

**Csillagászati földrajz**

**2018. december 6.**

# **A Naprendszer kis égitestei**



# Objektumok és régiók

## Mi?

- Méret szerint:
  - törpebolygók ( $\geq 800$  km)
  - kisbolygók (1 km (/1 m) – 800 km)
  - meteoridok (0,1 mm – 1 km (/1 m))
  - bolygóközi por ( $< 0,1$  mm)
- Egyéb:
  - aszteroida: (főleg) kőzetből álló kisbolygó
  - üstökös: (főleg) jégből álló kisbolygó, ami a Naphoz közel érve gázt ereszt
  - kentaurok, transzneptun objektumok, trójaiak, kubevánok, rezonánsok, stb.: az előfordulási hely alapján

## Hol?

- Naphoz képest:
  - belső Naprendszer
    - aszteroida-övön belül
    - aszteroida-öv
  - külső Naprendszer
    - óriásbolygók régiója
    - transzneptun régió
      - Kuiper-öv
      - szórt korong
      - ... ? (Oort-felhő)
- bolygókhoz képest:
  - rezonánsok, trójaiak, stb.

# Kisbolygók

- Felfedezés

- 1801. jan. 1 (az évszázad első napja): felfedezik a Cerest (Giuseppe Piazzi)
- C.F. Gauss: az új módszerével pályaszámítás: bolygópálya! (+ betömi a Titius-Bode szabály részét)
- 1802-1807: Pallas, Juno, Vesta → túl sok van kb. egy helyen: „aszteroida” (csillag-szerű: nincs korong)

- Ma > 700 000 ismert. Populációk:

- aszteroidák
  - földközeliak
  - trójaiak: Föld; Mars; Jupiter
  - aszteroida-öv
- távoli kisbolygók
  - kentaurok
  - Neptunusz trójaiak
  - transzneptun objektumok

- Összetétel

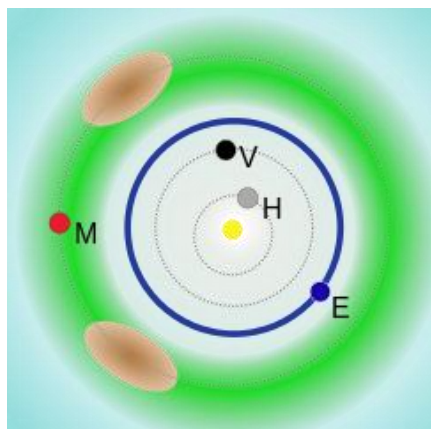
- kőzet
  - C – főleg szén (összes ismert  $\frac{3}{4}$ -e)
  - S – szilikátok (~17%, öv belső peremén)
  - M – fémekben gazdag (maradék)
  - (V – bazaltos (kevés))
- jég

Adott átmérőnél nagyobb kisbolygók becsült száma:

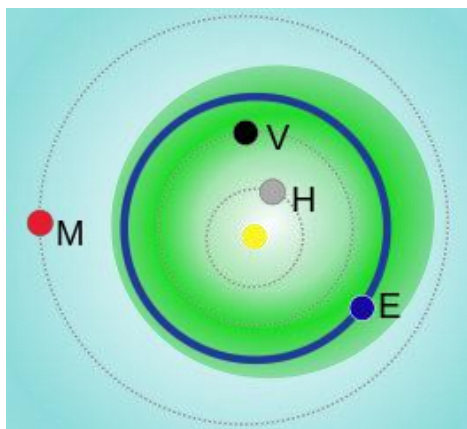
D	100 m	300 m	500 m	1 km	3 km	5 km	10 km	30 km	50 km	100 km	200 km	300 km	500 km	900 km
N	~25 000 000	4 000 000	2 000 000	750 000	200 000	90 000	10 000	1100	600	200	30	5	3	1

# Földközeli aszteroidák

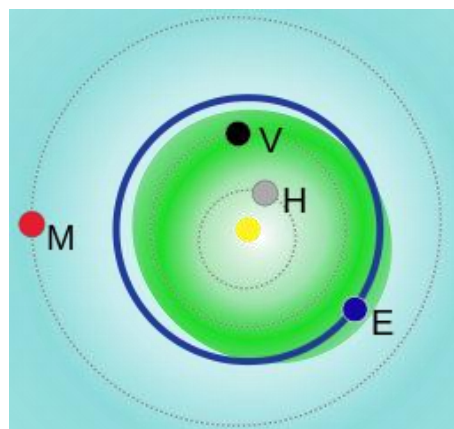
- Pályájuk mentén 1,3 CsE-re (vagy közelebb) megközelítik a Napot → a földpálya közelébe jutnak
- Kb. 15 000 ismert, méretük 1 m – 32 km (1 km felett kevesebb, mint 1000)
- Időleges pálya: néhány évmillió (perturbációk → instabil)
- Típusok alapja:  
fél nagytengely ( $a$ ), perihélium táv. ( $q$ ) és aphélium távolság ( $Q$ )



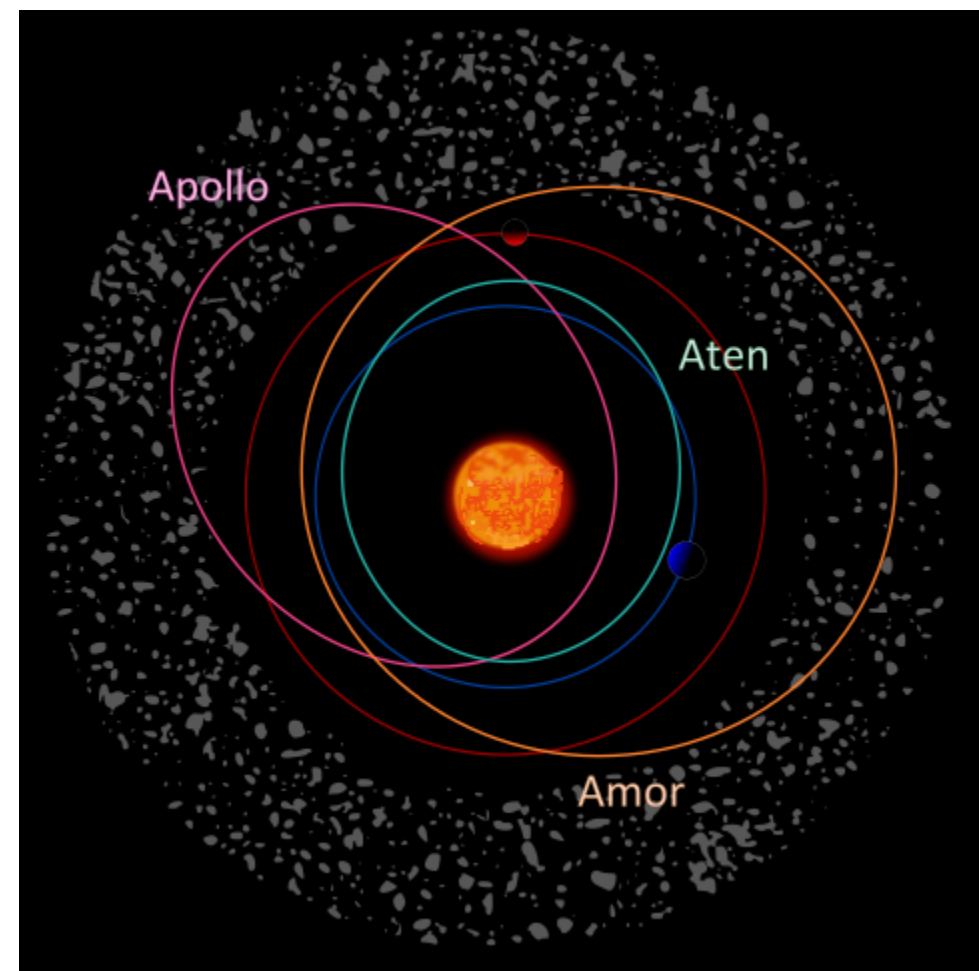
Amor  
 $1,017 < q < 1,3$   
5835 db



Apollo  
 $a > 1,0; q < 1.017$   
8144 db



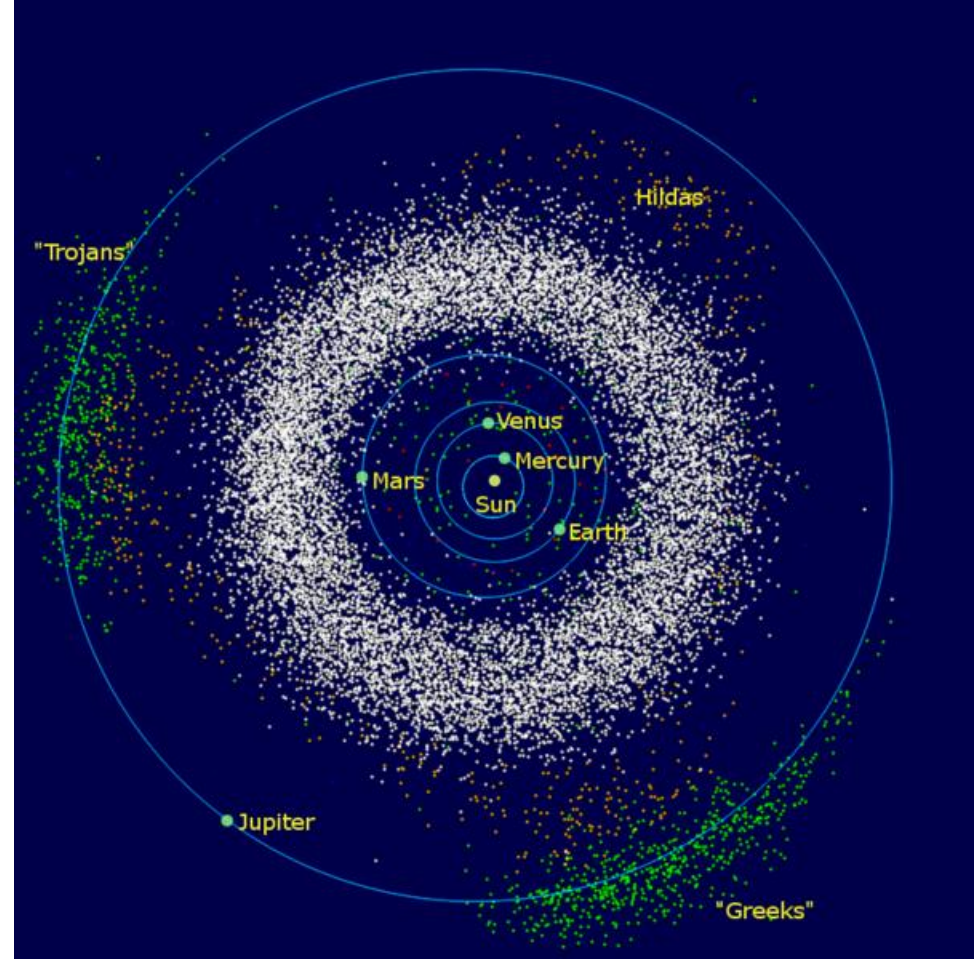
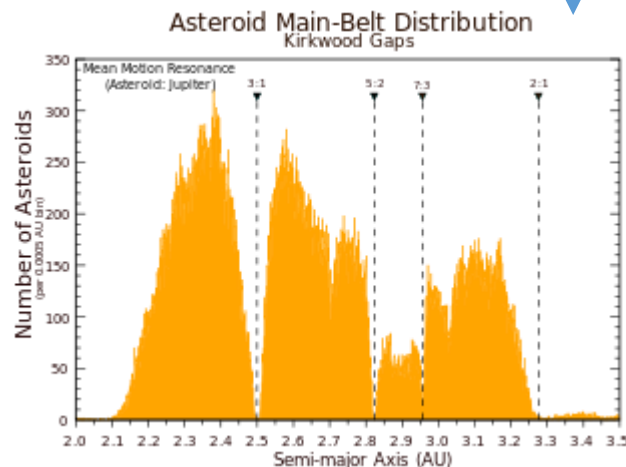
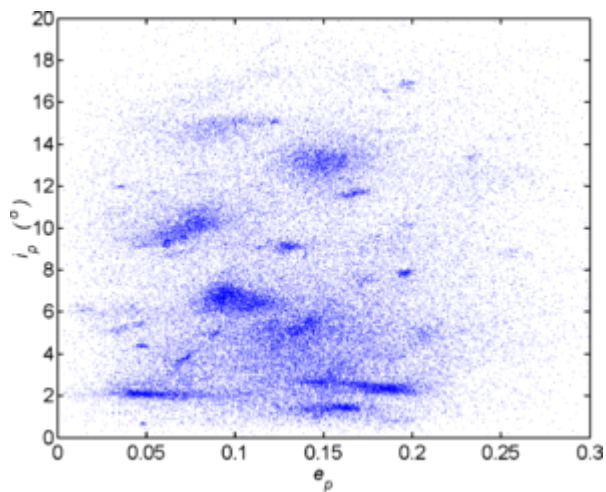
Aten  
 $a < 1,0; Q > 0,983$   
1105 db



