



Vereniging
Gemma Frisius

Afdeling Friesland van de Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde.

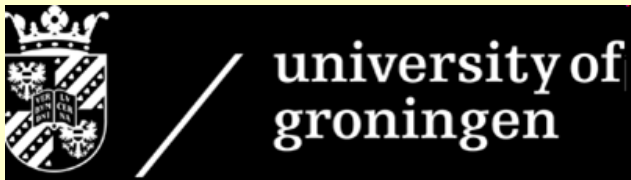


Kuiper Gordel

28 februari 2015

Paul Wesselius,

SRON/RUG-Kapteyn Instituut/GVWS



Inhoud

1. Ons planetenstelsel
2. Pluto
3. Kuiper Gordel en Oort wolk
4. Heliosfeer en lokale interstellaire wolk
5. TNO banen
6. Aard van TNO's
7. Toekomstige waarnemingen

TNO = Trans Neptunian object = Kuiper Gordel object

Boeken; websites -1

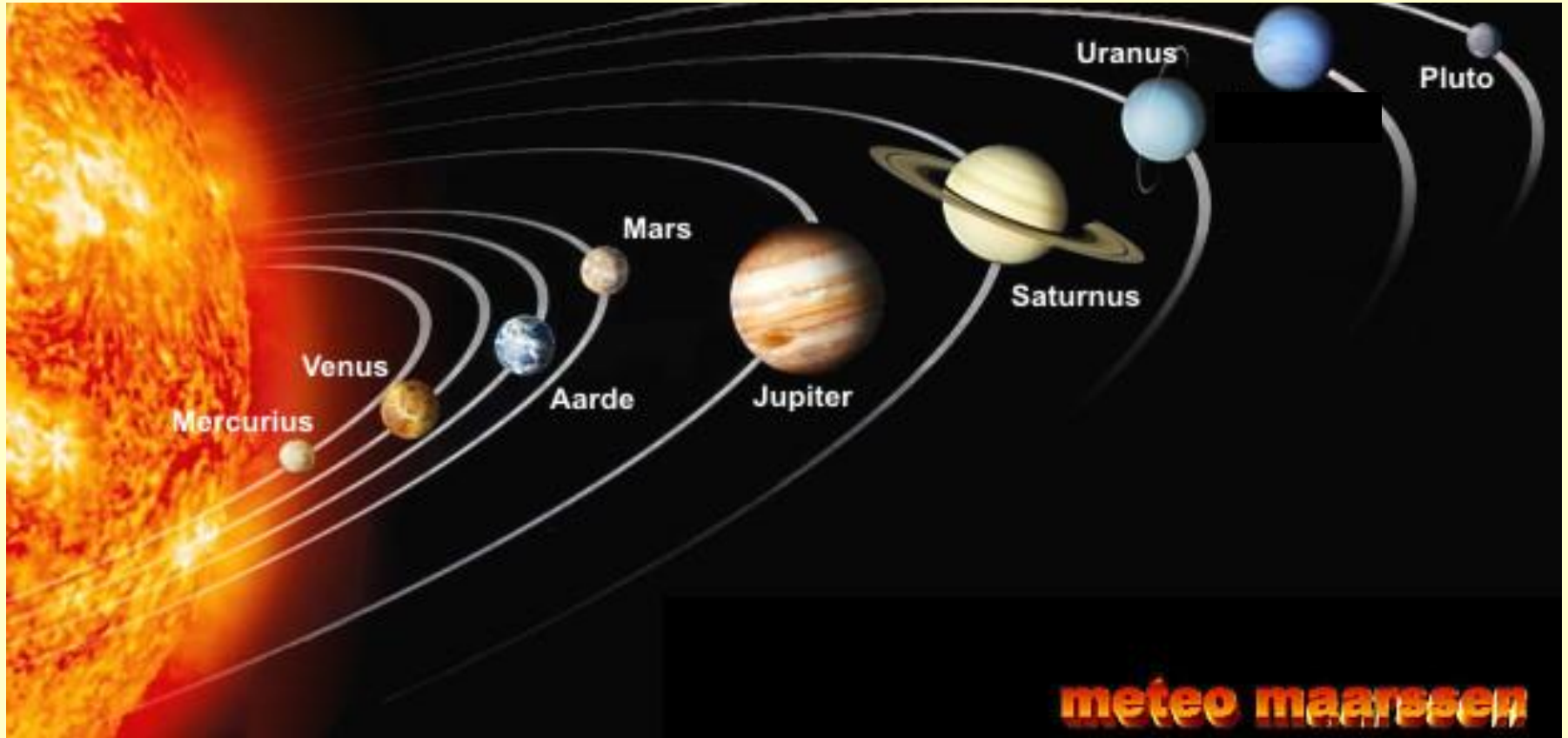
- The solar system beyond Neptune, Editors: M.A. Barucci, H. Boehnhardt, D.P. Cruikshank, A. Morbidelli, University of Arizona Space Science Series, 592 pages, University of Arizona Press, Tucson, ISBN 978-0-8165-2755-7, 101 collaborating authors, 2008
- Trans-Neptunian Objects and Comets: Saas-Fee Advanced Course 35; Swiss Society for Astrophysics and Astronomy; Editors: Kathrin Altwegg, Willy Benz, Nicolas Thomas; Authors: D. Jewitt, A. Morbidelli, H. Rauer; Springer, Berlijn, 2008
- At the Edge of the Solar System: Icy New Worlds Unveiled, Alain Doressoundiram, Emmanuel Lellouch, Springer Praxis Books, Berlijn, 2009

Boeken; websites -2

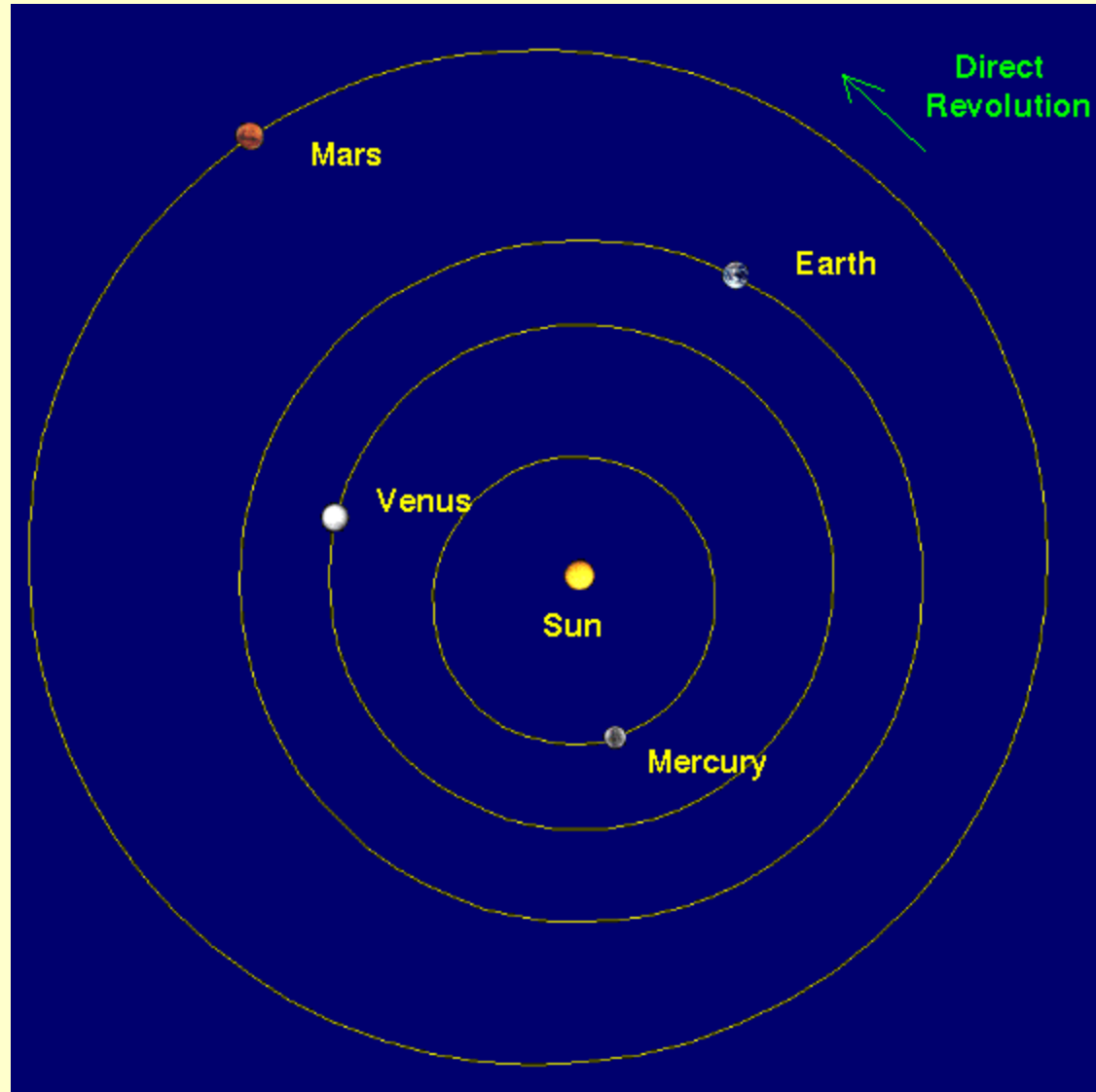
- Small Bodies in Planetary Systems (Lecture Notes in Physics), Editors: Ingrid Mann, Akiko Nakamura, and Tadashi Mukai, Springer, Berlijn, 2009
- Lezing van Jos Loonen, 6 oktober 2014, veel door mij gebruikt
- Een heel goede website van de ontdekker, Jewitt, van de eerste TNO na Pluto:
<http://www2.ess.ucla.edu/~jewitt/kb.html>
- Belgische site met heel veel plaatjes:
<http://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/dwergplaneten-en-plutoiden>
- Een site over dwarf planets van Mike Brown:
<http://www.mikebrownsplanets.com/>
- De missie naar Pluto, onderweg sinds 2007:
http://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons
- Lijst van Kuiper Gordel objecten:
<http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/TNOs.html>

1. Ons planetenstelsel

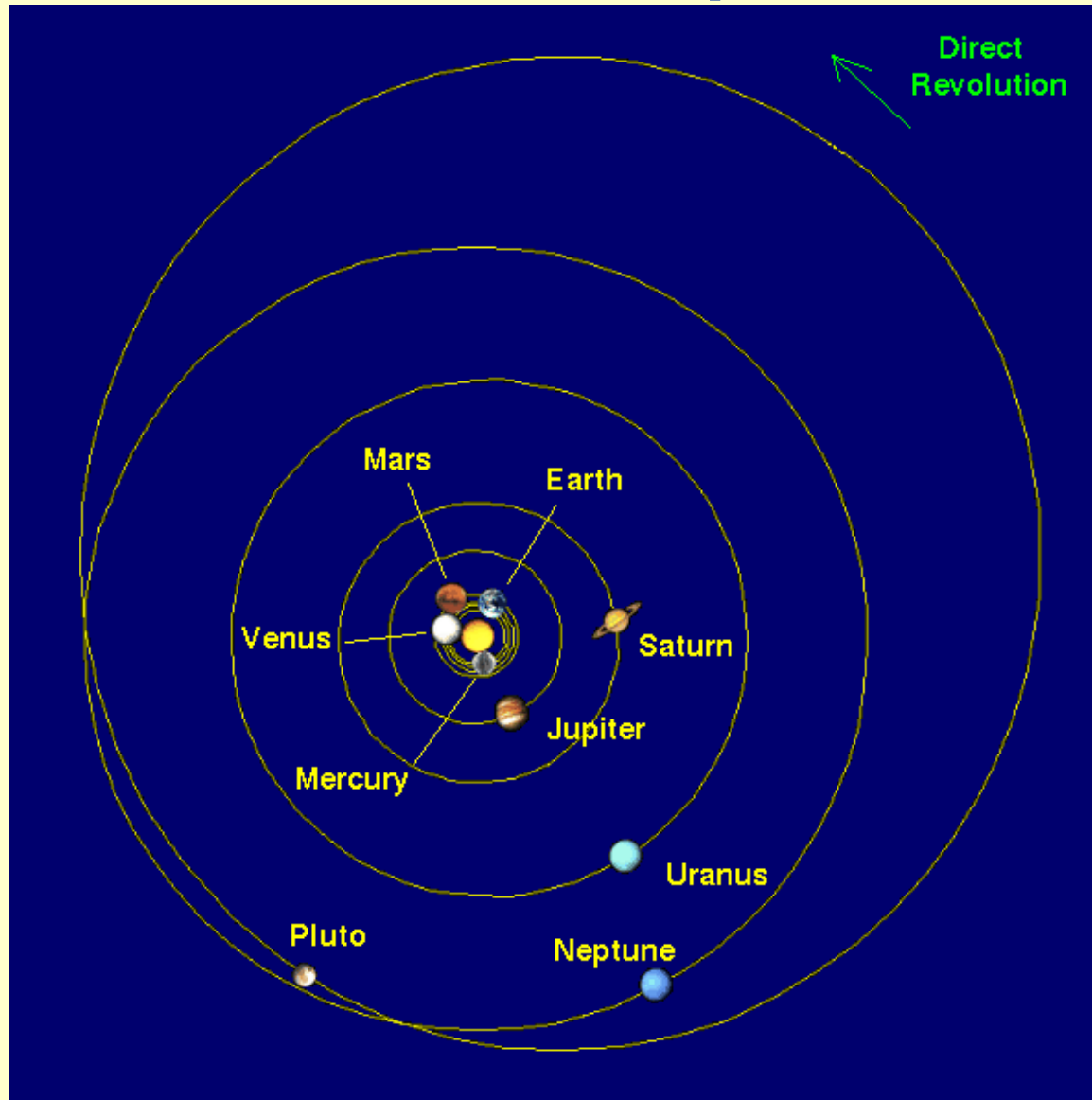
Acht planeten en een dwerg planeet (Pluto)



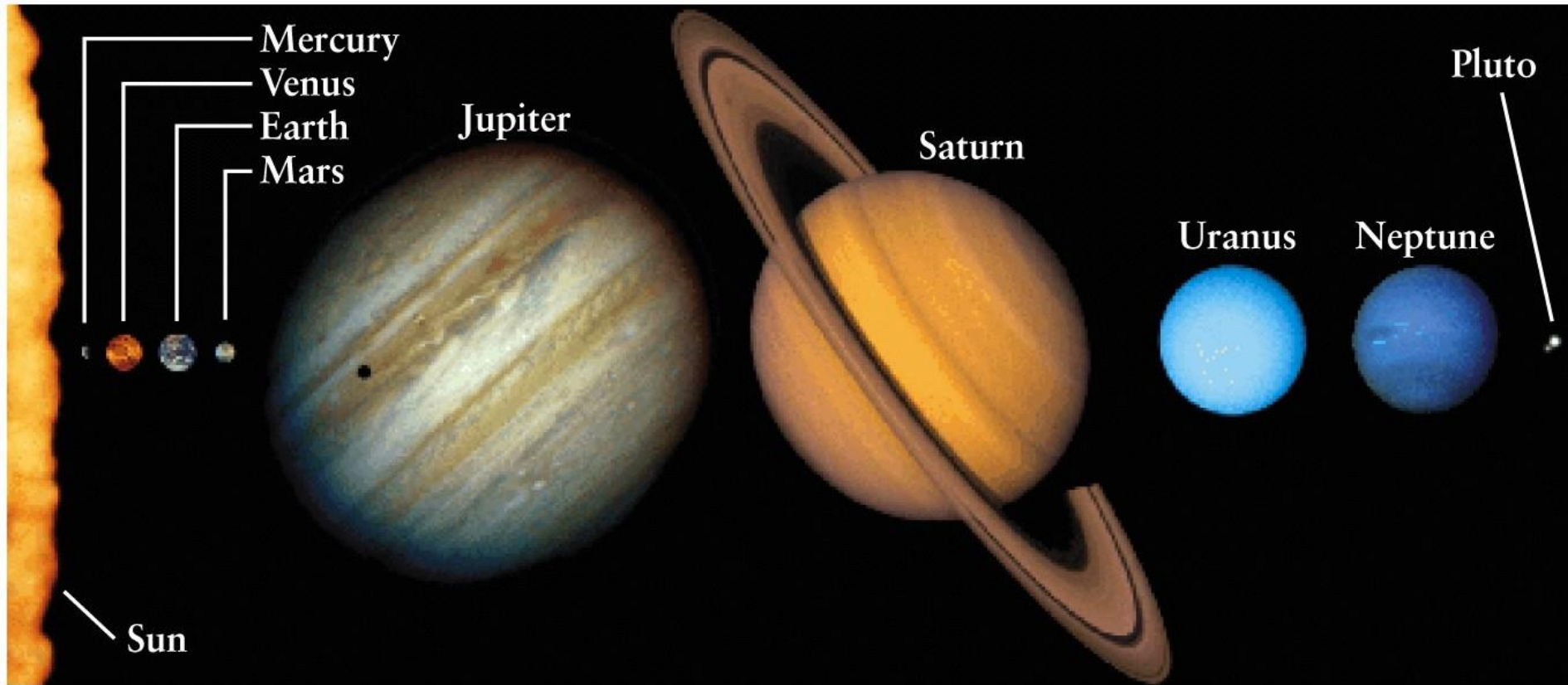
Banen binnenplaneten



Banen buitenplaneten



Afmetingen planeten



<http://www.calpoly.edu/~rechols/astro101/astro101pics/Lab4pics/relativesize.jpg>

Eigenschappen planeten

Tabel: enkele gegevens van het zonnestelsel

| naam | diameter (km) | rotatieduur | massa (aarde=1) | afstand tot zon (aarde = 1) | omlooptijd (jr) |
|-----------|---------------|-------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| zon | 1.392.000 | 25,4 d* | 332.946 | - | - |
| Mercurius | 4879 | 58,6 d | 0,055 | 0,39 | 0,24 |
| Venus | 12.103 | 243 d | 0,815 | 0,72 | 0,62 |
| aarde | 12.756 | 23,9 u | 1 | 1 | 1 |
| (maan) | 3.476 | 27,3 d | 0,012 | 1 | 27,3 |
| Mars | 6794 | 24,6 u | 0,107 | 1,52 | 1,88 |
| Jupiter | 142.984 | 9,9 u | 317,8 | 5,2 | 11,9 |
| Saturnus | 129.536 | 10,7 u | 95,2 | 9,6 | 29,5 |
| Uranus | 51.118 | 17,2 u | 14,5 | 19,2 | 84,0 |
| Neptunus | 49.528 | 16,1 u | 17,1 | 30,1 | 164,8 |
| Pluto | 2320 | 6,4 d | 0,002 | 39,2 | 248 |

*De massa van de aarde bedraagt $5,97 \times 10^{24}$ kg. De gemiddelde afstand aarde-zon – de astronomische eenheid – is gelijk aan 149,6 miljoen kilometer. *Omdat de zon geen vast lichaam is, varieert zijn rotatieduur met de breedtegraad.*

Dwergplaneten

- **Dwergplaneten** zijn gedefinieerd door de IAU in 2006:
 - o ze draaien in een baan rond de zon,
 - o hebben genoeg massa om door hun eigen zwaartekracht (bijna) bolvormig geworden te zijn,
 - o zijn geen maan van een andere planeet,
 - o **hebben hun baan niet schoongeveegd van andere objecten.**
- De grootste transneptunische objecten Pluto, Eris, Makemake, Haumea en de grootste planetoïde Ceres zijn door de IAU als dwergplaneet aangewezen
- Alleen Ceres en Pluto voldoen volgens waarnemingen aan deze 4 criteria

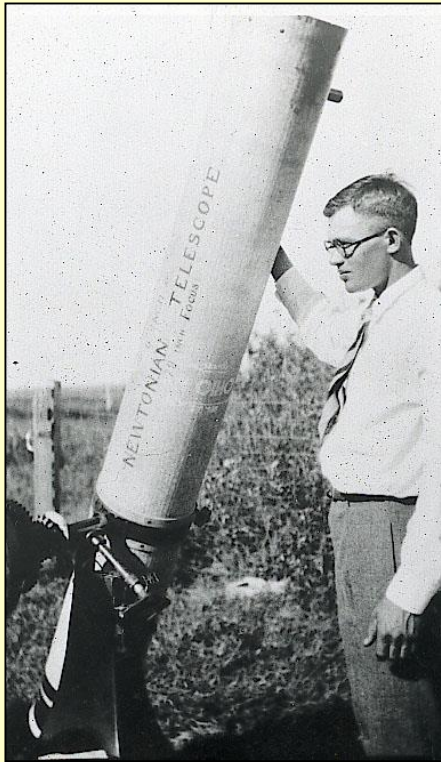
Dwergplaneten -Brown

- Volgens Brown zouden ijsachtige objecten groter dan 400 km doorsnede rond en dus een dwergplaneet kunnen zijn
- Als hun albedo 0,1 is zouden er 100 objecten in de Kuiper Gordel kunnen zijn, waarvan er nu 50 bekend zijn
- Hij heeft kritiek op de IAU aanwijzing van 4 dwergplaneten in een baan voorbij Neptunus
- Zo'n 30.000 van zulke dwergplaneten passen in de Aarde

2. Pluto

9^e planeet?

