl} > \Omega_\odot$ geldt dus

$$\sqrt{\frac{G(m_\mathrm{p}+m_\mathrm{s})}{r_\mathrm{s}^3}} \geq \sqrt{\frac{G(M_\odot+m_\mathrm{p})}{a_\mathrm{pl}^3}}$$

$$\Leftrightarrow r_\mathrm{s} \leq \left(\frac{m_\mathrm{p}+m_\mathrm{s}}{M_\odot+m_\mathrm{p}}\right)^{1/3} a_\mathrm{pl} \equiv R_\mathrm{H}$$ Hill straal

- exact, als je getijdenwerking e.d. meeneemt:

$$R_\mathrm{H} = \left(\frac{m_p}{3(M_\odot+m_p)}\right)^{1/3} a_\mathrm{pl}$$

VERSTOORDE KEPLERBANEN

- De precieze banen van de planeten en andere objecten in het zonnestelsel worden als volgt berekend
  1. onafhankelijke Keplerbanen rond de zon, dan
  2. verstoring t.g.v. interactie met andere planeten, dan
  3. verstoring t.g.v. beweging van de zon o.i.v. de overige planeten

- Afhankelijk van de begingvoorwaarden
  - regelmatige banen; oscillatie van baanelementen, precessie klimmende knoop, e.d. → Langdurig stabiele banen(*)
  - of: chaotische banen; vaak in de buurt van resonanties

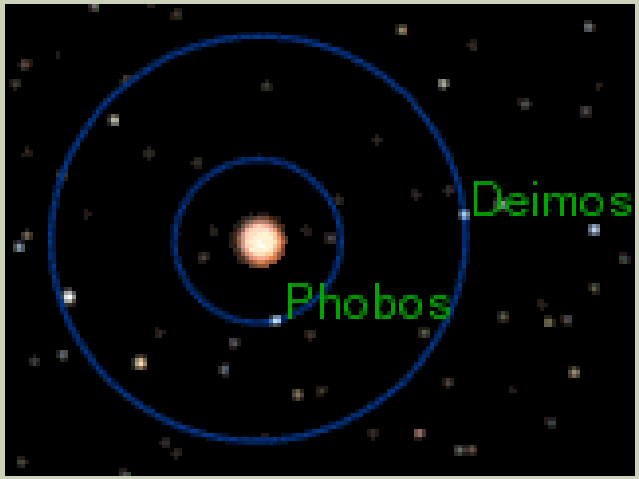
- .. en dan is er nog de toevalsfactor …

(*) Planeetbanen in ons zonnestelsel zijn bewezen stabiel op 100 Myr tijdschaal, en waarschijnlijk nog veel langer.

INTERMEZZO: RESONANTIES

Resonantie: verschijnsel dat twee planeten bij één ster, of twee manen bij één planeet, omloopstijden hebben die zich bij benadering verhouden als eenvoudige gehele getallen. Hierdoor komen de hemellichamen regelmatig in dezelfde onderlinge posities ten opzichte van elkaar, en ondervinden ze periodiek op dezelfde plaats elkaars zwaartekracht.

(Vergelijk met het in stand houden van een schommelbeweging)



INTERMEZZO: RESONANTIES

Voorbeelden in het zonnestelsel

- P(Io):P(Europa):P(Ganymedes) = 4:2:1
- P(Neptunus):P(Pluto) = 3:2
- P(Trojanen):P(Jupiter) = 1:1

Ook omloop en rotatie

- maan, P(omloop):P(rotatie) = 1:1
- mercurius, P(omloop):P(rotatie) = 3:2

Of net een tegengesteld effect: Kirkwood resonanties in de planetoiden gordel (straks meer).

KLEIN GRUIS IS GEMAKKELIJK TE BEINVLOEDEN

- Niet gravitationele inwerking

Drie hiervan hebben te maken met het feit dat fotonen impuls hebben. Behoud van impuls betekent dan, dat objecten die licht ontvangen, weerkaatsen of uitzenden, ook een impuls-verandering moeten ondergaan. D.w.z. hun snelheid verandert; er wordt een kracht op uitgeoefend:

- Stralingsdruk: belangrijk voor deeltjes van ~μm
- Poynting-Robertson wrijving: belangrijk voor deeltjes van ~cm (relativistisch effect: licht wordt geabsorbeerd vanuit een specifieke richting, maar isotroop uitgestraald → er wordt meer impuls uitgezonden in richting van de snelheid van een deeltje → deeltje moet dus snelheid verliezen en valt langzaam naar binnen; tijdschaal ~ 400 jr/AU)
- Yarkovski effect: belangrijk voor 'deeltjes' van ~km (planetoïden)