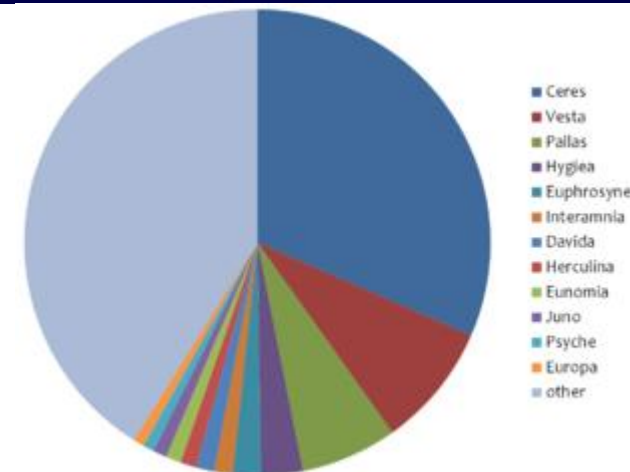


# Az aszteroida-öv

- Általában  $e < 0,4$ ;  $i < 30^\circ$  (a többég kb. kör és „lapos”)
- Össztömeg: a Hold tömegének kb. 4%-a
- Eredet: a lassan összeálló bolygócsírákat a Jupiter szétrázta, az ösztömeg túlnyomó többségét kidobta
- Jupiter jelenlegi perturbációi: pl. Kirkwood-rések (rezonáns pályasávok kiürülnek)
  - főv: 4:1 és 2:1 rezonanciák (2,06 és 3,27) CsE között (→ itt van a Napr. ismert kisbolygónak 93,4%-a)
- Családok: összetartozó  $a$ ,  $e$  és  $i$  értékek  
→ többnyire szétdarabolt, nagyobb testek maradványai



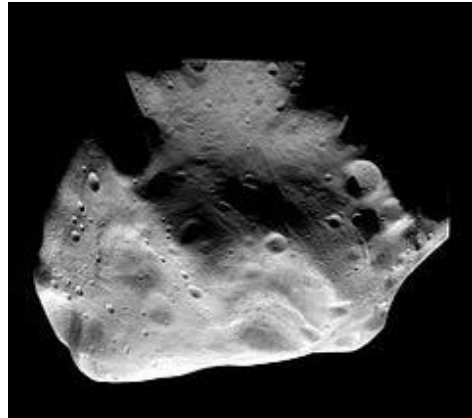
A legnagyobb aszteroidák és a maradék tömeg-megoszlása: itt már sok van a kicsikben



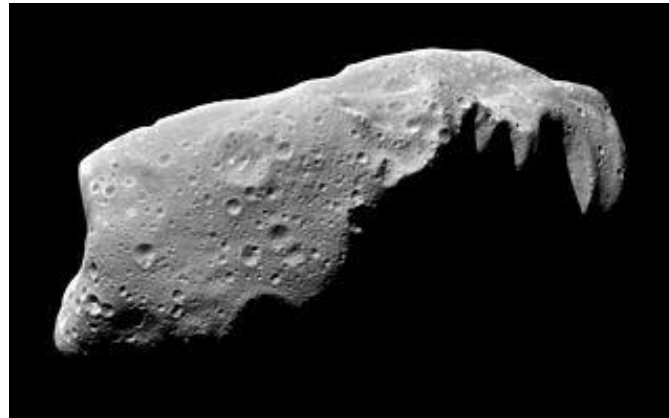
## Néhány aszteroida



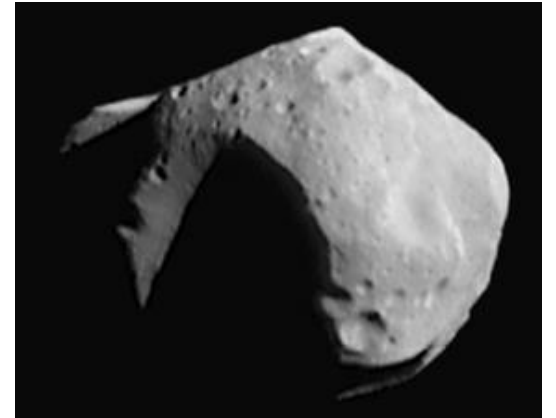
4 Vesta, ~500 km



21 Lutetia, ~120x75 km



243 Ida, ~60x20 km



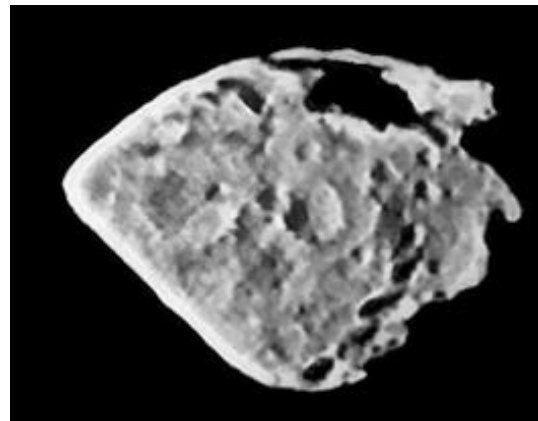
253 Mathilde, ~65x45 km



433 Eros, ~35x10 km



951 Gaspra, ~20x10 km



2867 Šteins, ~6,5x4,5 km



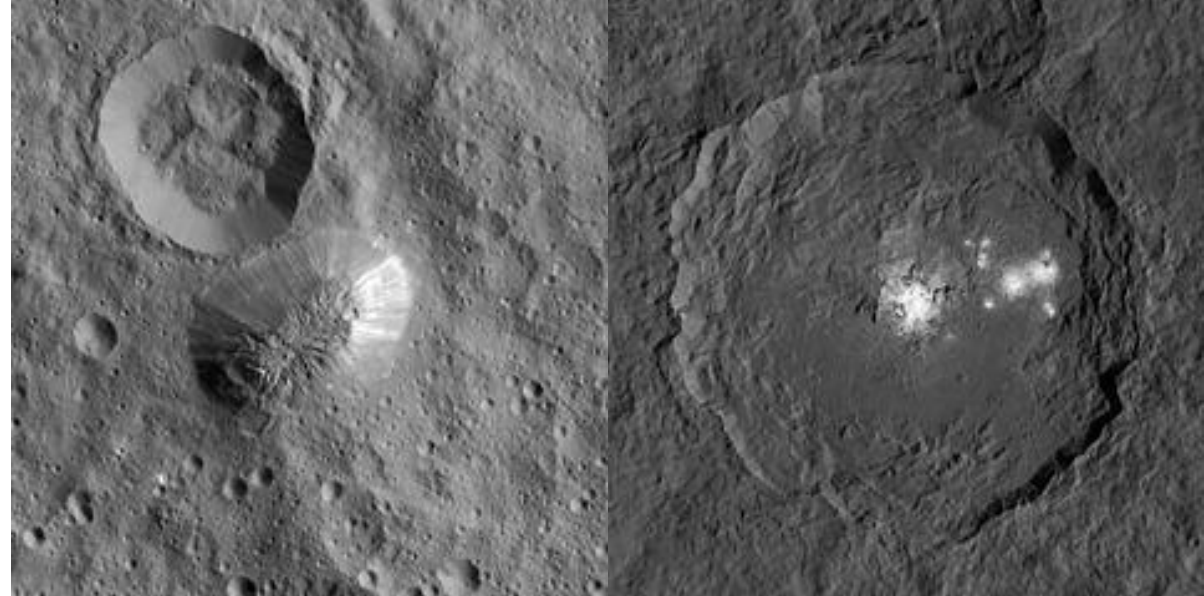
25143 Itokawa, ~500x200 m



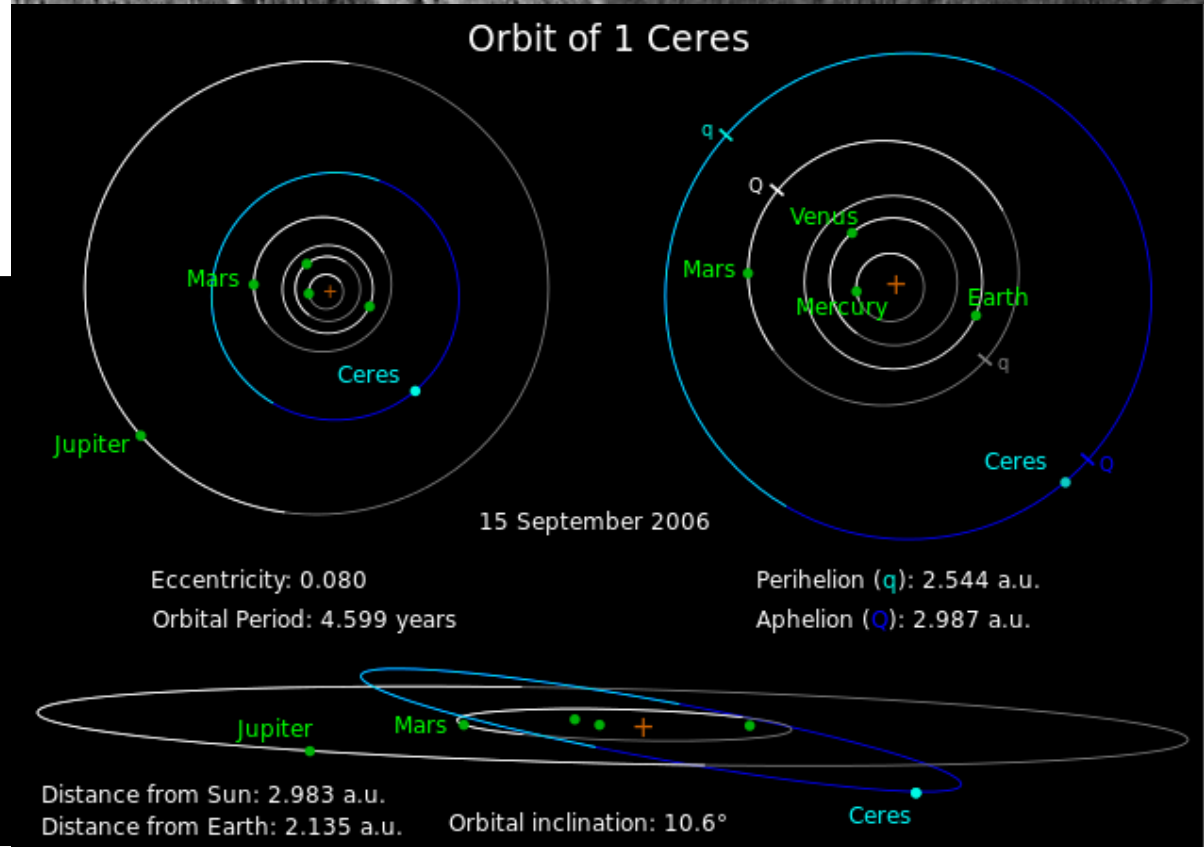
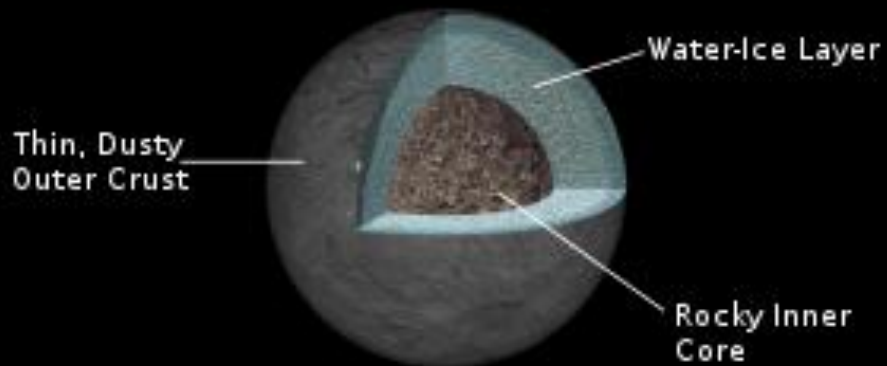
Ceres



