A Naprendszer égitestjei

Bevezetés a csillagászatba 6.

Muraközy Judit

Debreceni Egyetem, TTK

2026. 11. 03.

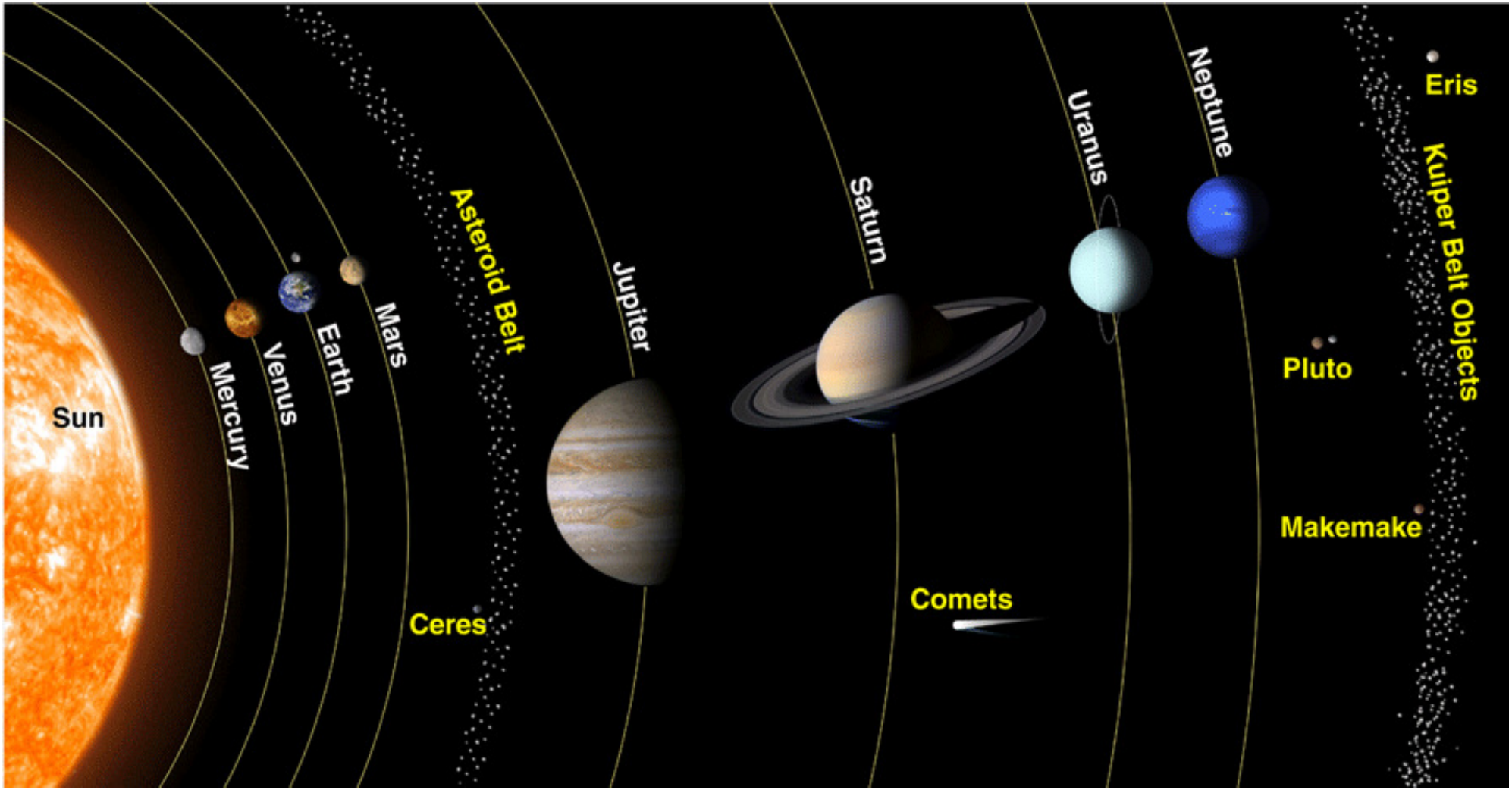
Miről lesz szó a mai órán?

Nagybolygók
Tulajdonságaik(tömeg, átmérő, sűrűség, gyűrűk, mágneses terek)
– belső, Föld típusú,
– külső, Jupiter típusú bolygók
Bolygó atmoszférák
Holdak

Naprendszer egyéb égitestjei
–kisbolygók
–üstökösök
–meteorok

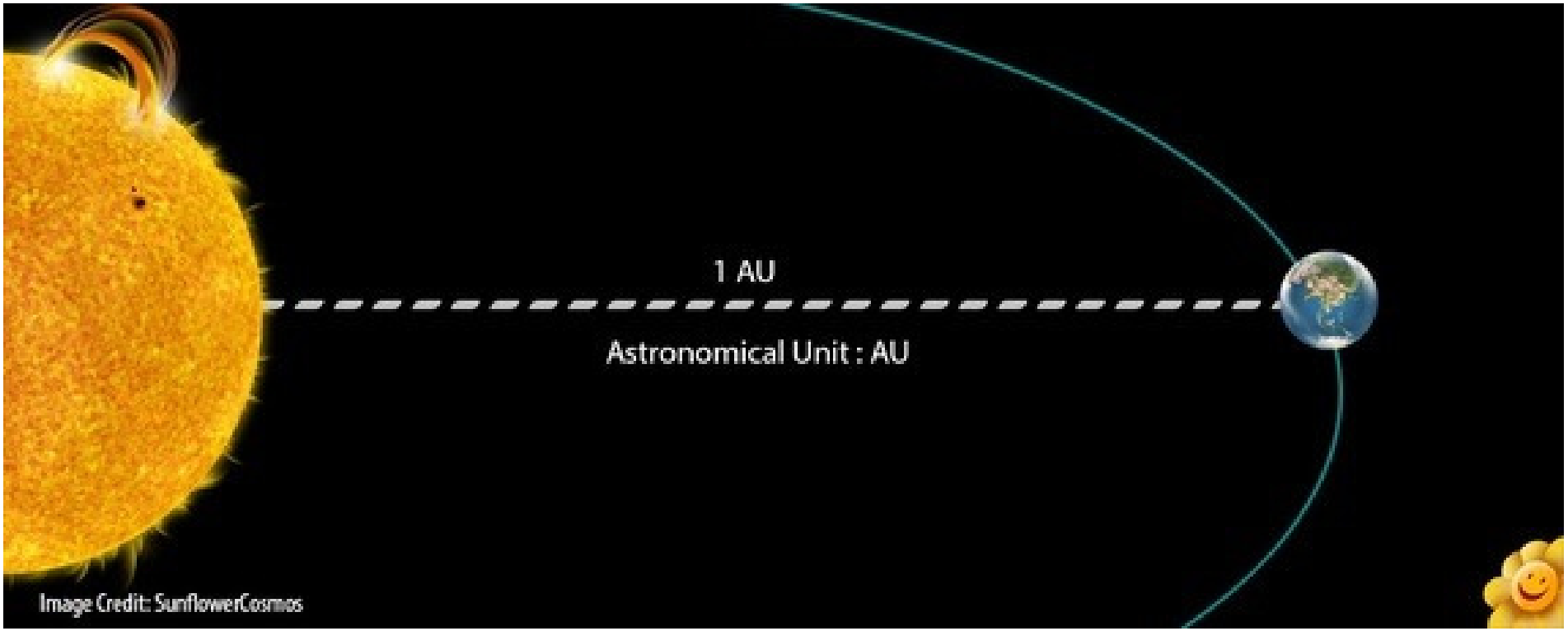
Keletkezés elméletek

A Naprendszer



A Nap gravitációs tere dominál.

Távolságegység a Naprendszerben

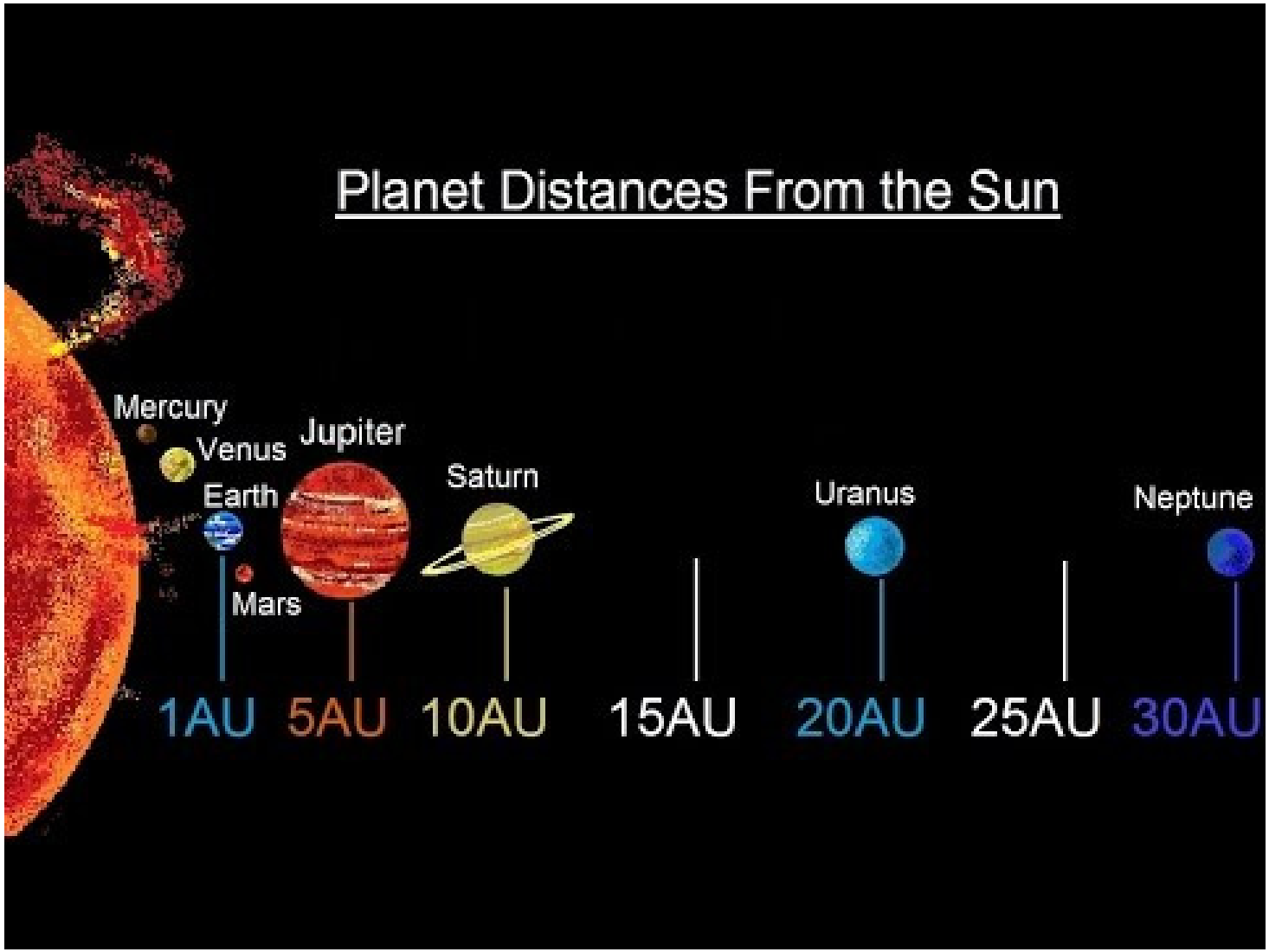


1 CsE = a Föld Nap körüli ellipszispályája fél nagytengelyének hossza (közepes Nap – Föld távolság), melyet a fény 8 perc 19 mp. alatt tesz meg

A bolygórendszer jellemzői

- Összetétel: Korai szakaszban a Nap a könnyebb elemeket kisöpörte a Naprendszer külső tartományaiba –> kétféle típus
- Sűrűség: Belső- és külső bolygóké egymástól eltér
- Tömeg: Belső bolygóknál a Földé, külső bolygóknál a Jupiteré a legnagyobb
- Nyomás: az óriások centrális nyomása nagyobb
- Hőmérséklet:
  Kelvin-Helmholtz: az összehúzódás során felszabaduló pot. energia fele a belső energia növelésére fordítódik.
  Izotópbomlás: U^{238}, TH^{232}, K^{40}
  Árapály mechanizmus: belső átrendeződések –> nő a belső energia
- Felszín: a kialakulás korai szakaszában intenzív ütközések, de az élet kialakulása csak a becsapódások visszaszorulása után vált lehetővé
- Atmoszférák: primordiális atmoszférák (óriásoké), másodlagos atmoszférák (Föld típusúaké)
- Holdak és gyűrűk: jellemzően az óriások esetében alakultak ki

A Naprendszer méretei, tulajdonságai

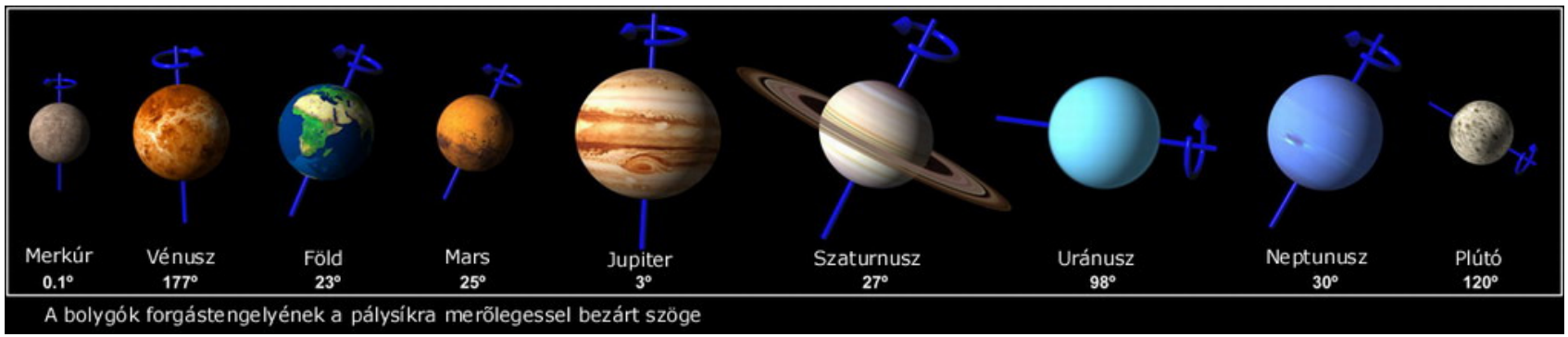


A Plútó távolságot 5.5 (4.1 – 6.8) óra alatt teszi meg a fény.

