



# Universum nu

## 4. Solsystemet II

Universum nu, 9.2 2024, TH & KK



# 4. Solsystemet II

Solsystemets mindre kroppar:

- ~10 dvärgplaneter
- Uppskattning: > 25 milj. asteroider större än 100 m
- Ca 5000 kända kometer (av uppskattningsvis 1 biljon)

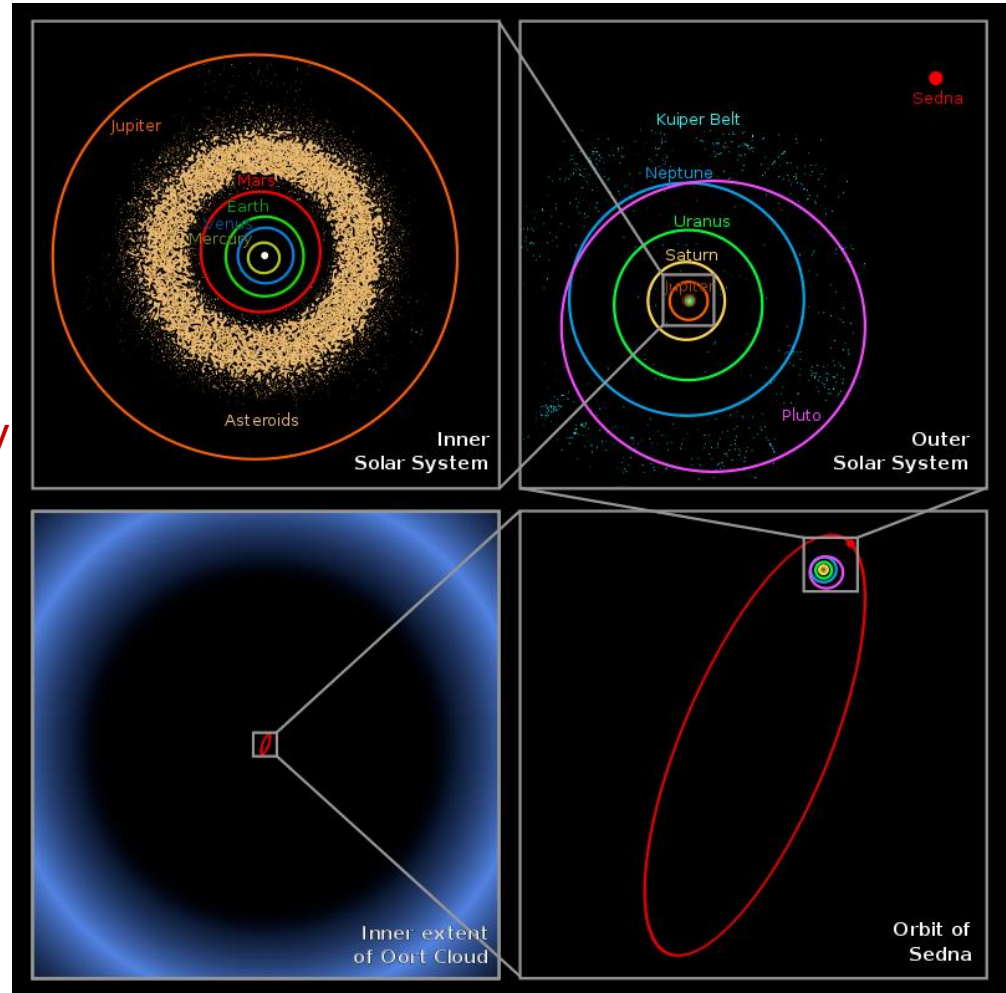


Bild: NASA



## 4.17.1 Dvärgplaneter: Definitioner

- . Definierades av IAU 2006
  - . Behov: Nya stora *Transneptunska objekt (TNO)*
- . Dvärgplaneter skiljer sig från planeter med att de *INTE* har tömt sin omgivning på andra stora kroppar
- . *Plutoid* = en dvärgplanet vars medelavstånd från solen är större än Neptunus' (ca 30 AU)
  - . Alla verifierade dvärgplaneter utom *Ceres* är plutoider, Ceres befinner sig i asteroidbältet
  - . Ca 700 möjliga plutoidkandidater
- . Dvärgplaneter är de facto stora asteroider