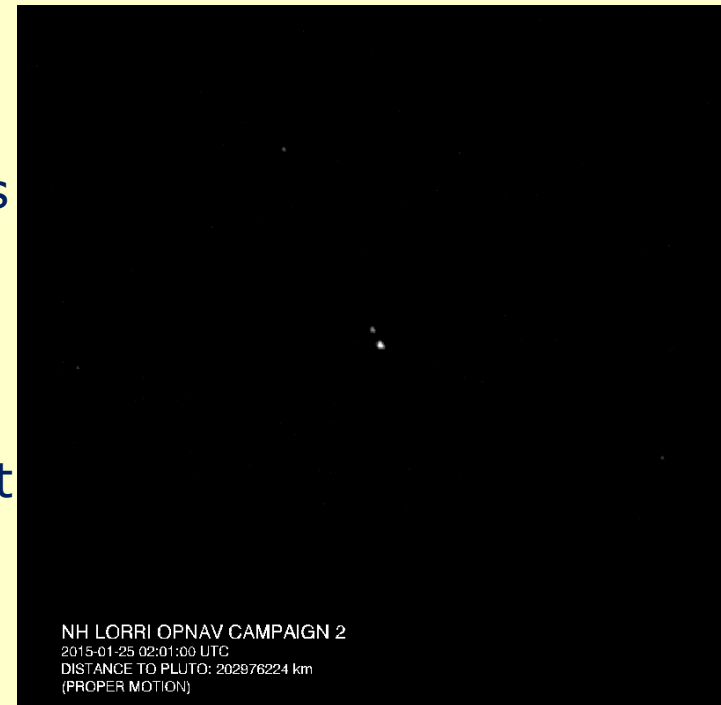
Pluto is ontdekt door Clyde Tombaugh, 1930, met 33 cm telescoop, Lowell Observatory, Arizona (Pluto = god van de onderwereld)



Herdenking NASA

- Clyde Tombaugh geboren op 4 feb 1906, gestorven in 1997
- Wegens geboortedag en nabij bezoek aan Pluto door de satelliet New Horizons publicatie van plaatjes van Pluto

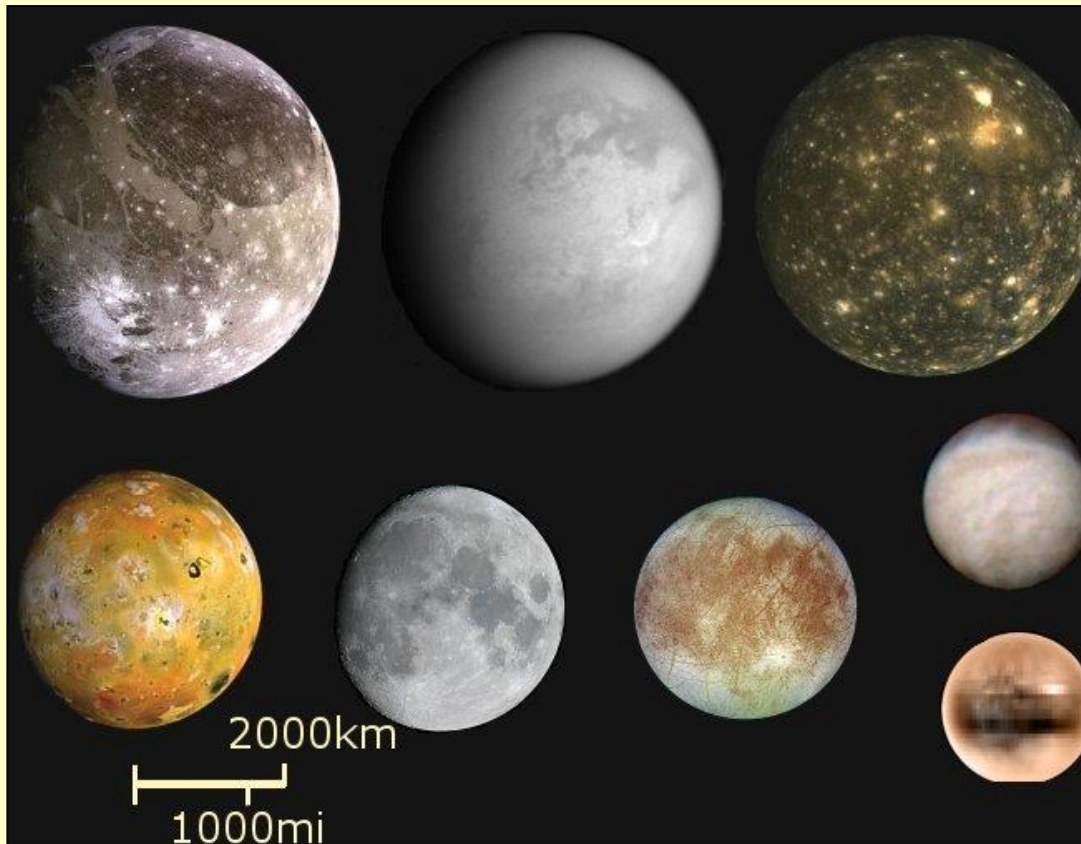
Tussen 25 en 31 januari 2015 zijn deze opnames gemaakt; je ziet Charon om Pluto draaien. Instrument LORRI aan boord van New Horizons heeft dan nog maar twee pixels resolutie op Pluto. Afstand: 203 miljoen km tot Pluto, twee dagen later 2,5 miljoen km dichterbij. Pluto staat op 4,3 tot 7,5 miljard km van de Aarde.



Pluto, eigenschappen

Massa: $0,0021 M_{\text{Aarde}}$
Diameter: 2350 km ($0,18 D_{\text{A}}$)
Dichtheid: 2 g/cm^3
Schijnbare diameter: $0,1''$

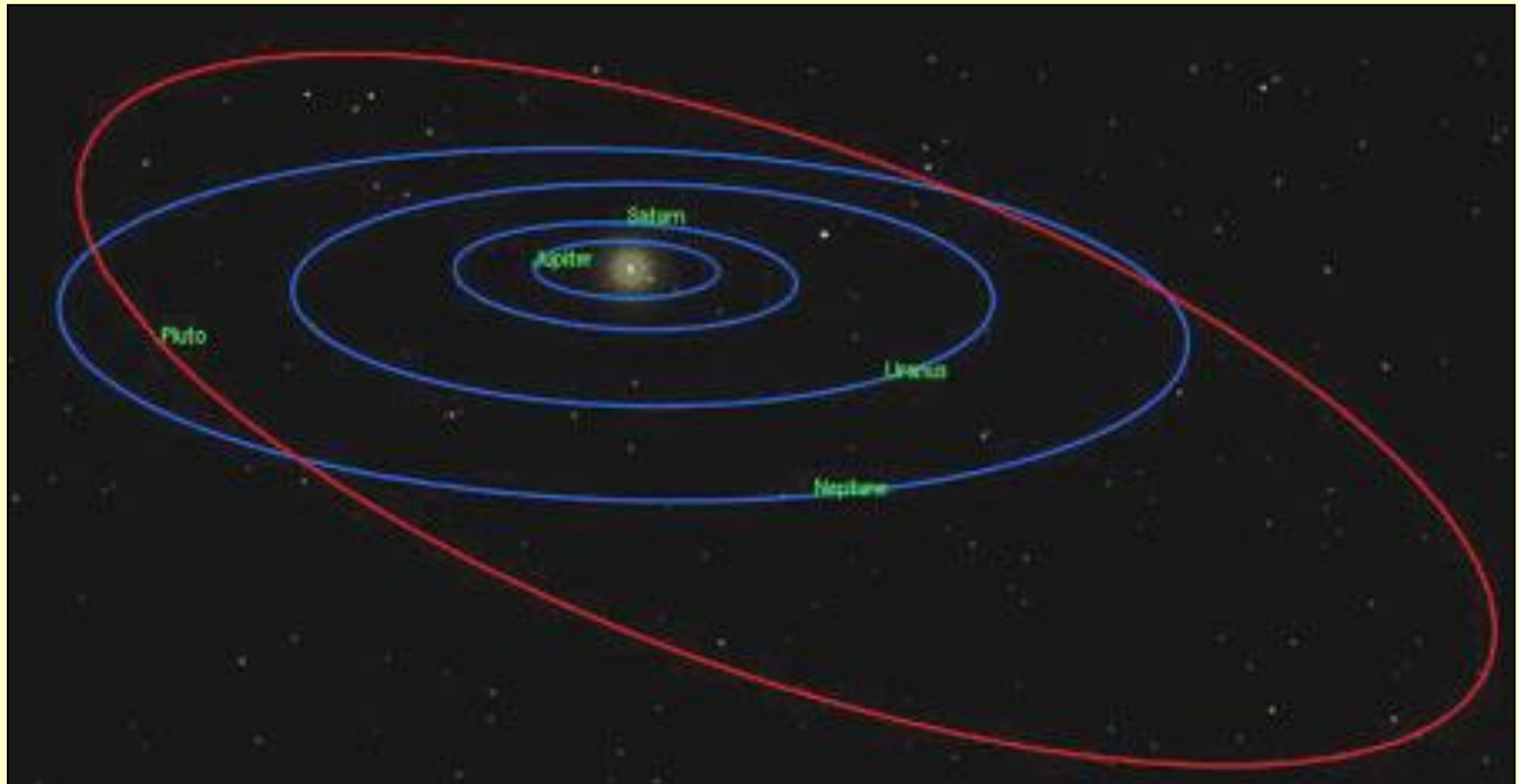
Schijnbare helderheid: 14 mag
Rotatieduur: 6 d 9 h
Albedo: 0,49 – 0,66 (varieert)
(aarde = 0,39)



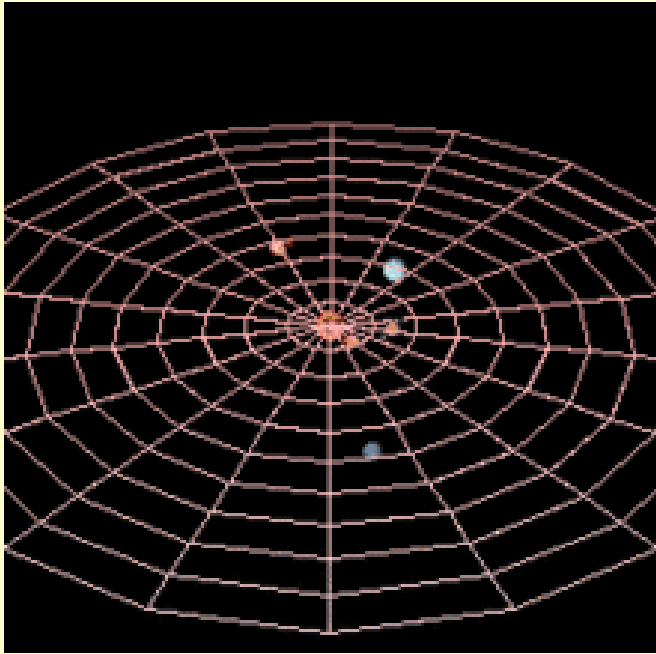
Ganymedes (Jupiter)
Titan (Saturnus)
Callisto (Jupiter)
Io (Jupiter)
Maan (Aarde)
Europa (Jupiter)
Triton (Neptunus)
Pluto
→ Pluto is echt een kleintje

Baan van Pluto

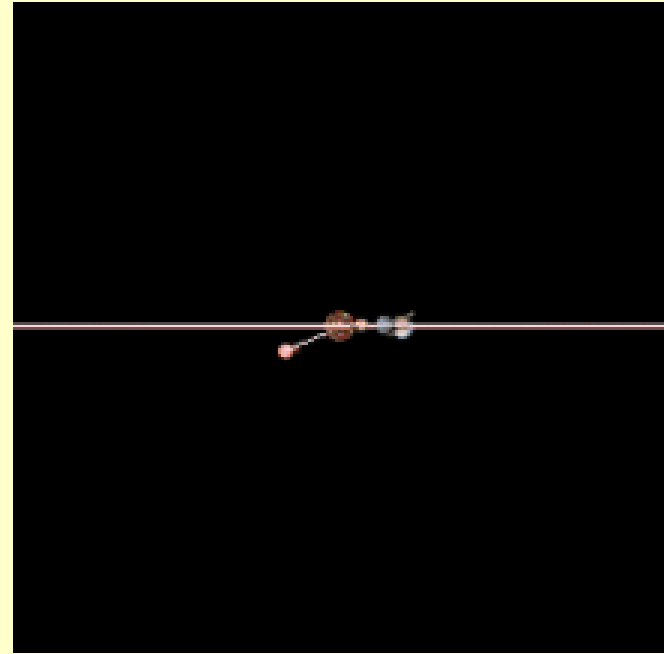
Pluto heeft excentrische baan met grote helling (17°).
T = 248 jaar, $a = 39,5$ AE (30-48). Soms staat Pluto dichterbij de zon dan Neptunus (bv. 1979-1999). Geen botsing door 3:2 baanresonantie (Neptunus 3 omlopen tegen Pluto 2)