A Naprendszer teljes mérete kb. 0.5 millió CsE ($2 \cdot 10^{13}$ km $\approx$ 2 fényév).

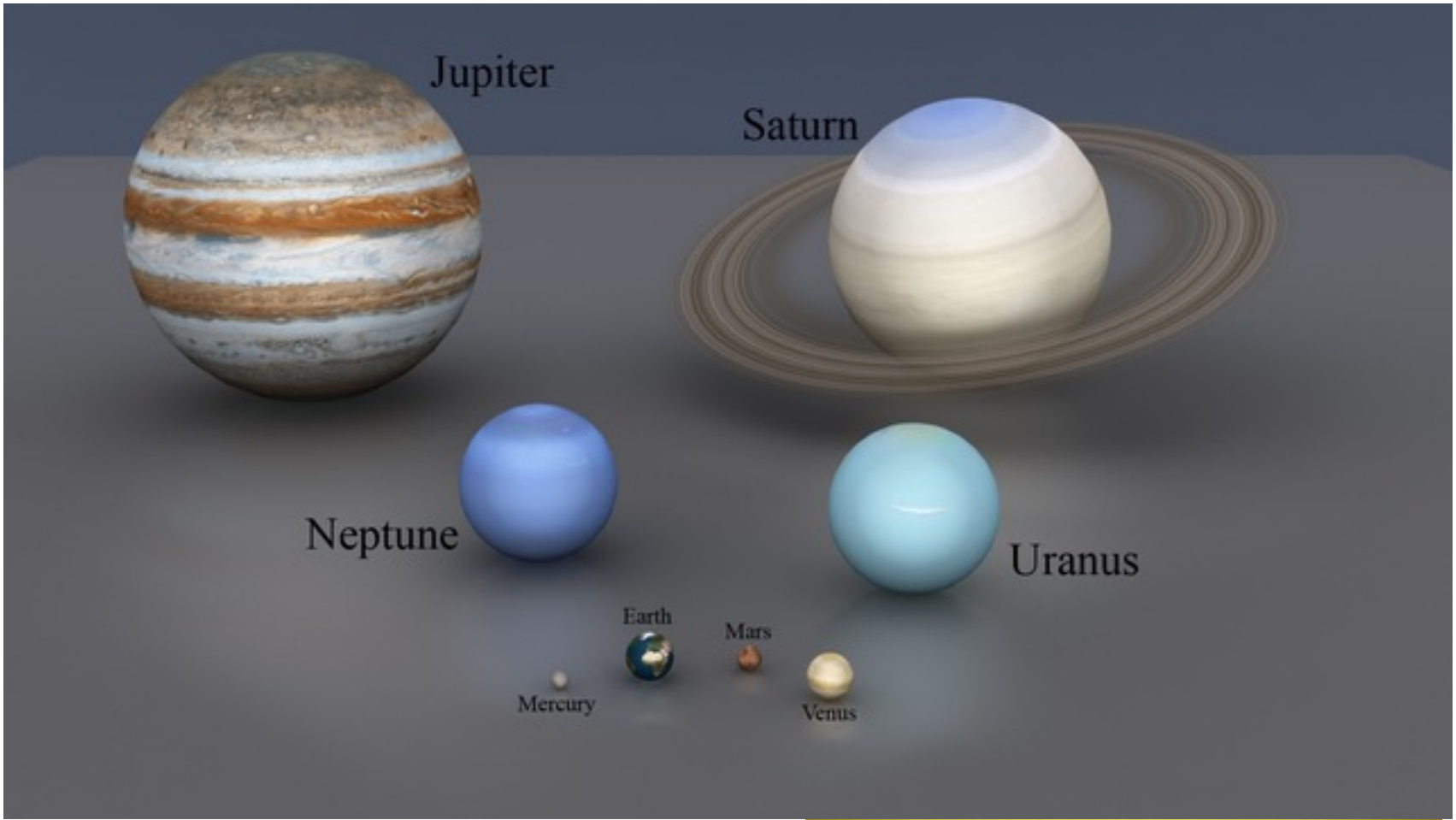
A Naprendszer méretei, tulajdonságai

é.t	$r_\odot$ [CsE]	exc.	$t_{ker.}$ [$t_{F.}$]	$t_{rot.}$	lap.	r [$r_{F.}$]	m [$m_{F.}$]	t.ferd.	ρ [g/cm^3]
Merk.	0.39	0.206	0.24	58.65 n	-	0.38	0.06	2	5.44
Vén.	0.72	0.007	0.62	243.16 n	-	0.95	0.82	177.3	5.22
Föld	1.00	0.0167	1.00	23.95 ó	1/298	1.00	1.00	23.5	5.52
Mars	1.50	0.093	1.88	24.60 ó	1/180	0.53	0.11	25.2	3.94
Jup.	5.20	0.048	11.86	9.80 ó	1/16	11.19	317.80	3.80	1.34
Szat.	9.60	0.056	29.46	10.20 ó	1/10	9.40	95.20	26.80	0.71
Urán.	19.10	0.046	84.02	10.70 ó	1/18	4.00	14.50	98.00	1.29
Nept.	30.20	0.010	164.79	15.80 ó	1/60	3.88	17.30	29.00	1.64
(Plú.)	39.80	0.248	248.50	6.40 n	?	0.180	0.002	122.50	2.03



Bolygó mozgások:
– direkt keringés
– direkt forgás, de retrográd a Vénusz, Uránusz és Plútó esetén
– excentricitásban eltér a Merkúr és a Plútó
– pályasíkra közel merőleges a Merkúr, Vénusz és Jupiter, közel párhuzamos az Uránusz

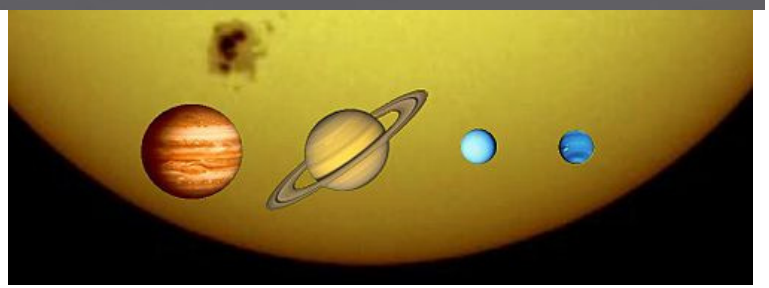
A bolygók méretei



Legnagyobb tömeg:

Jupiter (2.5x a többi bolygó tömege)

Föld



A nagybolygók csoportosítása

Belső bolygók,
Külső bolygók

Föld típusú bolygók: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars

<2 CsE, rövidebb keringési idők, kis tömeg, nagy sűrűség (>3 g/cm^3), nehéz elemek, holdszegénység

Jupiter típusú bolygók vagy óriás bolygók: Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz

>5 CsE, hosszabb keringési idők, nagy tömeg, kis sűrűség (0.7–1.9 g/cm^3), könnyű elemek, holdban gazdag bolygók

(A Plútó kilóg, de visszaminősítve kisbolygóvá.)

Naptávolság, bolygópályák

Titius–Bode szabály(szerűség) (1772–1778):

$$a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n,$$

ahol a: Naptól mért távolság

bolygó	n	a_{T-B} (CsE)	$a_{val.}$ (CsE)	hiba [%]
Merkúr	-∞	0.4	0.39	2.56
Vénusz	0	0.7	0.72	-2.78
Föld	1	1.0	1.00	0.00
Mars	2	1.6	1.52	5.26
Kisbolygóöv	3	2.8	2.77	1.08
Jupiter	4	5.2	5.2	0.00
Szaturnusz	5	10.0	9.54	4.82
Uránusz	6	19.6	19.2	2.14
Neptunusz	7	38.8	30.1	28.9
Plútó	8	77.2	39.5	95.4
Eris	8	77.2	67.7	+14.0

Érvényességének bizonyítéka (?): William Herschel Uránusz felfedezése (1781).
"Hiányzó" bolygó: Giuseppe Piazzi Ceres felfedezése (1801), több kisebb bolygó megtalálása a várt pályán.

IAU kritériumai az égitestek bolygókénti besorolásához

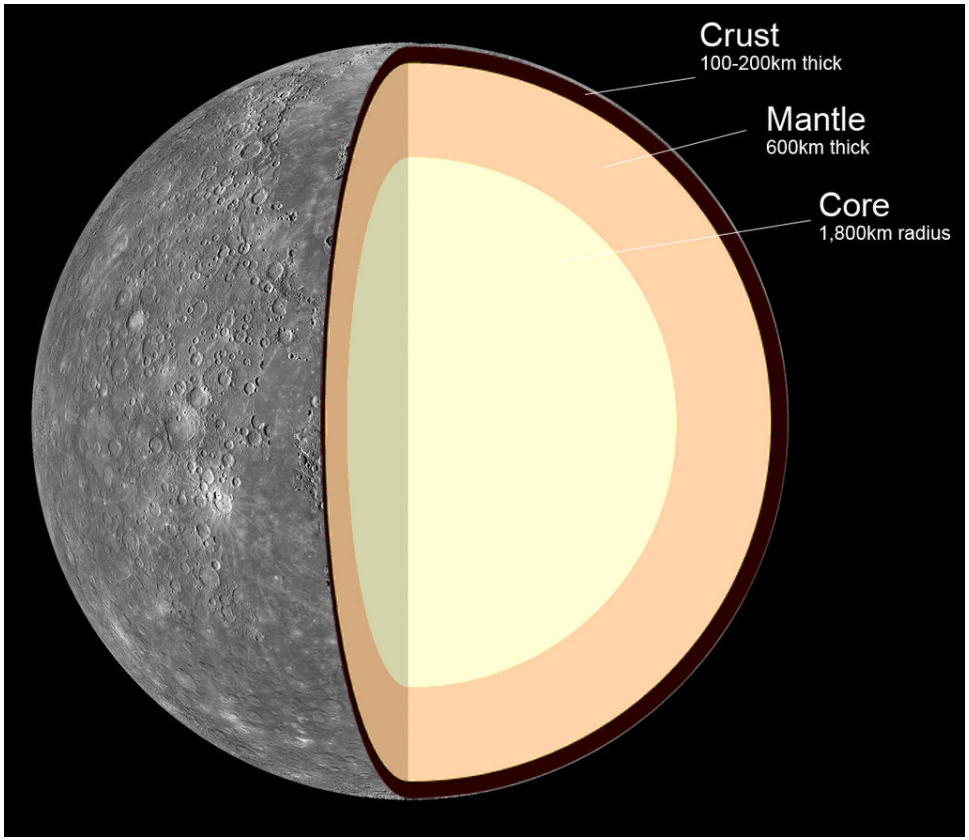
A “bolygóság” feltételei:

- Nap körüli keringés
- Gömb alak <–gravitációs összehúzó hatás nagysága
- Pálya tisztasága

Merkúr



– légköre igen vékony
– -180 ℃ – 430 ℃
– összetevők hamar illannak
– sarkok környékén jelentős vízjég

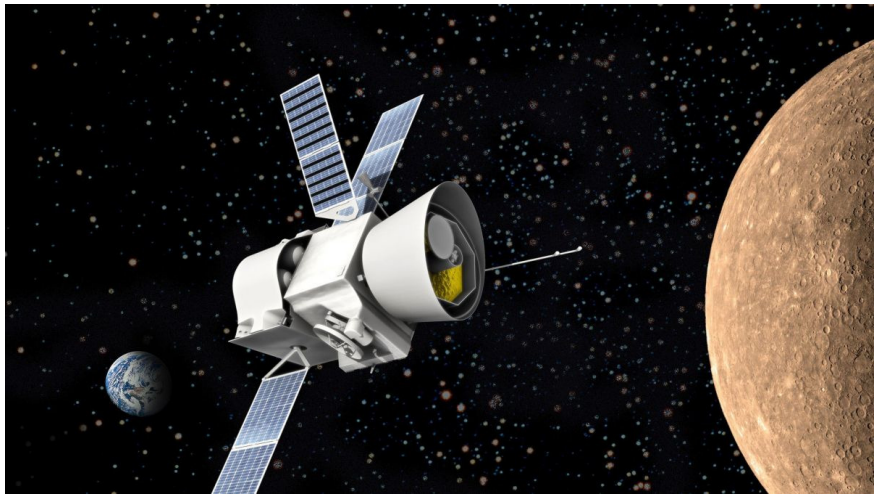


– szabad szemmel látható
– nagy sűrűség (nehezebb elemek)
– magja olvadt lehet (árapály-keltő erők), bár a felszín nem mutat vulkanikus tevékenységet
– hosszú rotációs periódus
– szinte nulla lapultság
– $t_{rot.}$:$t_{ker.}$ 3:2-es rezonancia (2 év alatt 3 nap)
– felszínén síkságok, hasadékok, becsapódási kráterek