- Az aszteroida-öv egyetlen törpebolygója
- Az aszteroida-öv tömegének  $\frac{1}{3}$ -a
- Differenciált belső:
  - szikla mag
  - jég köpeny (+ talán folyékony víz)
- Felszín:
  - vízjég, karbonátok, agyag
  - kráterezett, aktivitásnak nincs jele, de:
  - egyes formák (+ jelenlévő anyagok) a közelmúltban zajló jégvulkánosságot sejtetnek



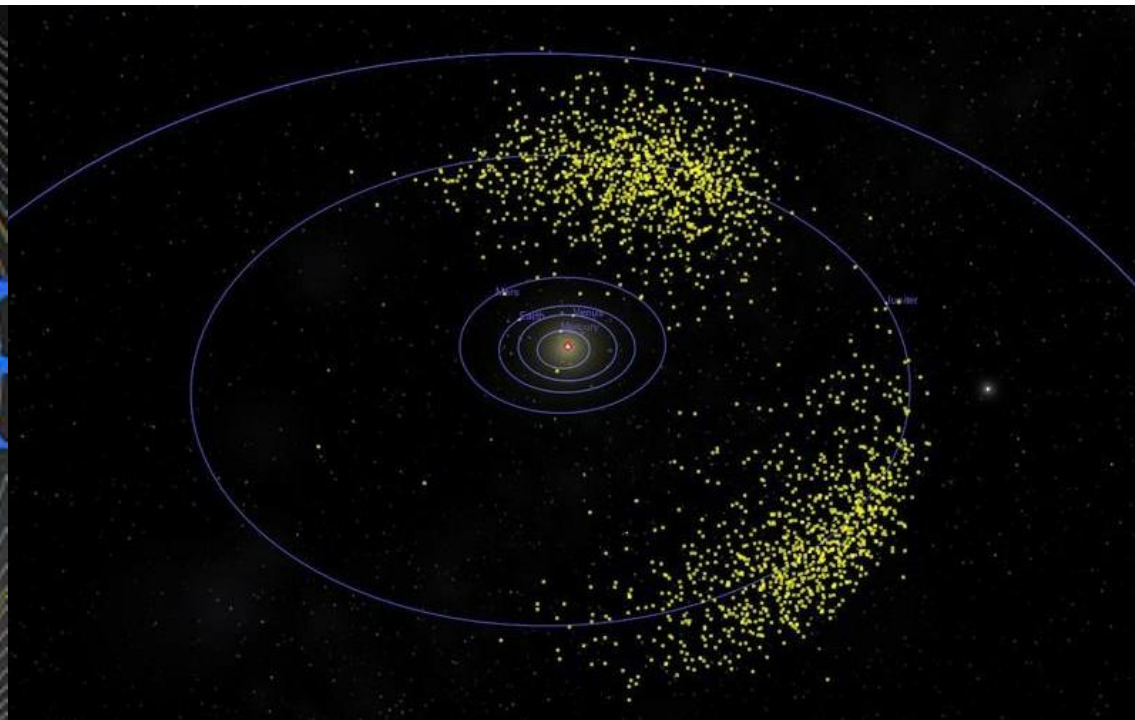
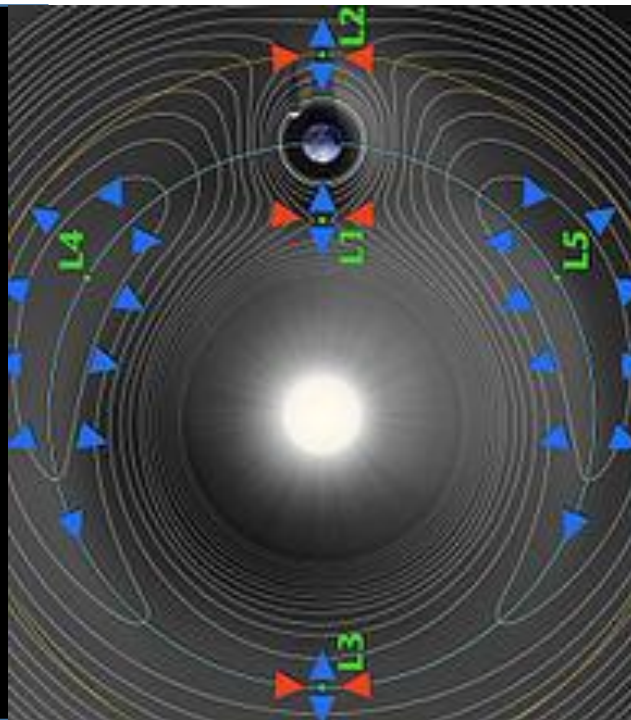
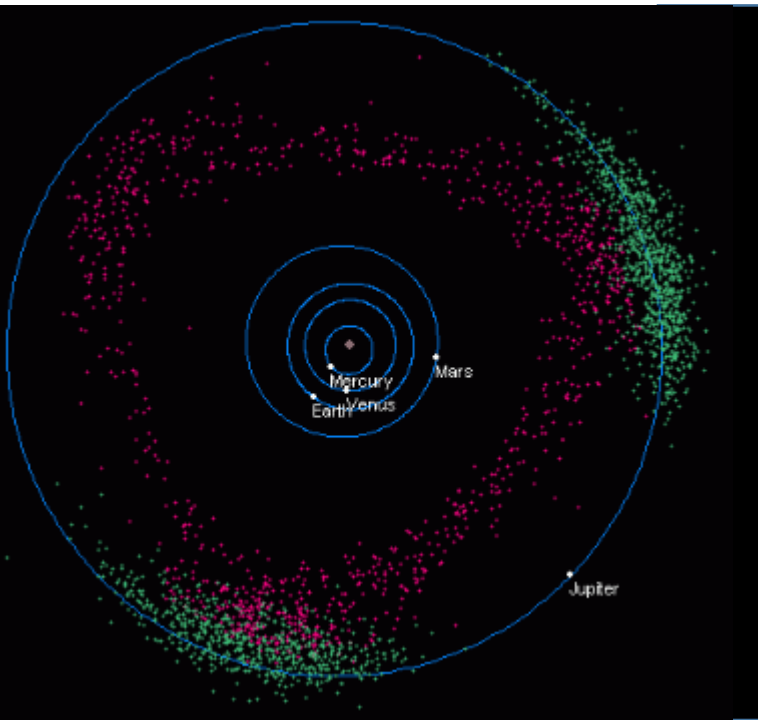
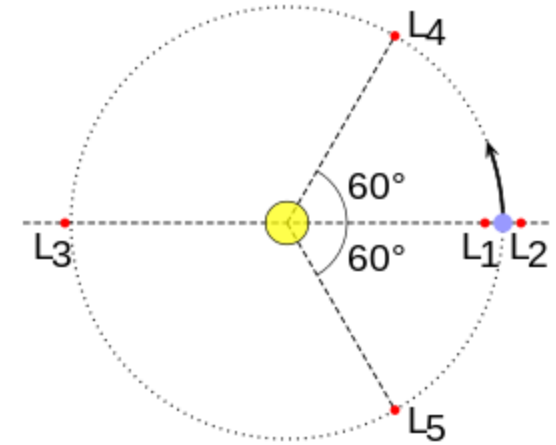
## Interior Structure of Ceres





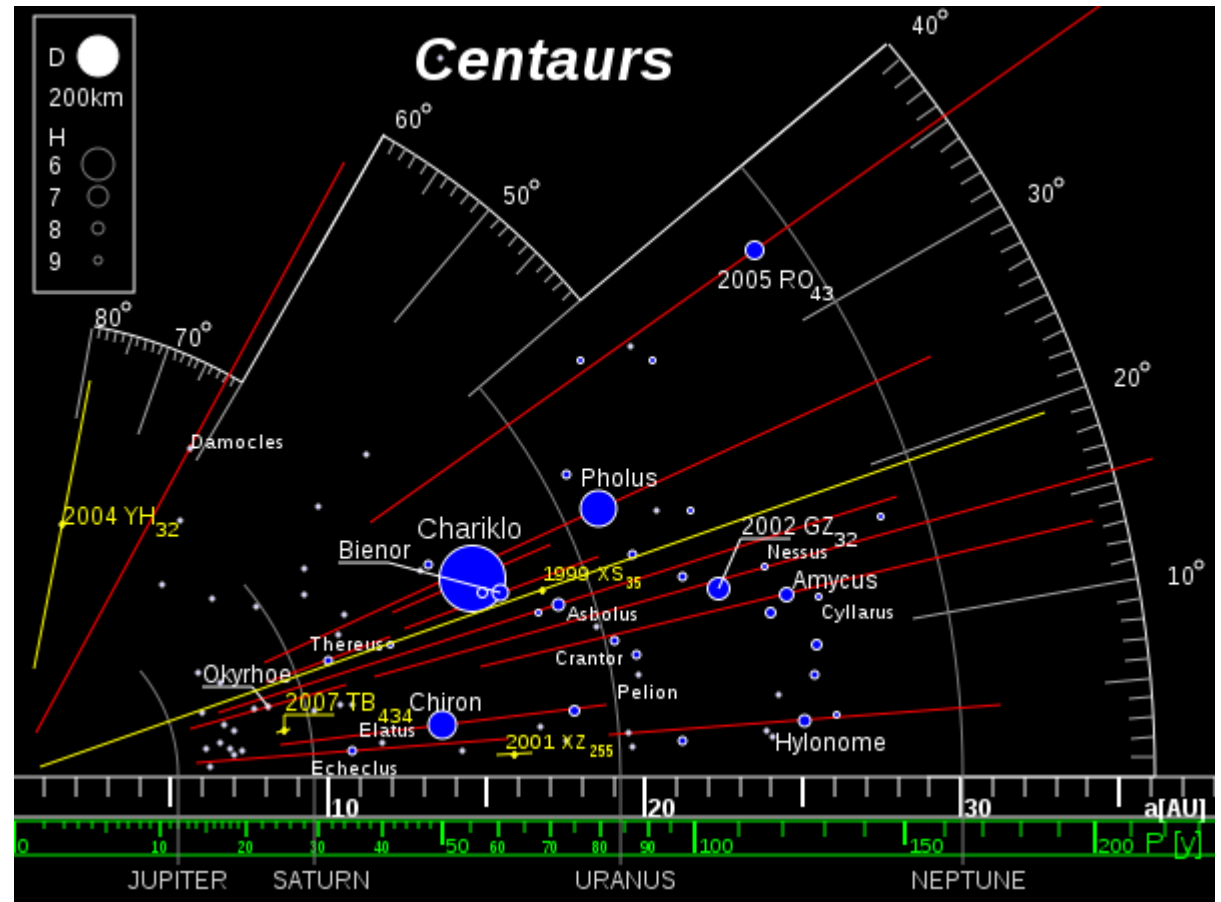
# Trójaiak

- Egy másik, nagyobb égitest (bolygó) pályáján, előtte vagy mögötte  $60^\circ$ -kal  
→ ún.  $L_4$  és  $L_5$  Lagrange-pontok: stabil pozíció
- A legtöbb a Jupiter pályáján:  $L_4$  a „görögök” és  $L_5$  a „trójaiak”
  - > 6000 ismert, > millió létezik (1 km-es méret fölött)  
→ feltehetőleg kb. annyi, mint az aszteroida-öv objektumai
  - v. ö. Vénusz 1, Föld 1, Mars: 7, Uránusz 1, Neptunusz: 18 ismert (N-nál sokkal több lehet, mint J-nél)