Pluto's baan



Van boven



Van opzij

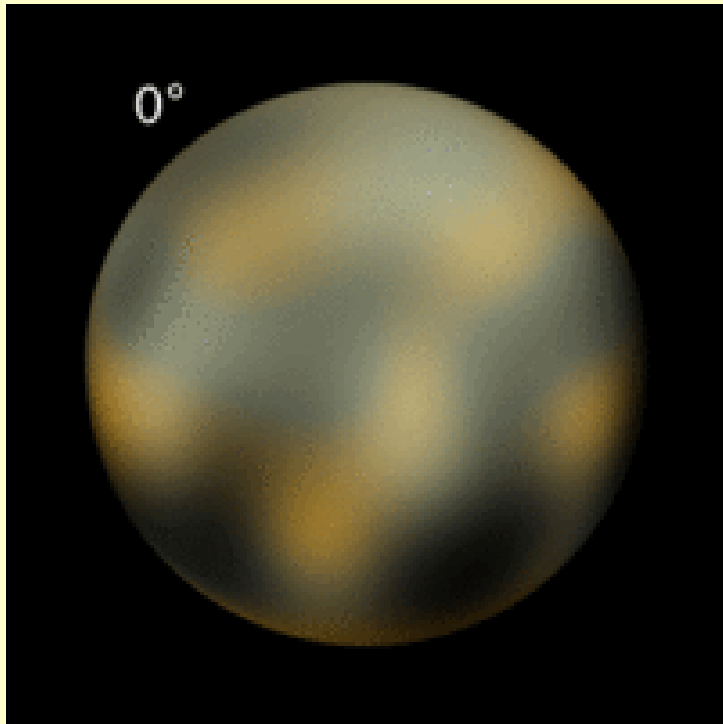
Samenstelling van Pluto

Dichtheid 2 g/cm^3

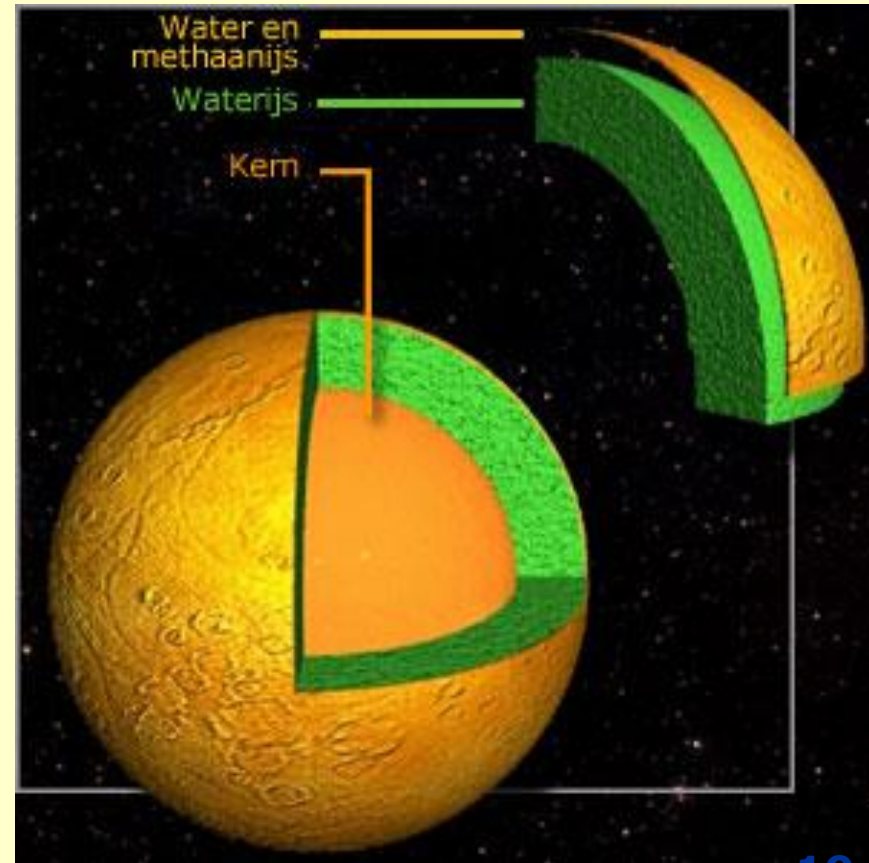
50-70 % rotsachtig (kern), 1700 km

30-50 % ijs (mantel),

Wellicht water bij grens kern → mantel

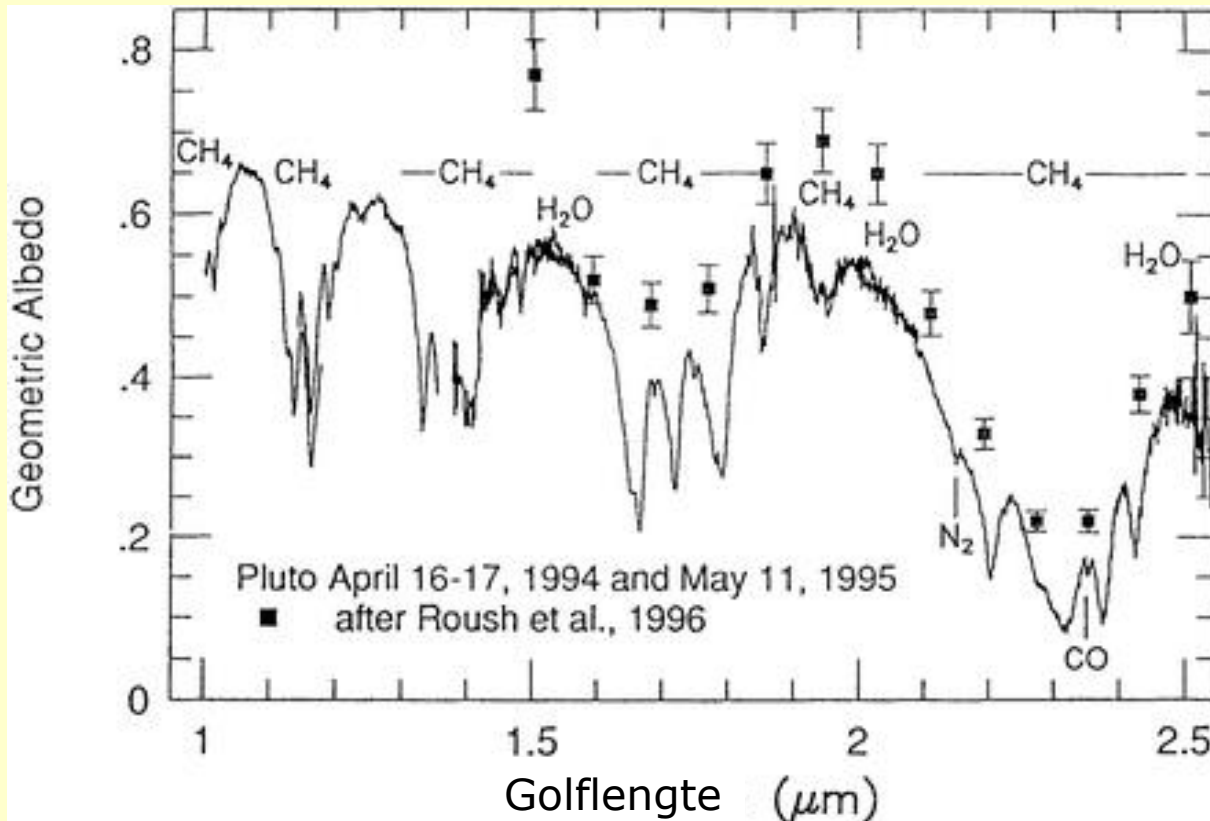


Oppervlakte varieert



Oppervlak Pluto

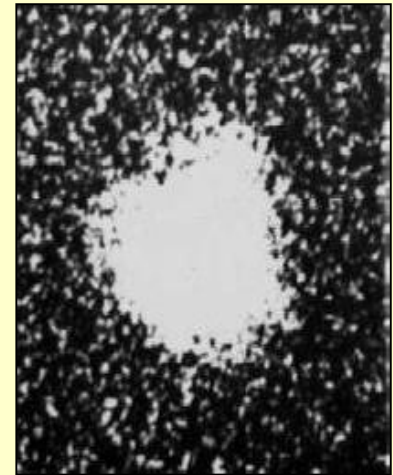
- IJzig oppervlak, 98% stikstof (N_2), verder methaan (CH_4), koolmonoxide (CO), waterijs (H_2O).
- Methaan is vast: oppervlak kouder dan 70 K
- Temperatuur varieert (40 – 60 K) met afstand (30 – 50 AE)



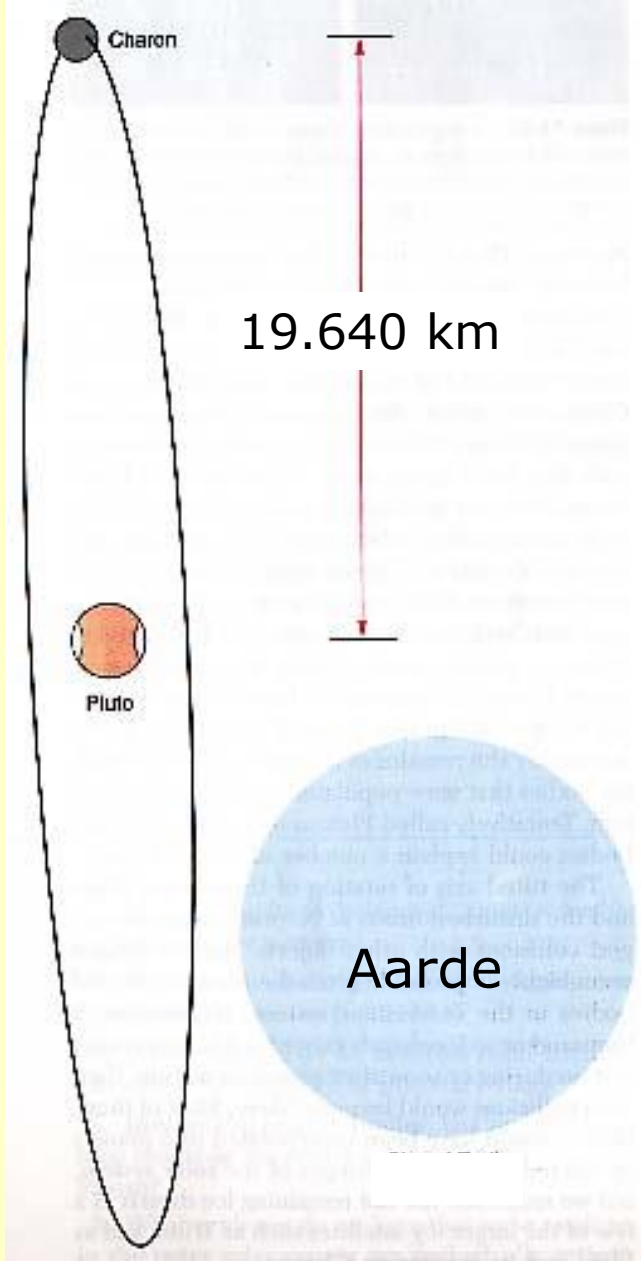
Dunne atmosfeer, blijkt bij sterbedekkingen. Atmosfeer (vnl. stikstof) wisselt in dichtheid: bevriest en slaat neer op oppervlak, later weer sublimatie. Geeft wisselend albedo en een soort seizoenen

Charon

1978: James Christy ontdekt
Plutomaan Charon met telescoop
Flagstaff; 1200 km diameter; 1,7
g/cm³; Charon was de veerman in het
dodenrijk van Pluto.

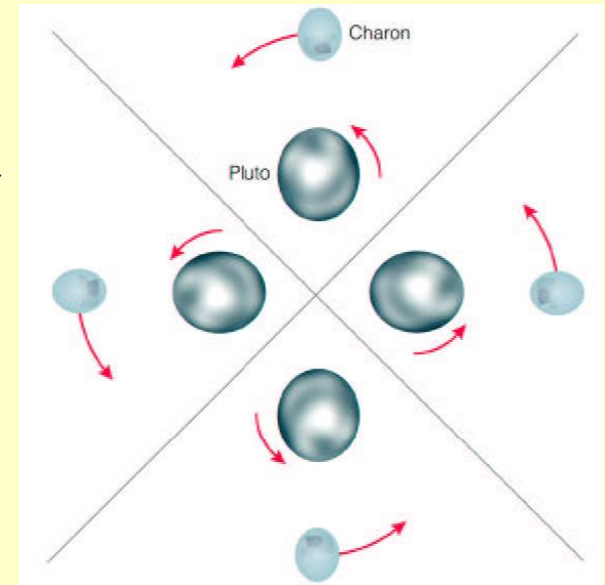


Banen Pluto en Charon



Diameter 1210 km ($\sim \frac{1}{2}$ Pluto),
afstand 20.000 km, dubbelplaneet,
dichtheid $1,6 \text{ g/cm}^3$

Getijde gebonden \rightarrow
rotatie =
omwenteling =
6,4 dagen

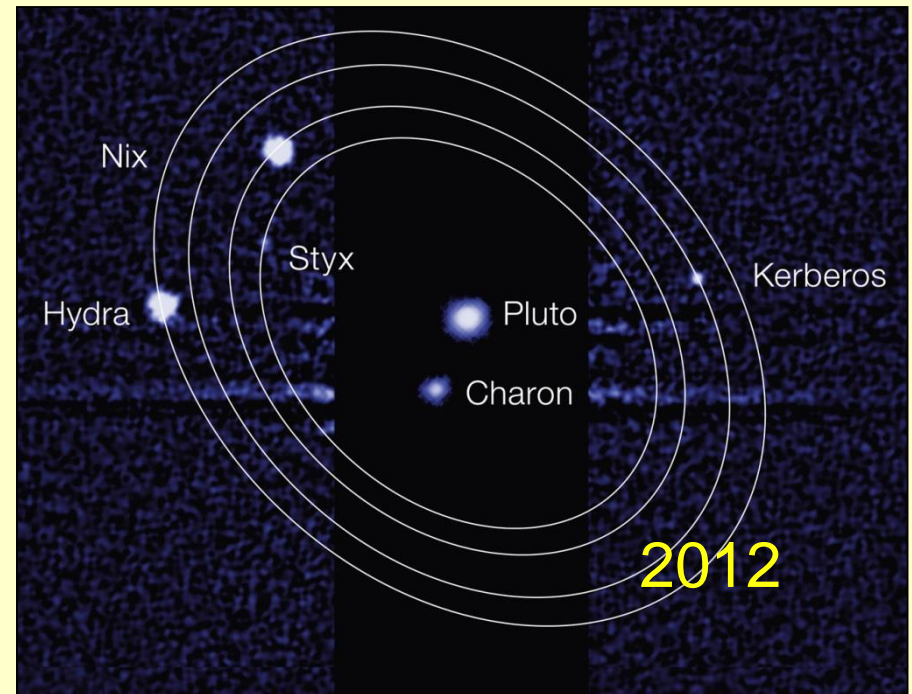
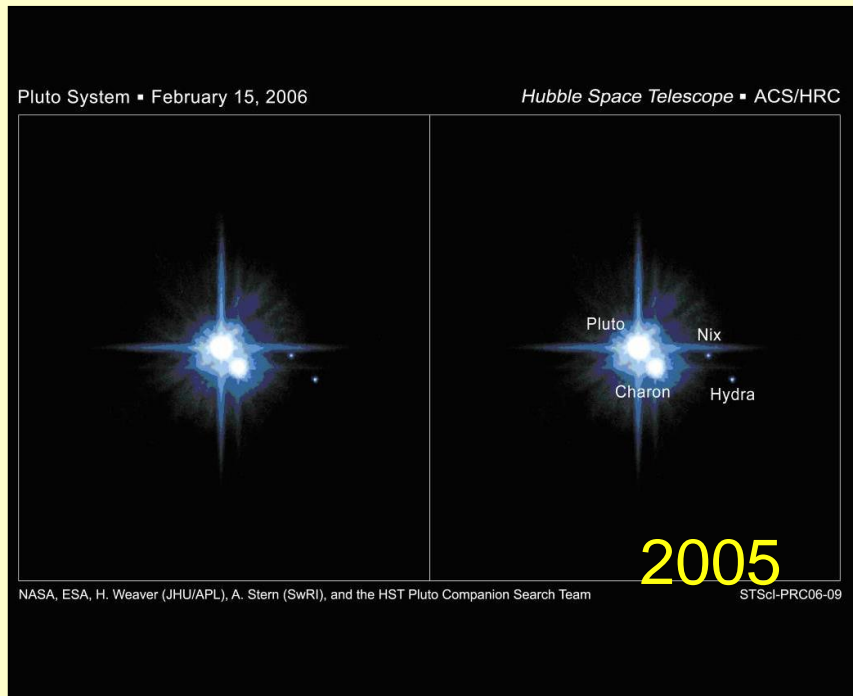


Nix, Hydra, Kerberos en Styx

2005, HST, Weaver et al:
Nix (eig. Nyx) = moeder van Charon (wegens planetoïde 3908 Nyx), 50 -140 km ;
Hydra = negenhoofdige slang waarmee Hercules vocht, 60 – 170 km

2011, resp. 2012, HST, Showalter:
Kerberos (hond met 3 koppen, bewaakt de onderwereld), 13-24 km;
Styx (rivier scheidt onder- en bovenwereld), 10-25 km

New Horizons ~ Nix Hydra



Twijfels aan Pluto

De planeetstatus van Pluto was allang in discussie. Dat werd sterker met het groeien van het aantal grote ijsdwergen.

In 2006 nam de IAU hierover een veelbesproken besluit: **Pluto werd de planeetstatus ontnomen.**

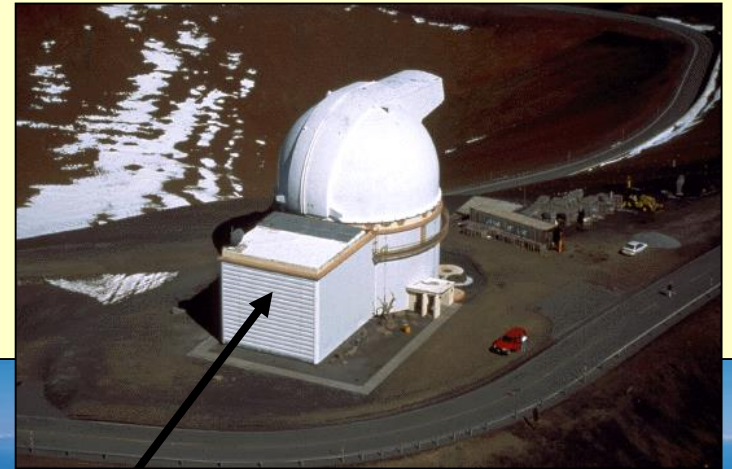
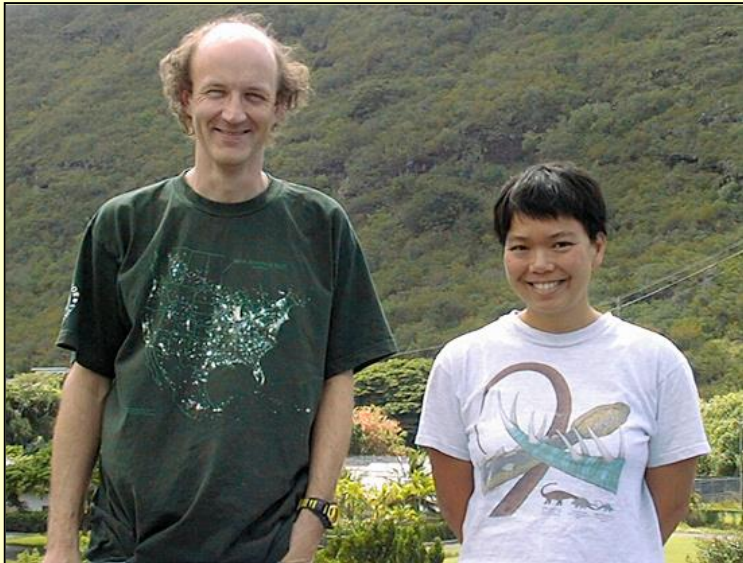
Amerikanen woedend: de enige door hen ontdekte planeet.



3. Kuiper Gordel en Oortwolk

Ontdekking QB1 in 1992

Dave Hewitt en Jane Luu,
Mauna Kea, 2,2 m telescoop,
zoeken naar verre ijsklompen
met CCD, groot beeldveld



Mauna Kea

Ontdekking 1992 QB₁

Lichtzwak object (23m), naam 1992 QB₁
later nummer 15760,
naam Smiley is nooit officieel geworden

Beweegt trager dan planetoïde, voorbij
Pluto, P= 289 jaar, D = ca. 160 km,
veel te klein voor een planeet