Merkúr



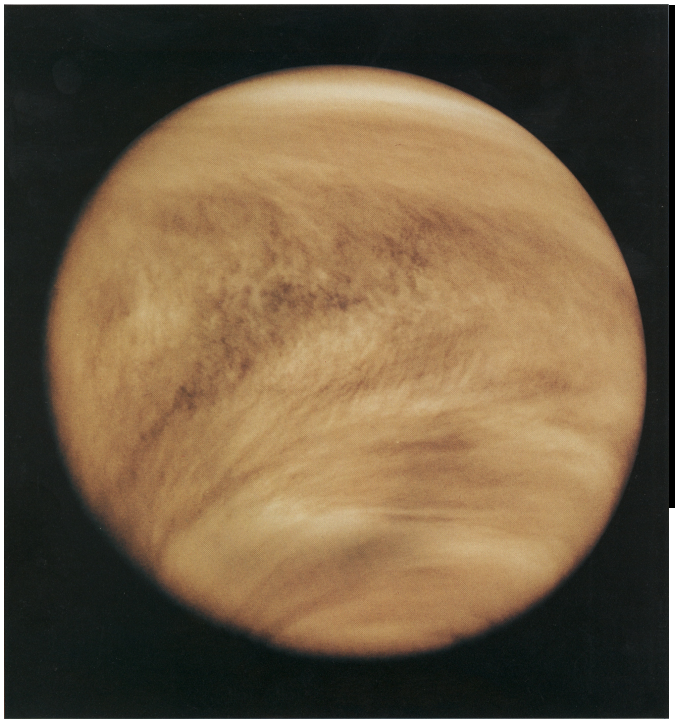
A Messenger nagy felbontású képe

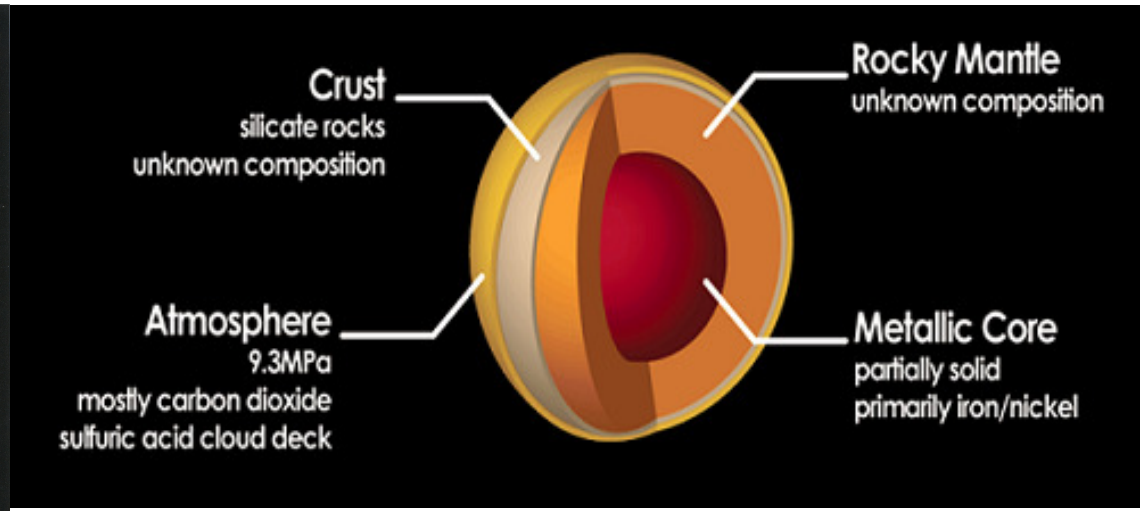


– BepiColombo (ESA/JAXA projekt)
– indítás: 2018. október 20.
– 2026 szeptemberében közelítette meg a Merkúrt, novemberben a két orbiter szétválik
– tudományos megfigyelések 2027 elején indulnak
– felszín összetétele, mágneses tér, légkör vizsgálata

Holdja nincs.

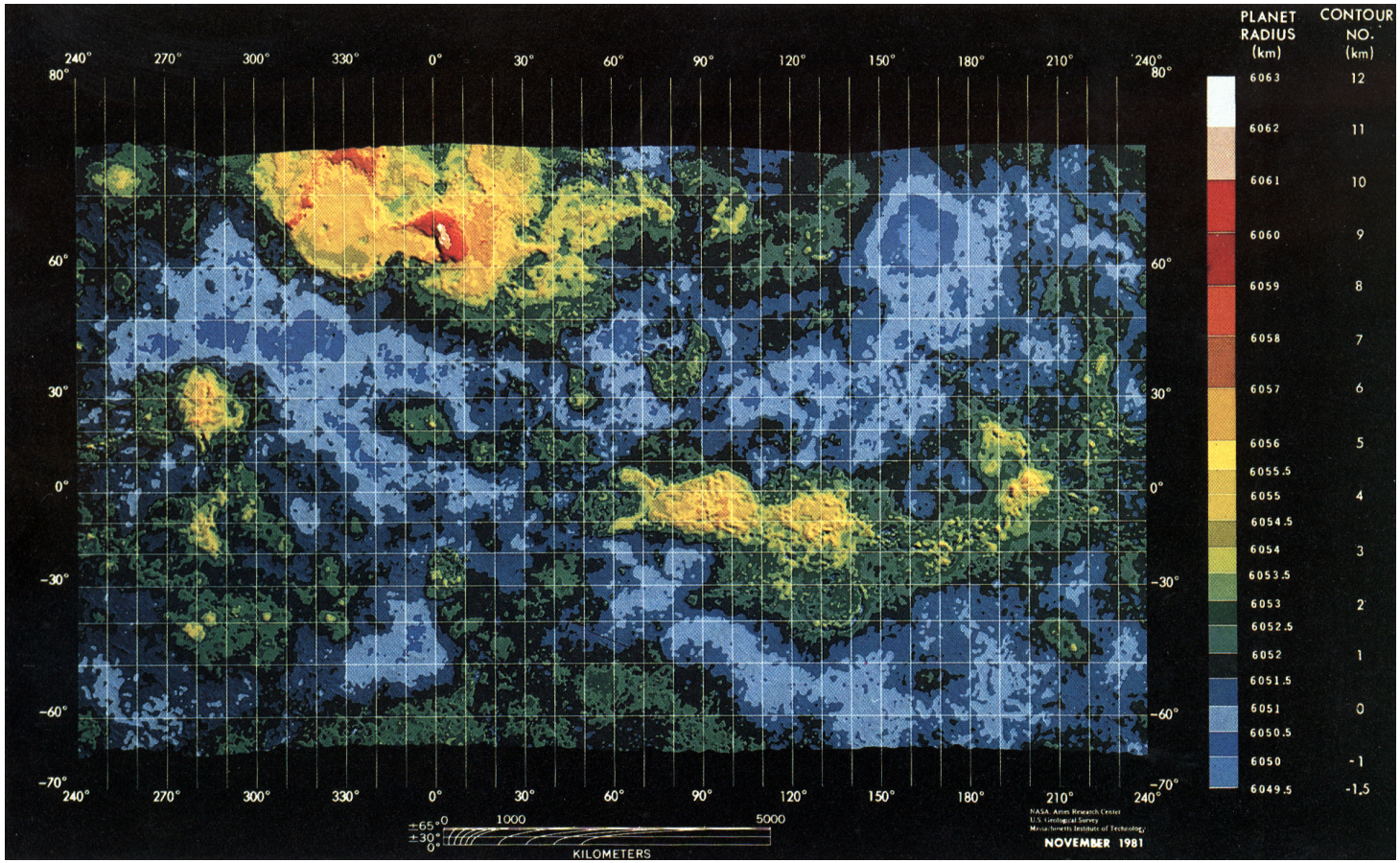
Vénusz





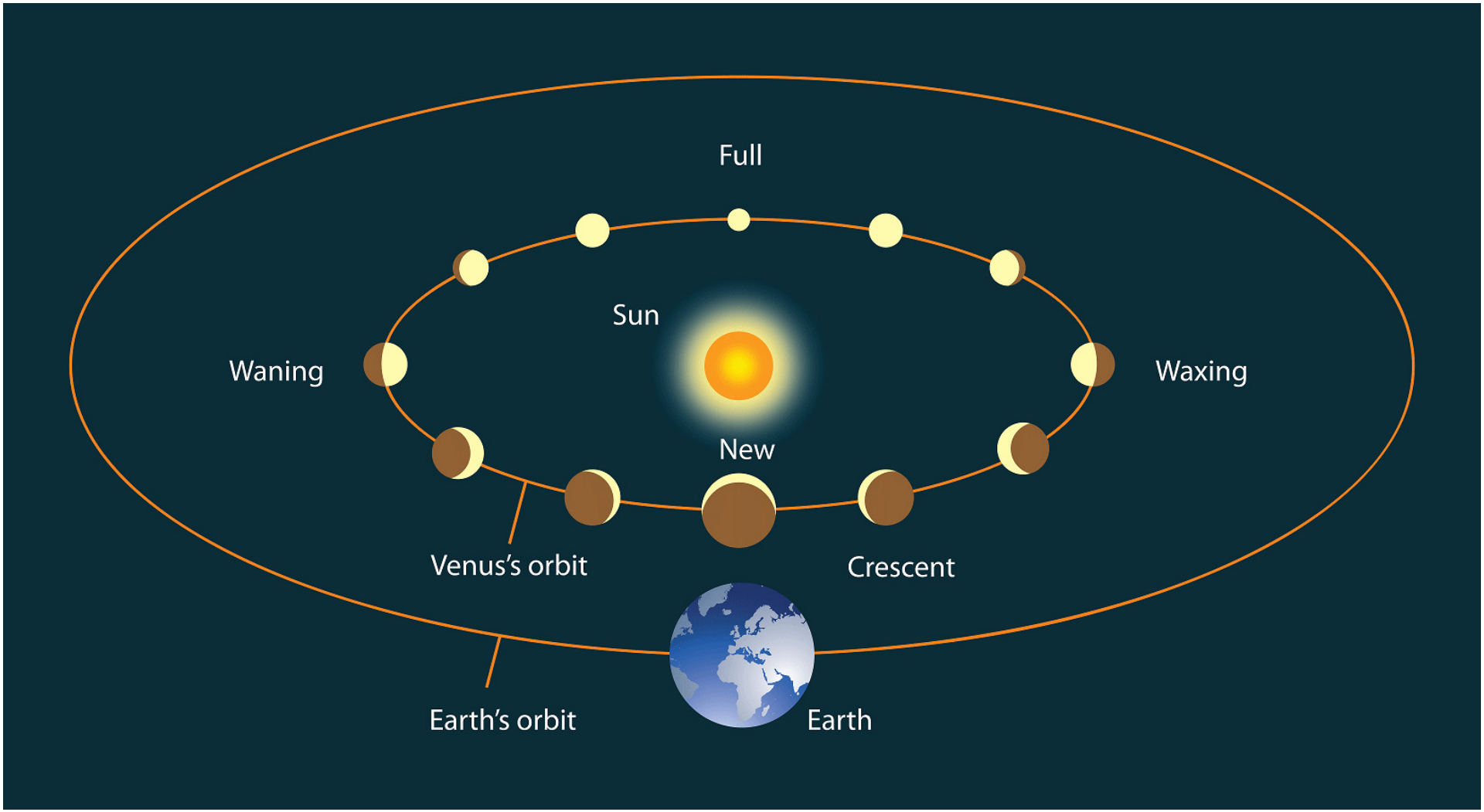
– kalauz"csillag": Hajnalcsillag (Foszforosz–fényhozó), Esti csillag (Heszperosz–napnyugati)
– holdja nincs
– lassú (-243 nap), retrográd rotáció
– keringési ideje: 255 nap $\Rightarrow$ 1 Vénusz-év=1.92 Vénusz-nap
– lapultság nélkül
– üvegházhatás: $T_{felsz.}$ =460°C, T monoton hűl 50 km-ig, majd állandó marad 200 km-ig

Vénusz



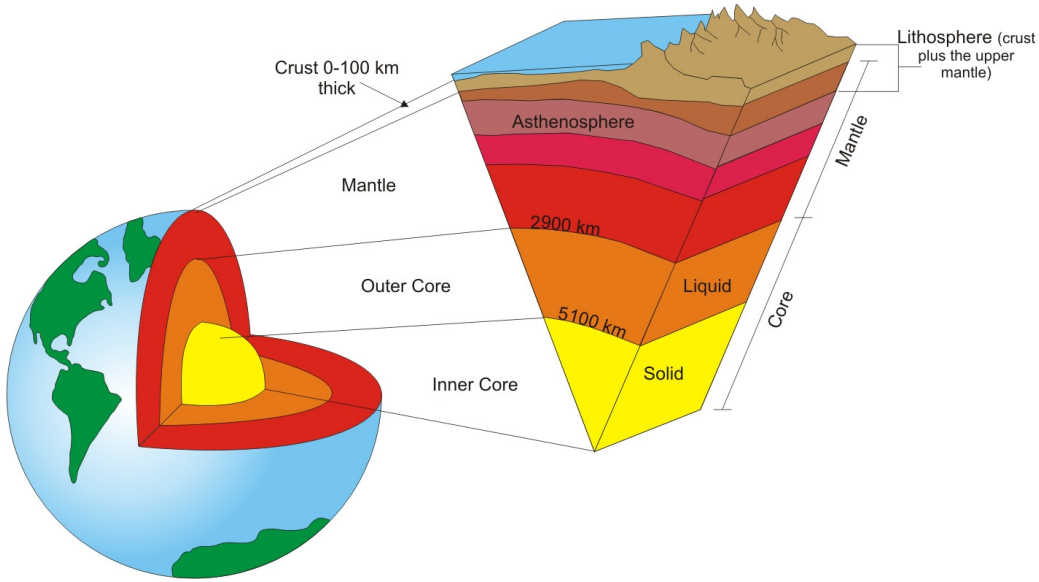
– felszíne becsapódások és vulkanizmus jeleit (lávafolyások nélkül) mutatja
– kövekkel borított táj, illetve két kontinens (mitológiai nőalakokról: Ishtar Terra/É, Aphrodite Terra/D)

A Merkúr és a Vénusz fázisai



Föld

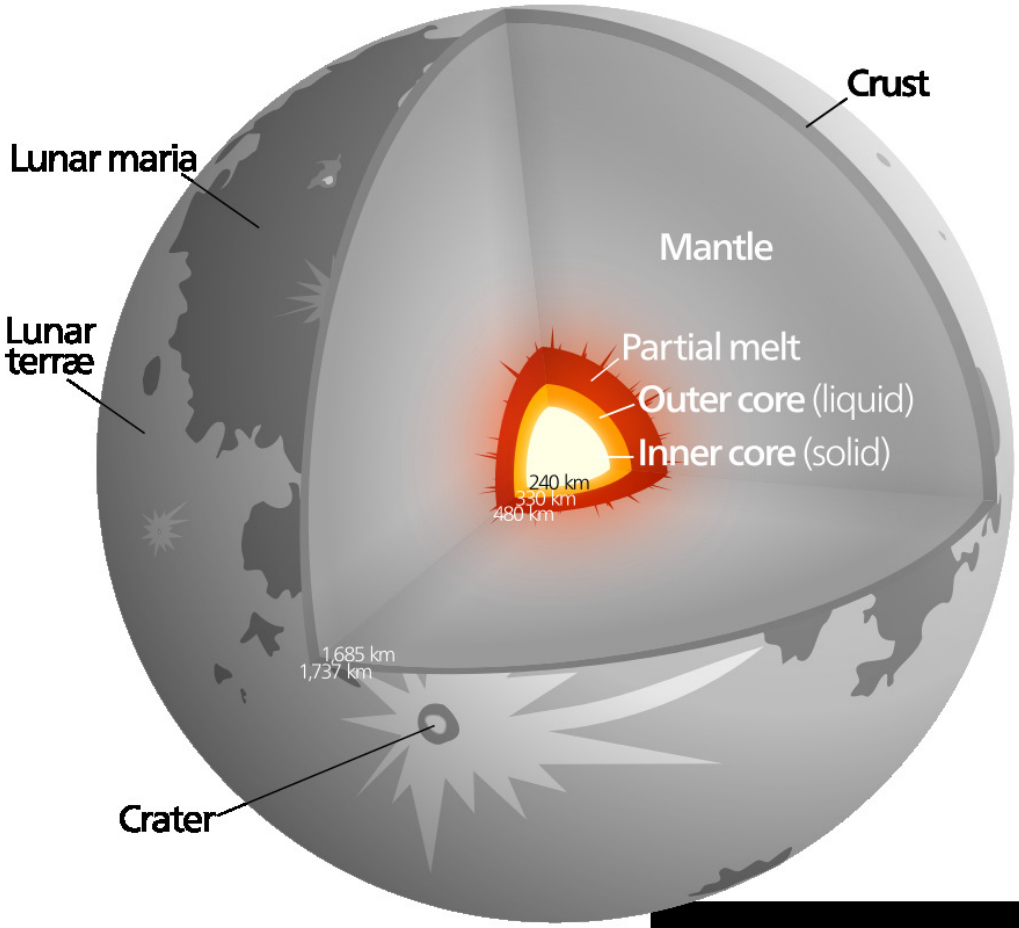




– legnagyobb belső hőmérsékletű (radioaktív bomlások, árapály folyamatok) kőzetbolygó
– mélységi rétegződés: folyékony–szilárd fázisok váltakozása
– külső szilárd réteg: földkéreg (néhány km vastag)
– köpeny: szilárd (litoszféra), képlékeny (asztenoszféra)
– belső rétegekben konvektív áramlások $\Rightarrow$ lemeztektonika (litoszféra nagy területei elmozdulnak): óceáni hátságok, szubdukciós zónák (vulkanizmus forrásai lehetnek)
– légkör: élet & időjárási folyamatok az alsó 12 km-es rétegben (troposzféra), felfelé csökkenő hőmérséklet
– hőmérsékleti rétegződés (megforduló hőm. gradiensekkel a pauzák után)
– üvegházhatás: élet kialakulása