Bild: NASA



## 4.17.2 Dvärgplaneter

### • Ceres

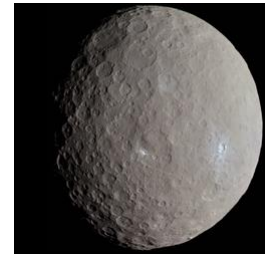
- Upptäcktes år 1801
- Diameter 950 km, omloppstid 4,6 år
- Innehåller upp till 1/3 av hela asteroidbältets massa

### • Pluto

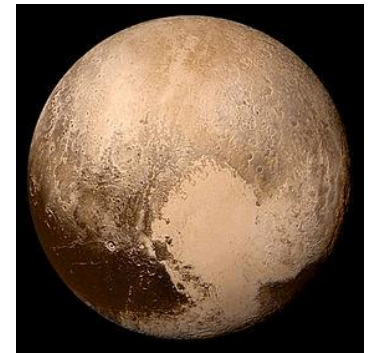
- Upptäcktes år 1930, klassad som planet fram till år 2006
- Diameter 2306 km, omloppstid 248 år

### • Eris

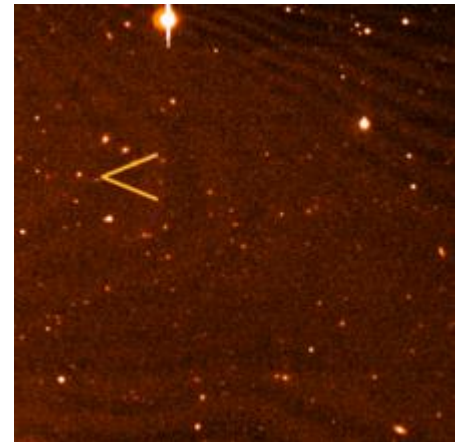
- Upptäcktes år 2003 => behov att definiera dvärgplaneter
- Diameter 2326 km, omloppstid 558 år



Ceres (Dawn-sonden)



Pluto (New Horizons)



Eris (M.Brown/CalTech)



# 4.17.3 Plutoider

## Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Bild: NASA



## 4.18 Asteroider

- Storleken varierar från några tiotals meter till över 1000 km
- 1,1 – 1,9 miljoner asteroider med en diameter över 1 km i *asteroidbältet* mellan Mars och Jupiter
- *Trojaner* är asteroider som är gravitationellt bundna till Jupiter och delar dess omloppsbanan
- Asteroiderna bortom Neptunus bana: *Kuiperbältet*