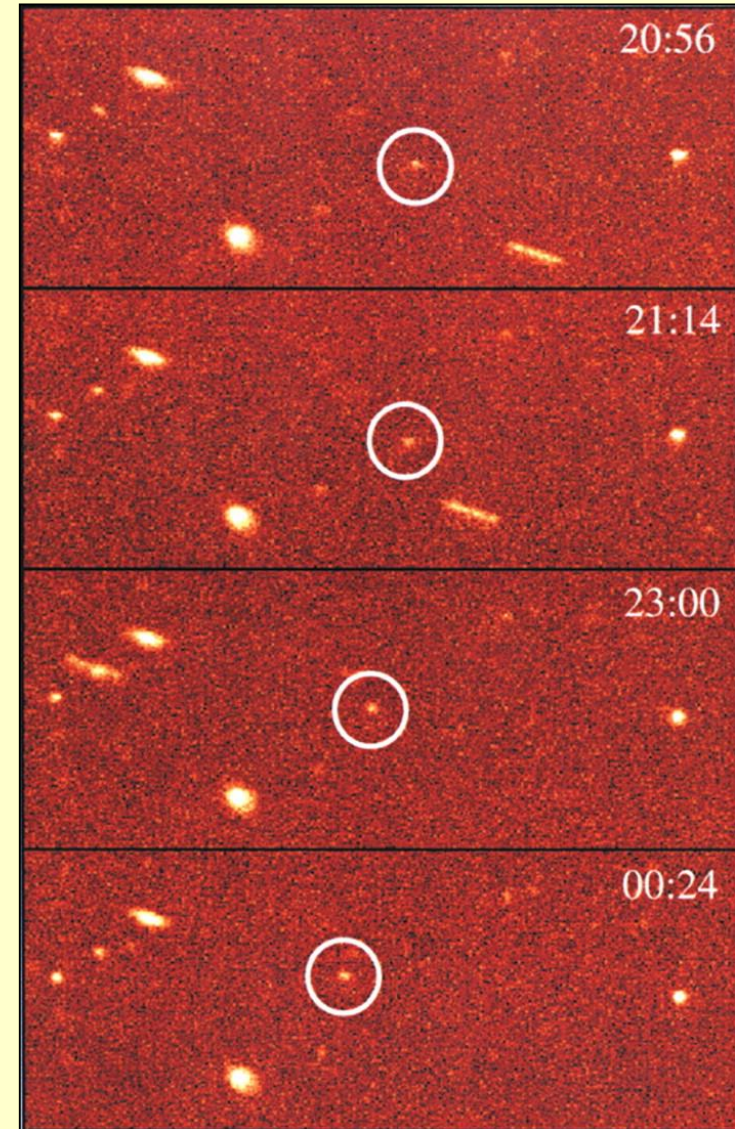
Naamgeving 1992 QB₁

1992 = jaar

Q = 16e letter = 2e helft augustus

B = 2e letter = 2e object in die periode

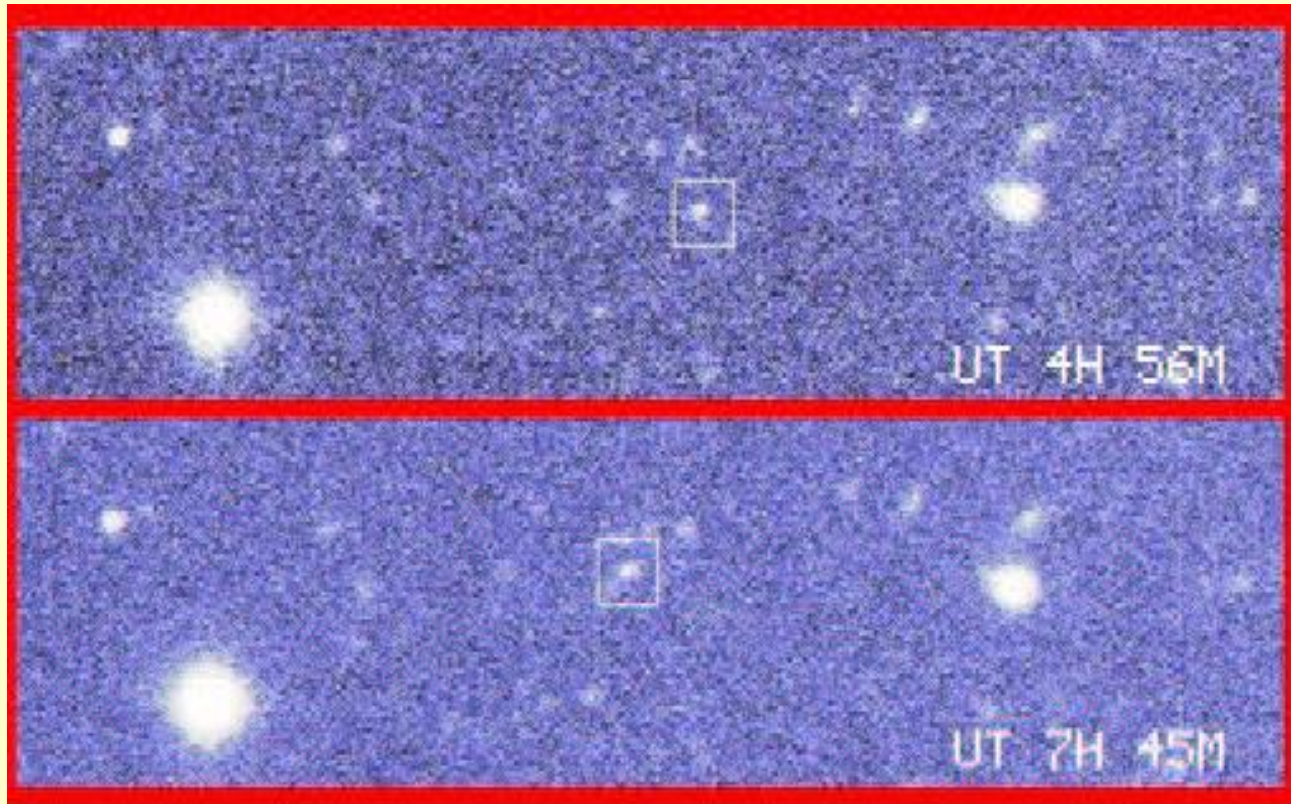
1 = aantal doorlopen alfabet voor 2e letter



30-31 augustus 1992

Blinktechniek

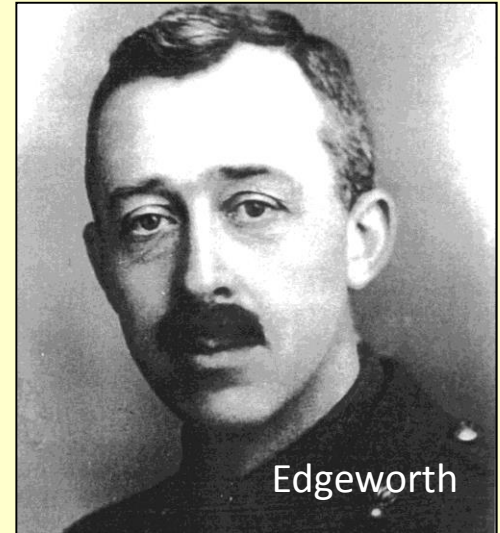
Opnamen op verschillende tijden worden vergeleken met blink comparator.



1995 QY₉

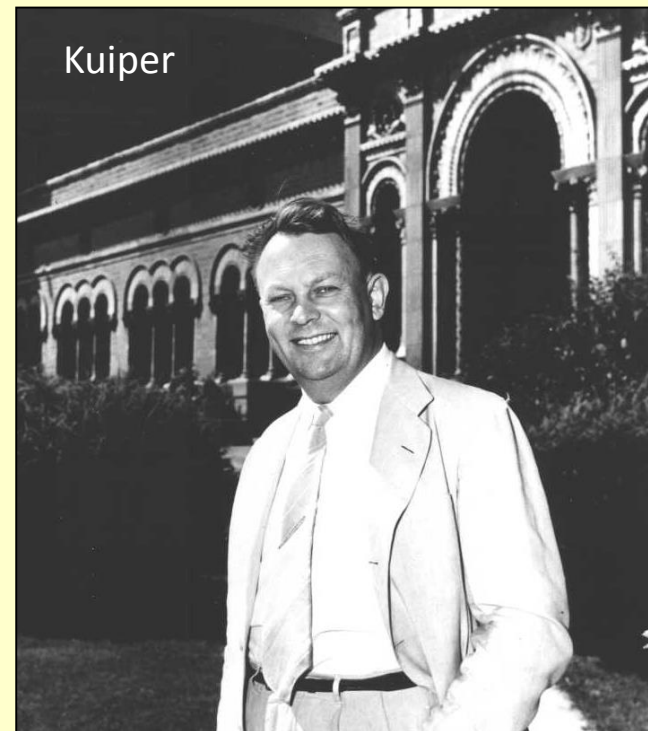
Kuiper en Edgeworth

In 1943 en 1947 oppert Kenneth Edgeworth (1880-1973) het bestaan van een schijf met 100 km objecten voorbij Neptunus.



Gerard Kuiper (1905-1973) deed datzelfde in 1951. Zijn suggestie kreeg veel meer aandacht en hij werd de naamgever van de gordel.

Volgens huidige Nice model (zie later) hadden beide het bij het verkeerde eind

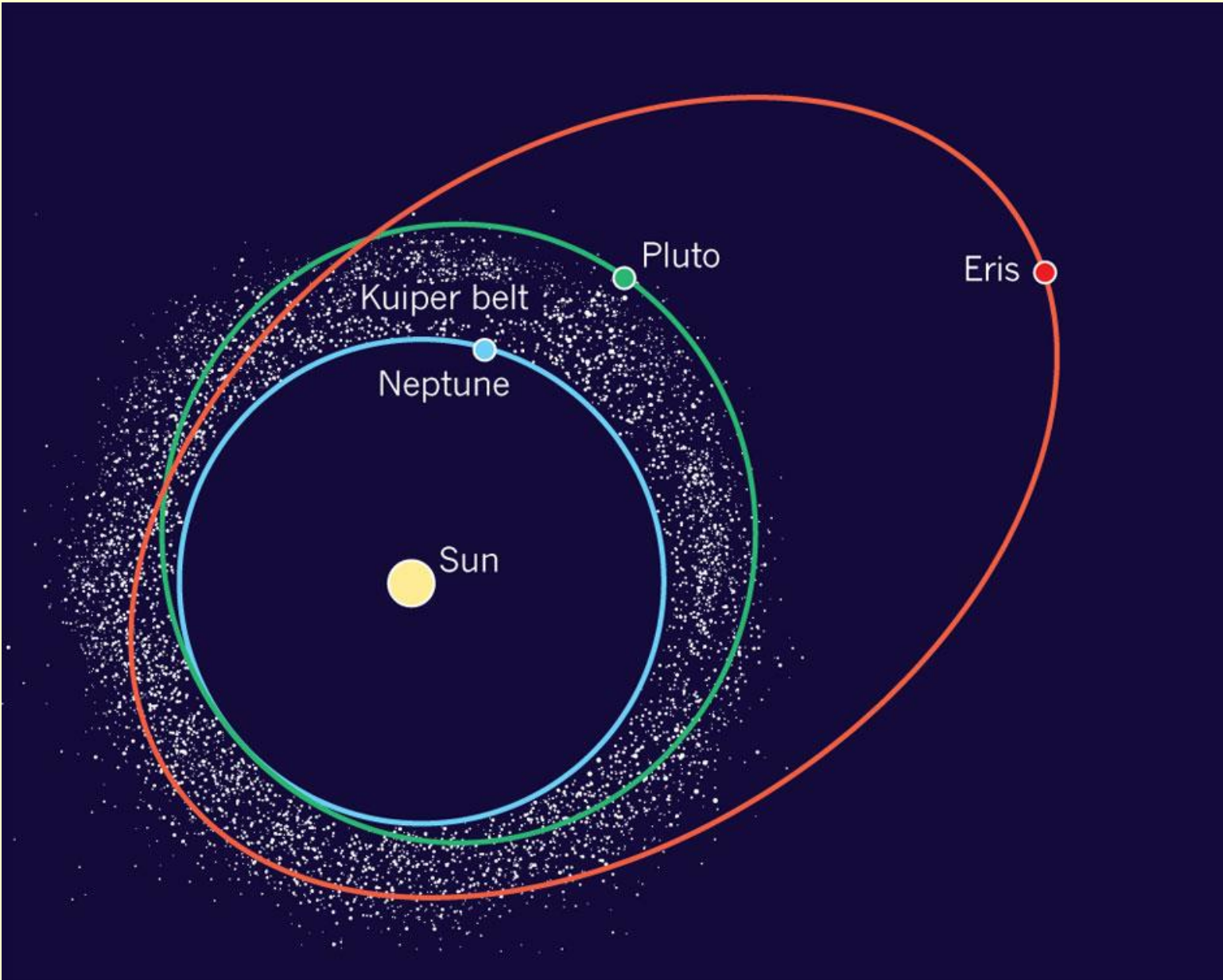


Kuiper Gordel juiste naam?

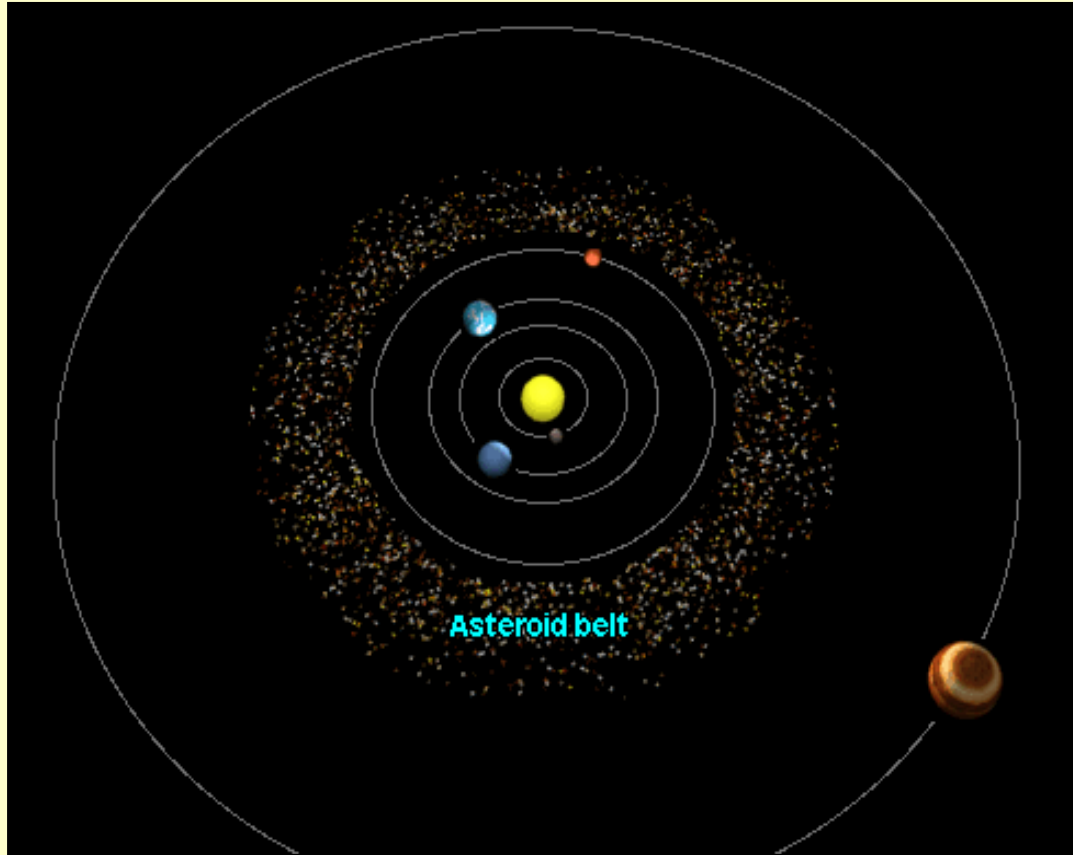
- G. P. Kuiper 1951, in *Astrophysics: A Topical Symposium*, New York: McGraw-Hill
- Kenneth Edgeworth (1943, *J.B.A.A.* 53, 186) en in 1949, niet geciteerd door Kuiper.
- Fred Leonard noemde de mogelijkheid van objecten voorbij Pluto in 1930 (*Leaflet Astron. Soc. Pacific* No. 30, pp. 121-124).
- J. Fernandez deed grondige studie in 1980, (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 192, 481-491)
- Ik gebruik daarom een neutrale naam: Transneptunian Objects (TNO's); ik spreek over 'Kuiper Gordel' als ik het gehele gebied voorbij Neptunus en vóór de Oort Wolk bedoel.

Kuiper Gordel

http://www.nature.com/nature/journal/v468/n7325/fig_tab/468775a_F1.html



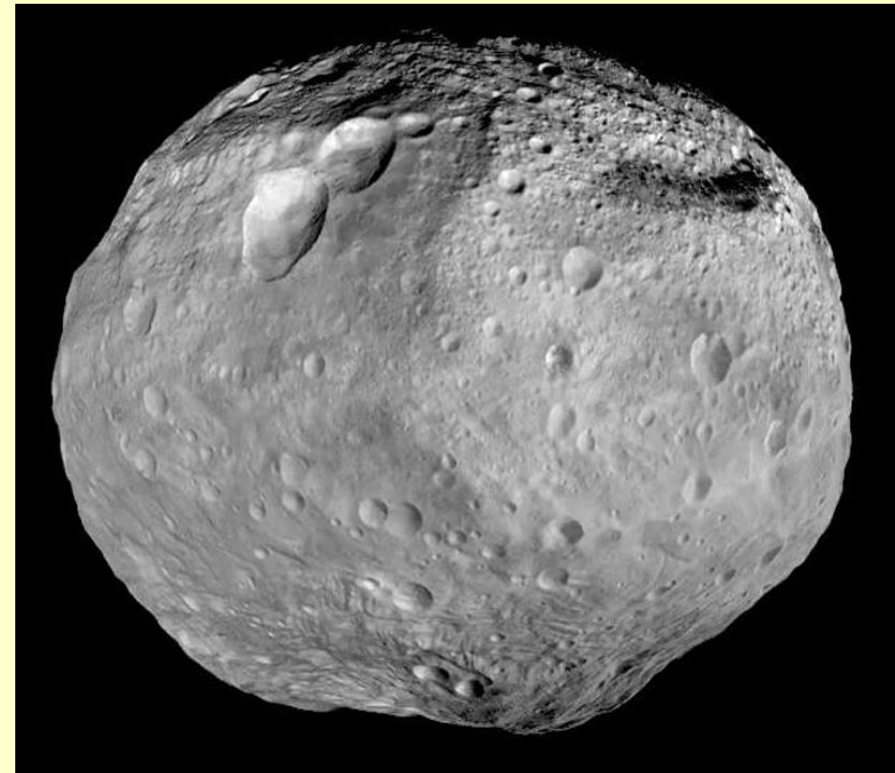
Planetoïdengordel



Tussen Mars en Jupiter, op 2,8 AE, eerste ontdekt in 1801 (Ceres door Piazza), Schijfvormig, meer dan 750.000 objecten groter dan 1 km, miljoenen kleinere. Planetesimalen, die geen planeet hebben kunnen vormen?

Rotswerelden ...

Planetoïden zijn rotsachtige objecten, net als de binnenplaneten, maar sommige hebben water.



Eros (40 km), in 2000 bezocht door NEAR

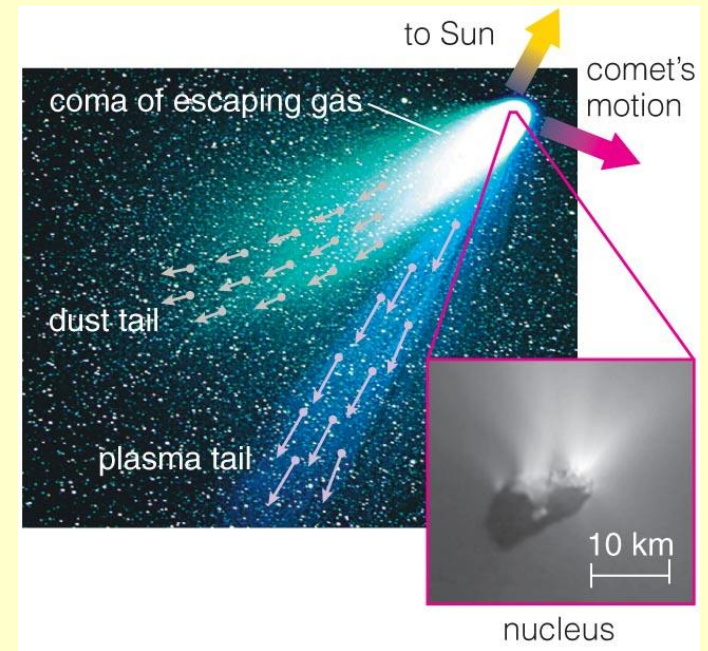
Vesta (550 km), Dawn 2011

.. tegenover ijswerelden

Kuiperobjecten zijn ijsachtige objecten.

Waarnemingen (kleur, spectra) wijzen op mengsels van ijs en stof, 'vuile sneeuwballen'.

Dat doet sterk denken aan (de kernen van) kometen.



Informatie Kuiper Gordel*

- Paar 100.000 TNO's groter dan 100 km tussen Neptunus (30 AE) en 55 AE, in brede band rondom de Zon: Edgeworth-Kuiper Gordel
- Belang van Kuiper Gordel:
 - o TNO's: prille overblijfsels uit begin zonnestelsel (?)
 - o Kuiper Gordel is bron van kort-periodieke kometen, soort reservoir, net als de Oort wolk. Dat zijn er wel duizend miljard.
- De kernen van kort-periodieke kometen ontstaan door botsingen tussen TNO's in de Kuiper Gordel. Die kernen hebben dus heel wat meegemaakt en zijn misschien toch niet zo pril.

Zie: <https://solarsystem.nasa.gov/planets>

Objecten in Kuiper Gordel

- Pluto is ontdekt in 1930
- Een tweede object ontdekt in 1992 (1992 QB1)
- 10 in 1994
- 100 in 2000
- 1000 net voor 2006
- Het 'Minor Planet Centre' houdt namens de IAU een lijst bij van TNO's
(<http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/TNOs.html>).
Ik telde er 1353 op 25 februari 2015
- Sedna ligt tussen 76 en 943 AE; in binnenste Oortwolk of een Kuipergordel buitenbeentje?