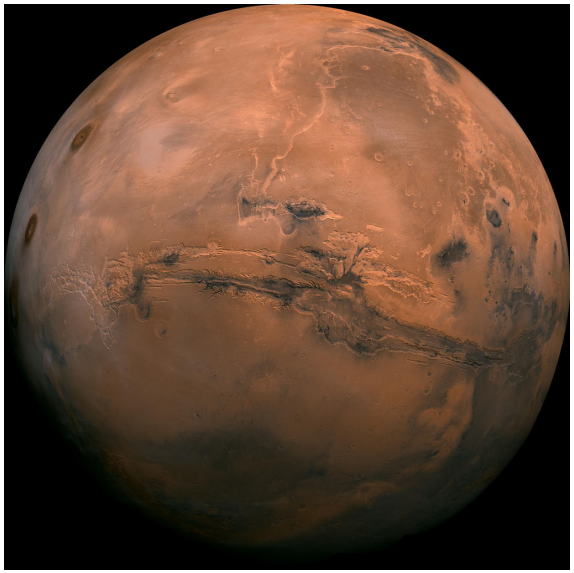
A Föld holdja

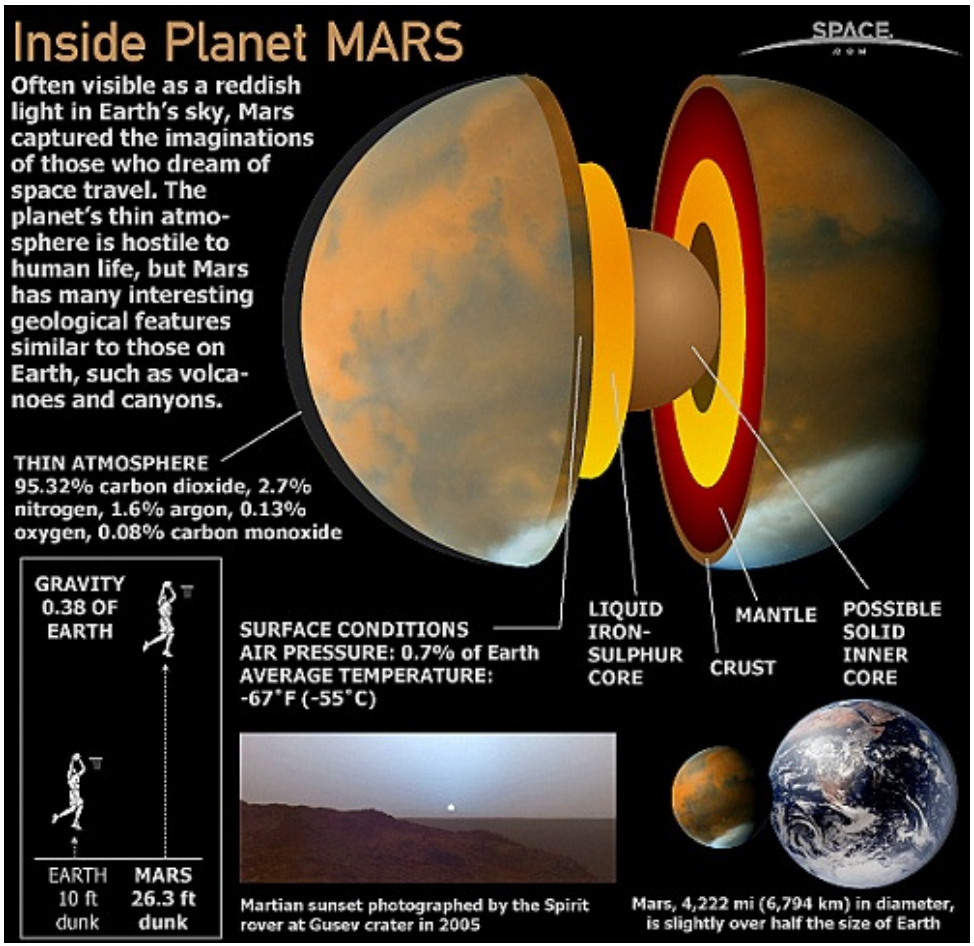




– keletkezése: Theia nevű égitest ütközése a Földdel ⇒ nagy mennyiségű anyag kiszakadása
– alátámasztják: a Hold kevésbé sűrű, mint a Föld; felszíni összetétele azonos a Földével

Mars





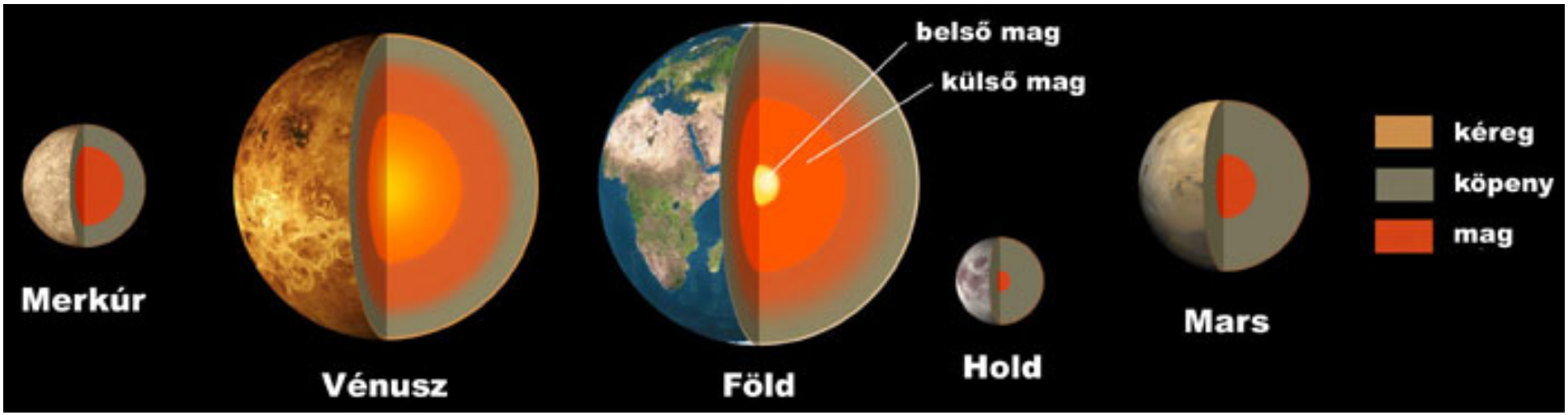
– szín: FeO por
– legkisebb sűrűségű Föld-típusú (magja Fe, Ni és könnyebb elemeket tartalmaz)
– belső fűtés, izotópok kimerülése, kicsi holdak
$\Rightarrow$ kérge jóval vastagabb a földinél
– ritka légkör (alacsony légnyomás+magnetoszféra hiánya)
– becsapódási kráterek (legnagyobb)
– tengelydőlés hasonló a földihez
– fehér sapka: szárazjég (fagyott CO_2)

Mars

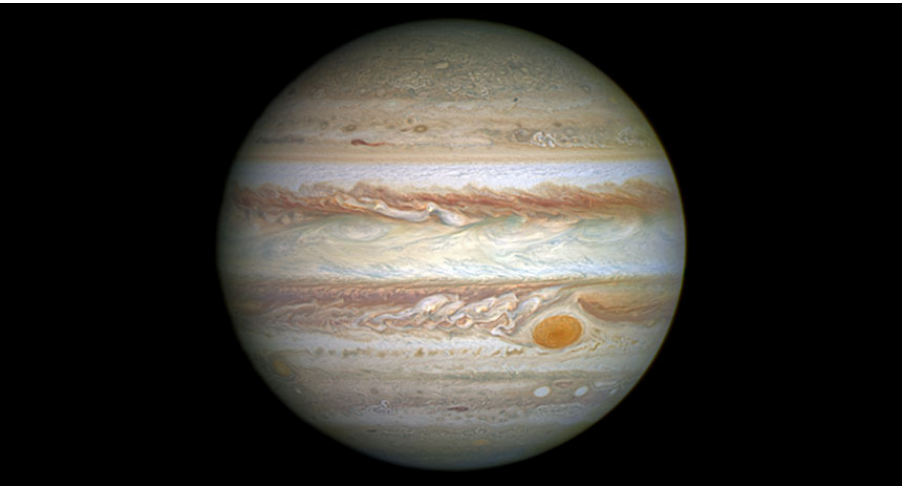


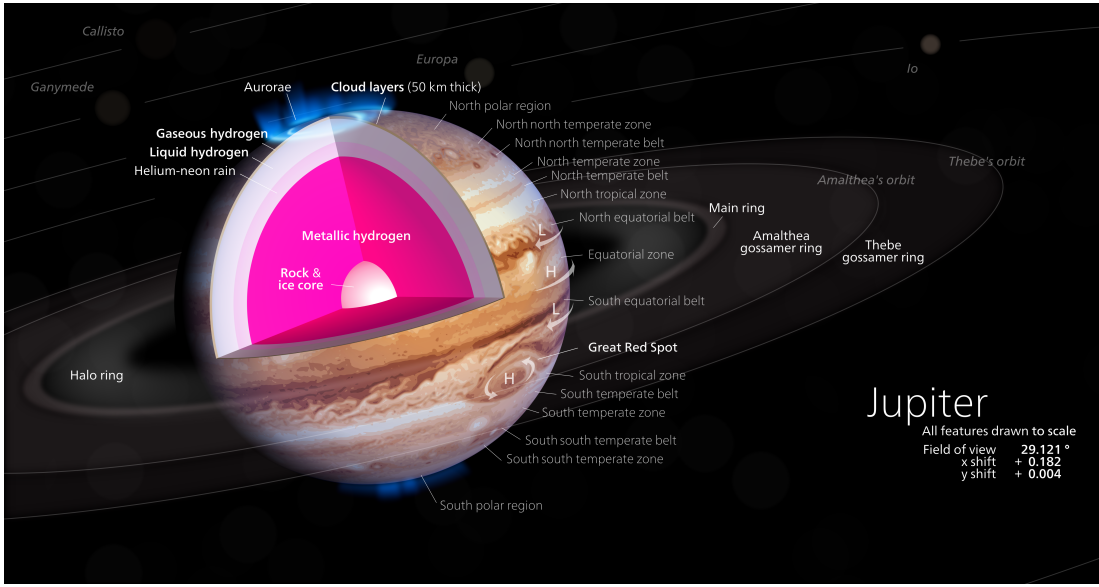
– 2 holdja van (Phobos és Deimos)
– a holdak maradék anyagból képződtek, vagy a Mars befogta őket
– Swift & Moliére: tiszteletükre 2 krátert neveztek el
– napfogyatkozást nem okoznak a holdak (kicsik)
– gravitációsan kötöttek, de ellentétes irányban mozognak