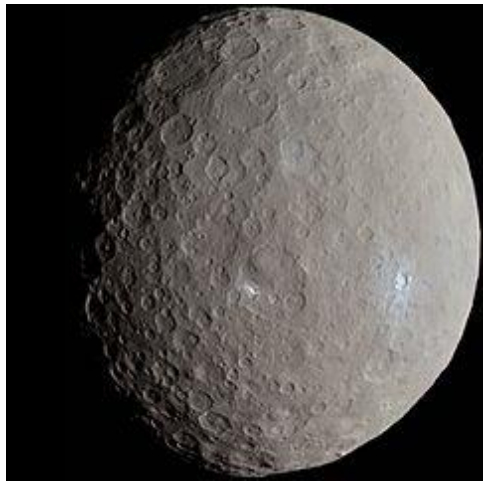
# Kentaurok

- Kisbolygók a Jupiter és a Neptunusz pályái között
- Instabil pályák → néhány millió évig marad meg
- aszteroida és üstökös keveréke → „kentaur”
  - aszteroida-szerű spektrum (kőzetek), de
  - elnyúltabb pályák, néha kómát ereszt
- Becslés 44 000 db (> 1 km)
- Legnagyobb ismert: 10199 Chariklo
  - 260 km átmérő
  - ~4:3 rezonancia az Uránusszal
  - gyűrűrendszere van

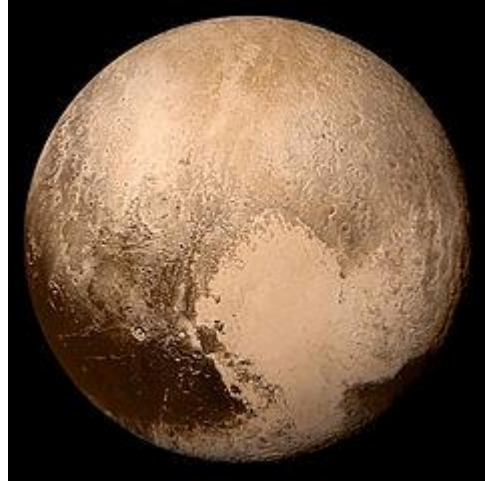


# A törpebolygók

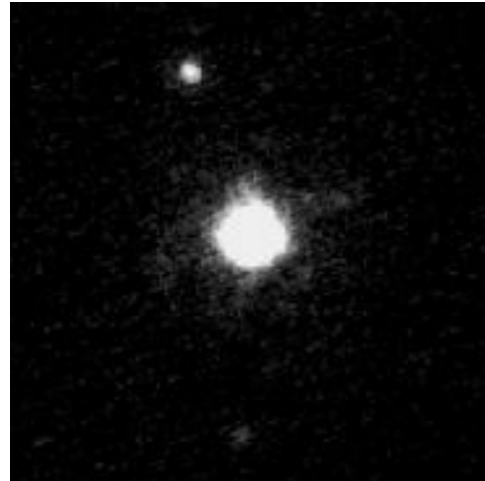
Bolygó-szerű objektumok (gömb\* alakú elsődleges planetáris test) ,  
de nem elég dominánsak ahhoz, hogy kipucolják a pályájuk környezetét



Ceres



Pluto



Haumea



Makemake



Eris

\* Haumea inkább elnyúlt ellipszoid → lényeg: hidrosztatikai egyensúly: a gravitáció ellentart a belső nyomásnak



# A törpebolygók adatai

	Fél nagy- tengely [CsE]	Keringési idő [év]	Excentricitás	Inklináció [°]	Méret [km]	Tömeg [Hold %-a]	Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	Felszíni hő- mérséklet [K]	Forgási idő [nap]	Ismert holdak száma	
elismert	Ceres #	2,77	4,6	0,08	10,6	946	1,3	2,17	167	0,38	0
	Pluto *	39,5	248	0,25	17,1	2372	17,8	1,87	44	-6,4	5
	Haumea *	43,1	283	0,20	28,2	~1250	5,5	~3	~30	0,16	2
	Makemake *	45,8	310	0,16	29,0	~1430	?	>1,4	~30	0,32	1
	Eris +	67,7	557	0,44	44,2	2326	22,7	2,5	~42	~1	1
néhány jelölt	Orcus *	39,2	245	0,23	20,6	~900	0,9	?	<44	0,55	1
	2002 MS <sub>4</sub> *	41,9	272	0,14	17,7	~950	?	?	~43	?	0
	Salacia *	42,2	274	0,10	23,9	~850	0,6	~1,2	?	0,25	1
	Quaoar *	43,1	286	0,04	8,0	~1100	~2	?	~43	0,74	1
	2007 OR <sub>10</sub> +	67,2	551	0,50	30,7	~1500	?	?	?	1,87	0
	Sedna ?	518,6	~11400	0,85	11,9	~1000	~1,4	?	~12	0,42	0

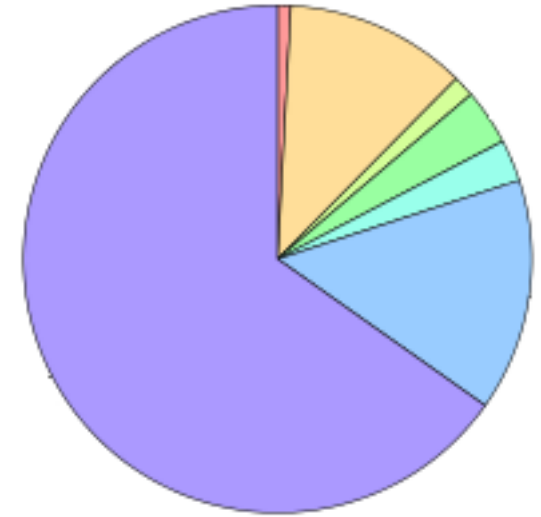
# kisbolygó-öv

\* Kuiper-öv

+ szórt korong

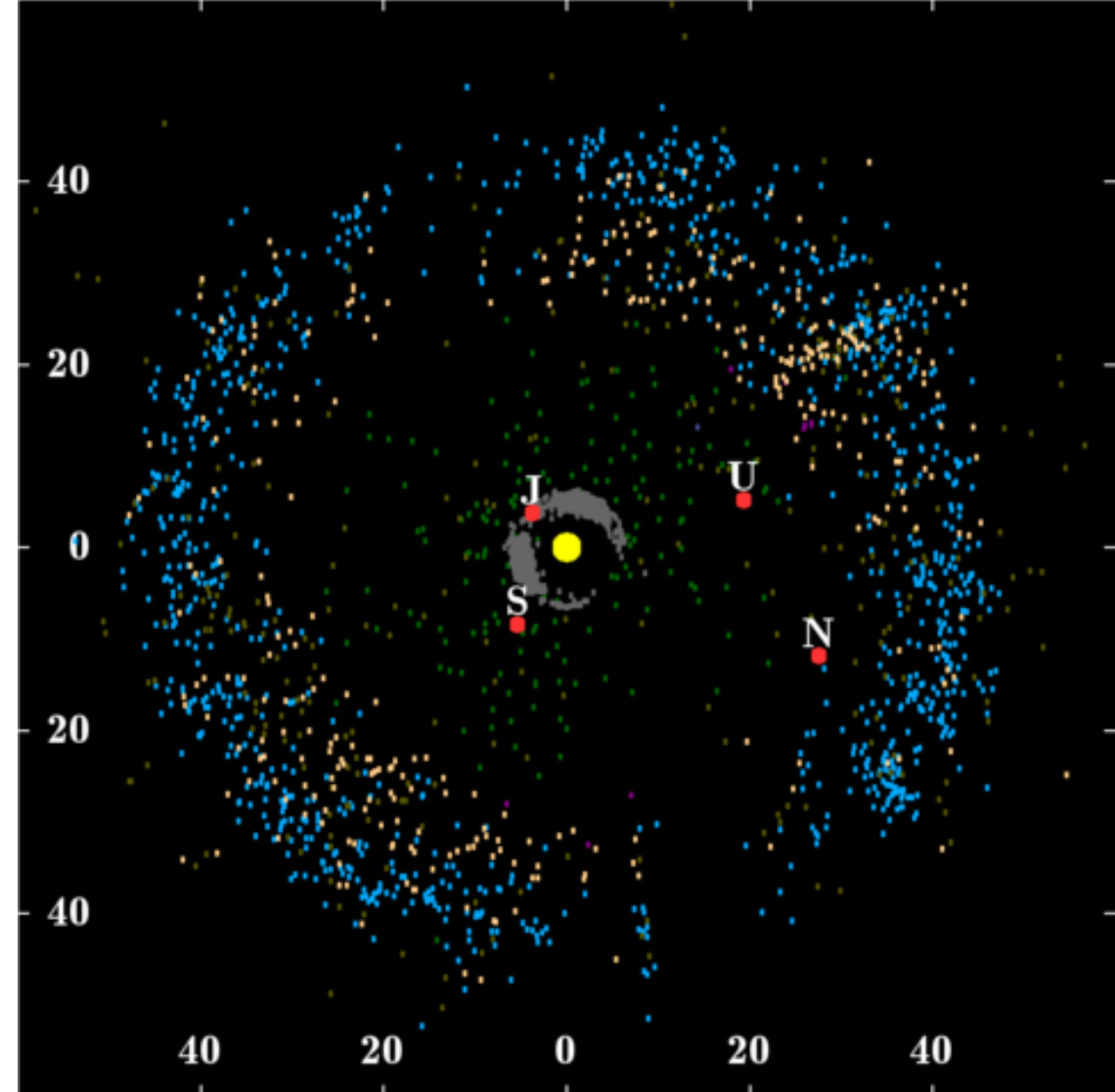
? ? („elkülönülők”)

# A legnagyobb TNO-k (transzrneptun objektum) és relatív tömegeik



# Túl a Neptunuszon 1: a Kuiper-öv

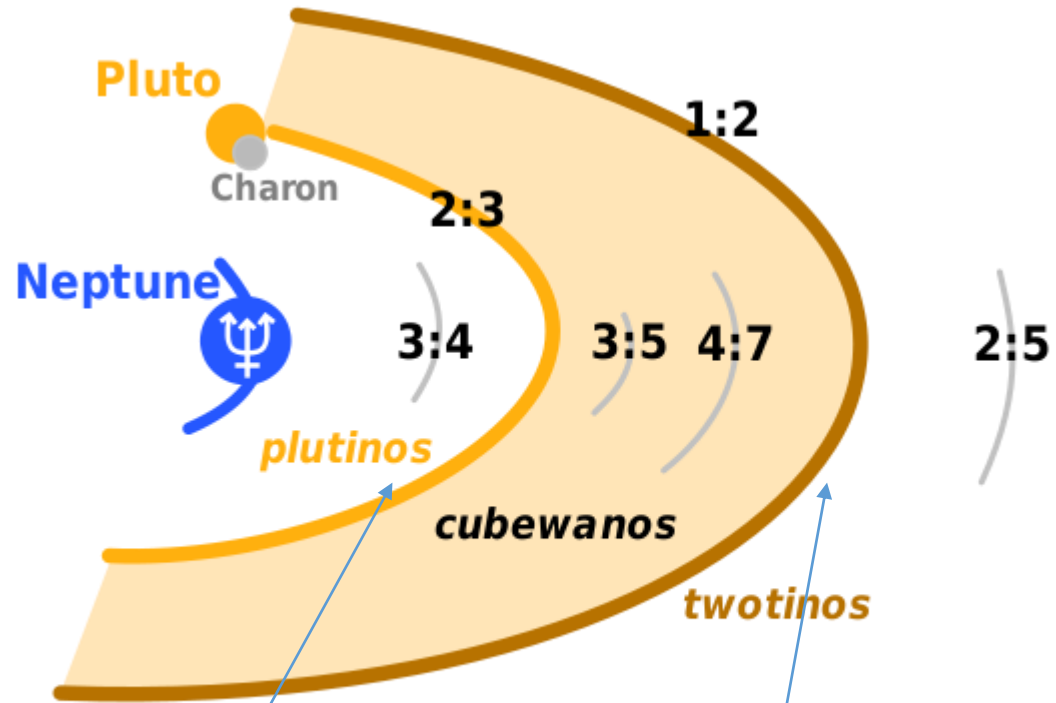
- ~30-55 CsE
  - klasszikus K-öv: 40 CsE (3:2) – 48 CsE (2:1)
- tömege kb. 20-200-szorosa az aszteroida-övének
  - 100 km feletti objektumból legalább százezer
  - törpebolygói: ún. plutoidok
- anyaga főleg jég ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ )
- objektum-típusok
  - kubevánok (klasszikus K-öv objektumok), kicsi  $i$  és  $e$   
pl. Makemake, Salacia, Quaoar
  - rezonáns (keringés a Neptunusszal), nagyobb  $i$  és  $e$ 
    - (Neptun-trójaiak (1:1))
    - plutinók (3:2): Pluto, Orcus
    - egyebek: pl. Haumea (12:7)
- dinamikailag stabil



kék: ismert Kuiper-öv objektumok  
drapp: szórt korong objektumok  
zöld: kentaurok  
szürke: Jupiter trójai kisbolygói