Grootste objecten

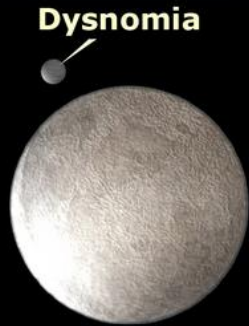
| Naam | Perihelium | Aphelium | Eccentriciteit | Inclinatie | diameter | Albedo |
|-----------|------------|----------|----------------|------------|----------|--------|
| Quaoar* | 42 AE | 45 AE | 0,04 | 8 graden | 1070 km | 0,13 |
| Sedna | 76 AE | 961 AE | 0,85 | 12 | 995 | |
| Salacia | 38 | 47 | 0,10 | 24 | 854 | |
| Pluto | 30 | 50 | 0,25 | 17 | 2368 | |
| Haumea* | 35 | 52 | 0,20 | 28 | 1240 | 0,80 |
| Eris | 38 | 98 | 0,43 | 44 | 2326 | |
| Makemake* | 38 | 53 | 0,16 | 29 | 1430 | 0,77 |

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_trans-Neptunian_objects

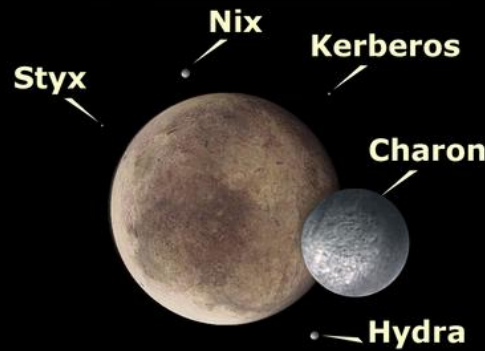
* arXiv.org > astro-ph > arXiv:1403.6309

8 grootste TNO's t.o.v. Aarde

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Eris



Pluto



Makemake



Haumea



Sedna



2007 OR₁₀



Quaoar



Orcus



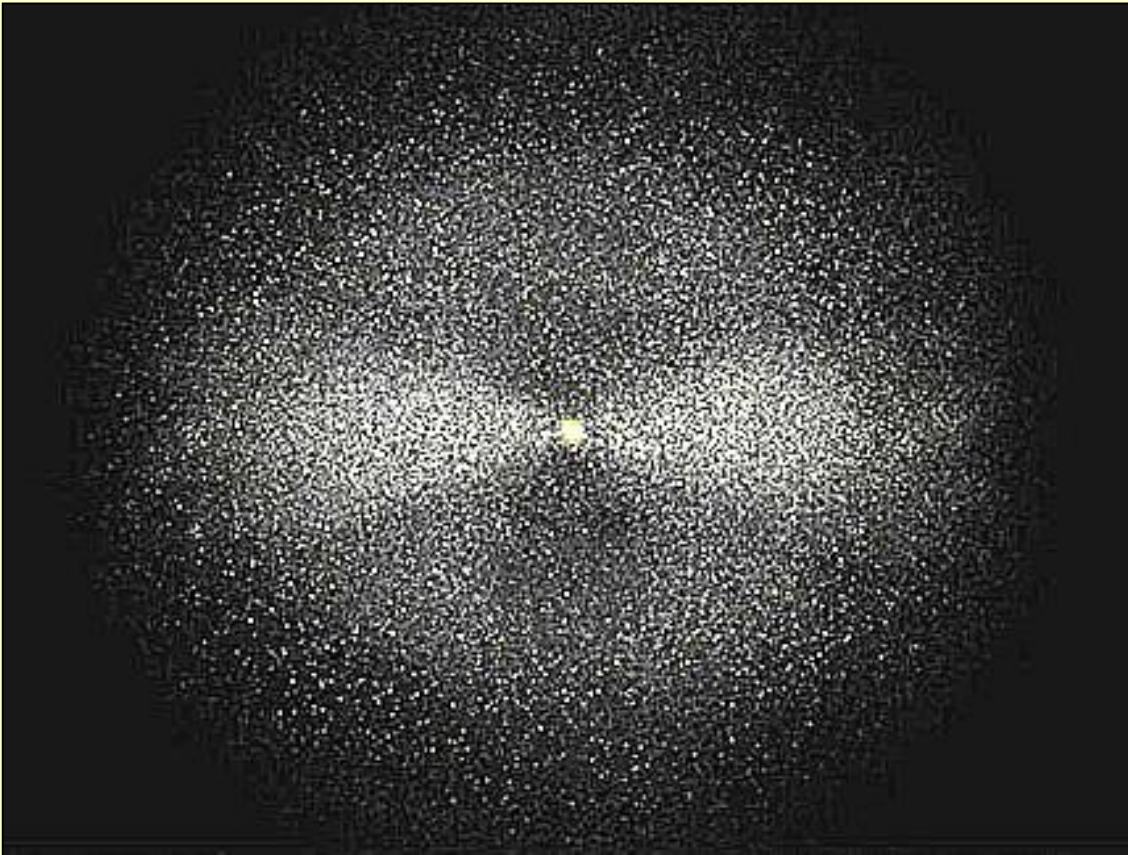
Oort wolk
is veel
groter dan
de Kuiper
Gordel



*Oort Cloud cutaway
drawing adapted from
Donald K. Yeoman's
illustration (NASA, JPL)*

De Oort-wolk -1

Bron van de lang-periodieke kometen is de Oort-wolk, bolvormige wolk, overgaande in een schijf in het midden. Hypothetisch, geen directe waarnemingen, algemeen geaccepteerd.



Voorgesteld:
Ernst Öpik
(1932),
Jan Hendrik
Oort (1950).

De Oort-wolk -2

Strekt zich uit van 3.000 tot 50.000 AE (zelfs tot 2 lj?),
definieert de gravitatiegrens van zonnestelsel.

(Dichtsbijzijnde ster, Proxima Centauri, staat op 4,2 lj.)

Objecten uit stof en ijssoorten
(water, methaan, ammonia).

Reservoir van komeetkernen,
 10^{12} , door verstoringen
naar centrum zonnestelsel.

Oort-wolk

Langperiodieke kometen

Willekeurige helling

Kuipergordel

Geringe helling

Kleinere objecten: geven aanleiding
tot kortperiodieke kometen

Grotere objecten: ijsdweren, tot
aan Pluto toe

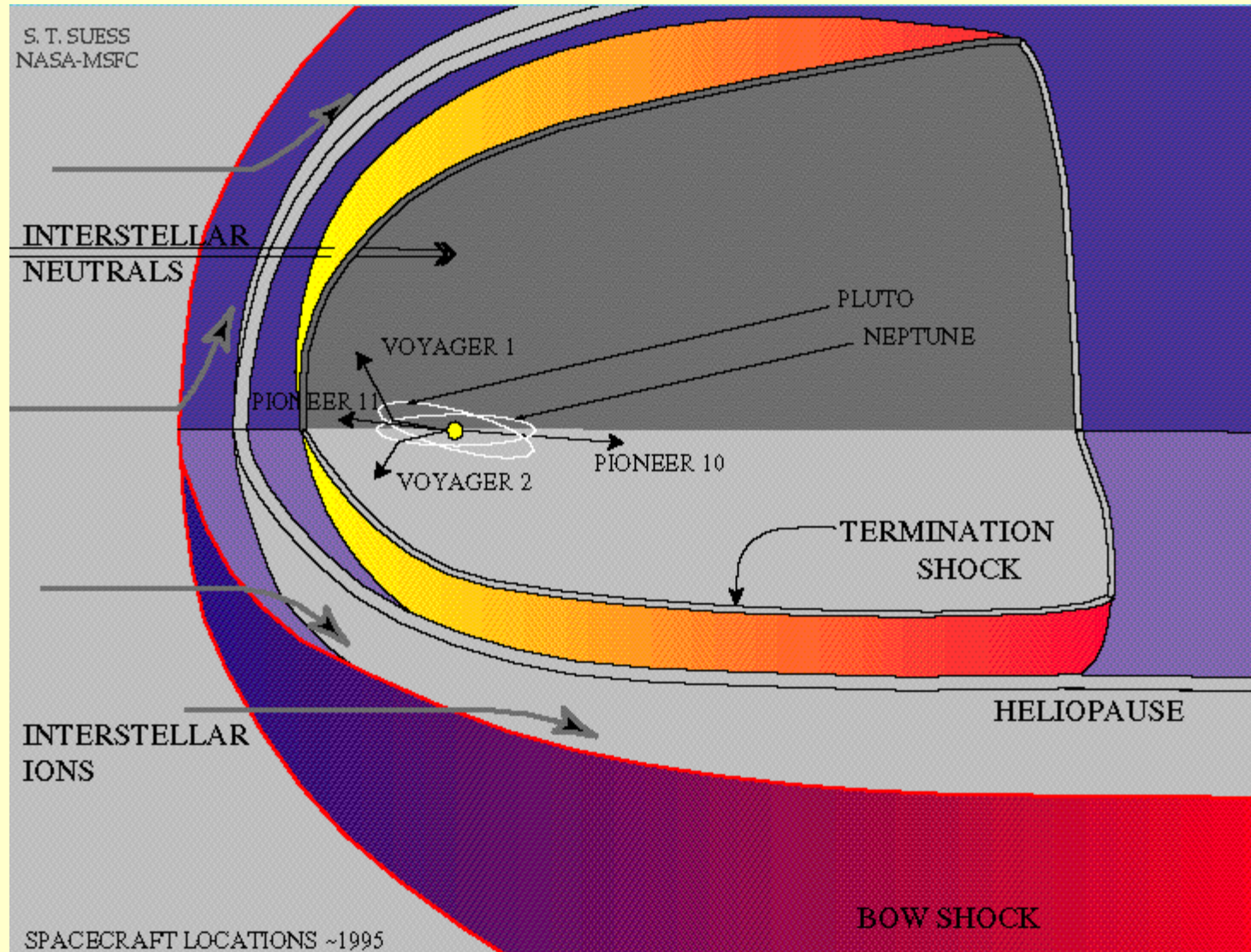
4. Heliosfeer en lokale interstellaire wolk

Heliosfeer en de Voyagers

Pioneer 10 is in 1972 gelanceerd en er was contact tot 2003.

Pioneer 11 werkte van 1973 tot 1995.

Voyagers 1 en 2 zijn gelanceerd in 1977. Er is nog steeds contact.



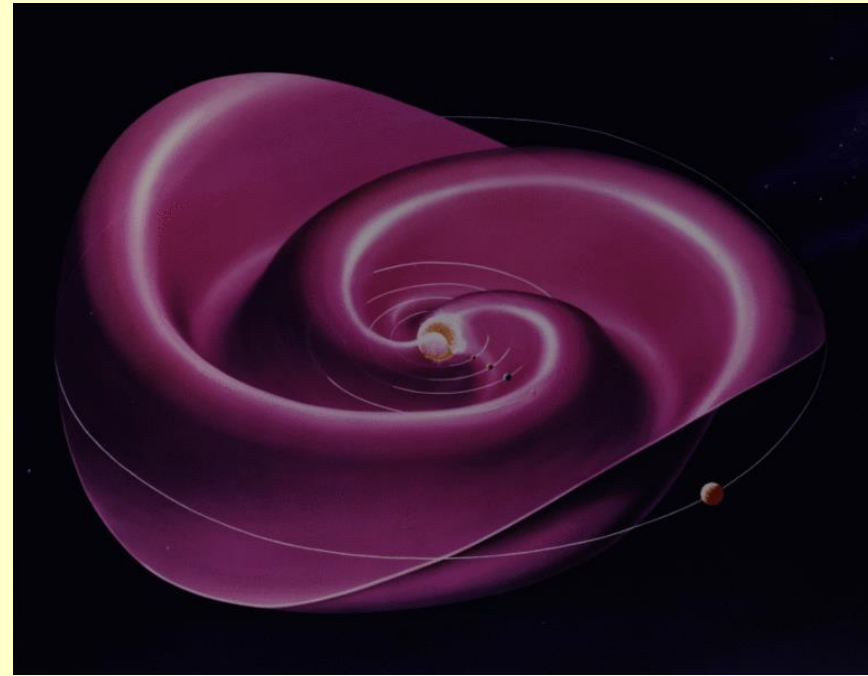
Rand van heliosfeer -1

- Ingewikkelde structuur aan rand van heliosfeer, waar zonnewind en lokale interstellaire wolk (LIC*) elkaar ontmoeten
- Zonnewind moet afremmen, veroorzaakt 'termination shock' op sterk variabele afstand, afhankelijk van de zonne activiteit, orde 100 AE
- Er ontstaat een brede binnenste 'heliosheath' waar ionen, elektronen en magneetvelden (in eerste instantie van de Zon) sterk afbuigen
- Buiten de termination shock ligt de heliopauze: meeste kosmische stralen en LIC ionen blijven buiten deze grens
- Buitenste heliosheath: gebied waar afgebogen kosmische stralen en LIC ionen zich bevinden

*LIC = Local Interstellar Cloud

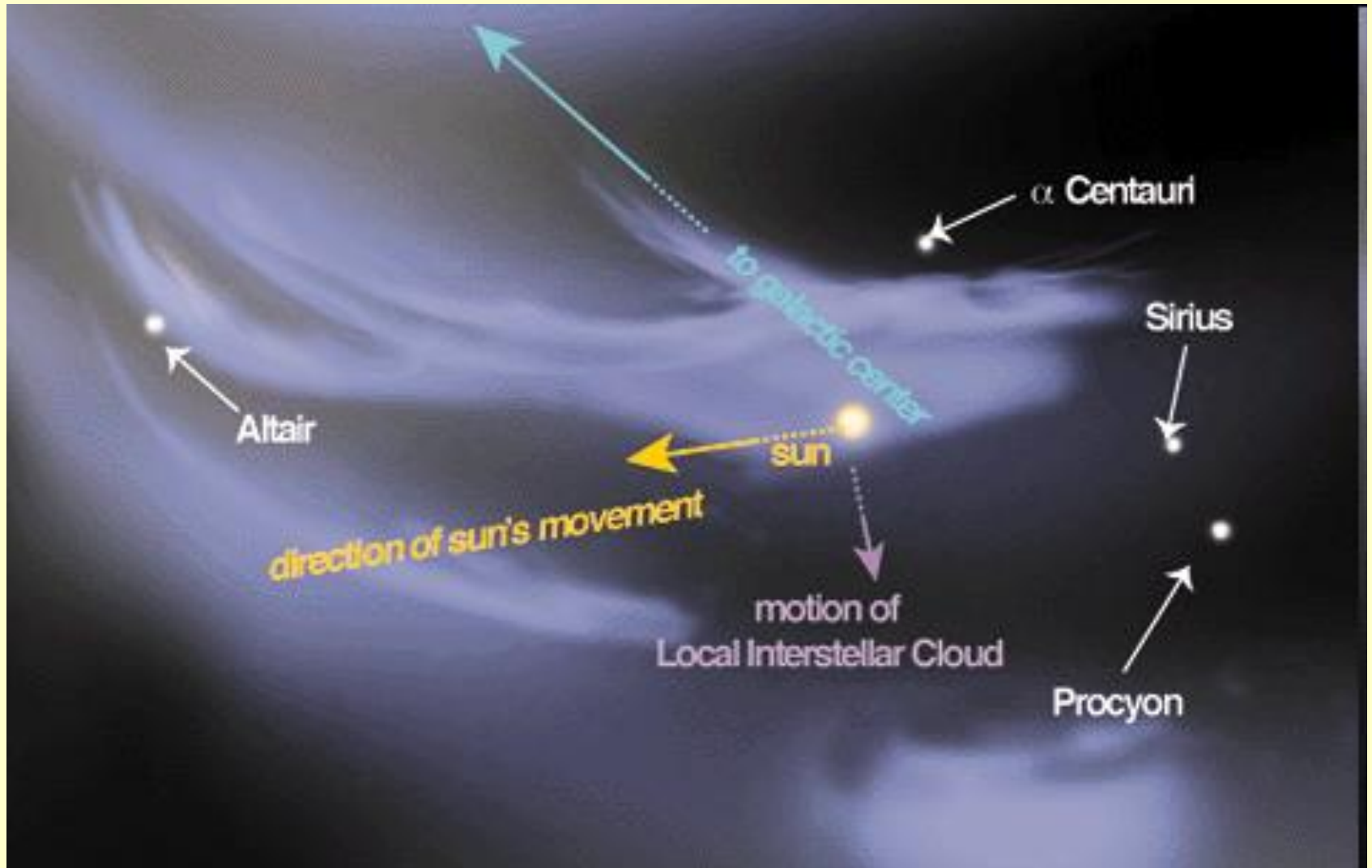
Rand van heliosfeer -2

- Bow shock (boeggolf): schokgrens tussen LIC en heliosfeer
- Het snelheidsverschil kan zo laag zijn dat er geen of nauwelijks een boeggolf is.
- Fascinerend gebied van onderzoek
- Voyagers lijken door enorme vortices te vliegen van geheel losgeraakte ionen



'current sheet' veroorzaakt door ionen, die de draaiende zon verlaten

Local Interstellar Cloud (LIC)



Astronomy Picture of the Day, 10 feb 2002

5. TNO banen

Klassieke en Resonante TNO's

- Klassieke (Classical) TNO's (~ 200 , scherp begrensd bij 48-50 AE) hebben banen van geringe excentriciteit en een halve lange as van 40 tot 47 AE. Zij vormen een groep en hebben stabiele banen: ze naderen Neptunus nooit dicht genoeg om verstoord te worden.
- Sommige TNO's (~ 60) zijn in resonantie met Neptunus (Resonant TNO's). B.v. Pluto is in een 3:2 resonantie, hetgeen betekent dat Pluto 2 keer om de Zon gaat terwijl Neptunus in dezelfde tijd drie keer rond gaat. Dan tellen zwaartekracht verstoringen op, met sterke effecten op TNO baan.

Plutino's en verstrooide TNO's

- De **Plutino's** bestaan uit TNO's met een 3:2 resonantie zoals Pluto (1/4 van alle TNO's). De naam, gegeven door Jewitt, is als grapje bedoeld.
- TNO's in sterk excentrische banen, minstens 30 AE van de Zon, worden **verstrooide (scattered) TNO's** genoemd. Ze maken vaak een hoek met de ecliptica van verscheidene tientallen graden. Geregelde verstoringen door Neptunus hebben deze verstrooiing veroorzaakt. Deze objecten zullen 'weglekken' uit het Zonnestelsel. Het aantal verstrooide TNO's met straal groter dan 50 km, wordt op 60.000 geschat. Deze TNO's hebben meer massa dan de andere categorieën samen.