Belső bolygók összehasonlítása



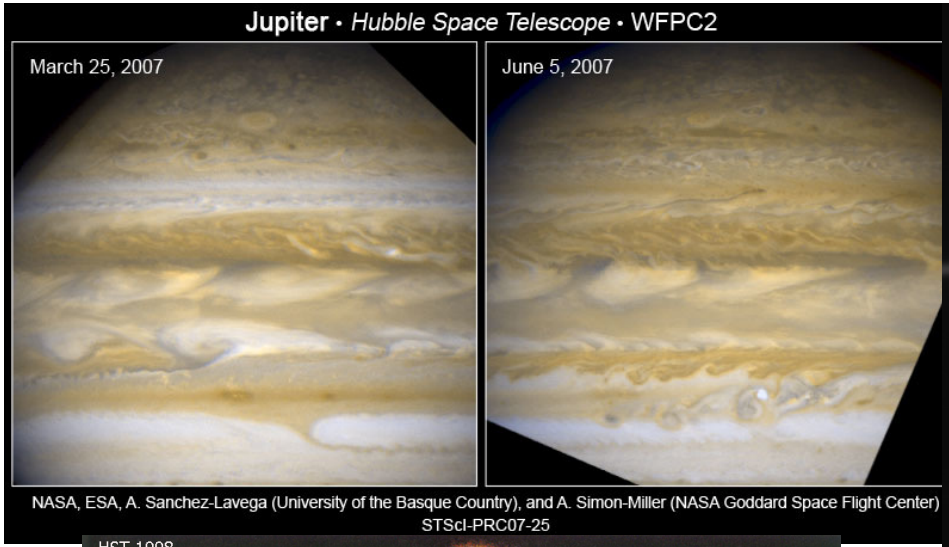
Jupiter

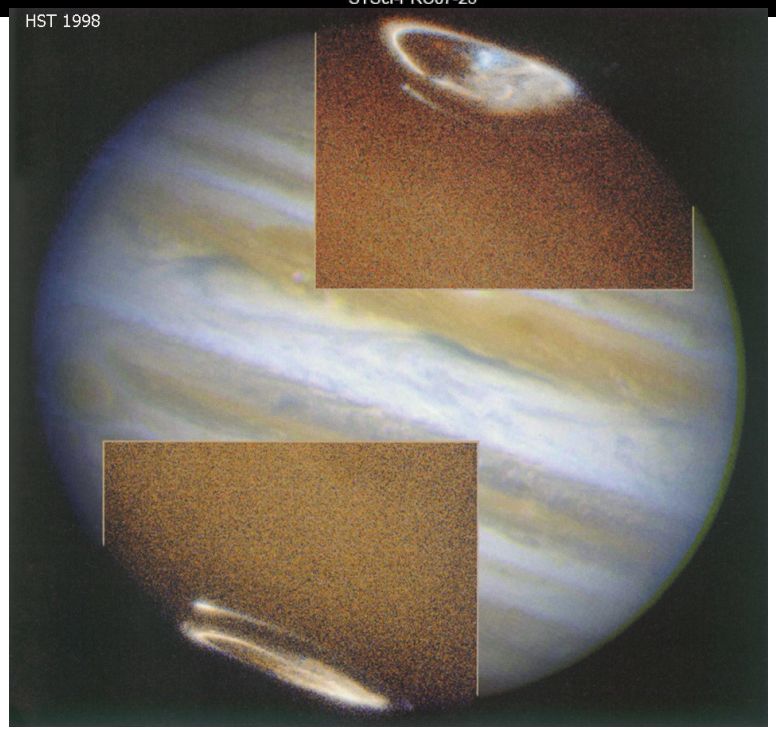


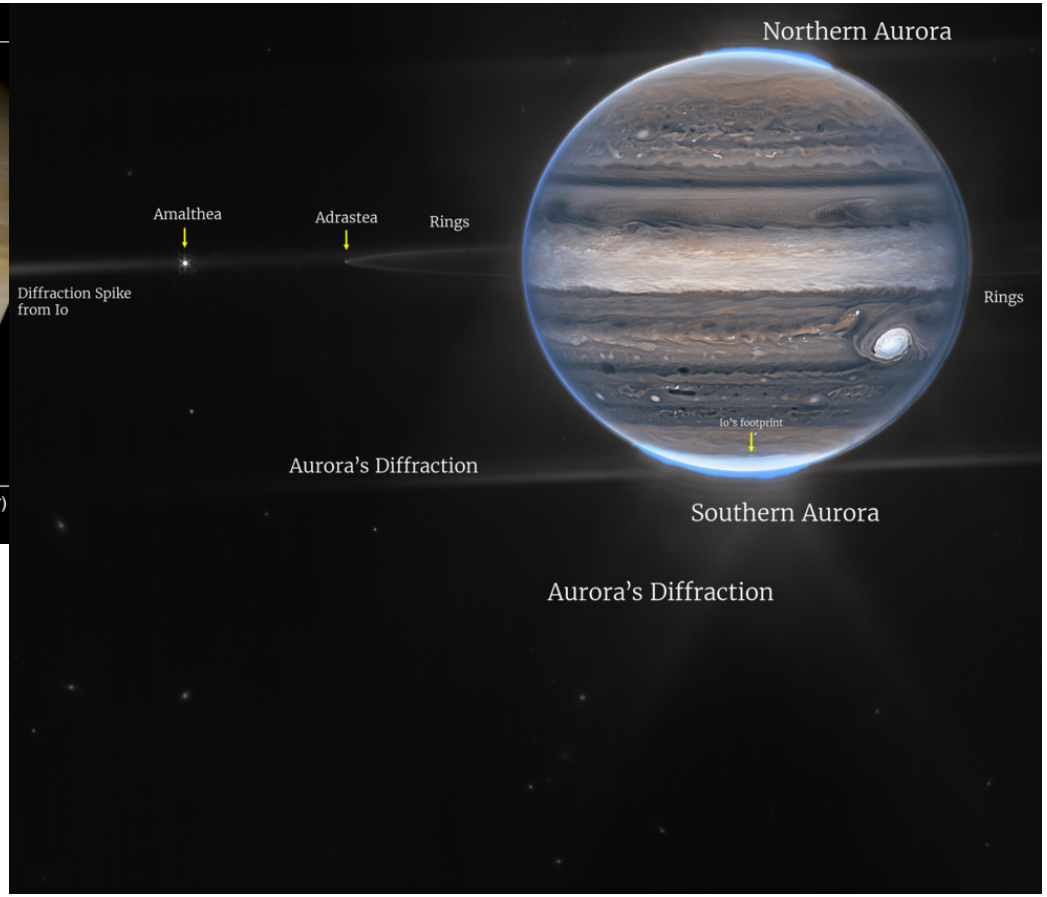


- m_J=0.001$m_\odot$, de 2.5$m_{ossz.b.}$=m_J
- rendkívül rövid $t_{rot.}$ $\Rightarrow$ intenzív légköri dinamika (örvények, nagy szélsebességek)
- saját energiatermelés Kelvin-Helmholtz mechanizmus révén
- gáz halmazállapot $\Rightarrow$ összehúzódási folyamat jelenleg is tart
- légköre primordiális (főként H_2 és He), de ammónia, metán, vízmolekulák is
- nagy Vörös Folt, t_{VF}>300 év, óramut. járásával ellentétes örvény, nagynyomású anticiklon

Jupiter a Hubble és a JWST felvételein



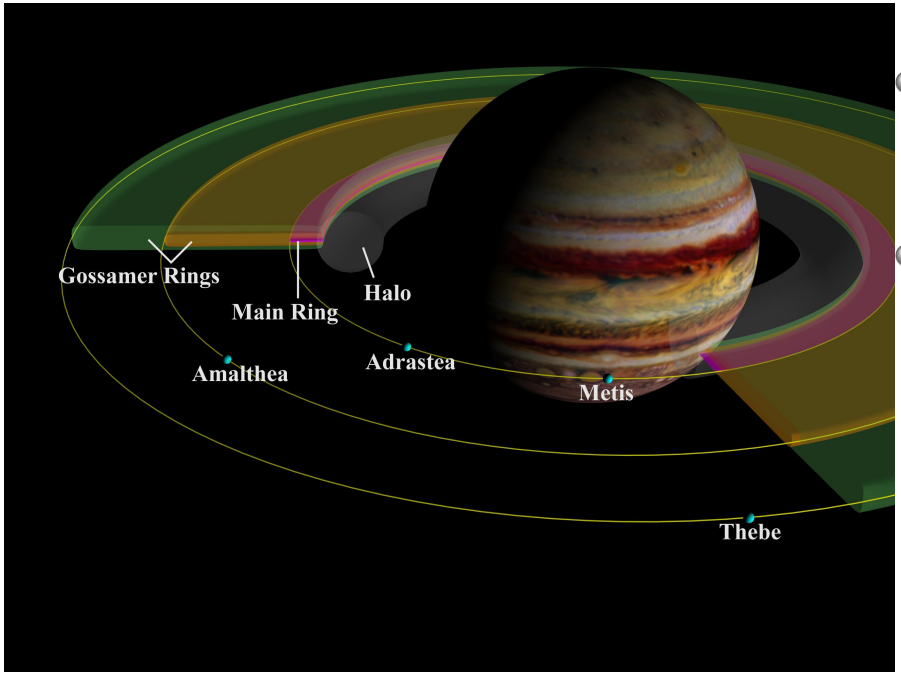




JWST (2022.07.27., NASA, ESA, CSA, Jupiter ERS Team)

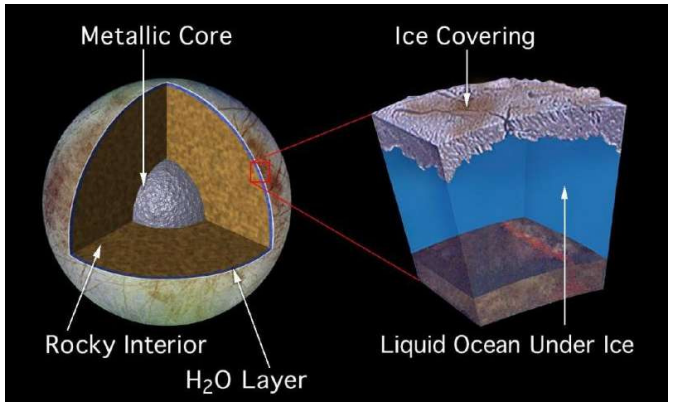
auróra jelenség
(magnetoszféra–napszél)

Jupiter gyűrűrendszere és holdjai



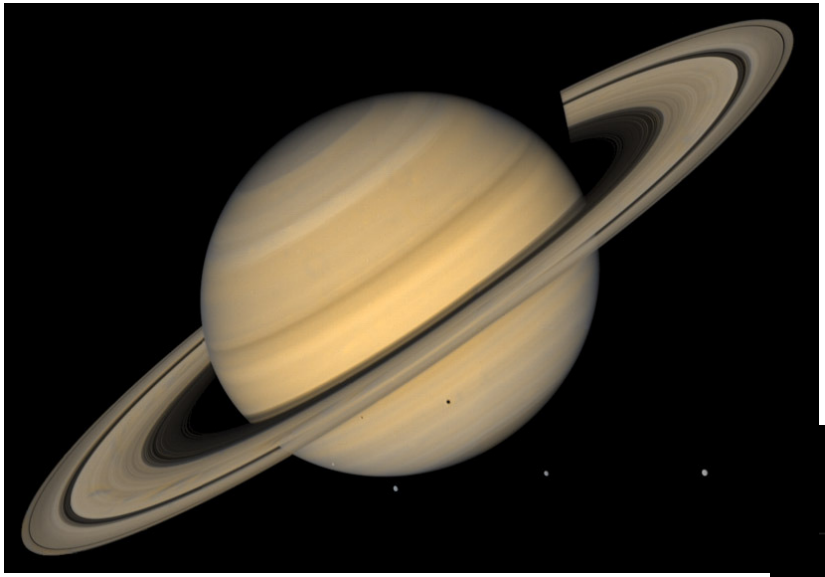
- vékony gyűrűk
- szilárd törmelékből álló gyűrűk
- 3 rész: halo (legbelső, apró részecskékből), középső gyűrű, kettős külső gyűrű (Gossamer Ring)
- magnetoszférája (folyékony fémszerű köpeny) a legkiterjedtebb

- 67 ismert hold (már Galilei is ismerte: Io, Europa, Ganymedes, Callisto)
- az Io olvadt belsővel bír a közeli nagy tömeg jelentős árapálykeltő hatására, legjelentősebb vulkanikus tevékenység (400 aktív vulkán)
- az Europa vízjég felülete alatt folyékony vizet sejtenek



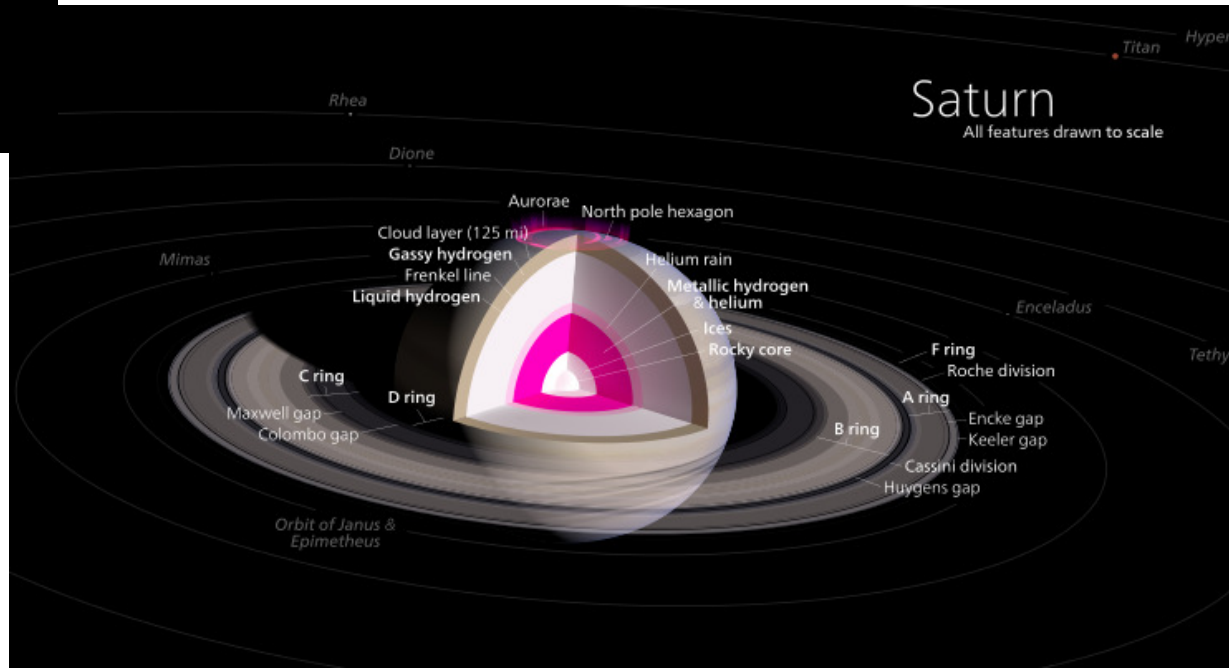


Szaturnusz

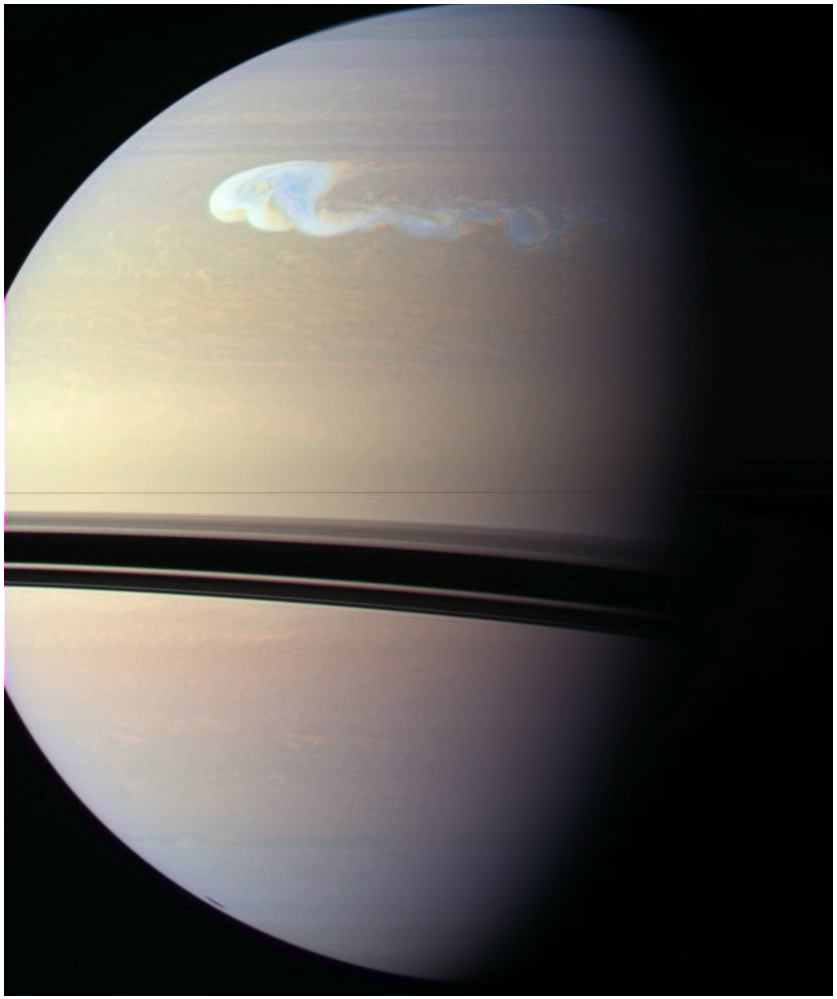


– legkisebb sűrűségű
– legtöbb (kb. 150) hold birtokosa
– összetett gyűrűrendszer
– gyors forgás ⇒ lapultság
– légkörében szerves molekulákat is találtak, a H mellett
– sziklás mag, folyékony H réteg, molekuláris H réteg