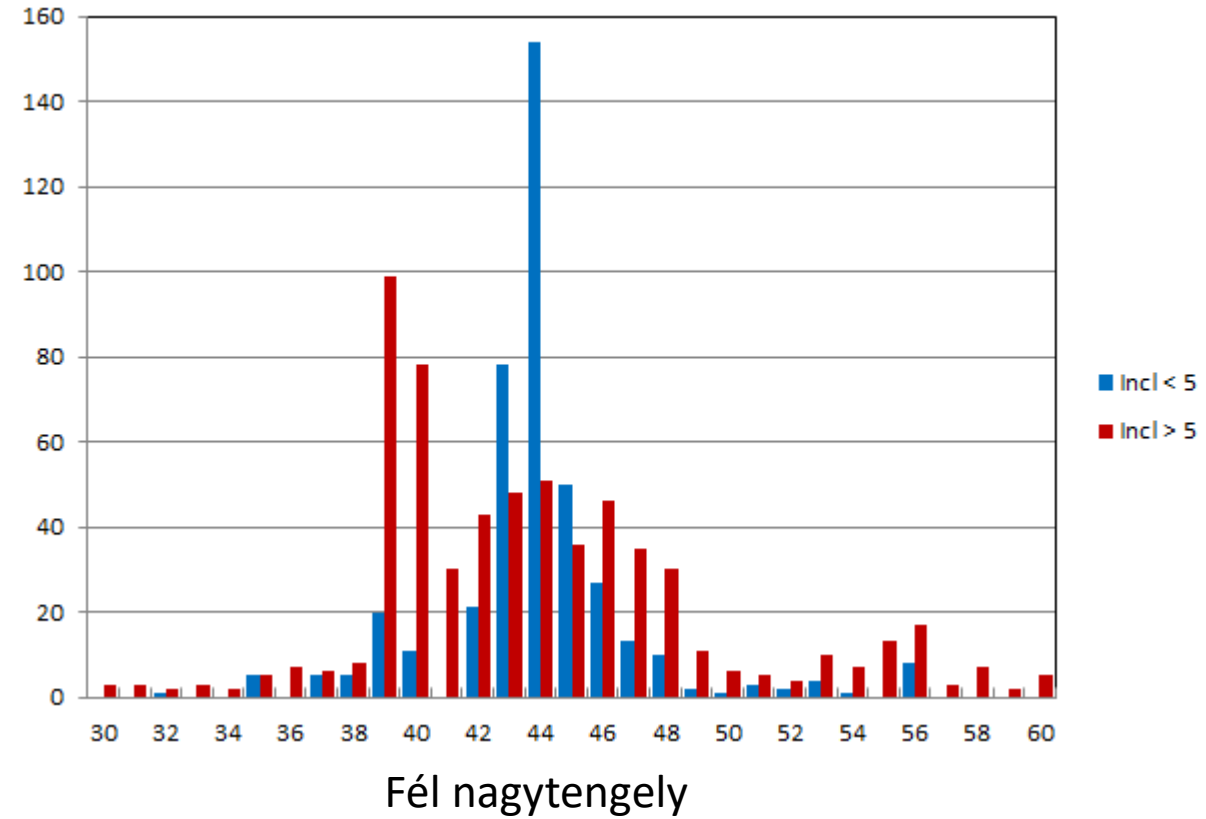
## Pályarezonanciák



kb. 200 ismert

Kuiper-szakadék:  
innentől kifelé jóval kevesebb  
van, mint amit várnánk

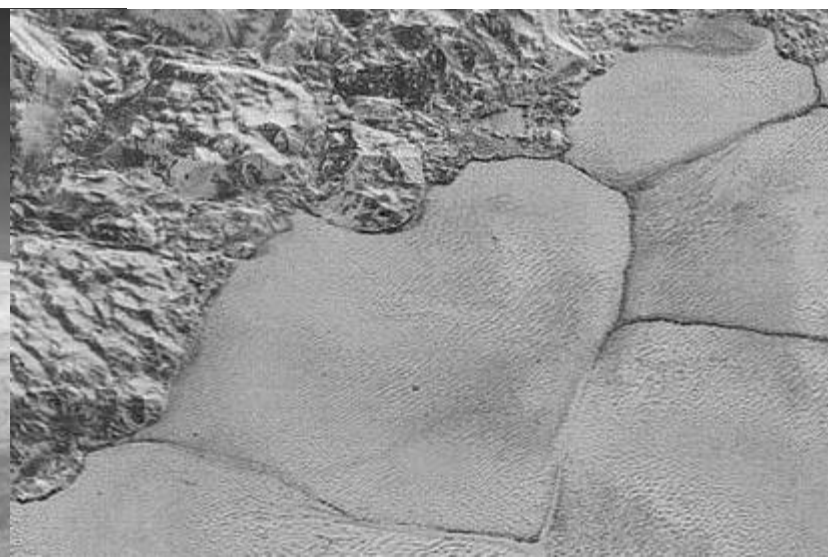
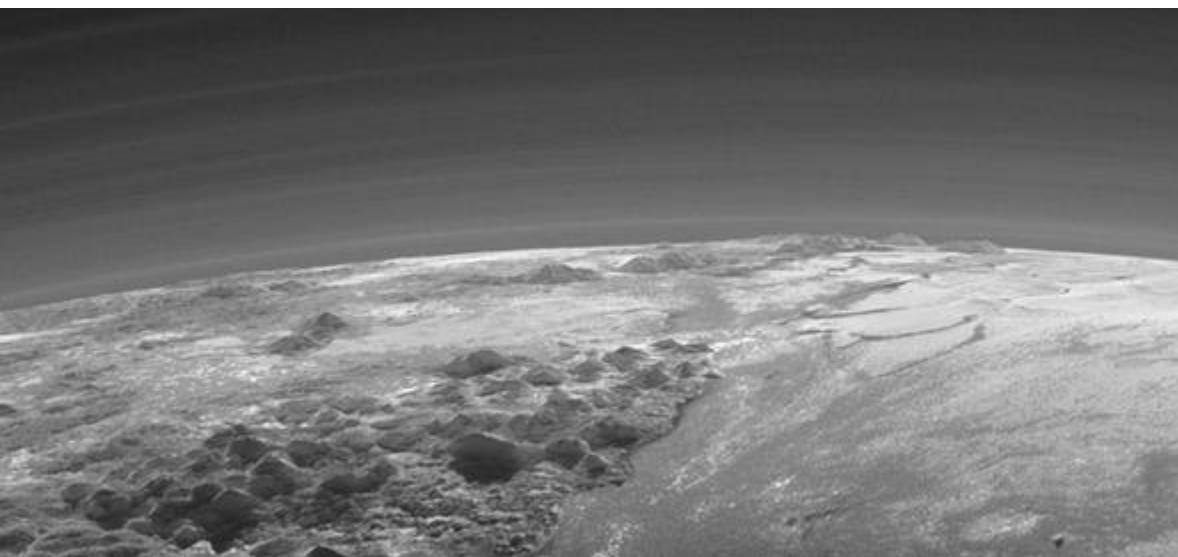
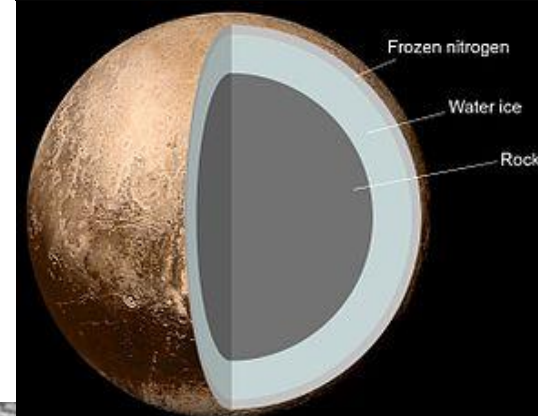
## Kuiper-objektumok eloszlása



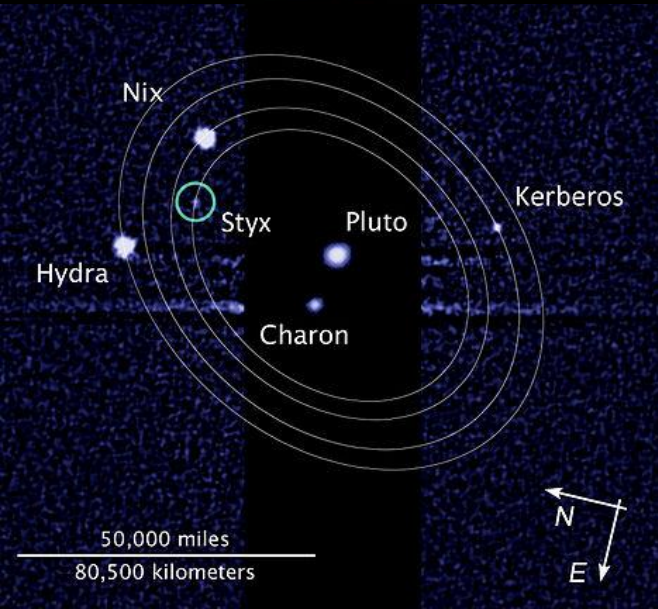
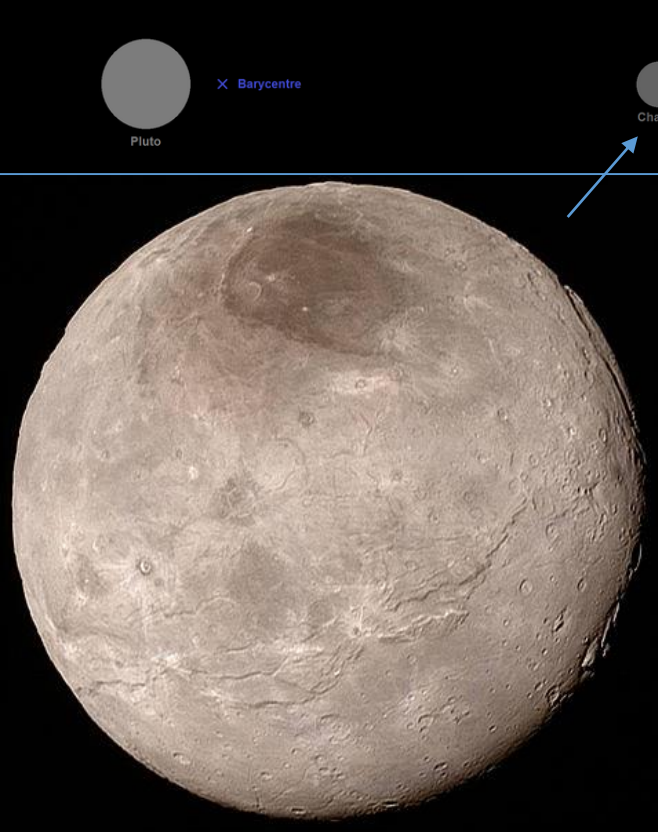
Pluto