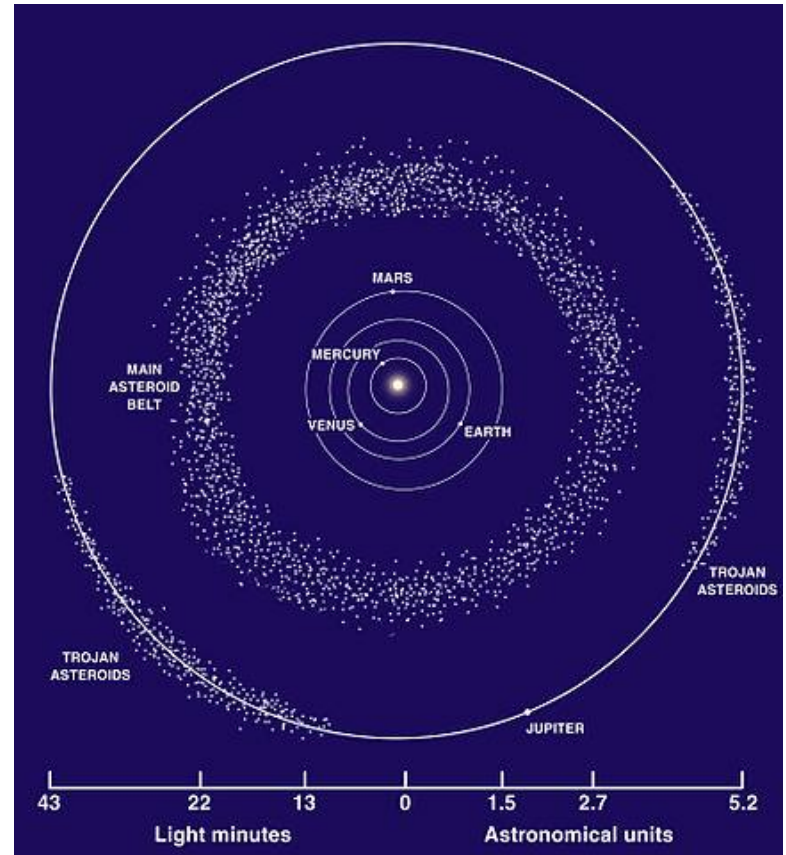
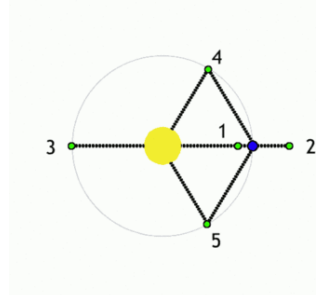