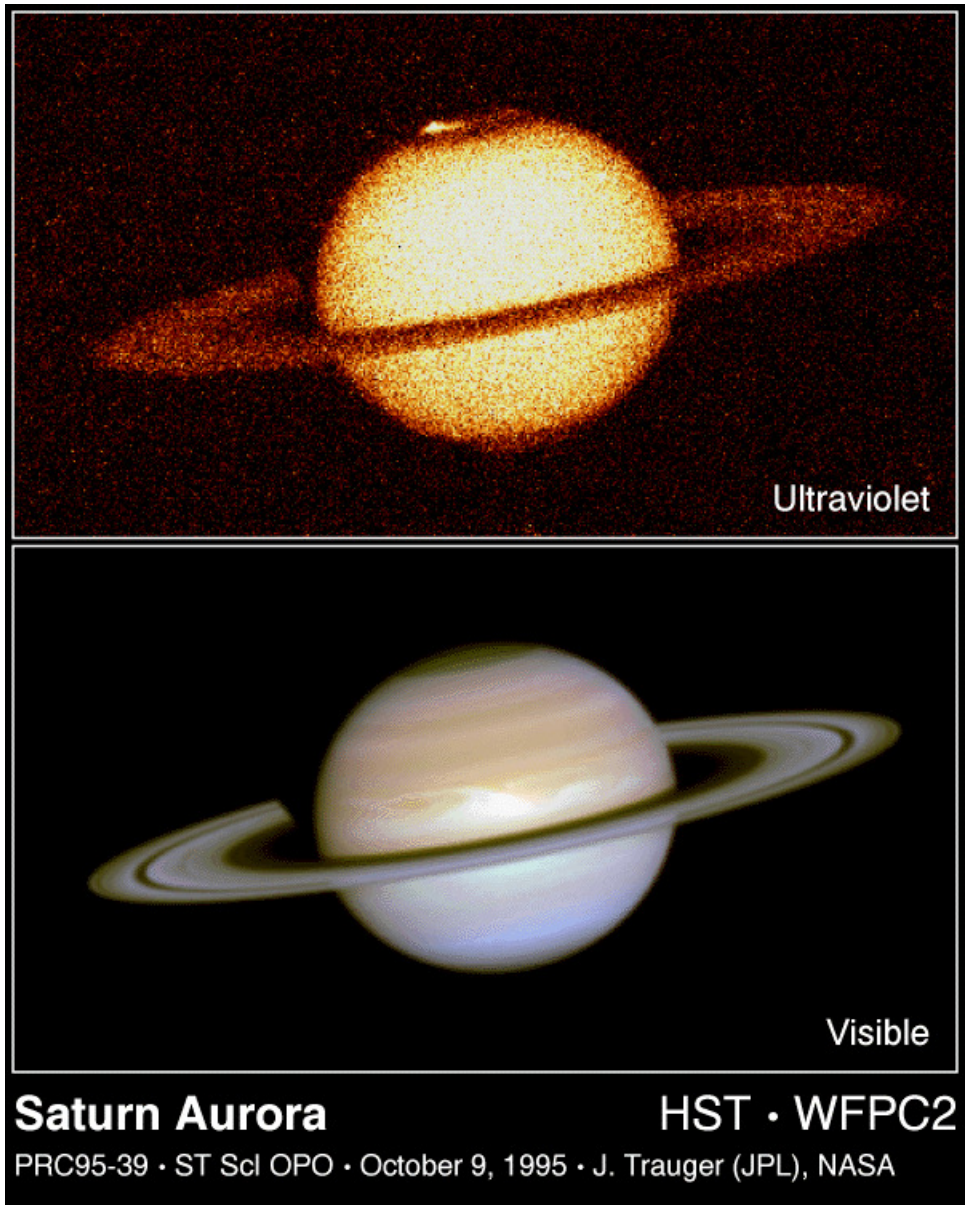
– holdjai közül legjelentősebb a Titán (jelentős atmoszférával)
– gyűrűk számára nincsenek pontos adatok
– de 12 gyűrűrendszer és 2 nagyobb rés azonosítható
– főként jégből álló gyűrűk
– eredetük: üstökös, vagy Roche-határon belülre került hold maradványai