Vrije TNO's

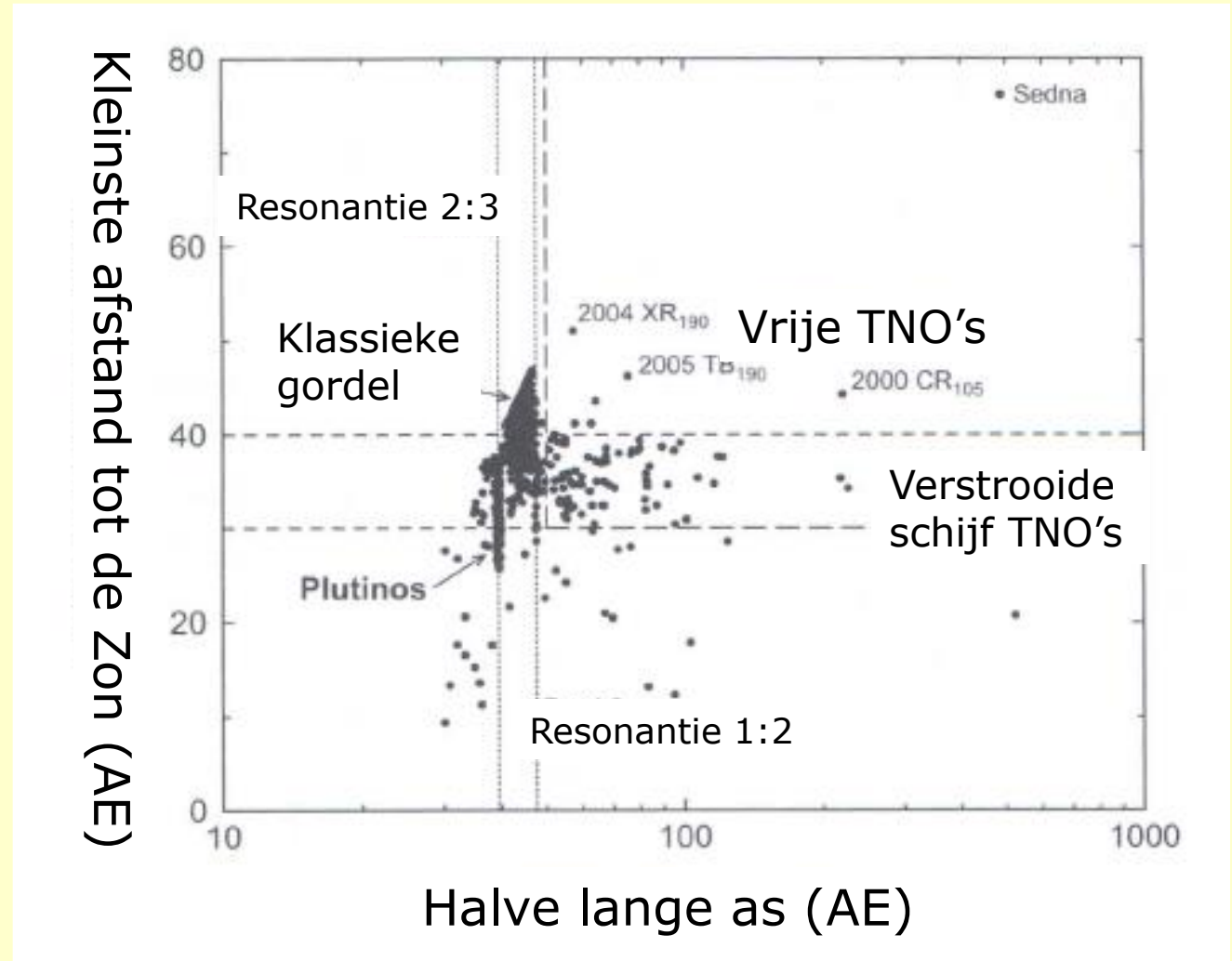
- **Vrije ('detached')** TNO's (~ 28) hebben stabiele banen met perihelium groter dan 40 AE. Zo ver weg zijn er geen verstoringen door Neptunus. Hoe komen ze zo ver weg?
- Geopperde ideeën zijn:
 1. verstoord door een passerende ster,
 2. verstoord door een nog onontdekte verder weg staande planeet,
 3. verstoringen in het jonge Zonnestelsel wegens verplaatsingen en het enorme massaverlies uit de Kuiper Gordel.

Centaur en Trojanen

- De **Centaur**s zijn objecten die een sterke interactie hebben met de reuzenplaneten. Zij bewegen tussen de banen van Jupiter (5.2 AE) en die van Neptunus in (30 AE) en zijn niet in een 1:1 resonantie met een planeet.
- Deze definitie sluit stabiele objecten in L4 en L5 van een planeet uit; deze worden Trojanen genoemd.

Indeling naar Beweging TNO's

Uit: Solar
System
Beyond
Neptune



6. Aard van TNO's

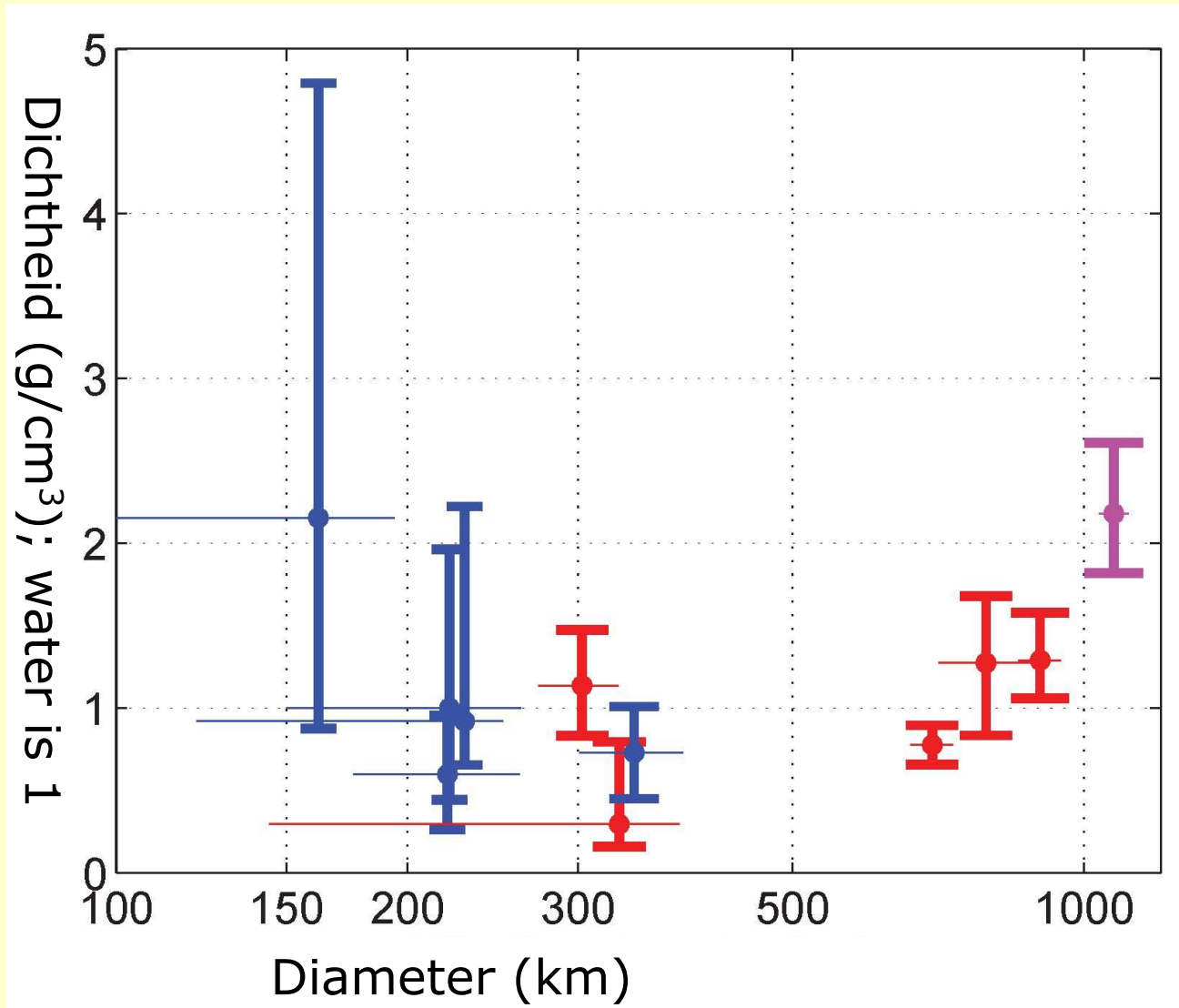
TNO eigenschappen

- TNO's zijn 30 tot 50 K → uitgestraalde energie piekt in het ver-infrarood: $\sim 50 \mu\text{m}$.
- Spitzer satelliet heeft ongeveer 47 Centaurs en TNO's ontdekt bij 24 en/of $70 \mu\text{m}$. Daaruit zijn albedo waarden van 3% (de meeste objecten) tot 85% bepaald.
- TNO's met manen → dichtheden: $0,5\text{-}3 \text{ g/cm}^3$. Als dichtheid onder de 1 g/cm^3 is TNO poreus, zoals Itokawa (zie volgende slide).
- Grootste TNO's: vluchtige gassen aan oppervlak.
- Modellen: Triton (grootste maan van Neptunus, straal 1353 km), Eris (1160) en Pluto (1180 km) hebben rotsachtige kern, dan een oceaan(tje) van ammonia en water, een ijslaag bovenop

Satelliet Hayabushi en asteroïde Itokawa



Dichtheid versus diameter



Herschel
en
Spitzer
ver-IR

Blauwe resp. rode punten zijn klassieke 'koude' resp. 'warme' Kuiper Gordel objecten; de paarse is Quaoar

Stofschijf -1

- In Kuiper Gordel kunnen we alleen grote objecten waarnemen
- Er zullen ook heel veel komeetkernen voorkomen, en ook zal er een stofschijf bestaan, zoals die rond andere sterren gemeten is.
- Dat stof kan niet waargenomen worden met onze beste telescopen of door infrarood satellieten, maar is gemeten door Pioneers 10 en 11: helderheid van 10^{-6} tot 10^{-7} ten opzichte van Zon.
- → Kuiper Gordel grootste producent van stofdeeltjes in ons zonnestelsel!

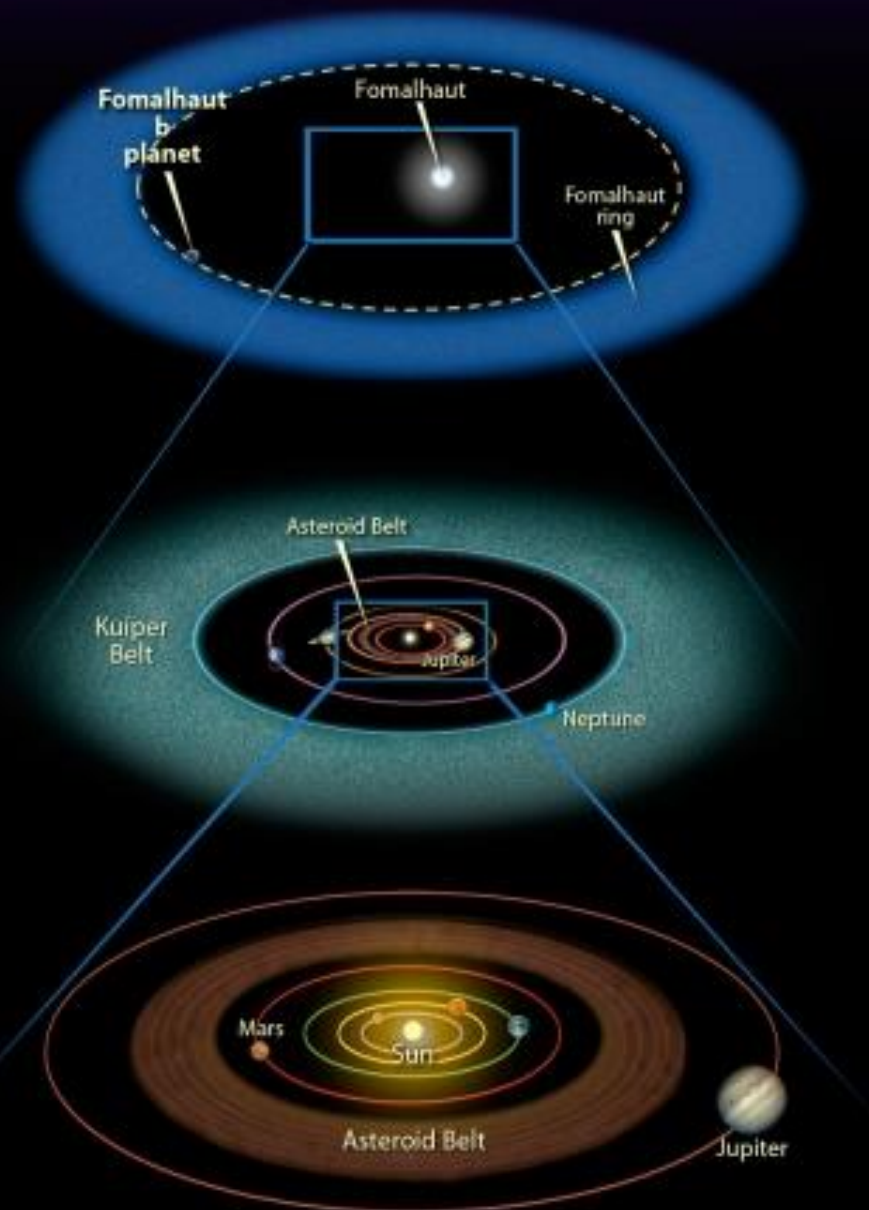
Stofschijf -2

- Botsingen met hoge snelheden tussen TNO's of hun brokstukken zorgen er voor dat de stofschijf wordt aangevuld.
- Bestaand stof zal verdwijnen door naar de Zon toe te vallen (grotere stofdeeltjes) of weggeblazen te worden door de fotonen van de Zon (heel kleine deeltjes).
- IRAS vond in 1983 een stofschijf rond Vega, later ook rond verscheidene andere sterren (co-auteur PW)
- Sommige schijven strekken zich uit tot honderden AE. Er zijn nu ~ 100 bekend; in 10 er van is de ruimtelijke structuur bepaald.

Stofschijf -3

- Deze schijven kunnen niet vergeleken worden met ons zodiacale licht, maar met het stof van de Kuiper Gordel. De exo-stofschijven bevatten veel meer massa dan de Kuiper Gordel.
- Dat is echter zuiver een selectie effect: we kunnen alleen de helderder exo-Kuiper Gordels waarnemen!
- Hoe lang deze fase duurt is onzeker: sterren van een paar 100 miljoen jaar hebben geen stofschijf, terwijl sterren van 1-10 miljard jaar enorme stofschijven kunnen hebben.
- Stofschijven worden kennelijk soms opnieuw gevormd (?)

Vergelijking Fomalhaut stelsel en zonnestelsel



<http://sci.esa.int/herschel/50255-fomalhaut-s-debris-disc-and-the-solar-system/>

Stofschijven rond andere sterren moeten vergeleken worden met de Kuiper Gordel, niet met de planetoiden gordel.

NICE Model -1

- Na het 'oplossen' van de stof en het gas van ons zonnestelsel zaten de 4 grote planeten dicht opeen, tussen 5,5 en 17 AE
- Van 17 tot 35 AE waren er rots en ijs planetesimalen, een massa van $35 M_{\text{aarde}}$
- Planetesimalen worden door de buitenste planeet naar binnen verstrooid en dan weer verder naar binnen door de volgende planeet → planeten bewegen naar buiten.
- Dit gaat door tot ze Jupiter ontmoeten, de binnenste grote planeet.
- Na honderden miljoenen jaren overschrijden Jupiter en Saturnus hun wederzijdse 1:2 resonantie

NICE Model -2

- Dan nemen hun excentriciteiten sterk toe en dat destabiliseert het gehele planetenstelsel
- Saturnus wordt verplaatst naar zijn huidige positie 9,6 AE; Saturnus gaat nu Uranus en Neptunus sterk storen, hun excentriciteit neemt enorm toe
- U en N gooien 99% van de planetesimalen uit het gebied van 17-35 AE; sommigen naar binnengebieden en veroorzaken het 'Late Heavy Bombardment', 600 miljoen jaar na het ontstaan van ons zonnestelsel.
- Interactie met de overblijvende planetesimalen veroorzaakt weer cirkelvormige banen voor Uranus en Neptunus
- Uranus en Neptunus wisselen vermoedelijk van plaats

NICE Model -3

- De planetoïden gordel wordt gevuld, veel botsingen, de meeste verdwijnen ook weer
- Diverse manen van de buitenplaneten kunnen ingevangen planetesimalen zijn
- Als Neptunus naar buiten beweegt dwingt hij sommige planetesimalen in resonanties (b.v. Pluto) en gooit ze naar buiten in chaotische banen, b.v. de verstrooide objecten → Kuiper Gordel!!
- Voorspelde gemiddelde excentriciteit (0,10-0,13) is groter dan waargenomen gemiddelde (0,7)
- Objecten verstrooid door Jupiter in zeer excentrische banen vormen de Oort Wolk

Origin of the structure of the Kuiper belt during a dynamical instability in the orbits of Uranus and Neptune, Levison et al., Icarus **196**, 258-273, 2008
verklaart de Kuiper Gordel dynamische structuur in detail!!

Meteorieten uit Kuiper Gordel?

- Sommige meteorieten komen uit buitendelen van zonnestelsel: Kuiper Gordel, Oort wolk, of Jupiter-familie kometen.
- CI1 chondrieten zijn de beste kandidaten hiervoor. Deze zijn donker, zeldzaam, bros, en rijk aan organisch materiaal, zoals te verwachten is voor komeet-meteorieten.
- Hoewel de musea verspreid over de Aarde ~ 30.000 meteoriet brokstukken bevatten is het heel moeilijk om met zekerheid een komeet-meteoriet aan te wijzen.

Moleculen

- Diverse moleculen in vaste vorm zijn gemeten: water, methaan, stikstof, koolstofmonoxide, ethaan, en misschien methanol. Infrarood spectra laten silicaten zien, in emissie.
- TNO oppervlaktes hebben last van ultraviolette straling, zonnewind ionen en hoog energetische deeltjes van kosmische stralen.
- Oppervlakte temperaturen slechts 20 – 60 K → vooral mid-infrarood straling bij $\lambda \sim 20\text{-}30 \mu\text{m}$.
- Molecuul spectra geven dan vooral informatie over trillingsovergangen. Veel materialen zijn (helaas) alleen bestudeerd in nabije infrarood en niet in mid-IR en zichtbare spectraalgebieden.

Verwering -1

- Objecten met water ijs, methaan, of helemaal 'gladde' spectra. → Bovenste paar mm van TNO oppervlak kunnen heel verschillend zijn.
- Verwering zou hier de oorzaak van kunnen zijn. Verwering wordt veroorzaakt door het bombardement met kosmische stralen en zonnewind ionen.
- 'Gladde' spectra zullen ontstaan na verwering gedurende miljarden jaren. Echter, de buitenste lagen kunnen ook weggedampt zijn door het plasma bombardement of botsingen met grotere deeltjes.

Verwering -2

- Ver-ultraviolet fotonen met energieën 5-120 eV en kosmische stralen met energieën in keV – MeV gebied produceren dezelfde moleculen.
- In miljarden jaren zal elk molecuul op minder dan 100 μm van het oppervlak 10 tot 100.000 eV voor zijn kiezen krijgen.
- Zelfs tot een diepte van meters dringt kosmische straling met zeer hoge energie door

De oorspronkelijke ijssoorten – links - zouden de chemische producten rechts kunnen opleveren in miljarden jaren.