Bild: NASA

Lagrangepunkter

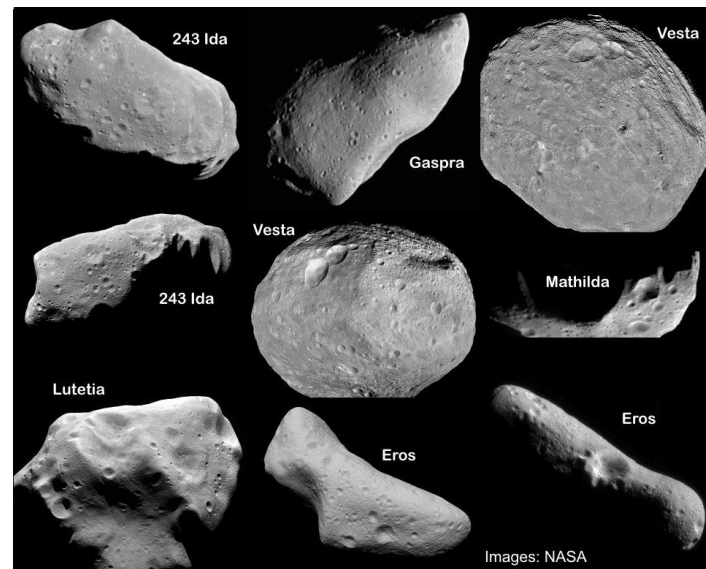






## 4.18.1 Klassificering av asteroider

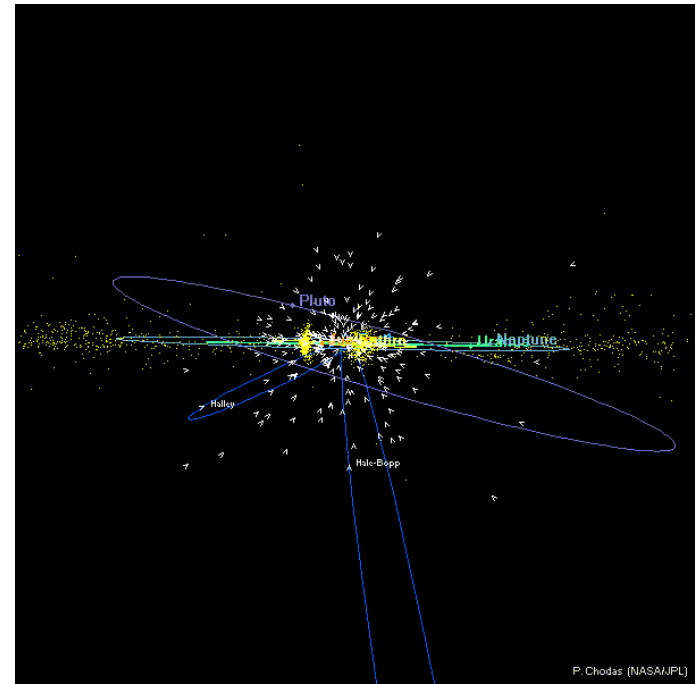
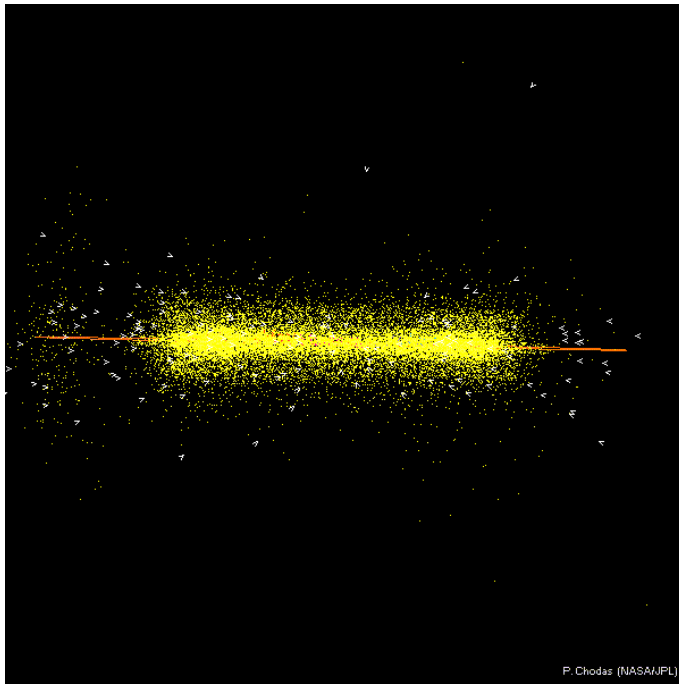
- I allmänhet inte runda, utan oregelbunden form med kratrar
- Olika typer beroende på reflektionsegenskaper
  - *C-asteroider* (kol)
  - *S-asteroider* (sten)
  - *M-asteroider* (järn/nickel)
- Asteroiderna i Kuiperbältet: Mera is
- Större asteroider oftast fasta kroppar
- Mindre asteroider ofta "grushögar" (*rubble pile*)
- Kan också ha "månar" och ringar: Ex. 10199 Chariklo





# 4.18.2 Asteroidbanor

- Största delen av asteroiderna:
  - I huvudbältet (bilden visar ca 350 000)
  - Bortom Neptunus' bana (bilden visar ca 1000)







# 4.18.3 Asteroider i inre solsystemet

- Banor i inre delen av solsystemet

## *THE INNER SOLAR SYSTEM*

This animation shows the motion of the inner part of the solar system over a two-year time period. The sun is at the center and the orbits of the planets Mercury, Venus, Earth and Mars are shown in light blue (the locations of each planet are shown as large crossed circles). Comets are shown as blue squares (numbered periodic comets are filled squares, other comets are outline squares). Main-belt minor planets are displayed as green circles, near-Earth minor planets are shown as red circles.

The individual frames were generated on an OpenVMS system, using the PGLOT graphics library. The animation was put together on a RISC OS 4.03 system using !InterGif.

Animation: <http://www.cfa.harvard.edu/iau/Animations/InnerSmall.gif>



## 4.18.4 Asteroider nära jorden

- Banor nära jorden (< 20 milj. km avstånd)
  - Röda objekt < 6,7 milj. km

### *A Ride With the Earth*

An animation centered on Earth showing the known objects that have approached to within 20 million km during 2002.

See the Animations Page on the MPC website for a description of the symbols used in this animation.