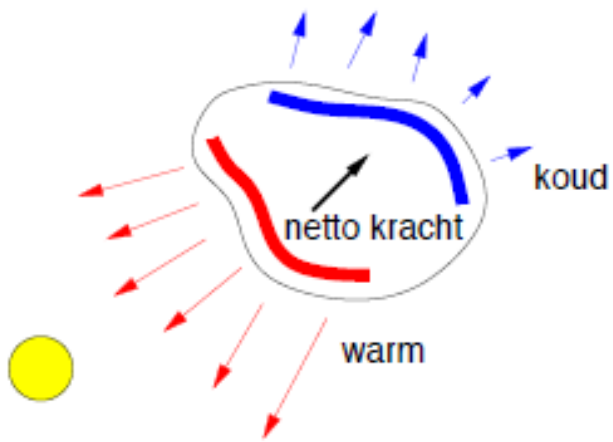
STRALINGSDRUK

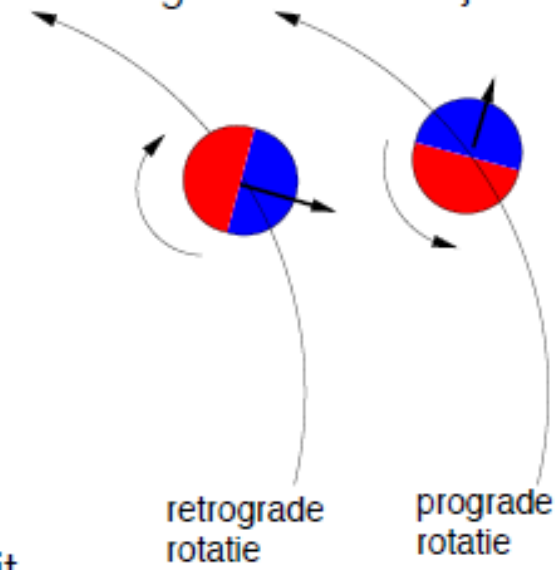
- $\beta = F_{rad} / F_G$ waarbij de 'radiation force' schaalt met $F_{rad} \sim (L_{zon}\sigma Q)/(4\pi r^2)$ met σ de doorsnede en Q een constante (grootte, samenstelling)
- De verhouding tussen stralingsdruk en zwaartekracht geeft aan of een deeltje richting zon ($\beta < 1$) of net van de zon af beweegt ($\beta > 1$).
- Dat laatste is het geval voor micrometer grote deeltjes.

Mooi voorbeeld is de staart van een komeet.

YARKOVSKI EFFECT

- Voor objecten van ~km in grootte
- 'Dagzijde' is warmer dan 'nachtzijde' en zendt dus meer straling uit = verliest meer impuls = netto kracht van 'dag' naar 'nachtzijde'





- Als object ook nog om z'n as draait
  - retrograad: object wordt afgeremd, zal richting zon bewegen
  - prograad: object wordt versneld, zal van de zon weg bewegen

KLEIN GRUIS IS GEMAKKELIJK TE BEINVLOEDEN

- Overige effecten

- kometen hebben soms geiser-achtige verdamping van ijs hetgeen de baanbeweging beinvloedt.
- kleine deeltjes ondervinden ook wrijving van deeltjes in de zonnewind
  - <µm deeltjes worden meegesleurd met zonnewind
  - geladen deeltjes bewegen langs de veldlijnen van het magnetisch veld
- wrijving met gasdeeltjes, bijv. in planeet-vormende schijf (turbulenties).

PLANETOIDEN GORDEL

- Planetoïdengordel tussen de banen van Mars en Jupiter.

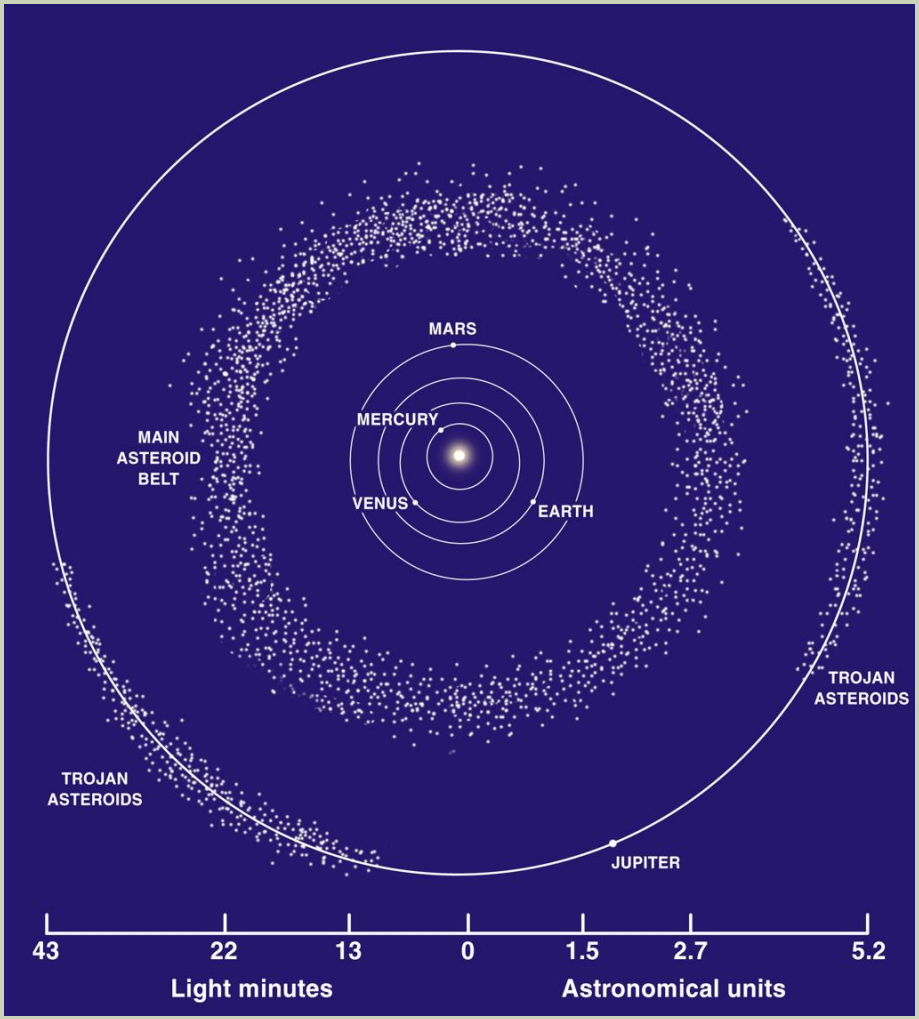
Maar ook:

- Rond Lagrangepunten

Jupiter: Trojanen

- op meer instabiele banen

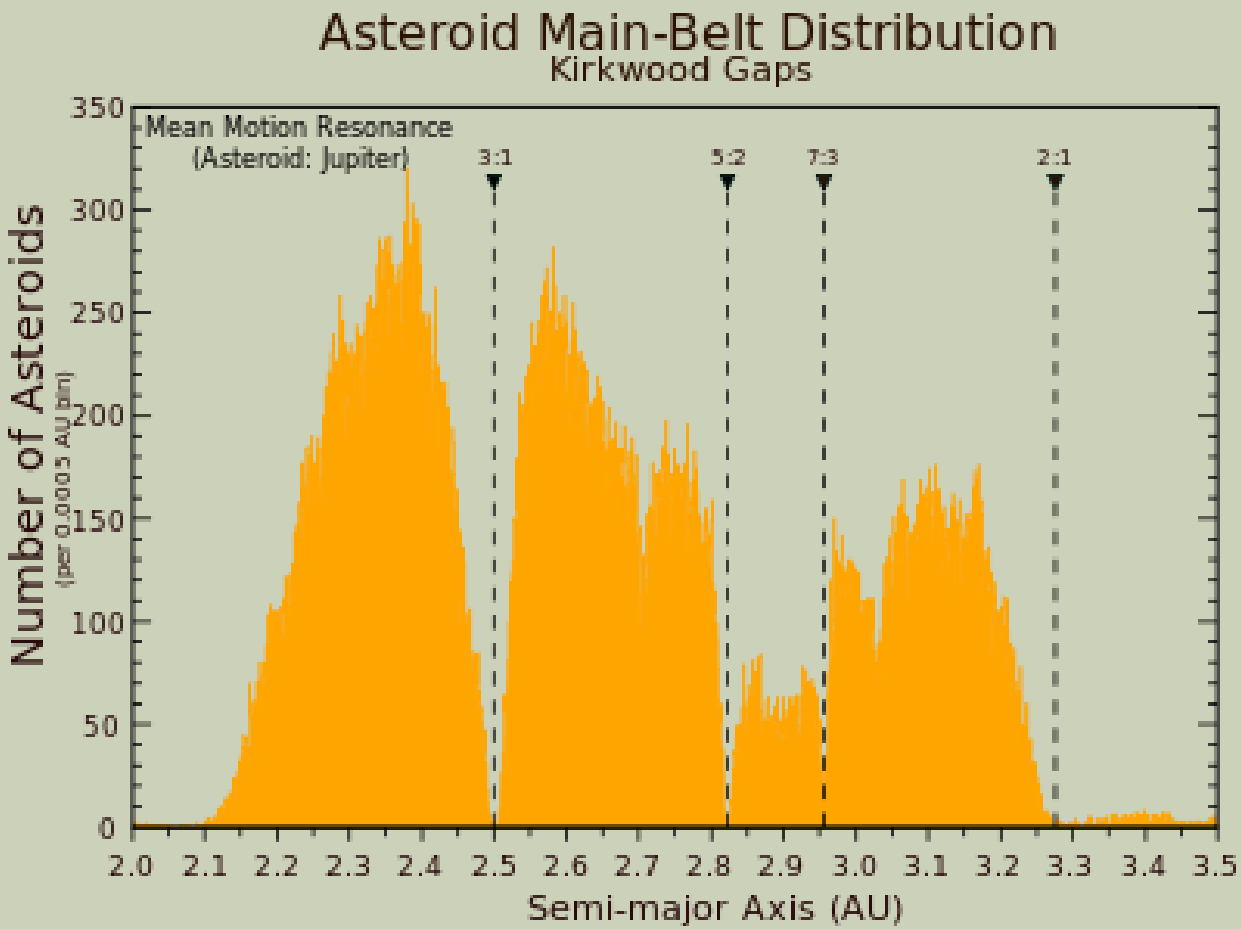
(ook in de buurt van de aarde)



KIRKWOOD GAPS

Geen planetoïden op banen met een periode in resonantie met die van Jupiter.

“Jupiter is gevaarlijk voor de Aarde”



PLANETOIDEN GORDEL

Aantal planetoïden *N* als functie van grootte *r* gegeven door

$$N(R) \propto R^{-3.5}$$

- d.w.z. kleine planetoïden komen veel voor, grote weinig
- ~ 10,000 planetoïden bekend met straal >10 km
- 100,000 planetoïden met straal tussen 1 en 10 km
- consistent met een grootte-verdeling als botsingen tussen planetoïden vaak voorkomen
- totale massa van alle planetoïden samen wordt gedomineerd door de grootste planetoïden (0.05 aardmassa's)
- bekendste planetoide is Ceres.