- 1930-2006: a 9. bolygó („Plútó”), azóta törpebolygó („Pluto”)
- Felépítés:
  - nagy kőzetmag, azon vízköpeny (részben folyékony), főleg folyékony N-kéreg
- Felszín:
  - fiatal → változatos formáló erők: becsapódás, jégvulkánok, gleccserek
  - kontrasztos és sokszínű: fekete, fehér, vörös, narancs...
  - idős, kráterezett, sötét síkságok; fiatal, töredezett síkságok; vízjég-hegyek...
- Légkör:
  - ritka ( $\sim 1$  Pa) –  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$





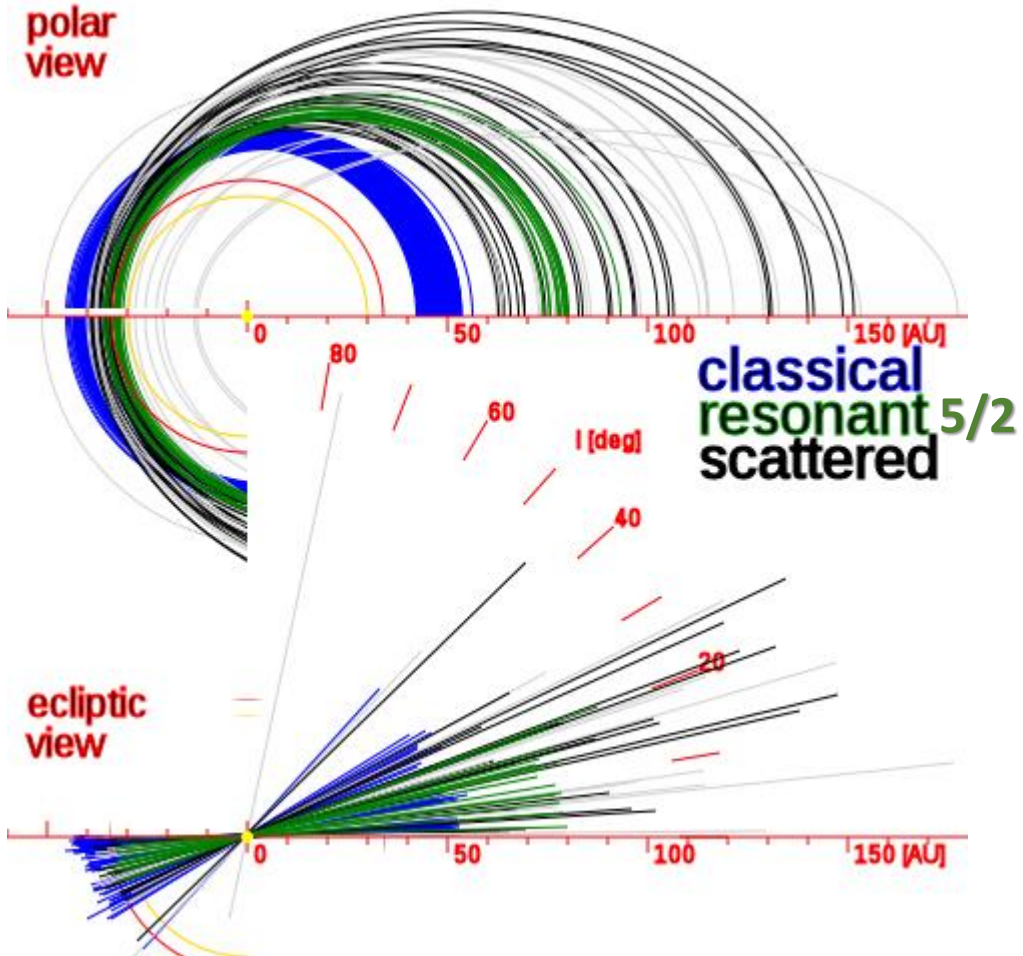


## A Pluto holdjai

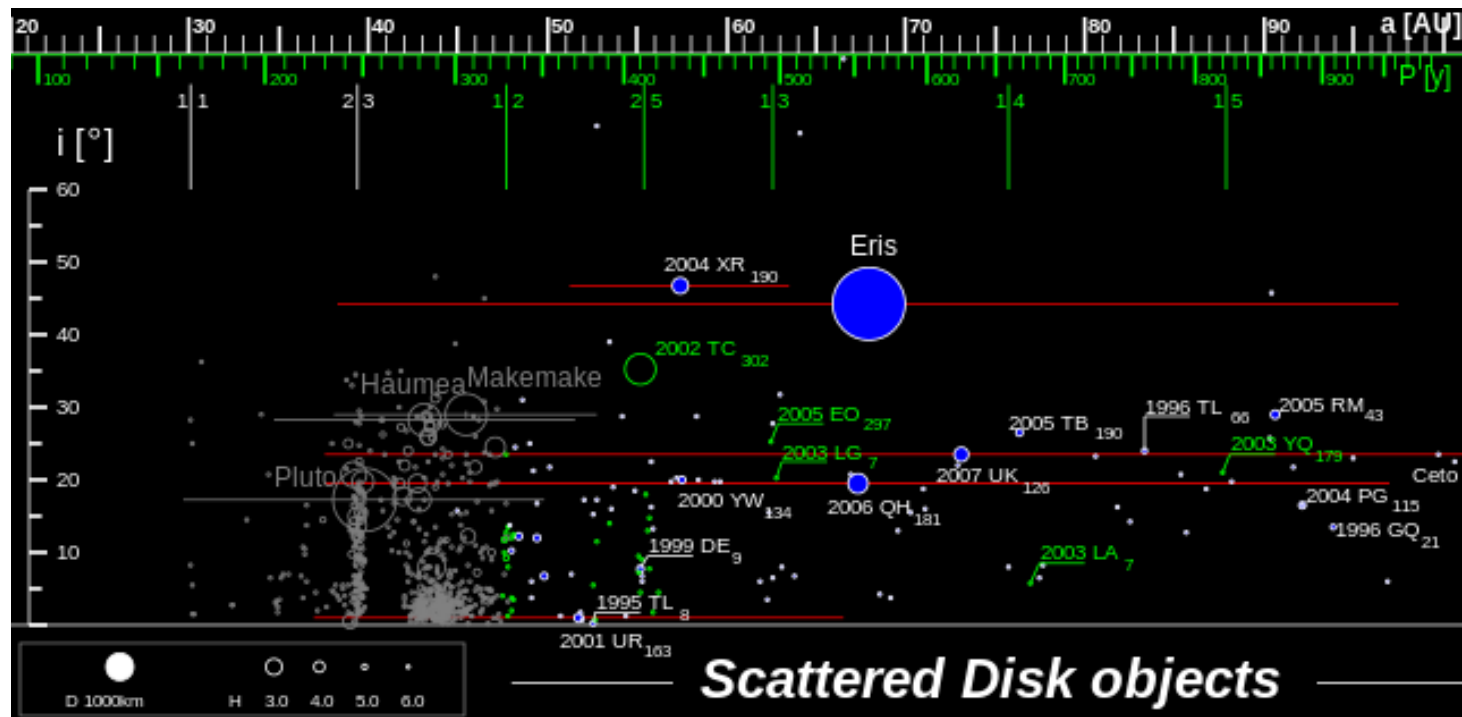
- szabályos keringések:
    - mind körpálya,
    - Pluto egyenlítői síkjában
  - nagyon közel vannak a Plutóhoz (kompakt rendszer)
  - furcsa pályarezonanciák, pl. 18:22:33
  - legnagyobb: Charon
    - elég nagy a hidrosztatikai egyensúlyhoz
    - a rendszer közös TKP-ja a Plutón kívül esik (8:1 tömegarány)
    - kölcsönösen kötött forgások
- inkább kettős törpebolygó, mint törpebolygó-hold rendszer



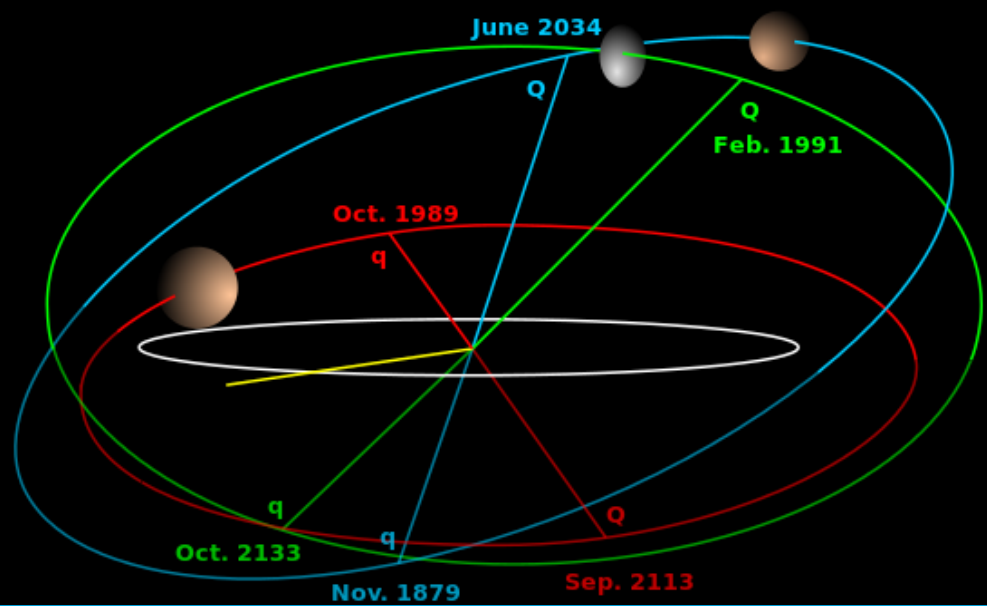
## Túl a Neptunuszon 2: a szórt korong



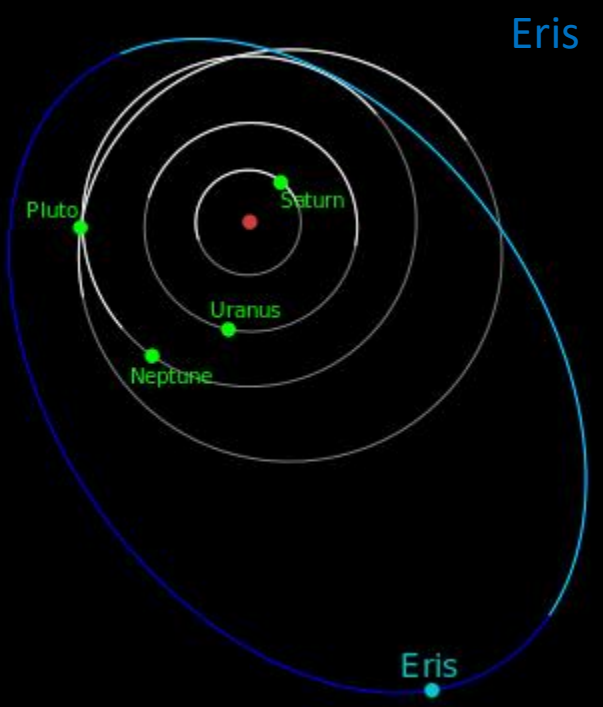
- $\sim 35$  CsE  $\rightarrow 100$  CsE
- elnyúlt, hajlott pályájú jég-kisbolygók:  
perihélium 30-40 CsE körül, aphélium akár 100 CsE felett
- eléggé instabil pályák
  - óriásbolygók (Neptunusz) perturbációja miatt
  - a rövid periódusú üstökösök egyik forrásvidéke