# 4.18.5 Nedslag på jorden

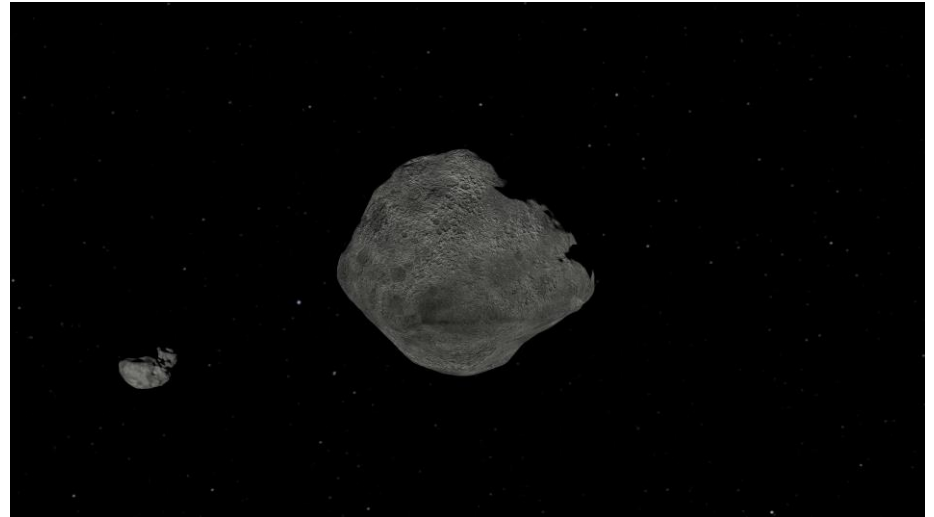
- Asteroid- och kometnedslag  $\leq$  kratrar på jorden: I Finland över 10 identifierade
- Några kända nedslag:
  - *Tjeljabinsk*, februari 2013, en meteoroid på ca 16 m exploderade i atmosfären på 30 – 50 km höjd (Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=fBLjB5qavxY> )
  - *Tunguska*, 1908, en asteroid/komet med storlek 50 – 120 m ödelade över 2 000 km<sup>2</sup> skog
  - *Chixulub* kratern vid Yukatan, 10 km:s asteroid/komet bidrog till massdöden vid slutet av *kritaperioden* för 66 milj. år sedan
- Jordnära objekt = NEO
- Ca 2 objekt > 1 km träffar jorden / 1 milj. år



Manicougan-kratern,  
215 milj år, ca 5 km  
stor asteroid (ESA)



## 4.19 Ändring av asteroidbana



Double Asteroid Redirection  
Test (DART/NASA): 500 kg:s  
modul  $v=6$  km/s.



## 4.20 Kometer

- Modell: "Smutsiga snöbollar" eller "isiga smutsbollar"
- Ca 5000 kända kometer
- Har i allmänhet *excentrisk* eller *hyperboliska* banor som inte är i samma plan som planeternas
  - *Kortperiodiska*, omloppstid under 200 år, aphelium bland yttre planeterna
  - *Långperiodiska*, omloppstid mellan 200 och miljoner år, men fortfarande bundna av solens gravitation
  - *Icke-periodiska kometer* har banor som leder ut ur solsystemet efter att de passerat solen en gång



Hale-Bopp (Philipp Salzgeber)



# 4.20.1 Kometbanor

- Banor i yttre solsystemet:
- Kometer
- Centaurer
- TNO
- "Scattered disk"

## *THE OUTER SOLAR SYSTEM*

This animation shows the motion of the outer part of the solar system over a 100-year time period. The sun is at the center and the orbits of the planets Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune are shown in light blue (the locations of each planet are shown as large crossed circles).

Comets: blue squares (filled for numbered periodic comets, outline for other comets)

High-e objects: cyan triangles

Centaur: orange triangles

Plutinos: white circles (Pluto itself is the large white crossed circle)

"Classical" TNOs: red circles

Scattered Disk Objects: magenta circles

The individual frames were generated on an OpenVMS system, using the PGLOT graphics library. The animation was put together on a RISC OS 4.03 system using !InterGif.