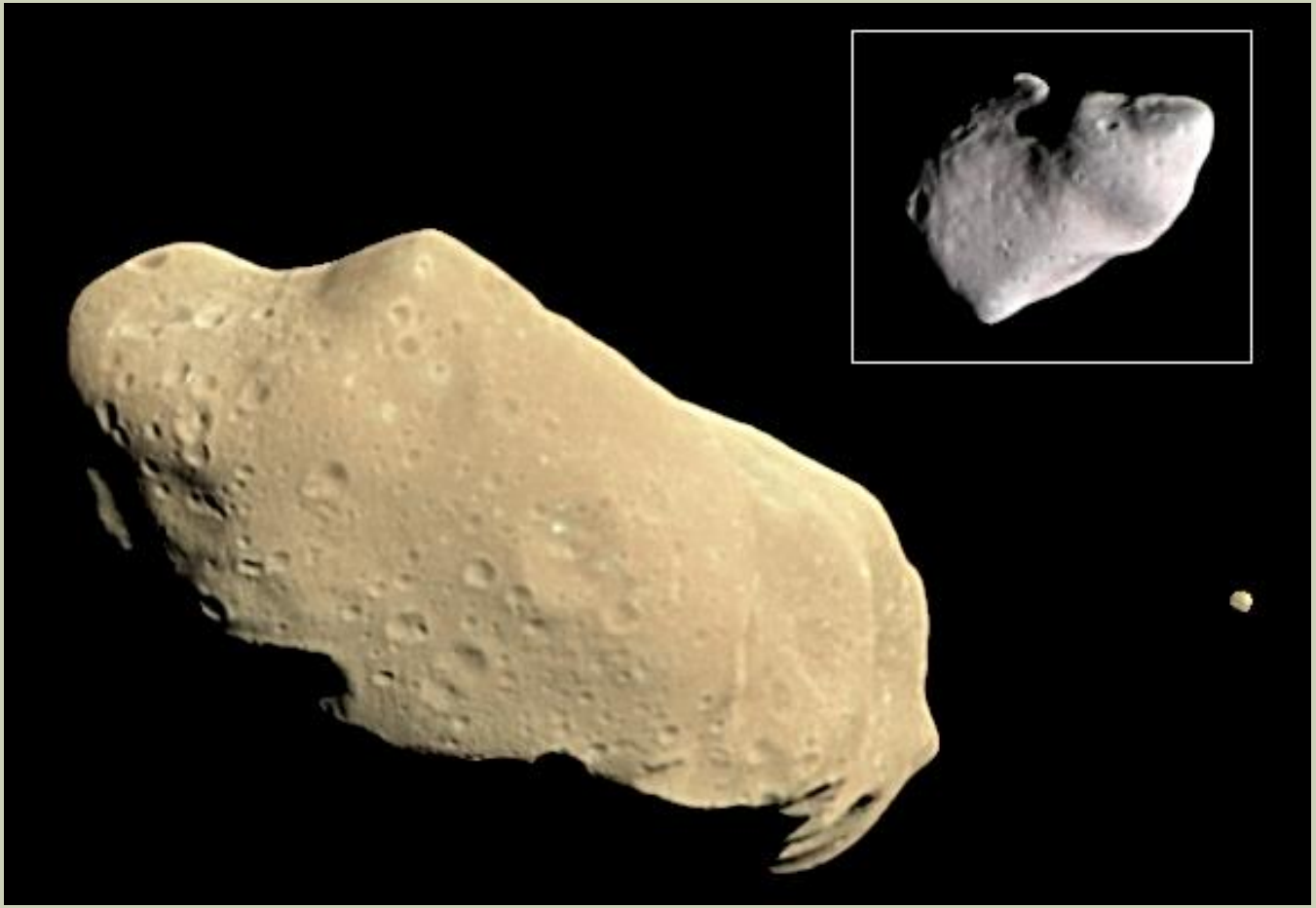
PLANETOIDEN GORDEL

- In de afgelopen 10 jaar hebben diverse ruimtemissies opnames van planetoïden van dichtbij gemaakt, of zijn zelfs op het oppervlak geland.
- De resultaten:
  - onregelmatige vorm
  - sommige zijn letterlijke puinhopen
  - sommige hebben ‘maantjes’
  - samenstelling: rots, diverse mineralen.

    Komen overeen met meteorieten

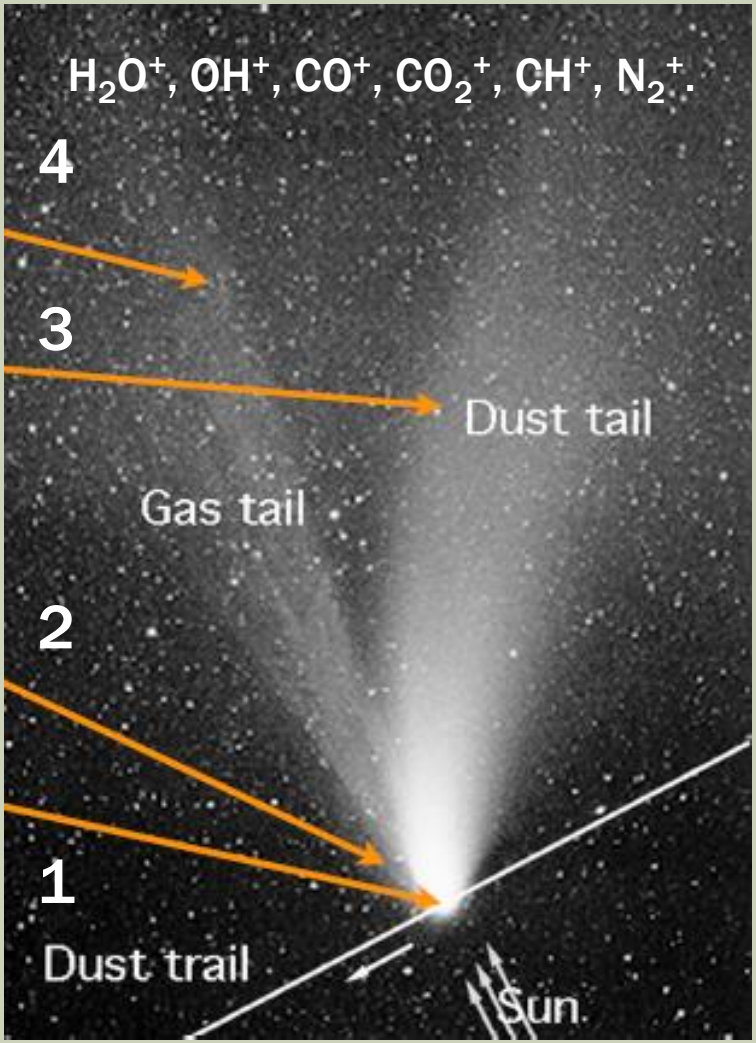
    in samenstelling.