Deze reactie producten zijn bekend geworden door metingen, laboratorium werk en theoretische studies.

| Ice | Reaction Products Identified in Ices |
|-----------------------------------|--|
| H ₂ O | H ₂ O ₂ |
| CH ₄ | C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , CH ₃ , C ₂ H ₅ |
| C ₂ H ₆ | CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ |
| C ₂ H ₄ | CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆ |
| C ₂ H ₂ | CH ₄ [5], polyacetylene [8] |
| CO | CO ₂ , C ₃ O ₂ , C ₂ O, C ₄ O, C ₅ O ₂ , C ₇ O ₂ |
| CO ₂ | CO, O ₃ , CO ₃ |
| H ₂ CO | CO, CO ₂ , HCO, POM |
| CH ₃ OH | CH ₄ , CO, CO ₂ , H ₂ CO, H ₂ O, C ₂ H ₄ (OH) ₂ , HCO, HCOO ⁻ |
| O ₂ | O ₃ |
| N ₂ | N ₃ |
| NH ₃ | NH ₄ ⁺ |
| HCN | HCN oligomers |
| CH ₃ CN | CH ₄ , H ₂ CCNH, CH ₃ NC, HCN |
| HCCCN | HCCNC (?) |
| HNCO | NH ₄ ⁺ , OCN ⁻ , CO, CO ₂ |
| SO ₂ | SO ₃ |
| H ₂ S | H ₂ S ₂ |
| OCS | CO, CS ₂ |
| HC(O)CH ₂ OH | CO, CO ₂ , CH ₄ , HCO, H ₂ CO, CH ₃ OH, (CH ₂ OH) ₂ |
| (CH ₂ OH) ₂ | CH ₄ , H ₂ CO, CH ₃ OH?, CO, CO ₂ , C(O)CH ₂ OH |

7. Toekomstige waarnemingen

Sterbedekkingen -1

- Sterbedekkingen zijn populair. Als een exoplaneet over zijn moederster trekt kunnen allerlei eigenschappen van de planeet, zelfs zijn atmosfeer samenstelling (!), bepaald worden. De satellieten Corot en Kepler werken zo.
- Ook een TNO kan een veel verder weg gelegen ster bedekken. Een TNO heeft een hoekafmeting van minder dan 30 milli-boogseconden. Daarom zijn bedekkingen moeilijk te voorspellen.
- TNO's op 40 AE hebben een magnitude van ~ 40 en zijn zelfs met de grootste telescopen niet waarneembaar. De enige manier om toch enige informatie te krijgen is via ster bedekkingen.

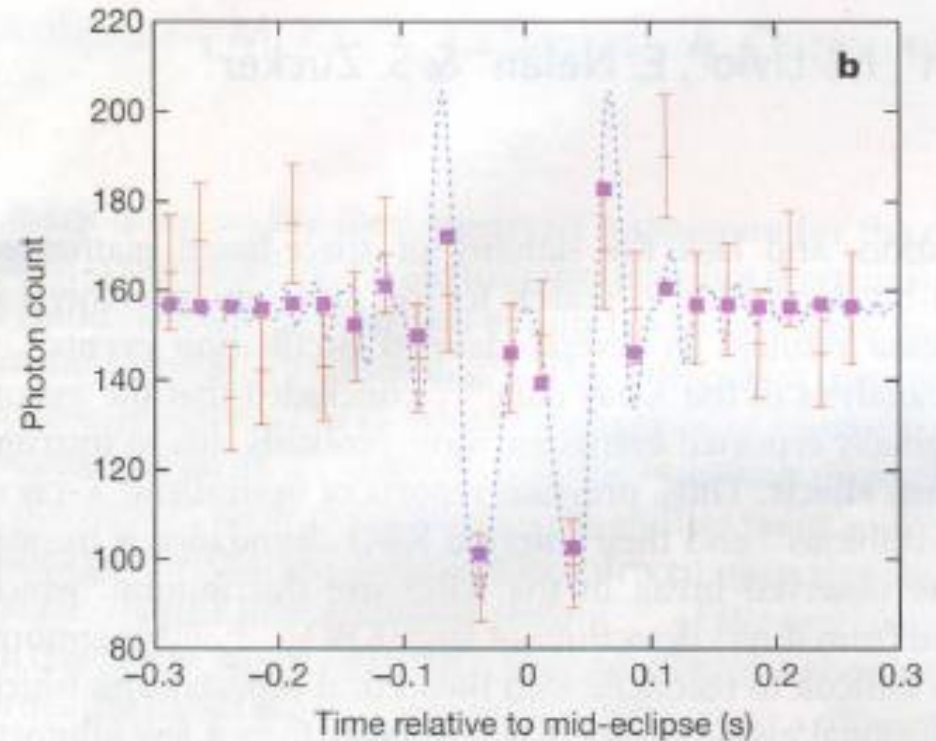
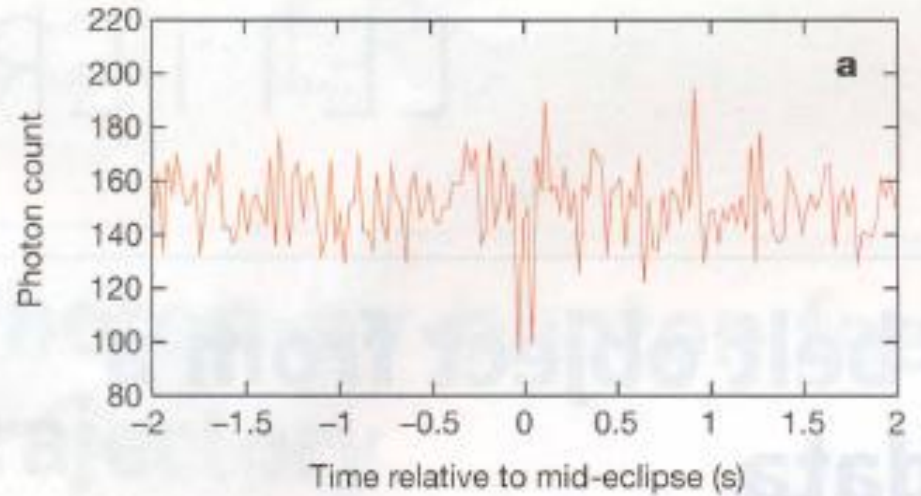
Sterbedekkingen -2

- Omdat een ster een heel kleine hoekafmeting heeft zal er diffractie optreden wegens het Huygens-Fresnel golfprincipe.
- In een artikel in Nature van dec 2009 (Schlichting et al.) worden gearchiveerde gegevens van de z.g. Fine Guidance Sensor (FGS) van de Hubble Space Telescope nauwkeurig bekeken. Deze FGS zorgt er voor dat de HST gericht blijft.
- Mogelijke variaties in de tijd van het diffractie patroon kunnen gevolgd worden wegens de hoge tijd resolutie van de FGS.

Sterbedekkingen -3

- Deze auteurs vinden slechts één sterbedekking, door een object met een diameter van zo'n 250 meter. De waarnemingen en de verwachting kloppen prima (zie figuur op volgende slide).
- Eerdere – indirectere – metingen vonden een veel groter aantal van zulke bedekkingen, b.v. bij röntgen straling. Deze auteurs concluderen dat er veel minder TNO's zijn. Ze schatten dat er 3,6 miljard TNO's zijn met een straal van 30 meter per vierkante graad. Dus toch nog heel veel!

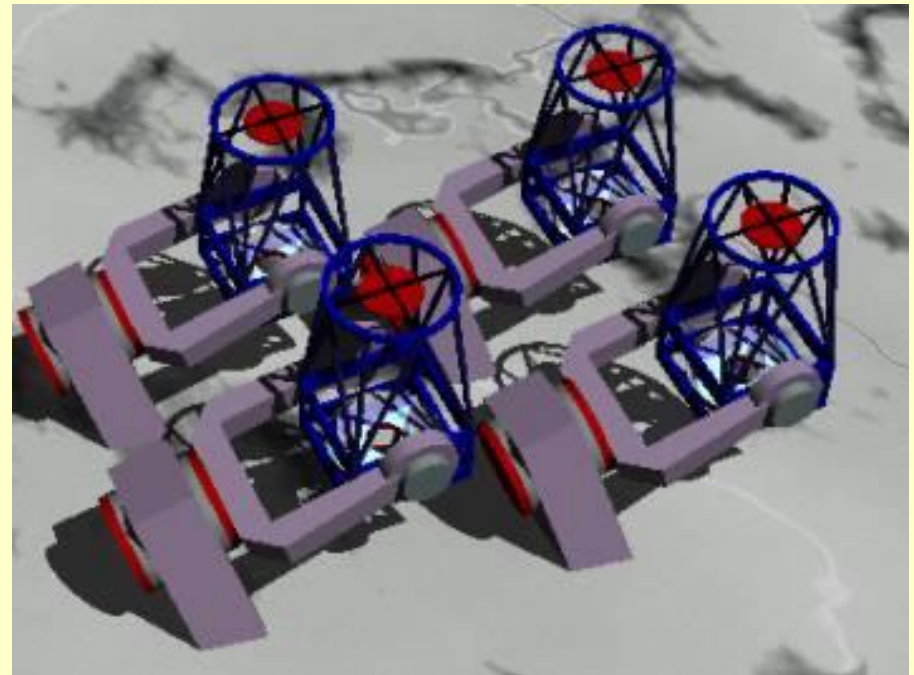
Detectie van een sterbedekking door een TNO van 250 meter. Het output signaal van de stervolger aan boord van de HST wordt getoond. Het onderste plaatje toont duidelijk het diffractie patroon zoals verwacht (gestippelde lijnen)



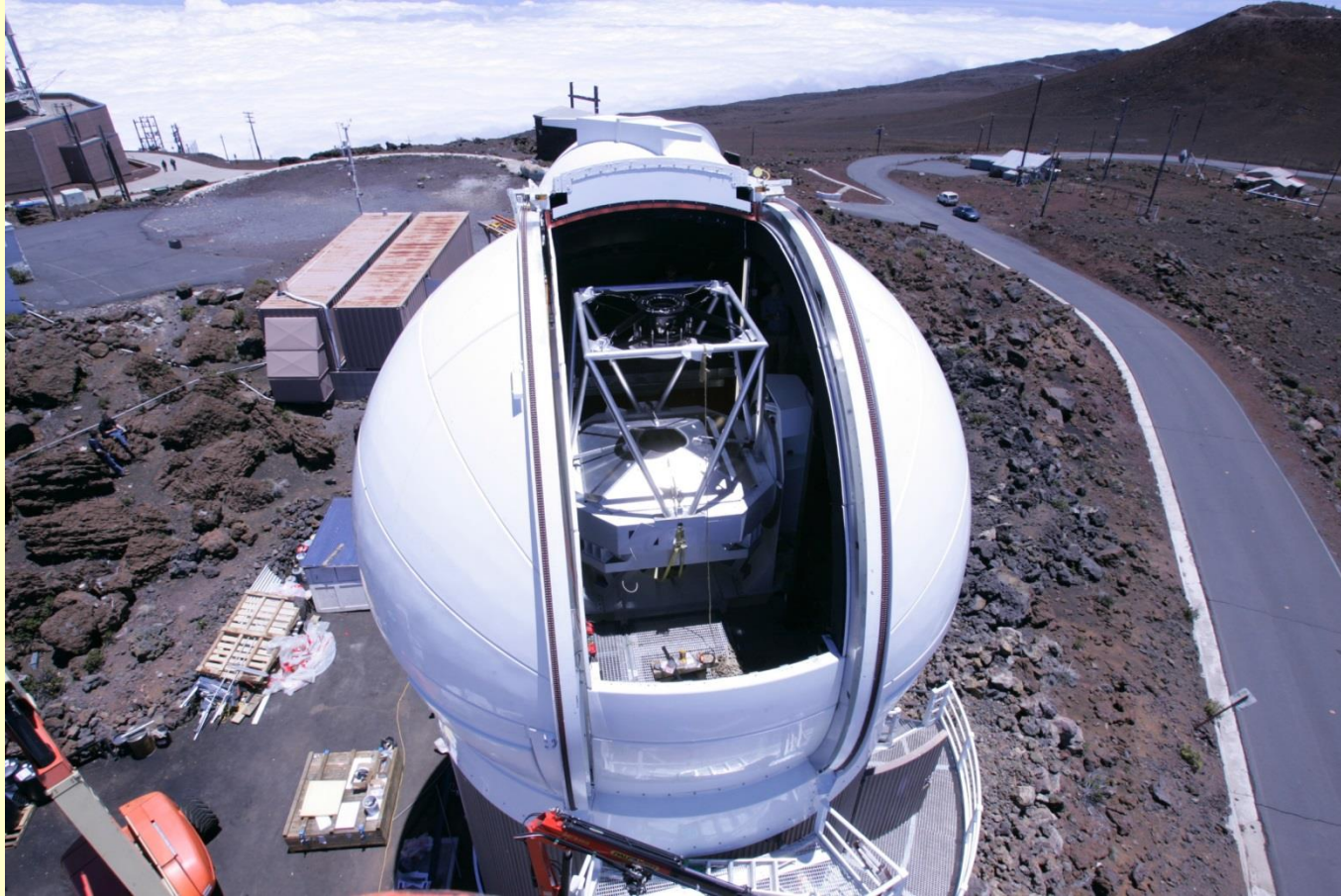
Pan-Starrs

- **Pan-STARRS** = Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System, 400-1100 nm
- Vier telescopen met groot gezichtsveld, ontwikkeld door instituut voor astronomie van universiteit Hawaii, om de gehele zichtbare hemel verscheidene keren per maand te bekijken

Tekening van de 4 Pan-Starrs telescopen. Elke telescoop zou een diameter hebben van 1,8 meter. Ze zouden gebouwd worden op Mauna Kea, 4,2 km hoog.

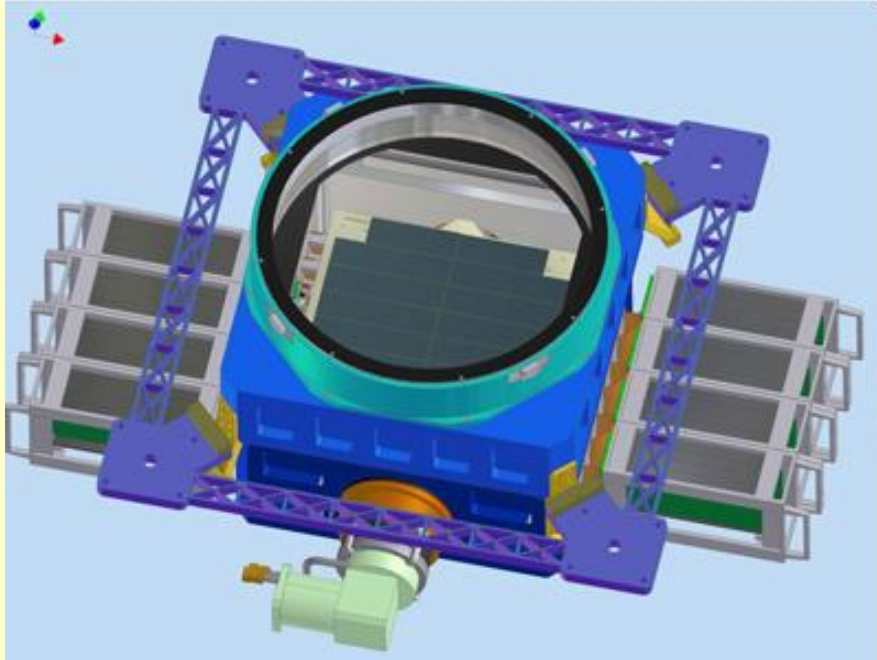


De PS1 telescoop op Haleakala, Hawaii



PS1 dient als test telescoop; hij is sinds december 2008 operationeel; PS2, ook op Haleakala, zou einde 2014 operationeel geworden moeten zijn. Of de andere twee er nog zullen komen is twijfelachtig.

Pan-STARRS camera



Eén van de 4 Pan-STARRS camera's. Er zijn 64×64 CCD's van elk 600×600 pixels. Dus in totaal 1,4 Gigapixels. De helft van de CCD's zijn zichtbaar door het venster van 56 cm doorsnede. De 4 grijze dozen aan elke kant van de camera bevatten de uitlees elektronica. De camera is 1,5 meter groot.

Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

Cerro Pachón – Future site of the LSST



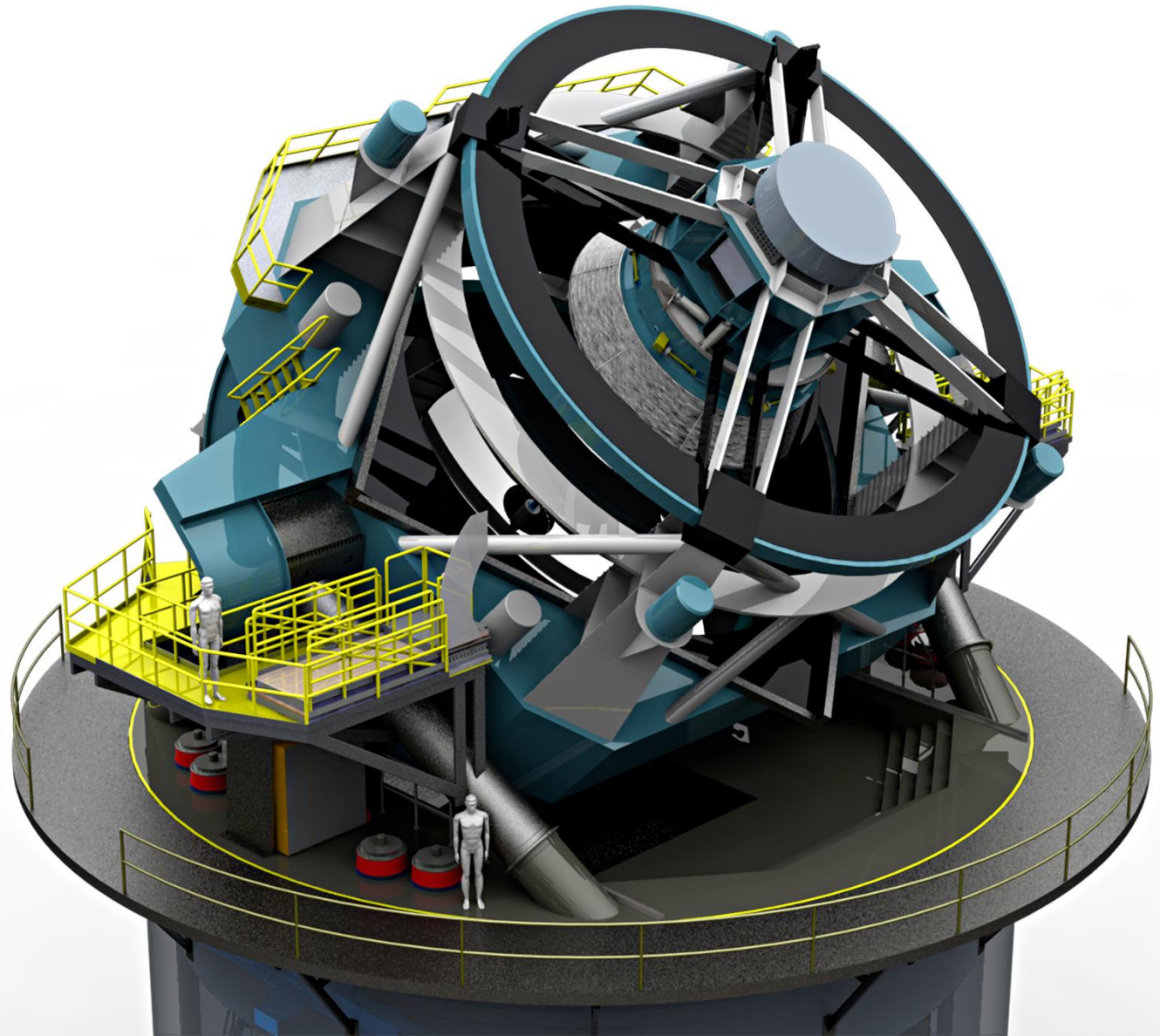
Cerro Pachón in Chili

Ontwerp LSST gebouw op Cerro Pachon



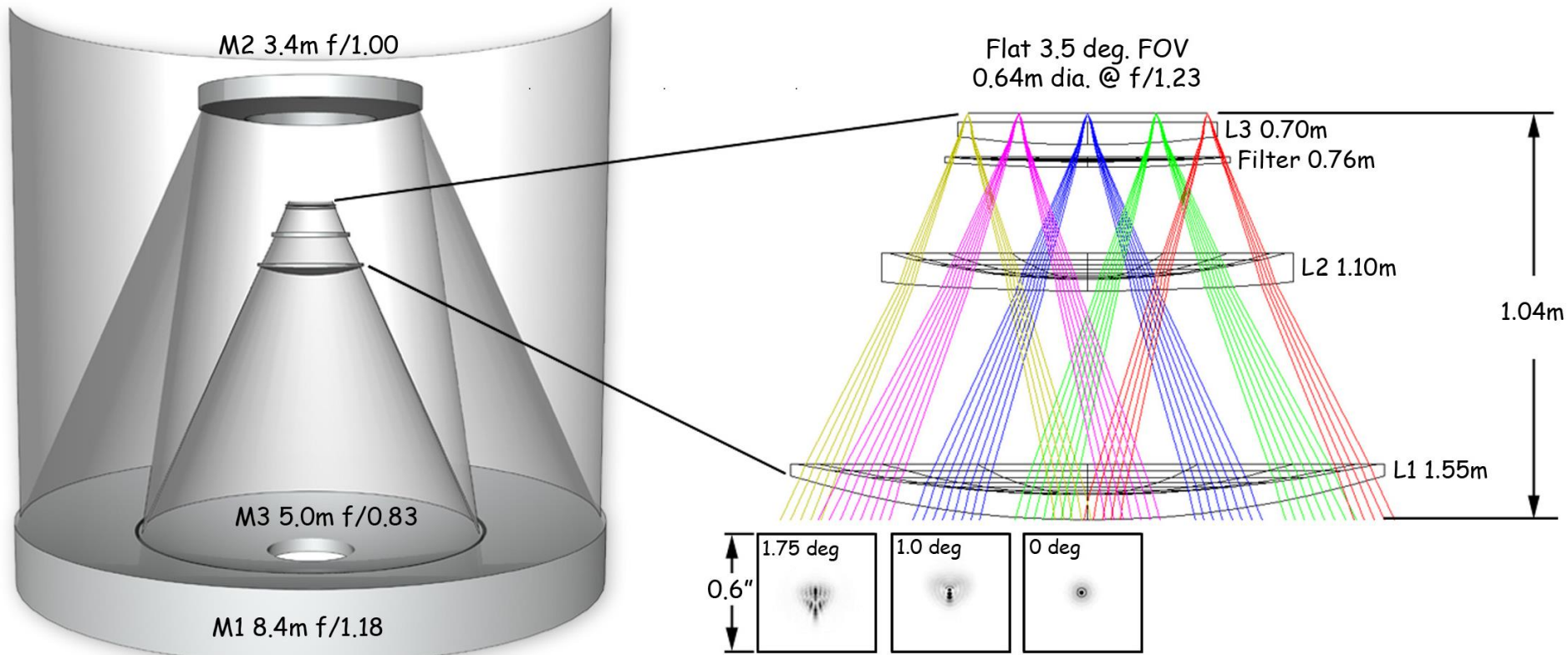
LSST

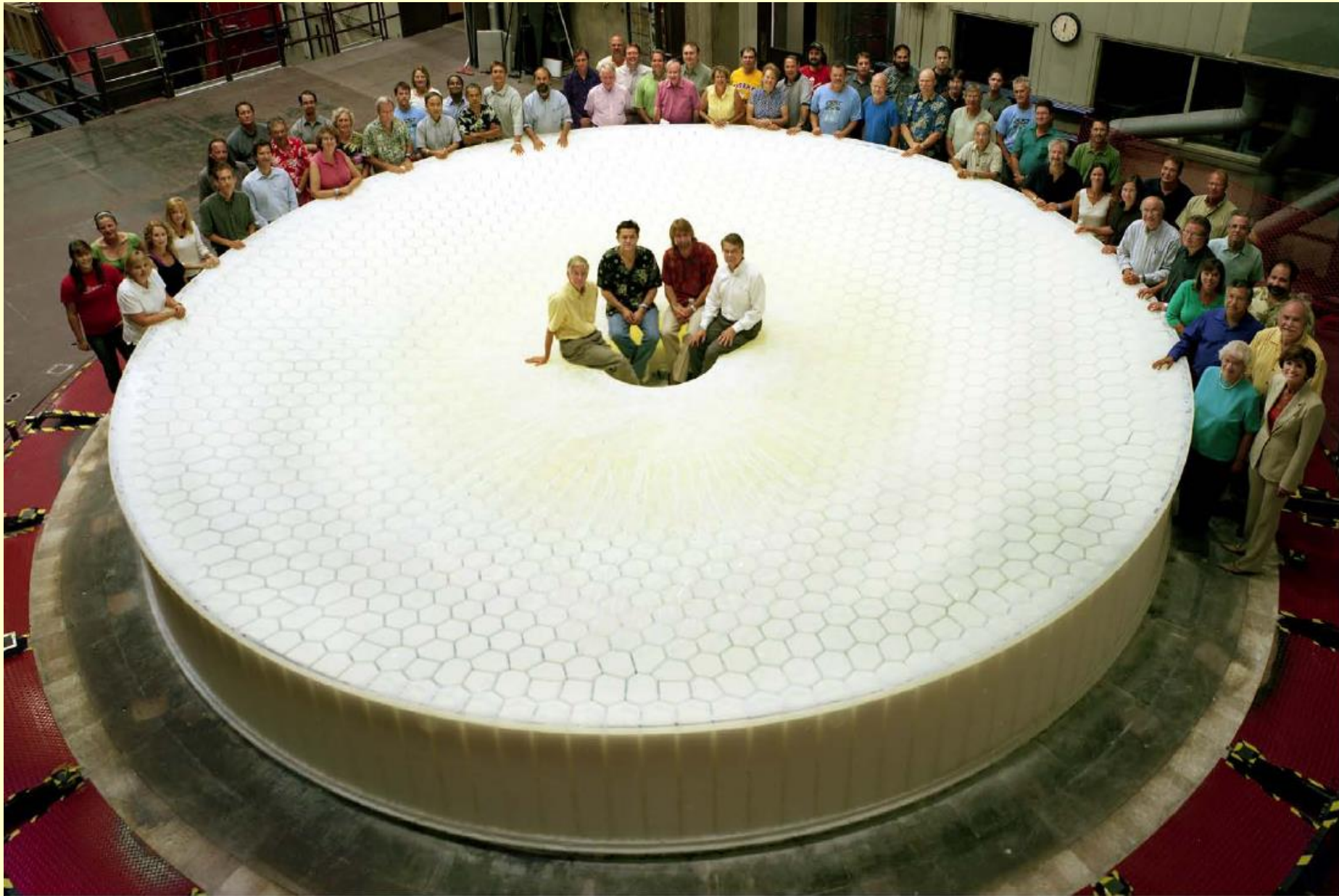
0,3-1,1 μm : 6
kleuren; tot
25^e magn;
20.000
vierkante
graden in 10
jaar;
1000 keer
bekeken



2 keer per week een volledige hemel inventarisatie

LSST Optisch systeem



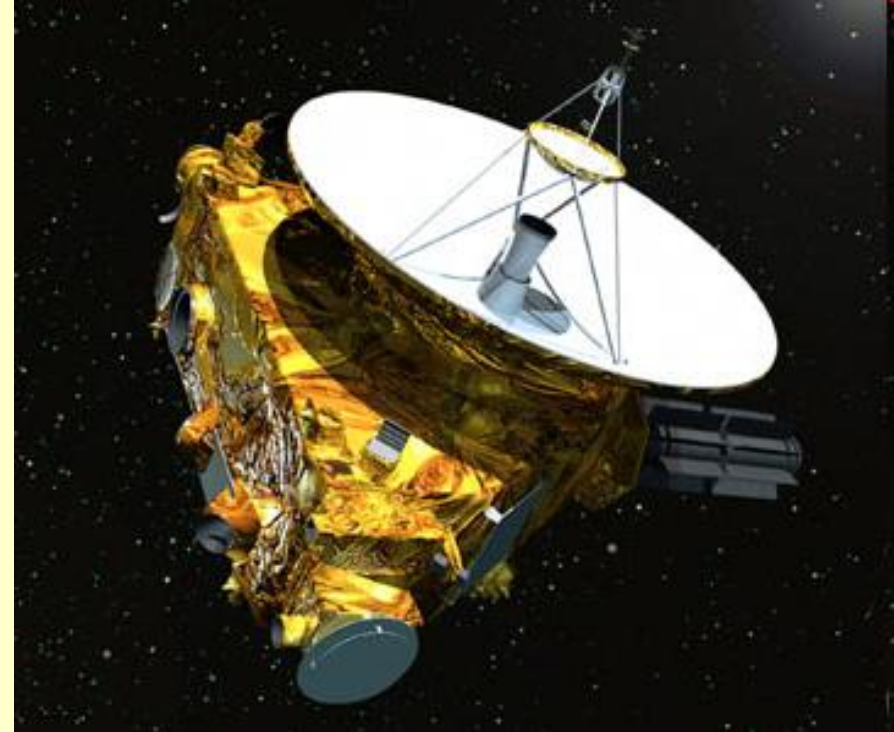


LSST, 3
gigapixels
per plaatje.
Grootte
van de
maan is
ingetekend.



Doel New Horizons

- Met een Lockheed Martin Atlas V is van Cape Canaveral op 19 januari 2006 New Horizons (NH) gelanceerd
- De instrumenten aan boord kunnen de oppervlaktes van Pluto en Charon (0,5 km/pixel) in kaart brengen. Ook de moleculen stikstof, CO, methaan en water kunnen gemeten worden.
- Jupiter heeft NH een grote slinger gegeven



Zie: space.skyrocket.de/img_sat/new-horizons__2.jpg
en <http://pluto.jhuapl.edu/>

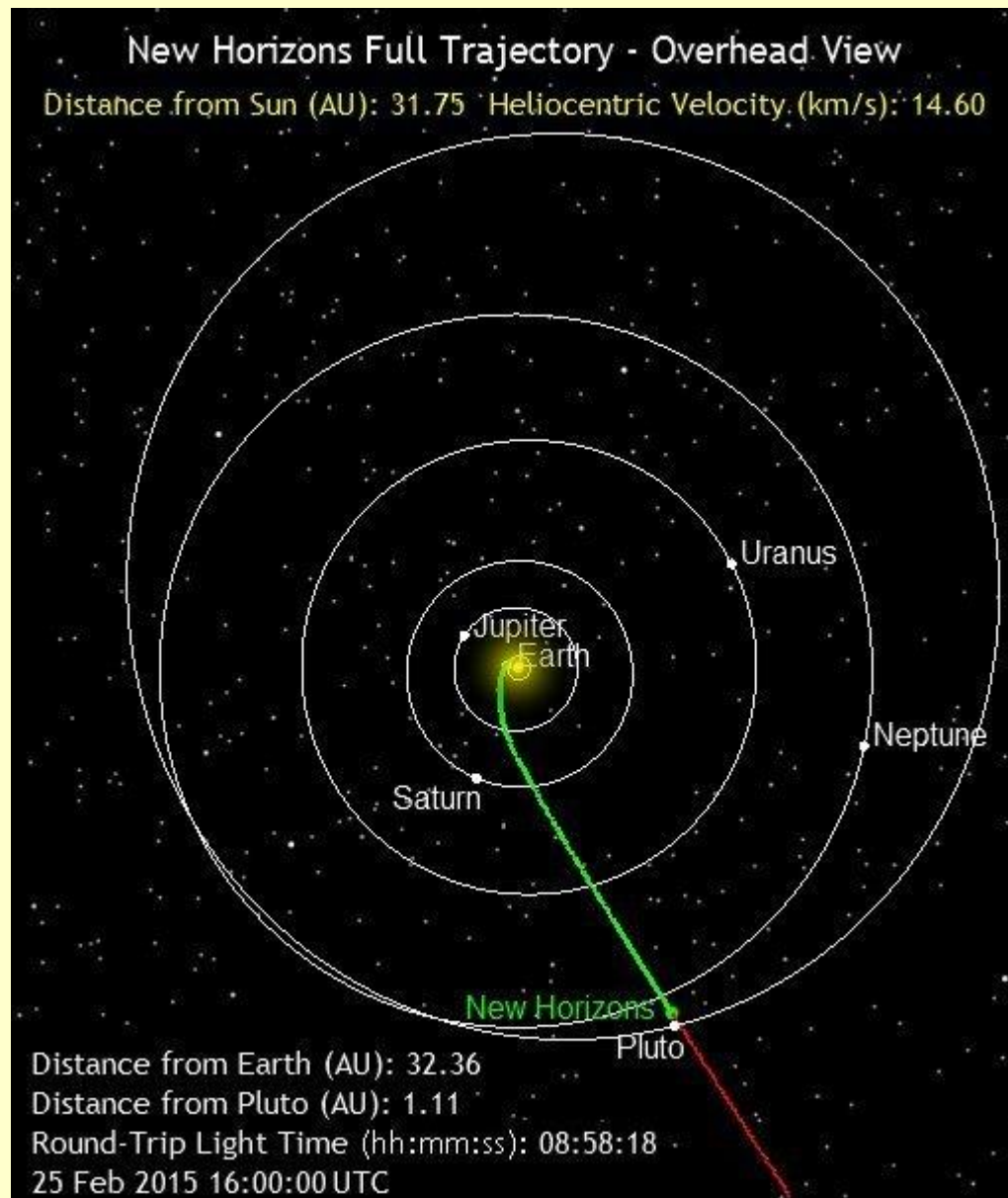
Fit check van New Horizons



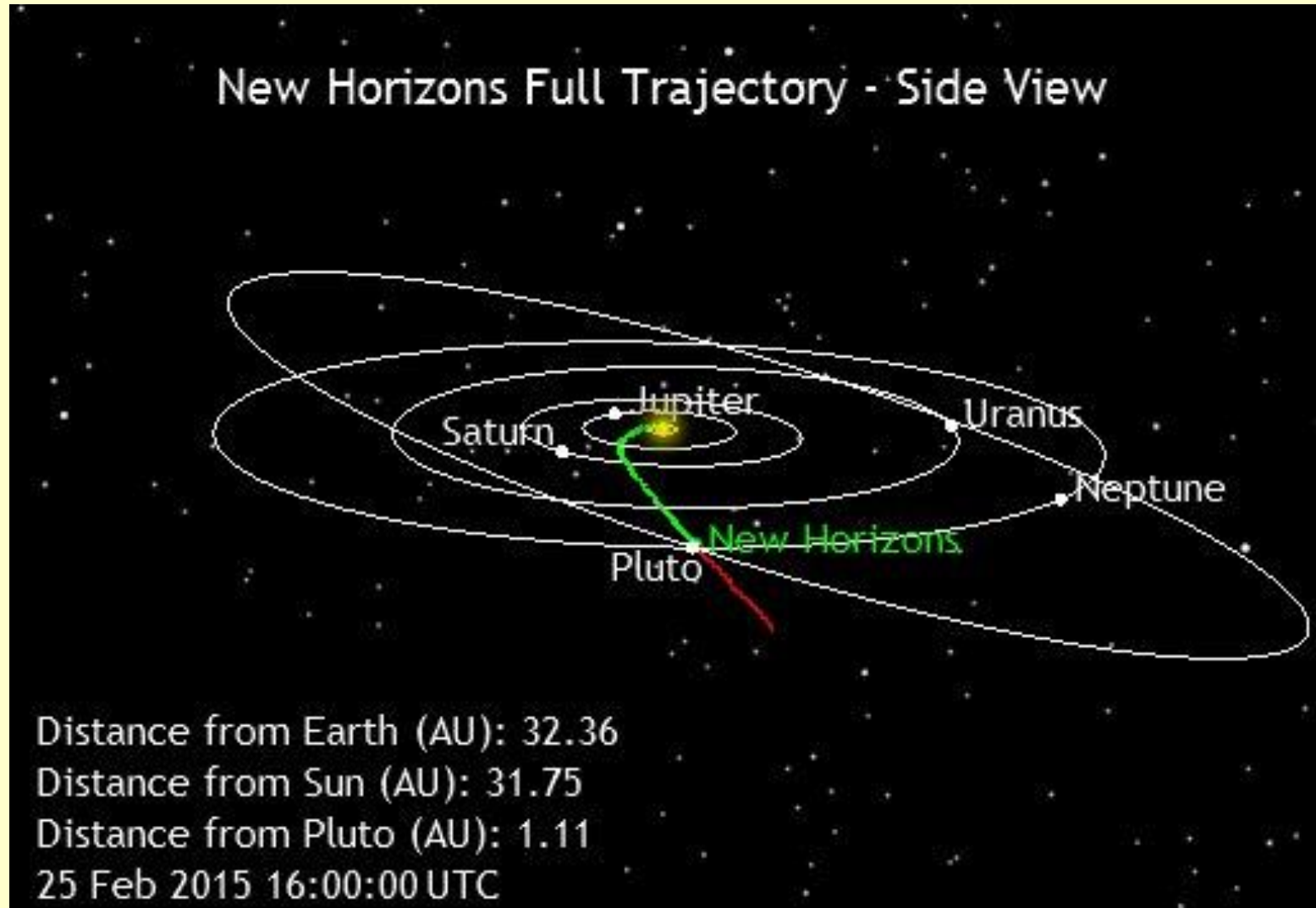
Lancing New Horizons



New Horizons baan, van boven



New Horizons baan, van opzij



Energie New Horizons

- Een radio isotoop thermoelektrische generator (RTG) verschaft de energie.
- Het natuurlijke radio actieve verval van plutonium dioxide veroorzaakt veel warmte. De RTG converteert deze warmte tot elektriciteit.
- De RTG bevat 11 kilogram plutonium dioxide. Onboard systemen managen het energieverbruik van de satelliet, zodat die gelijke tred houdt met de RTG output. Die neemt af met 3,5 Watt per jaar.
- Er is geen batterij om energie op te slaan.
- Bij begin missie produceerde de RTG 245 watt (bij 30 volt gelijkstroom), in juli 2015 is dat gezakt tot 200 Watt.

Status New Horizons

- 14 juli 2015, 11:50 UTC, zal New Horizons Pluto tot op 12.500 km benaderen. De satelliet zal door de schaduw van Pluto en Charon vliegen zodat eclipsen kunnen worden waargenomen.
- O.a. de atmosfeer kan bestudeerd worden. Die zal veel dikker zijn dan die van de Aarde.