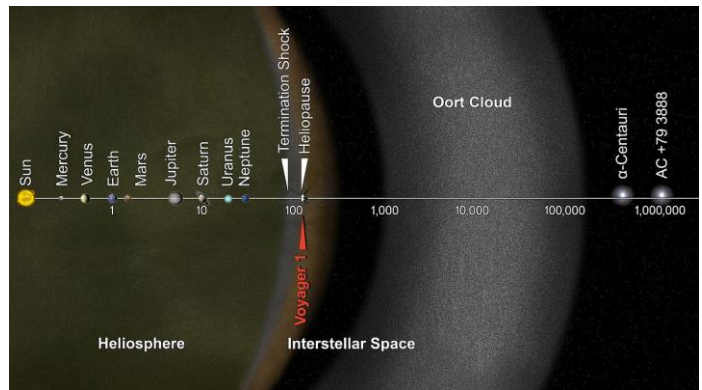
<http://www.minorplanetcenter.net/iau/Animations/Animations.html>



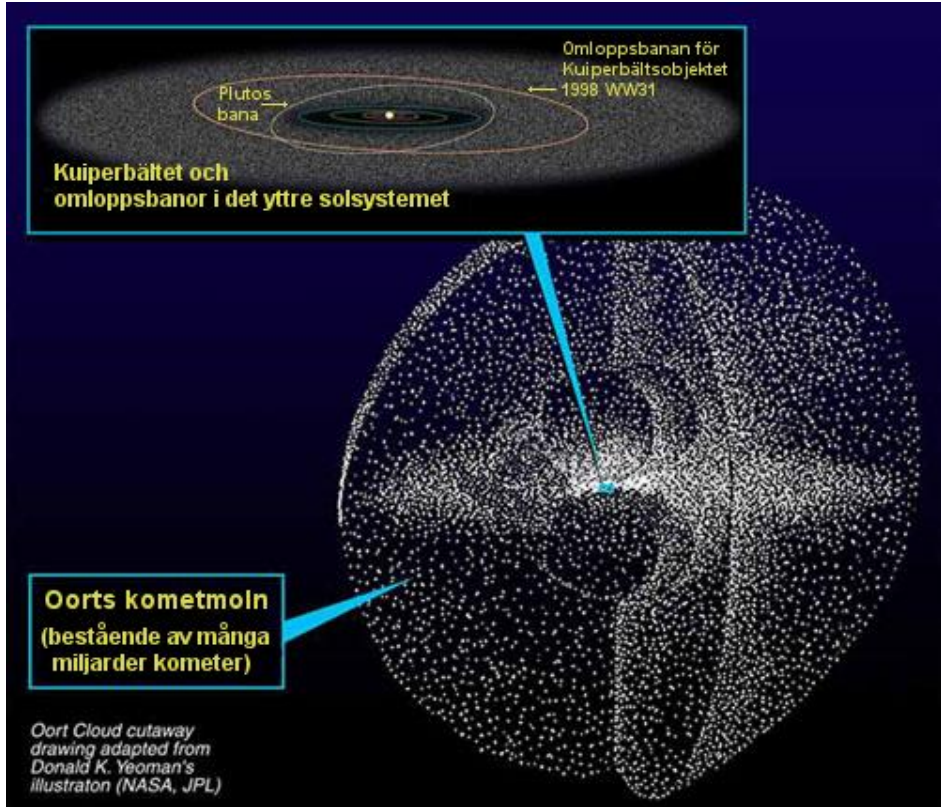


# 4.20.2 Kometernas ursprung

- Härstammar från Kuiper- bältet och *Oorts moln* upp till 50000 AU från solen



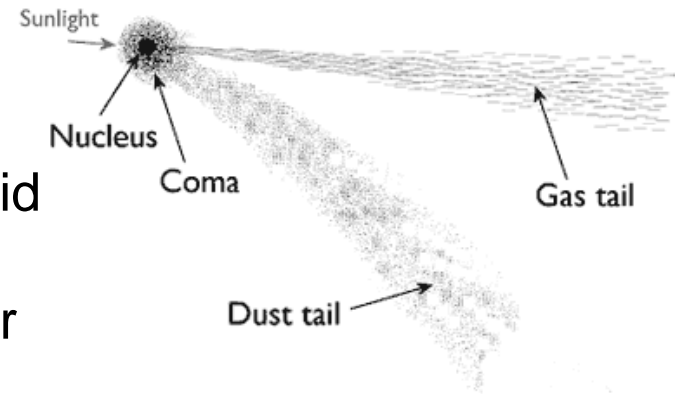
Bilder: NASA





## 4.20.3 Kometernas struktur

- **Kärna** av sten, stoft, vattenis och fryst ammoniak, metan, koldioxid eller –monoxid
- Diameter ca 100 m – 10 km
- **Inaktiva** i aphelium, blir **aktiva** då de närmar sig perihelium:
  - Solen värmer och bombarderar kometen med partiklar
  - => **Koma**: Tunn atmosfär av materia som lösgörs från kärnan
  - => **Jonsvans**: Materia som solvinden blåser iväg från koman
  - => **Svans av damm**: Följer kometens bana



67P/Churyumov-Gerasimenko (Rosetta-sonden)

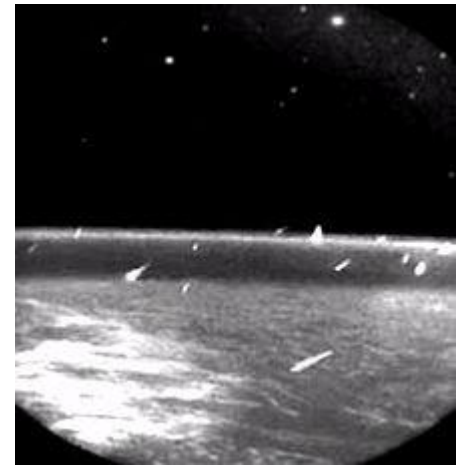


## 4.21 Meteoroider

- Storlek < ca 10 m
- *Meteor* = Meteoroid som träffar jordens atmosfär
  - Stjärnfall
  - Eldklot (*bolid*)
- *Meteorit* = Resterna från en meteoroid som hittas på jordytan
- *Meteorskurar* hör i hop med sönderfallande kometer: Ex. *Perseiderna* och *Leoniderna*



Hoba-meteoriten  
(Namibia, Sergio Conti)



Leoniderna sett från rymden 1997 (NASA)



## 4.22 Solsystemets uppkomst

Teorin om solsystemets uppkomst måste förklara solsystemets egenskaper:

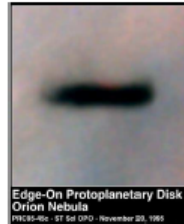
- planeterna uppkom för ca 4.5 miljarder år sedan, dvs. nära tiden för solens uppkomst.
- planeternas banor ligger nästan i samma plan som solens ekvator
- planetbanorna är nära cirkulära
- planeterna rör sig motsols runt solen, samma riktning som solen roterar
- planeterna (utom Venus och Uranus) roterar motsols runt sin egen axel
- planeternas (utom Neptunus) avstånd från solen följer i stort sett *Titius-Bodes lag*:  $a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$  med enheten 1 AU,  $n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$
- planeterna står för 98 % av impulsmomentet i solsystemet men bara 0.15 % av den totala massan
- de jordliknande planeterna är nära solen, jätteplaneterna är längre borta



## 4.22.1 Solsystemets uppkomst

### Traditionella modellen:

1. Ett roterande moln av gas och stoft sammandrogs genom sin egen gravitation.
2. Den innersta delen bildade protosolen. Kring solen bildades en protoplanetär skiva av gas och stoft.  
(Bild: STScI →)
3. Solens impulsmoment överfördes på den omgivande materian via dess magnetfält. När fusionsreaktionerna kom igång förlorade solen ytterligare impulsmoment via solvinden. Solens rotation bromsades upp.
4. Genom kollisioner i den omgivande skivan koncentrerades materian i ett plan som var vinkelrätt mot rotationsaxeln.