PLANETOIDE ‘IDA’ EN MAANTJE ‘DACTYL’

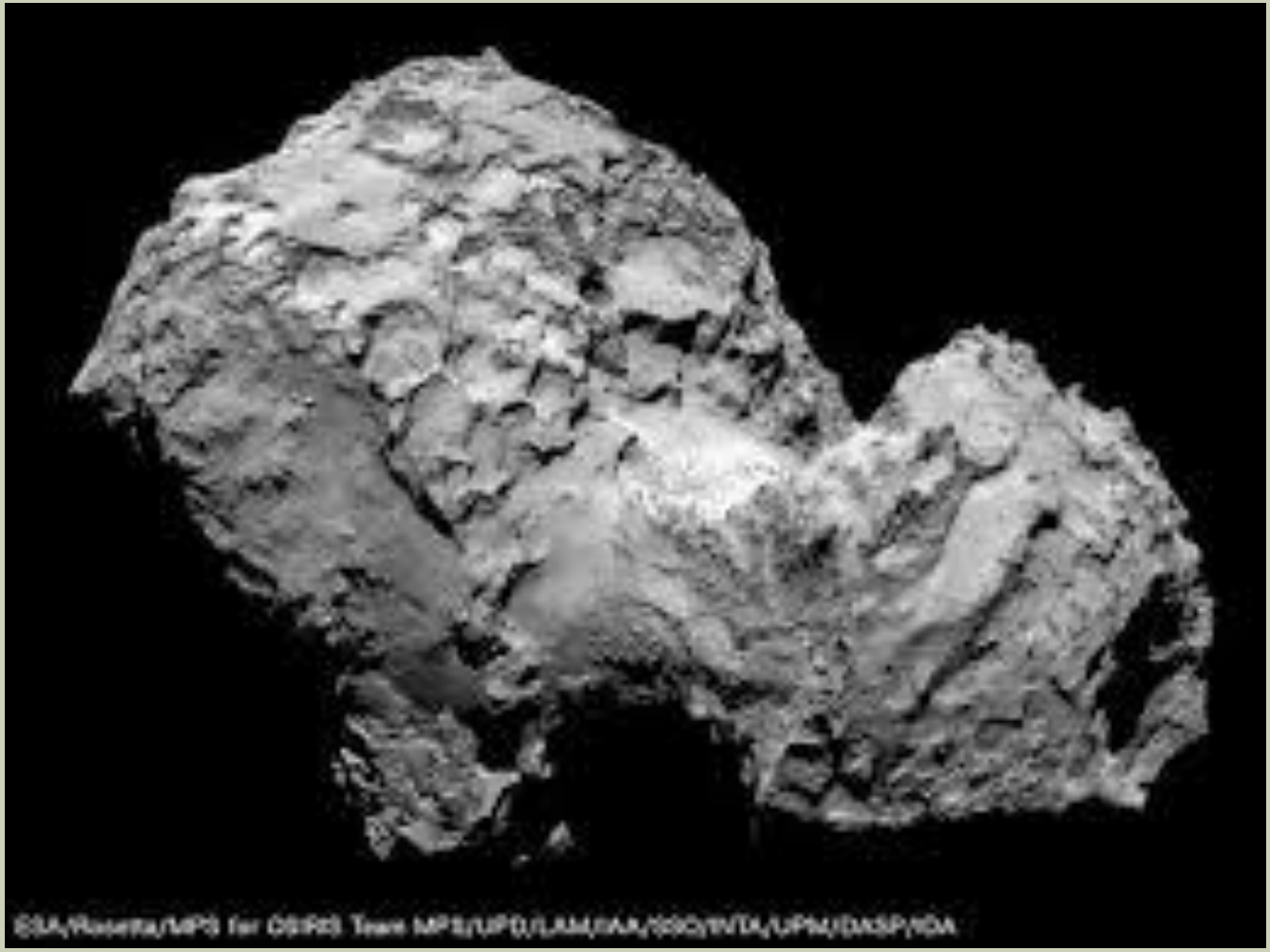


KOMETEN ('STERREN MET HAREN')

- Kern
  1. (ijs en stof = vuile sneeuw-bal); typisch enkele (tien-tallen) km diameter.
- Coma
  2. Verdamping ijs (neemt stof mee)
- Staart (kan 100 miljoen km + lang zijn)
  3. stof-staart: weggeblazen door stralingsdruk
  4. gas (of plasma) staart: geïoniseerd gas → volgt magnetische veldlijnen ster.

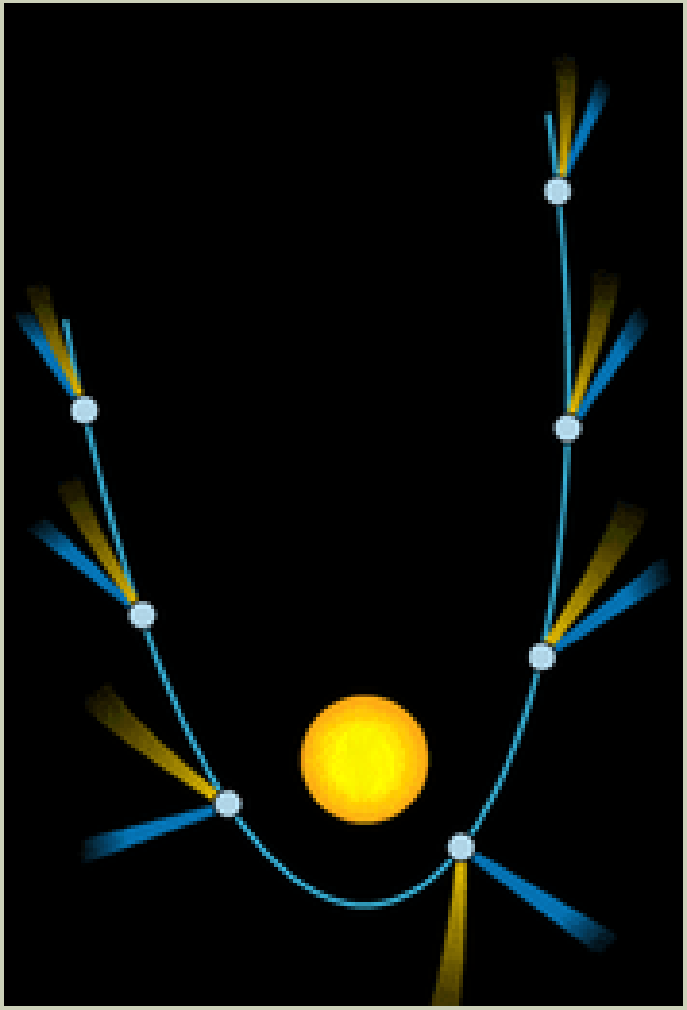


KOMEET TSCHURJUMOW-GERASSIMENKO (P67)