Szaturnusz a Cassini megfigyelése alapján

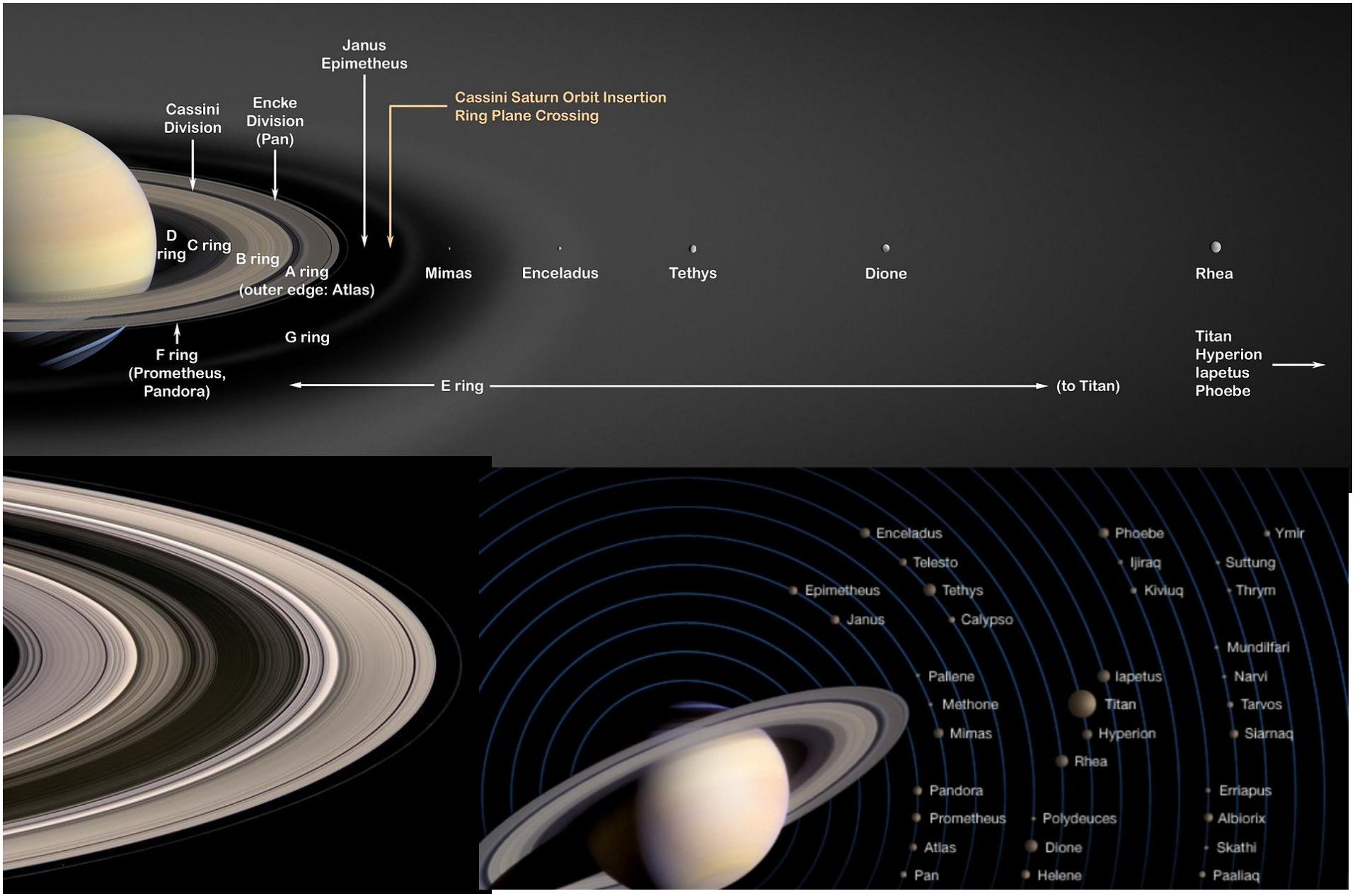


felszínén nagy sebességű szelek, fehér folt időszakos megjelenése

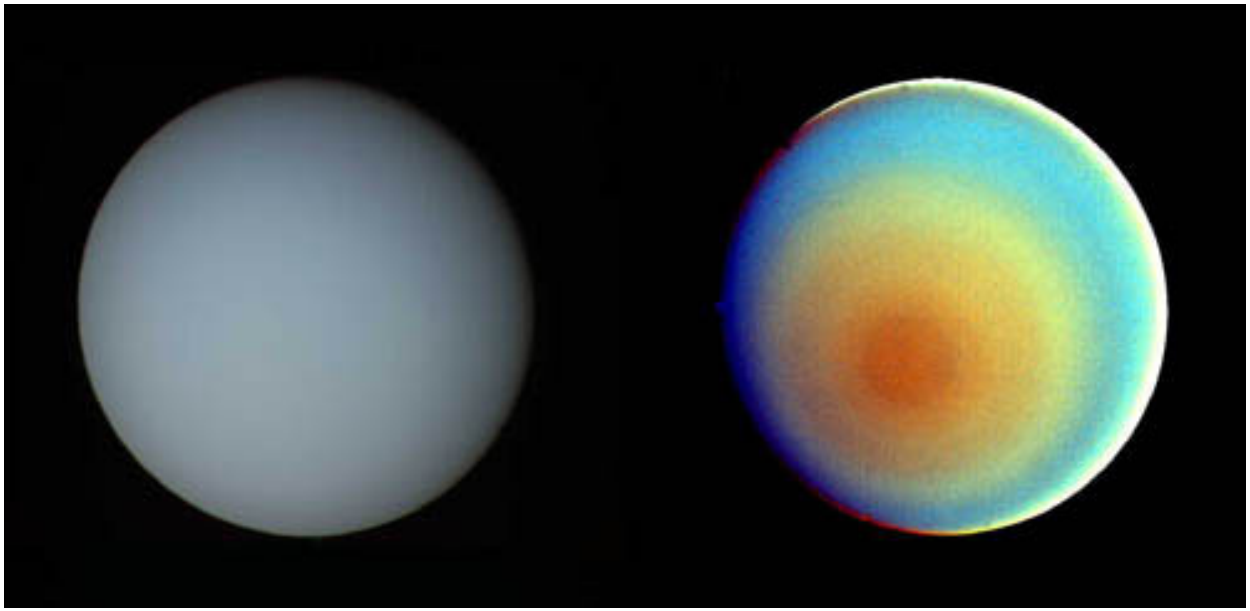


légkörében auróra is megfigyelhető

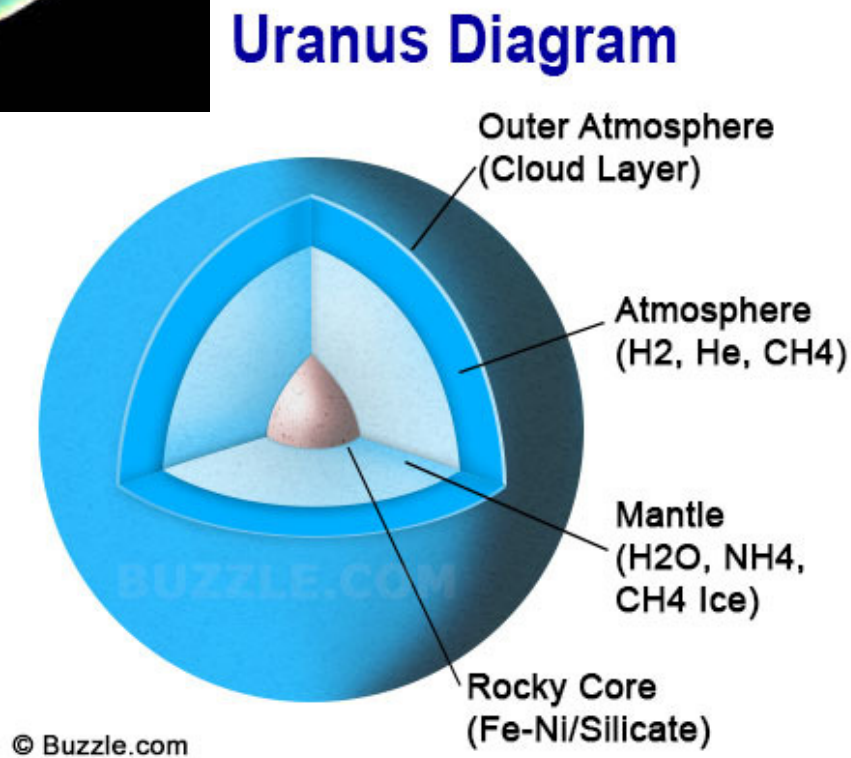
Szaturnusz gyűrűrendszere és holdjai



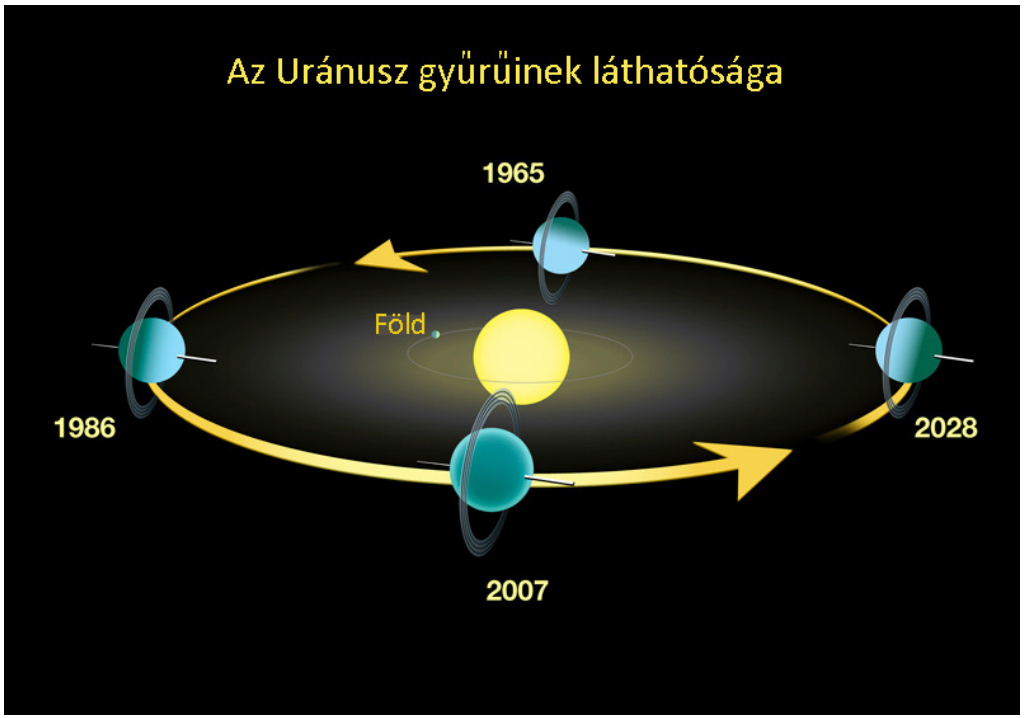
Uránusz



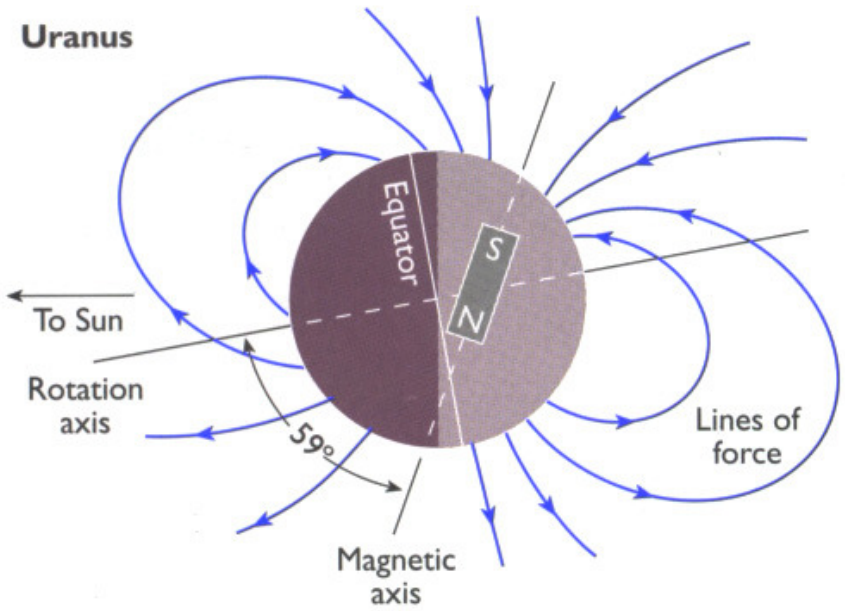
– 1871-ben William Herschel fedezte fel
– légkörében felhők és sötét foltok jelennek meg időszakosan
– szilárd mag, körülötte folyékony víz, ammónia és metán köpeny
– légköre H-ből és He-ból áll (+ kevés metán és ammónia –> kékes szín)



Uránusz

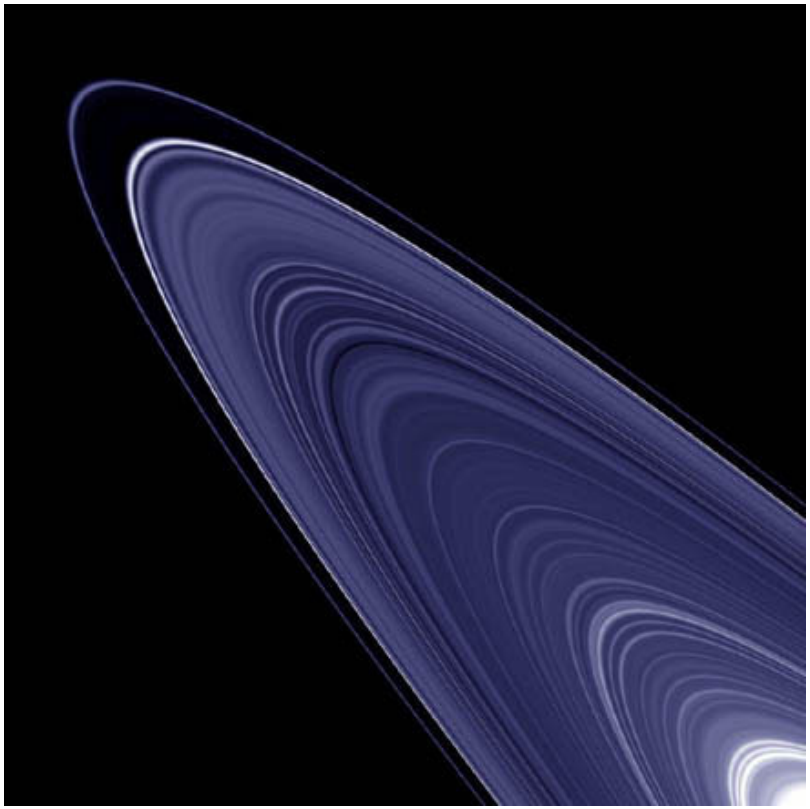


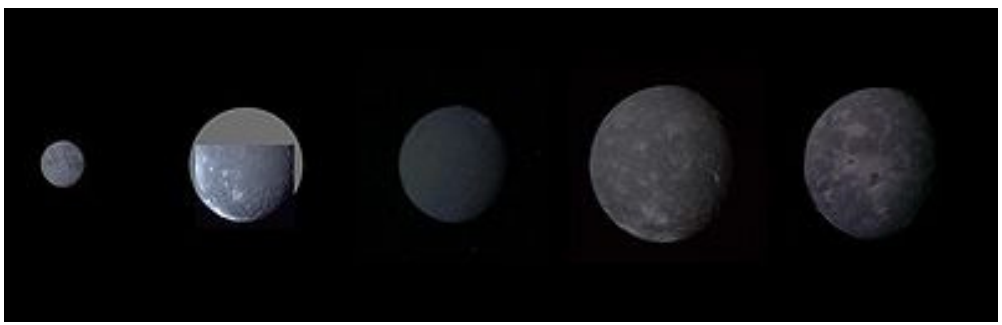
– forgástengely dőlésszöge 97.8° $\Rightarrow$ retrográd forgás, az oldalán forog
– nappal/éjszaka a $t_{ker.}$ felében
– forgástengelye a keringési síkja közelében van: a Naprendszer keletkezése környékén kozmikus katasztrófa