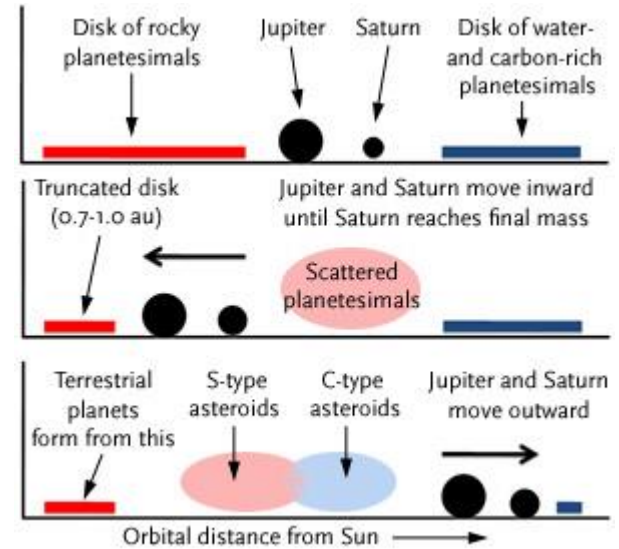
5. Materian koncentrerades till gradvis större kroppar, *planetesimaler*. Nära den heta solen kunde endast metaller och silikater koncentreras, längre borta även is, metan, ammoniak.
6. Planetesimalerna kolliderade och koncentrerades gradvis i ännu större kroppar, planeterna uppkom. Resonans-effekter gjorde att planeterna uppkom på bestämda avstånd från solen. Planeterna samlade åt sig gas och från det omgivande molnet.
7. Solens närhet gjorde att gasen dunstade från de jordliknande planeterna (Venus' och jordens atmosfärer tillkom senare). Jätteplaneterna kunde hålla kvar en tjock atmosfär.
8. Den starka solvinden blåste bort extra gas och stoft.





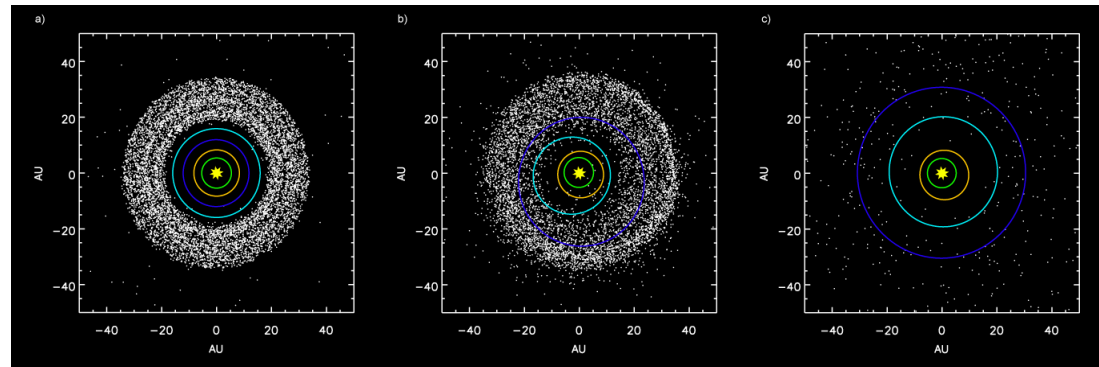
# 4.22.2 Solsystemets tidiga utveckling

- Kaotisk period i början:
- Solsystemet mera kompakt
- Flera kroppar av Merkurius/Mars storlek i inre delen
- Excentriska banor
- Migration av jätteplaneter: ”*Grand tack*”-hypotesen, ”*Nice-modellen*”



K. Beatty (Sky & telescope, 2016)

Jätteplaneternas banor omkring sena tunga bombardemanget, ca 4,1-3,8 miljarder år sedan (Gomes et al. 2005)







# 4.22.3 Solsystemets hela utveckling

Modell baserad på bl.a. observationer med Spitzer teleskopet (C. Lisse et al., 2020).