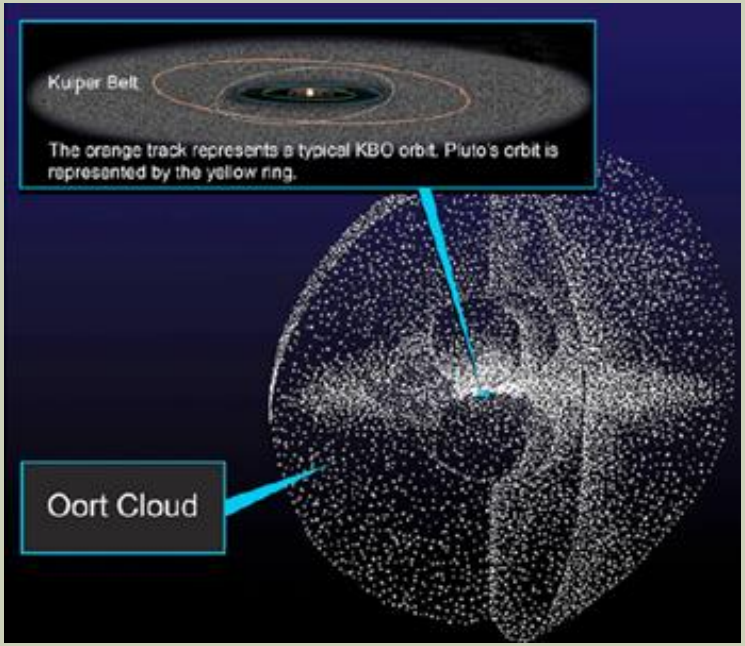
KOMEETBANEN

- Plasmastaart (blauw) wijst altijd van de zon af.
- Stofstaart; deeltjes zijn zwaar genoeg om Kepler te volgen;
- De stofstaart wijst ook van de zon af, maar maakt een hoek van een paar graden met de richting naar de zon: hij loopt achter op de beweging van de komeet.
- Kometen verdampen veel materiaal bij passage; ze komen dan ook niet al te vaak voorbij.



KOMEETBANEN

- Kort-periode – enkele (tientallen) jaren - kometen
  - vooral uit Kuiper gordel
  - voornamelijk in baanvlak zonnestelsel

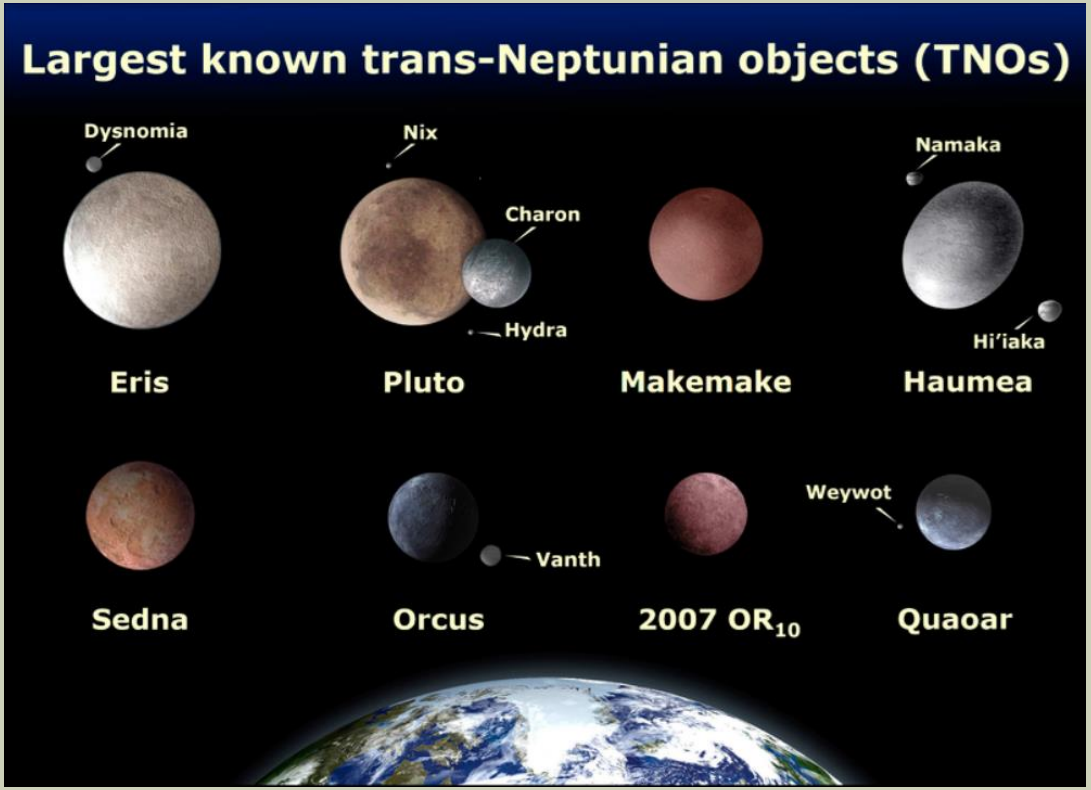


- Lang-periode – honderden / duizenden jaren - kometen
  - vooral uit Oort wolk
  - willekeurige oriëntatie banen
  - aphelion ver buiten de banen van de planeten

Mogelijk zijn enkele kort-periode kometen van origine ingevangen lange periode kometen.