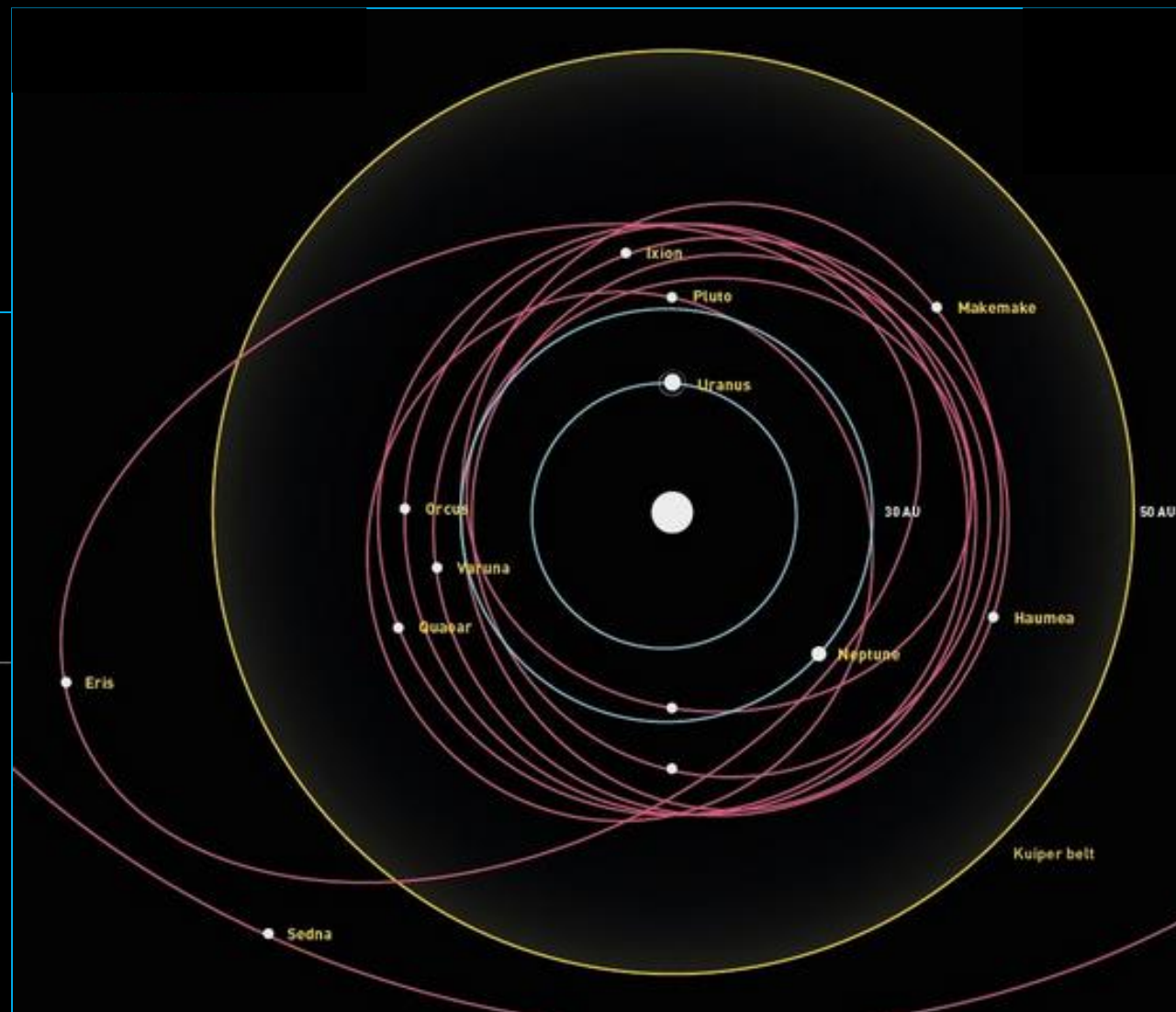
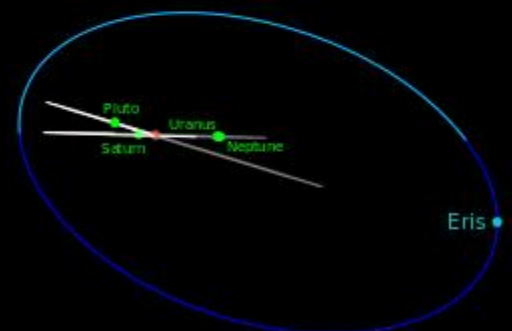
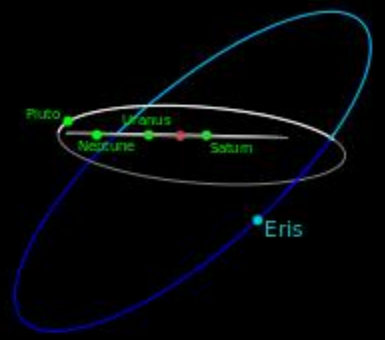
# Néhány pálya



- Neptunusz
- Haumea
- Makemake
- Pluto



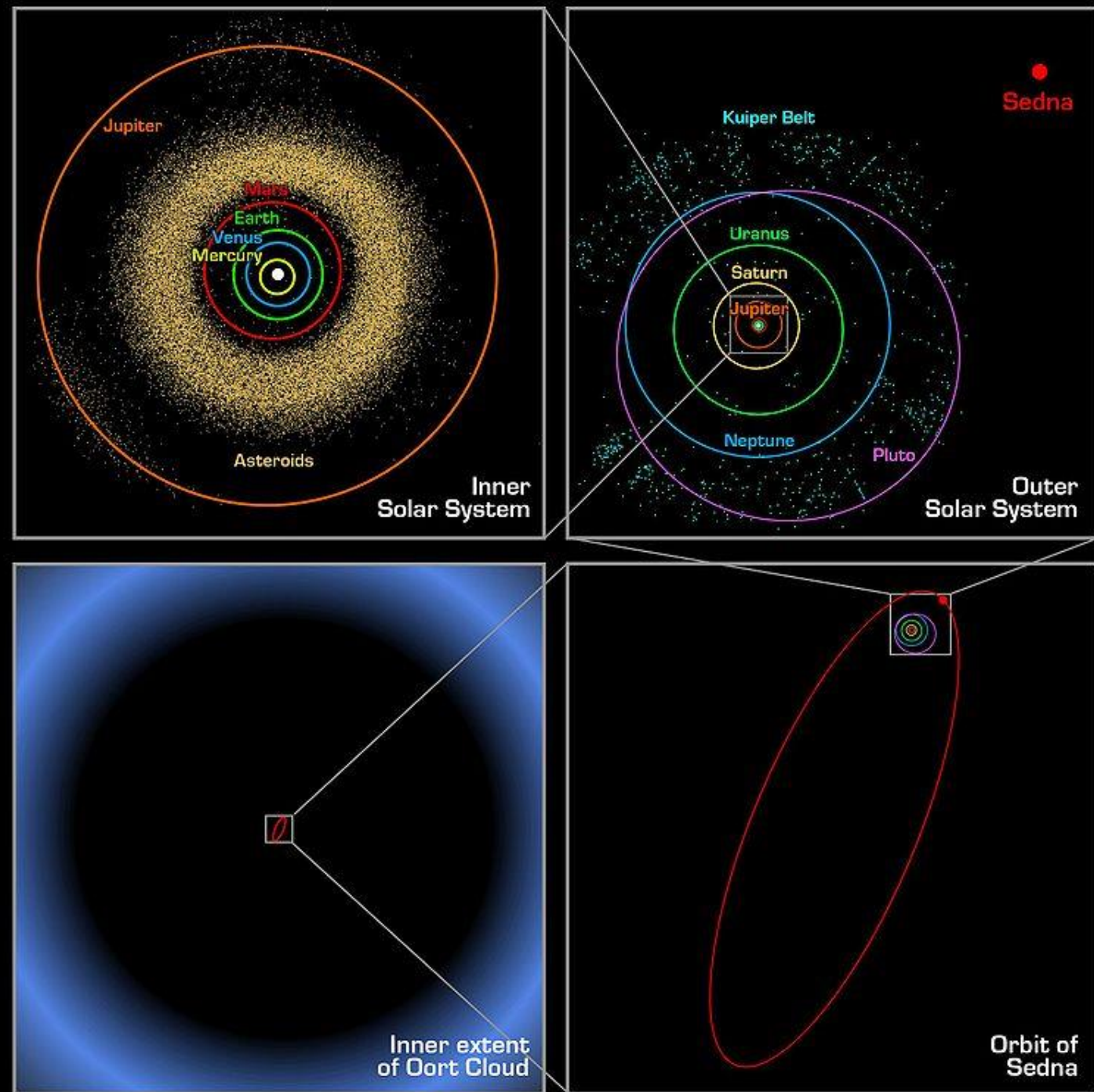
Eris





# Túl a Neptunuszon 3: az Oort-felhő

- Feltételezett jégtest-felhő a Naprendszer külső határán
  - nincs rá bizonyíték
- több ezer v. tízezer CsE
  - a Kuiper-öv több, mint ezerszerese
- Feltételezett struktúra:
  - belső Oort-felhő: lapult korong
  - külső: gömbszimmetrikus
- Jég-kisbolygók billiói
  - össztömeg meghaladhatja a Földét
- Hosszú periódusú üstökösök forrása



# Üstökösök

Jeges kisbolygó, amely erős excentricitású pályája mentén a Nap közelében anyagot ereszt.



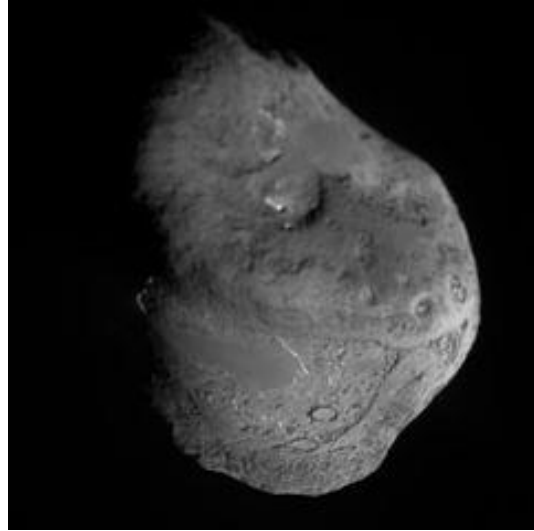
- Mag: maga a kisbolygó
  - párszáz m-től néhányszor tíz km-ig
  - főként  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  (és egyéb) jég, közte por és kőzetdarabok
- Kóma:
  - 3-4 CsE-en belül fejlődik a mag réseiből párologva
  - 10-100 ezer km nagyságú burok a mag körül
  - főleg  $\text{H}_2\text{O}$  és bomlástermékei + por
- Csóva:
  - több tíz millió km, de ritka (1-10 molekula/ $\text{cm}^3$ )
  - iránya a Nappal ellenétes (a napszél és a sugárzás fújja)
  - elkülönül:
    - gázcsóva: egyenes (ionizált molekulák  $\rightarrow$  fénylik)
    - porcsóva: kicsit görbe (visszavert napfény)