KUIPER GORDEL OBJECTEN (KBO'S)

- Genoemd naar Prof. Kuiper (NL-USA)
- De Kuiper gordel ligt op zo'n 30 – 50 AU.
- KBO's worden ook TNO's (trans-Neptunian Objects) genoemd.
- Inmiddels een aantal vrij grote objecten in de Kuiper gordel ontdekt.



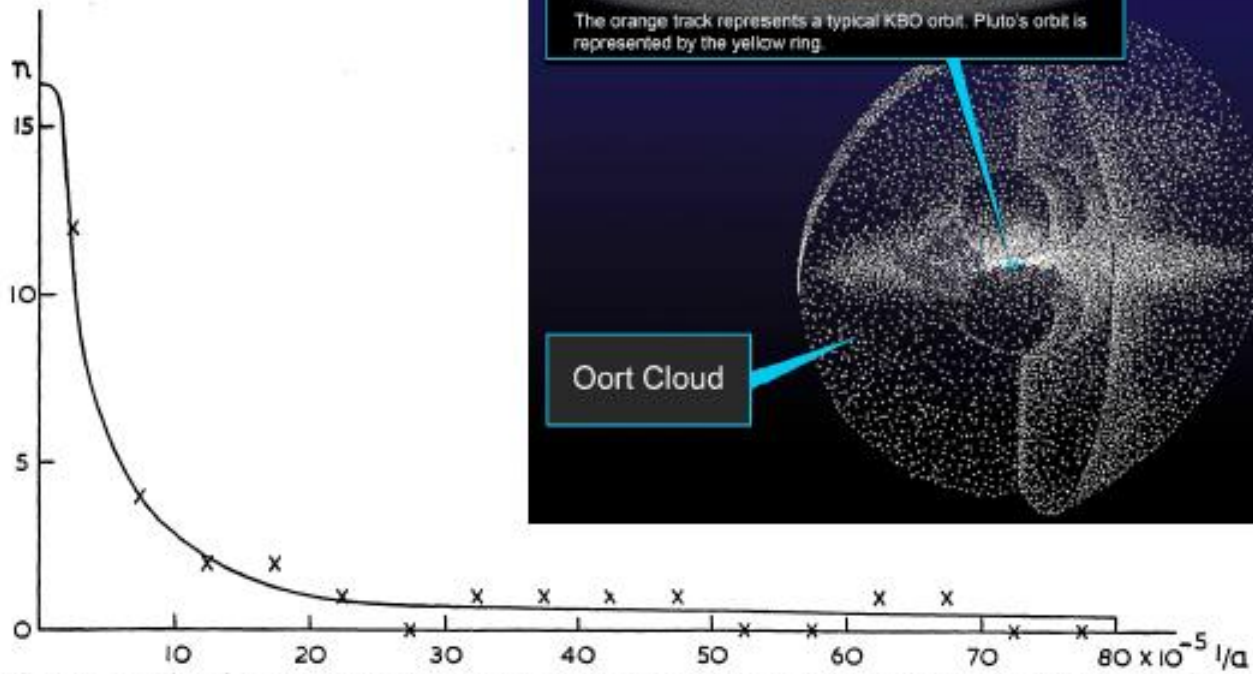
KUIPER GORDEL OBJECTEN (KBO'S)

- Pluto hoort daarbij; kan veel verklaren (afwijkende baan en structuur van Pluto vergeleken met gasreuzen).
- 100,000 objecten van >100 km
- TNO's kunnen worden beinvloed door de zwaartekracht van Neptunus (een soort kosmische catapult dus).
- Centaurs: Objecten op weg van de Kuipergordel naar de zon.

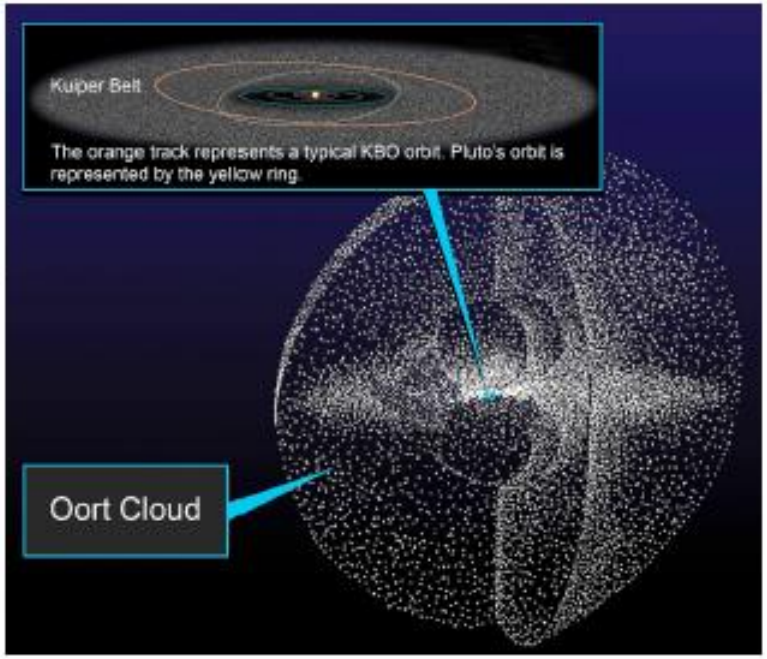
- In resonantie met Neptunus
- 100 objecten met *a*~39.4 AU in 3:2 resonantie met Neptunus incl. Pluto; ook wel 'plutino's' genoemd
- Dadelijk meer.

OORT WOLK

- Plot van 1/*a* van lange-periode kometen vertoond een smalle piek rond *a*~25,000–200,000 AU
  - Oort wolk



Distribution of reciprocal semi-major axes. Crosses indicate numbers of comets in intervals of ·00005 in 1/*a*.



OORT WOLK

- Genoemd naar Prof. Oort (NL) en eerder een toevallige ontdekking.
- Ongeveer 20 nieuwe kometen per jaar in binnendelen zonnestelsel → 10^{11} brokstukken in Oort wolk.
- Volume zo groot dat onderlinge afstand ~10 AU is!
- Banen verstoord door passerende ster(ren)

  - voor >200,000 AU niet langer gebonden aan de zon

  - voor < 25,000 AU: effect Neptunus groter dan passerende sterren.

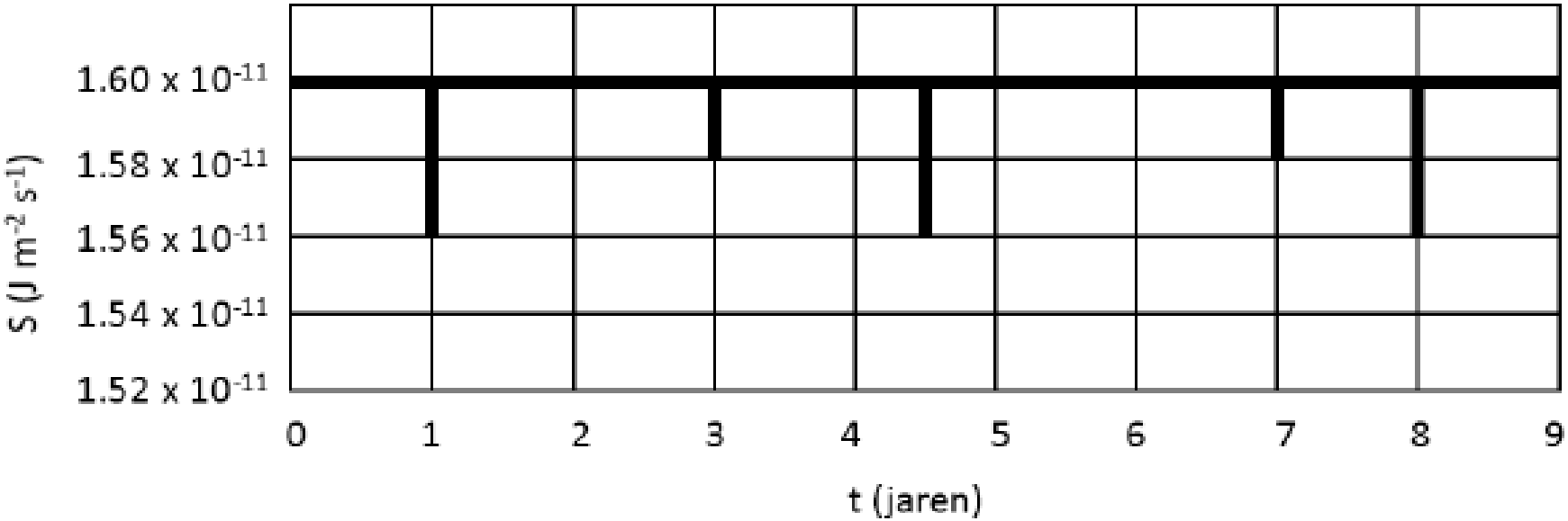
Katapult effect idem als zoals besproken voor TNO's.

TENSLOTTE: STOF IN HET ZONNESTELSEL

- Zodiakaal licht: is een uiterst zwakke permanente driehoekige witte lichtgloed aan de nachtelijke hemel die lijkt uit te stralen vanaf van de zon (langs haar baan aan de hemel).
- Betreft zonlicht dat wordt verstrooid door **recent** ruimtestof.
- Is erg zwak en bij maanlicht (of lichtvervuiling) niet te zien.
- Soms band langs de ecliptica.
- Gegenschein (tegenover de zon) zelden te zien.

OEFENOPGAVE TENTAMEN: REKENEN

In de figuur staat de lichtcurve van een ster waar twee exo-planeten omheen draaien. Op de verticale as staat de flux, zoals die op Aarde wordt gemeten, op de horizontale as staat de tijd in jaren.



OEFENOPGAVE TENTAMEN: REKENEN

a) Bereken de afstand van beide exo-planeten tot hun centrale ster.

b) Is het toeval dat beide planeten in hetzelfde vlak blijken te bewegen ?

De ster heeft een parallax van 0.15''. Neem aan dat de ster even zwaar is als de zon (dus massa ~ 1 M_{zon}) en dat $R^* = R_{zon}$. Neem verder aan dat beide planeten precies voorlangs hun ster bewegen.

c) Bereken de absolute magnitude van de ster.

d) Welke kleur heeft deze ster ?

e) Bereken de straal van beide planeten.

f) Stel dat op beide exo-planeten water voorkomt, bereken dan voor iedere planeet in welke toestand zich het water ter plekke bevindt.

OPLOSSINGEN

OPLOSSINGEN

OEFENOPGAVE TENTAMEN: INZICHT

- Venus vertoont schijngestaltes. Wanneer is ‘volle Venus’; in de buurt van een beneden of boven conjunctie ? Leg uit.
- Waarom komt op Aarde geen Helium en op Jupiter wel Helium in de atmosfeer voor ?
- Beschrijf hoe je de beweging van een hemellichaam in ons zonnestelsel vast kun leggen met coordinaten.
- Waarom heb je bij een zonsverduistering springvloed ?
- In welk Lagrangepunt stuur je i) een satelliet om de zon te bestuderen, en ii) een satelliet om de kosmos te onderzoeken.
- Leg uit hoe de Io-torus rond Jupiter ontstaat.
- Beschrijft de Aarde vanuit Venus gezien ook een retrogade beweging. Leg uit.