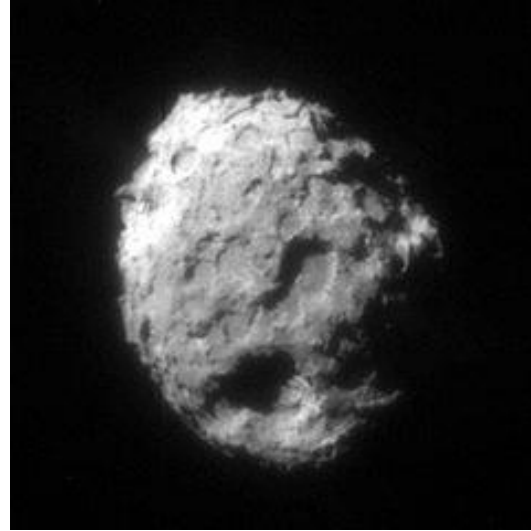
## Néhány üstökös mag



Halley-üstökös (1P/Halley)  
~ 15 x 8 km



9P/Tempel  
~ 7,5 x 5 km



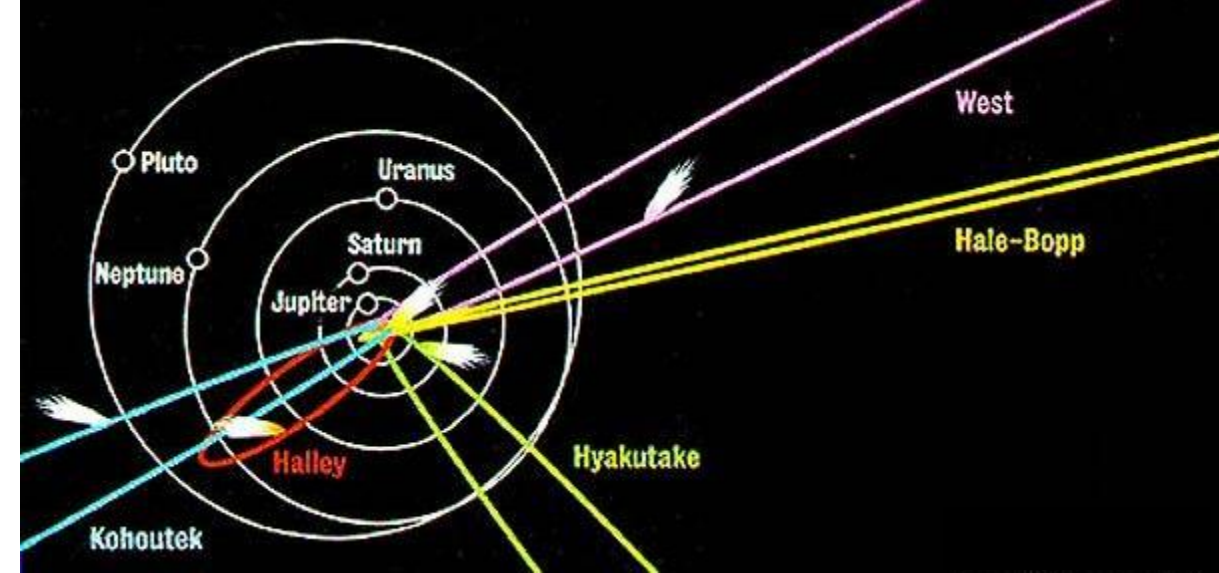
81P/Wild  
~ 5,5 x 3 km



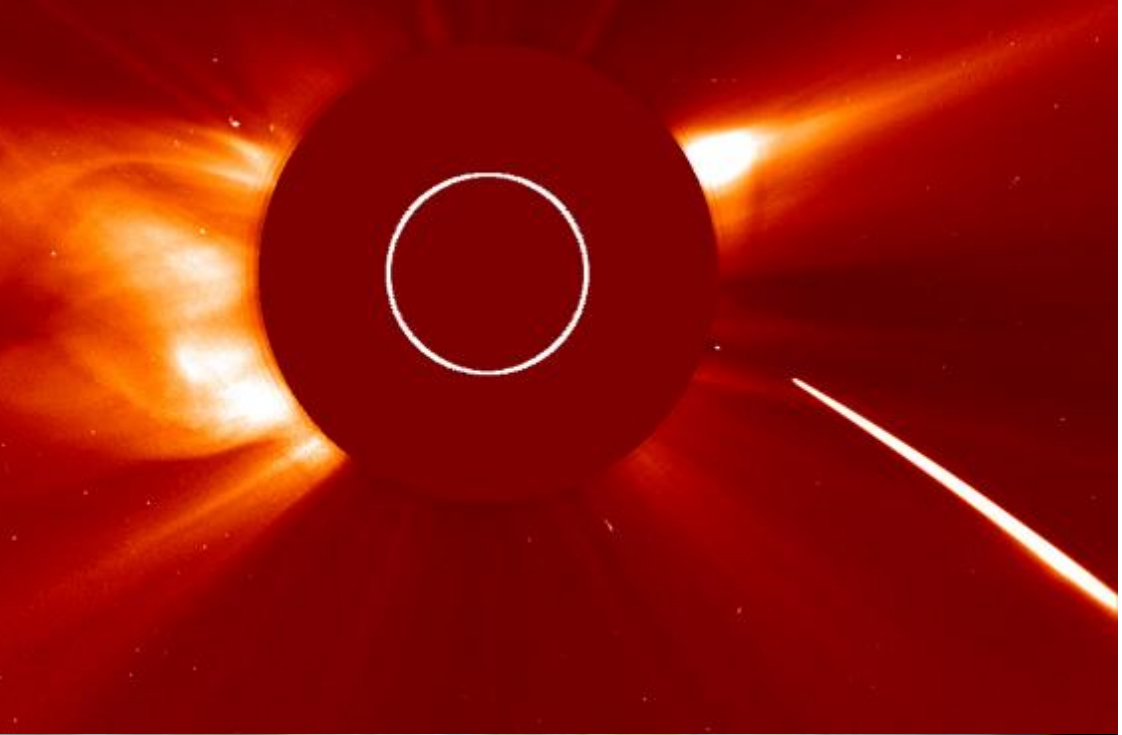
67P/Churyumov-Gerasimenko  
~ 4 x 2 km



# Üstökösök típusai pálya alapján



- Rövid periódusú üstökösök:  $p < 200$  év
  - $e < 1$ : elnyúlt ellipszispálya  $\rightarrow$  perihélium 1-2 CsE-en belül, aphélium max. az óriásbolygók régiójában
  - $i$  változó, de az ekliptika környéke statisztikailag preferált (mint ahogy a direkt mozgásirány is)
  - hasonló pályájú üstökösök családokat alkotnak (pl. Halley-típusúak, Jupiter-család, stb.)
  - forrás: kentaurok vagy szórt korong vagy Kuiper-öv (ütközés v. óriásbolygók perturbációjának hatására)
- Hosszú periódusú üstökösök:  $p > 200$  év
  - $e \approx 1$  ( $\pm 1-2\%$ ): kb. parabola-pálya
  - $i$  eloszlása teljesen izotróp, a fele direkt irányú
  - forrás: feltehetőleg az Oort-felhő (aphéliumok eloszlásában csúcs 50 000 CsE körül)  
ok: extraszoláris perturbációk: közeli csillagok hatása ill. a Tejút árapály-ereje
  - $e > 1$ : hiperbola-pálya  $\rightarrow$  (többnyire) elhagyják a Naprendszert: óriásbolygók gyorsítják fel őket



## Az üstökösök halála

Párolgáson keresztül anyagot veszítenek + instabil pályák  
→ rövid élettartam

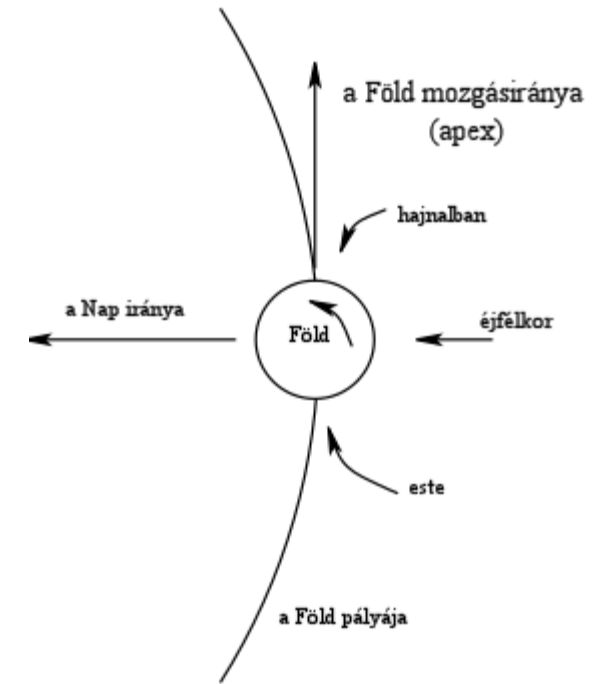
- becsapódás
  - 2016. aug. 4: napsúroló üstökös a Napba
  - 1994. július: a szétdarabolódott D/1993 F2 (Shoemaker–Levy 9) a Jupiterbe
- kidobódás a Naprendszerből
- illó anyagok elfognak
  - aszteroida marad vissza (minél rövidebb periódusú, annál több keringést bír ki)
  - meteorid-raj marad vissza: a jég által korábban összefogott kőzetdarabok széteszlanak lassan az egész pálya mentén



# Meteorok

A légkörben felfénylő meteoridok (= kisbolygónál kisebb test)

- sporadikus
  - egész évben egyenletes
  - a meteorok nagy többsége
  - forrásuk az aszteroida-öv
  - főleg hajnalban láthatók (ott van az „elől”)
- rajmeteorok
  - adott időszakra koncentrálnak (pár nap)
  - egy pontból tűnnek kisugározni az égen (radiáns)
  - általában kisebbek, mint a sporadikusok
  - ok: a Föld keresztezi egy szétesett üstökös pályáját  
→ a párhuzamos sugarak egyfelől látszanak jönni





## A legfontosabb meteorrajok

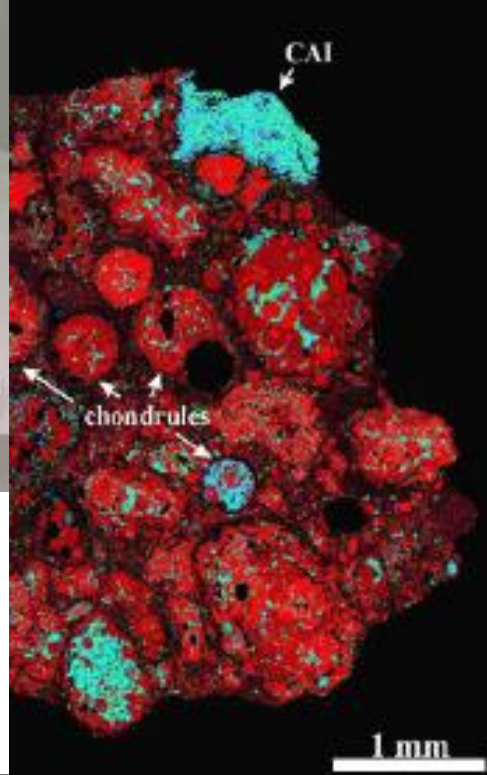
Raj neve (ahol a radiáns van)	Időintervallum	Maximum napja	Sebesség [km/s]	Max. intenzitás [db/óra]	Szülő üstökös
Quadrantidák	Dec 28 – Jan 12	Jan 3	41	120	2003 EH1 ?
Márciusi Lyncidák	Jan 25 – Máj 15	Már 7	16	20	252P/LINEAR
Lyridák	Ápr 16 – Ápr 25	Ápr 22	49	18	C/1861 G1
$\eta$ Aquaridák	Ápr 19– Máj 28	Máj 6	66	55	1P/Halley
Arietidák	Máj 22 – Júl 2	Jún 7	37	54	1566 Icarus ?
$\xi$ Perseidák	Máj 20 – Júl 5	Jún 9	27	20	
Déli $\delta$ Aquaridák	Júl 12 – Aug 23	Júl 30	41	16	
Perseidák	Júl 17 – Aug 24	Aug 13	59	100	109P/Swift-Tuttle
Sextantidák	Szep 9 – Okt 9	Szep 27	33	20	
Orionidák	Okt 2 – Nov 7	Okt 21	66	20	1P/Halley
Leonidák	Nov 6 – Nov 30	Nov 17	71	15	55P/Tempel-Tuttle
Geminidák	Dec 4 – Dec 17	Dec 14	35	120	3200 Phaethon

# A meteoritok fajtái



## kondritok

- nem differenciált anyagból
- kondrula: pár mm-es üveges gömböcske (hirtelen dermedt)
- gyakori: ~ 85%
- fontos altípus: szenes kondrit (~ 5%)



## akondritok

- differenciált testek kérgéből
- kb. a földi mélységi kőzetek
- közepesen ritka: ~ 10%

## kő-vas meteoritok

- differenciált testek mag-köpeny határáról
- ritka ~ 1%

## vasmeteoritok

- differenciált testek vasmagjából
- ritka: ~ 4%



# A naprendszerbeli objektumok (egy lehetséges) Euler-diagrammja