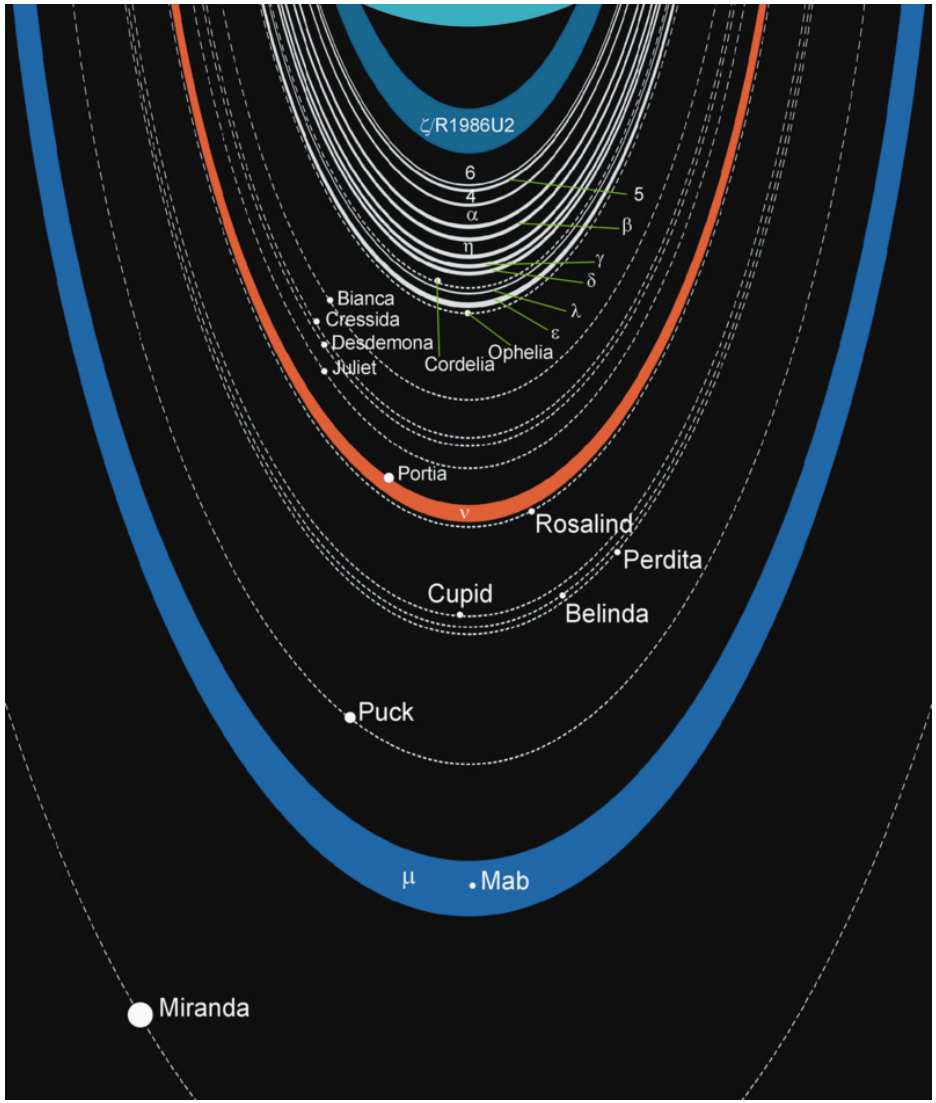


– mágneses tengelye nem megy át a bolygó középpontján
– eredete ismeretlen

Uránusz gyűrűi és holdjai

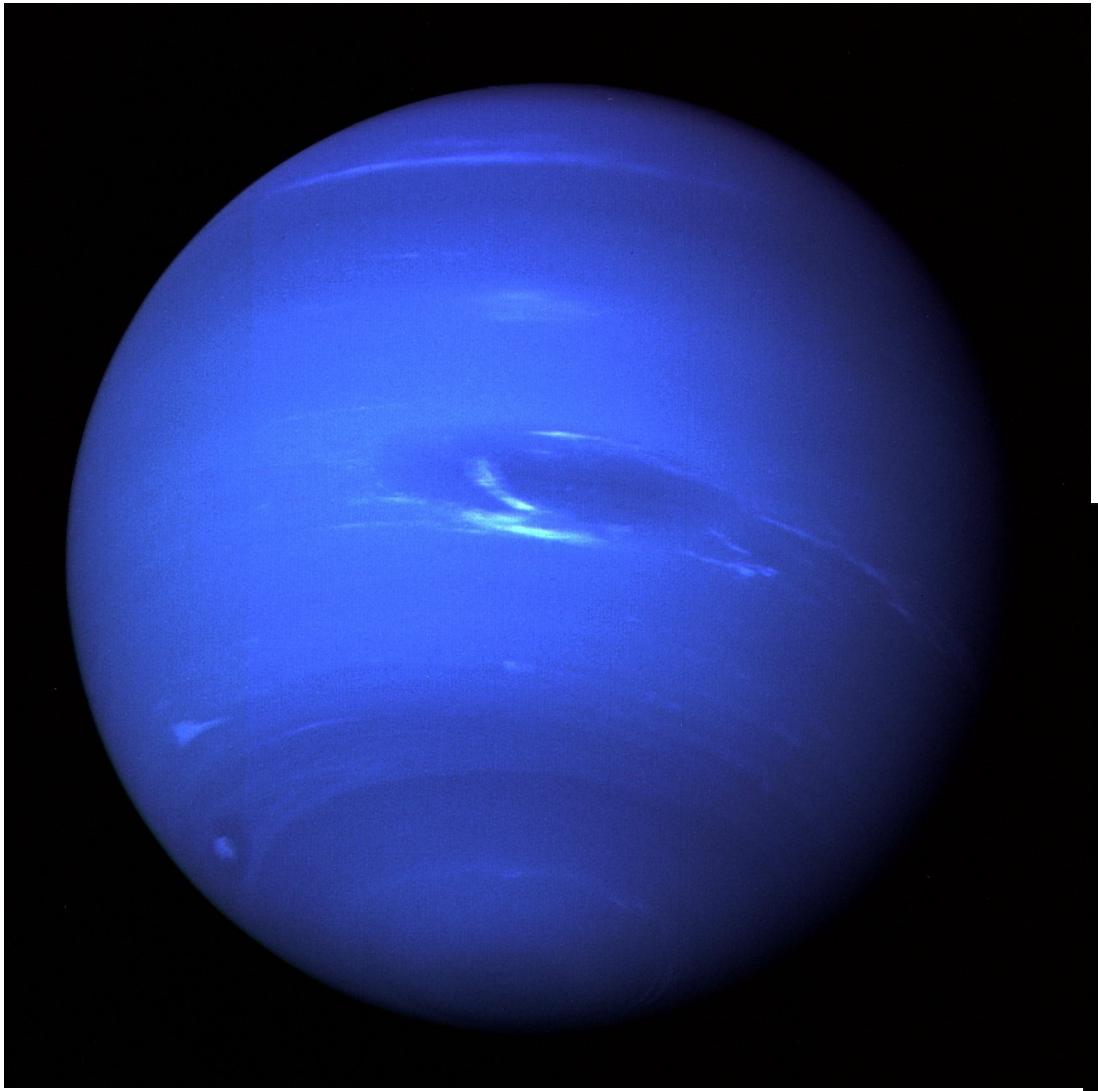




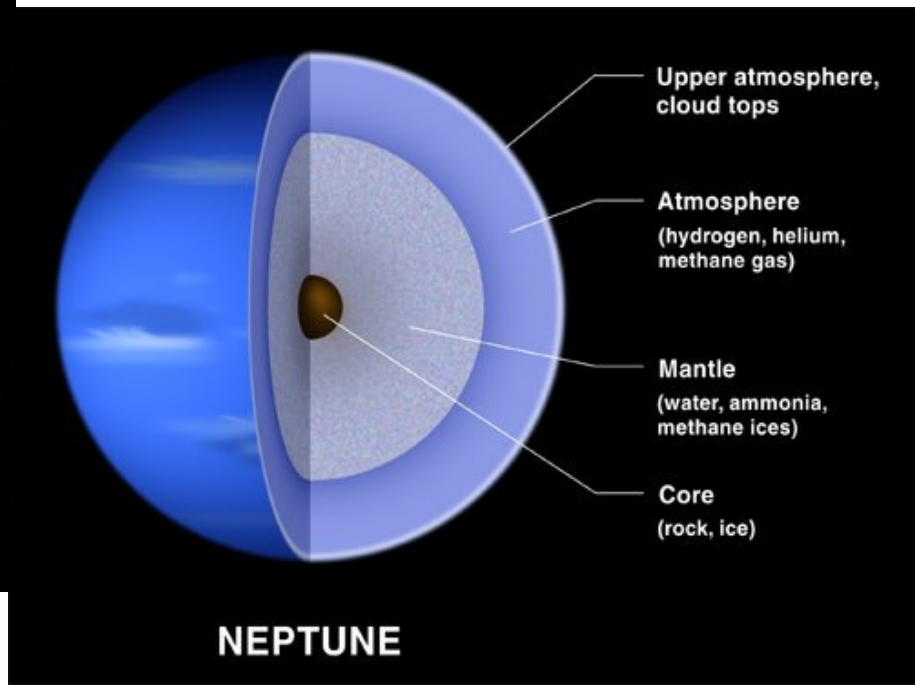


– gyűrűk, holdak síkja $\Rightarrow$ kozmikus katasztrófa

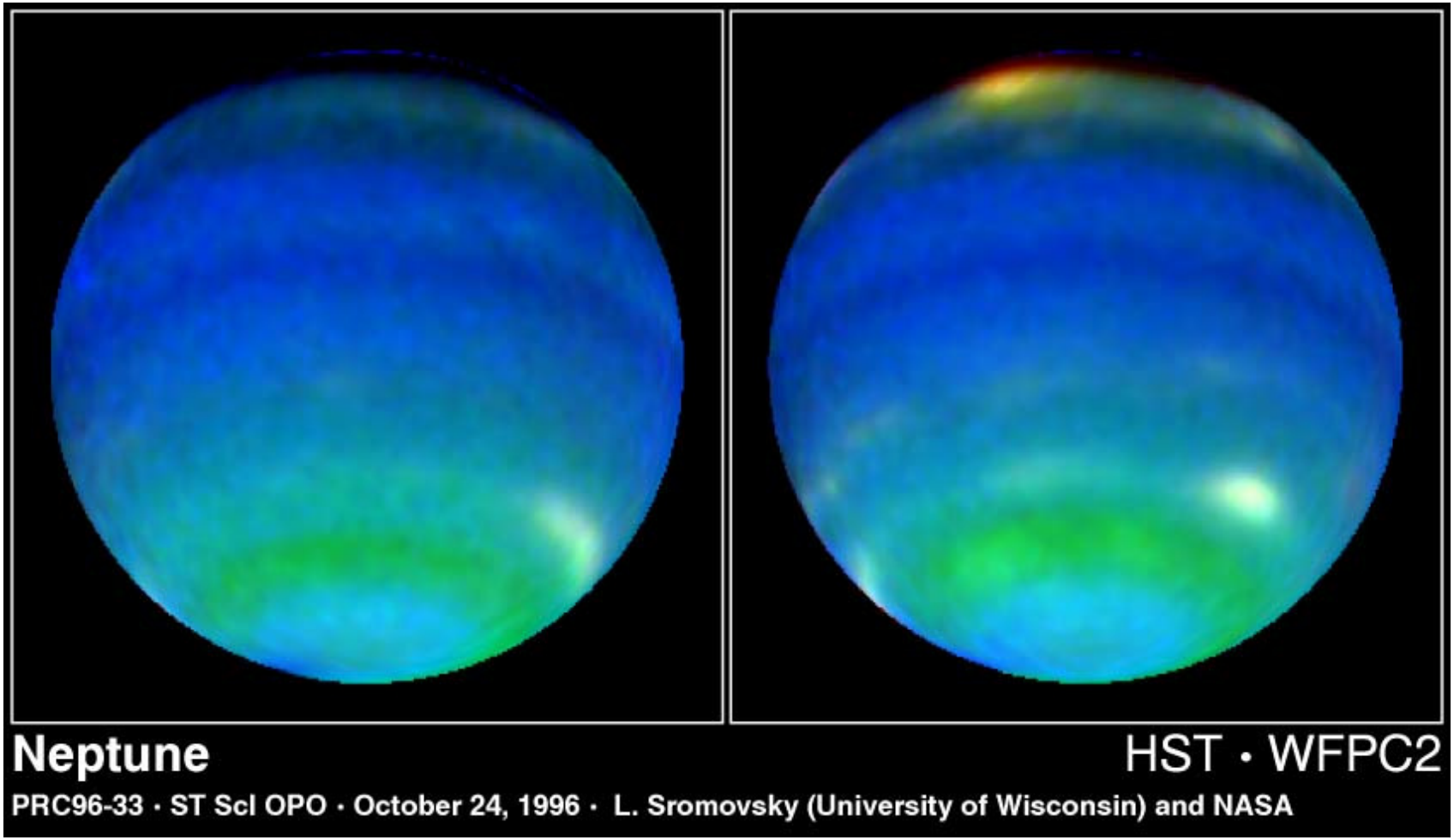
Neptunusz



– szabad szemmel nem látható
– legkisebb óriásbolygó
– legnagyobb ρ az óriások között
– kékes szín: légköre ammóniát is tartalmaz
– Voyager: légköri alakzatok, felhők, sötét foltok
– 3 halvány és instabil gyűrű

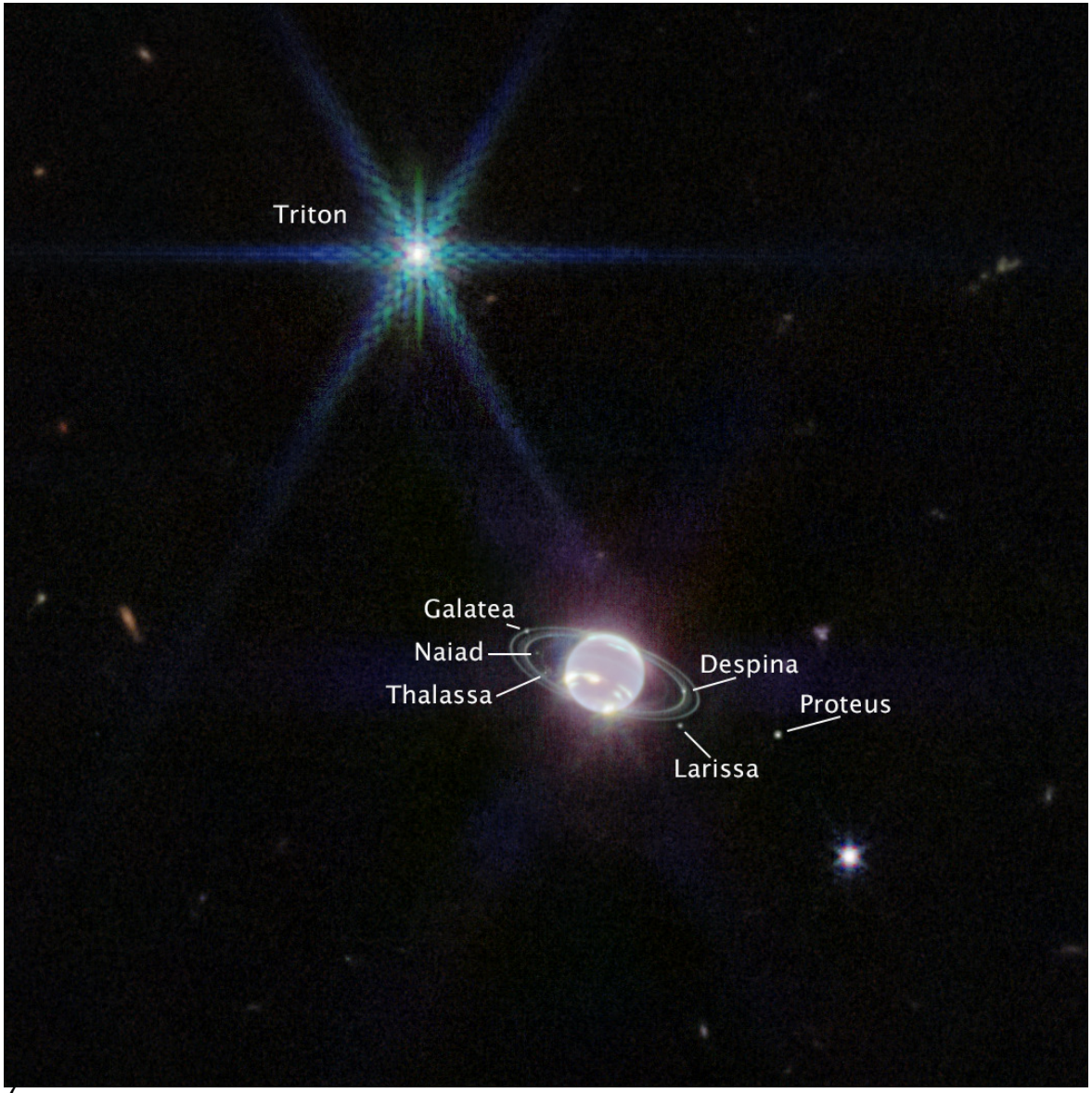


Neptunusz a Hubble ST felvételén



– nagy sebességű szelek
– mágneses tér, a mágneses tengelye nem megy át a középpontján

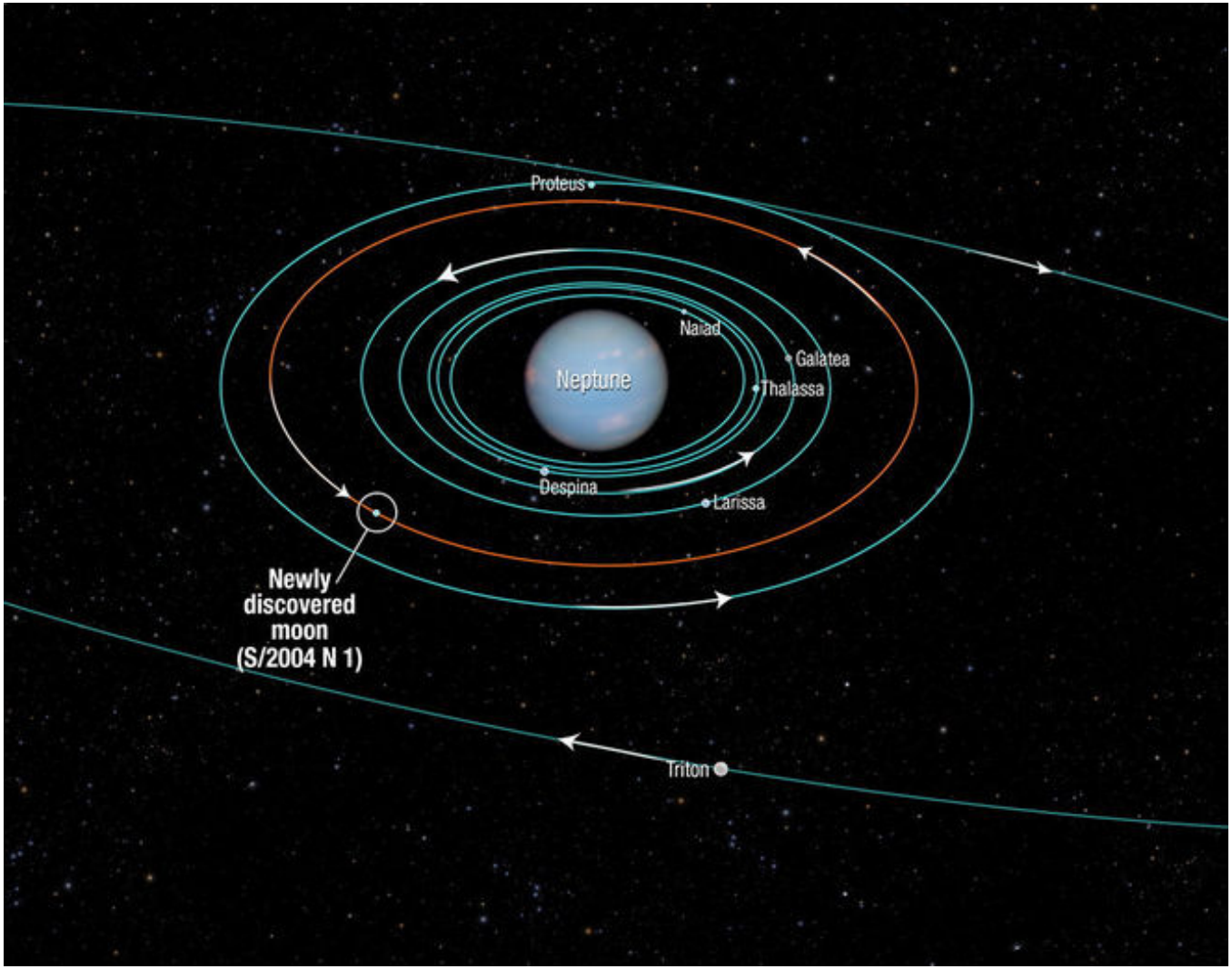
Neptunusz a JWST felvételén



(NASA, ESA, CSA, STScI)

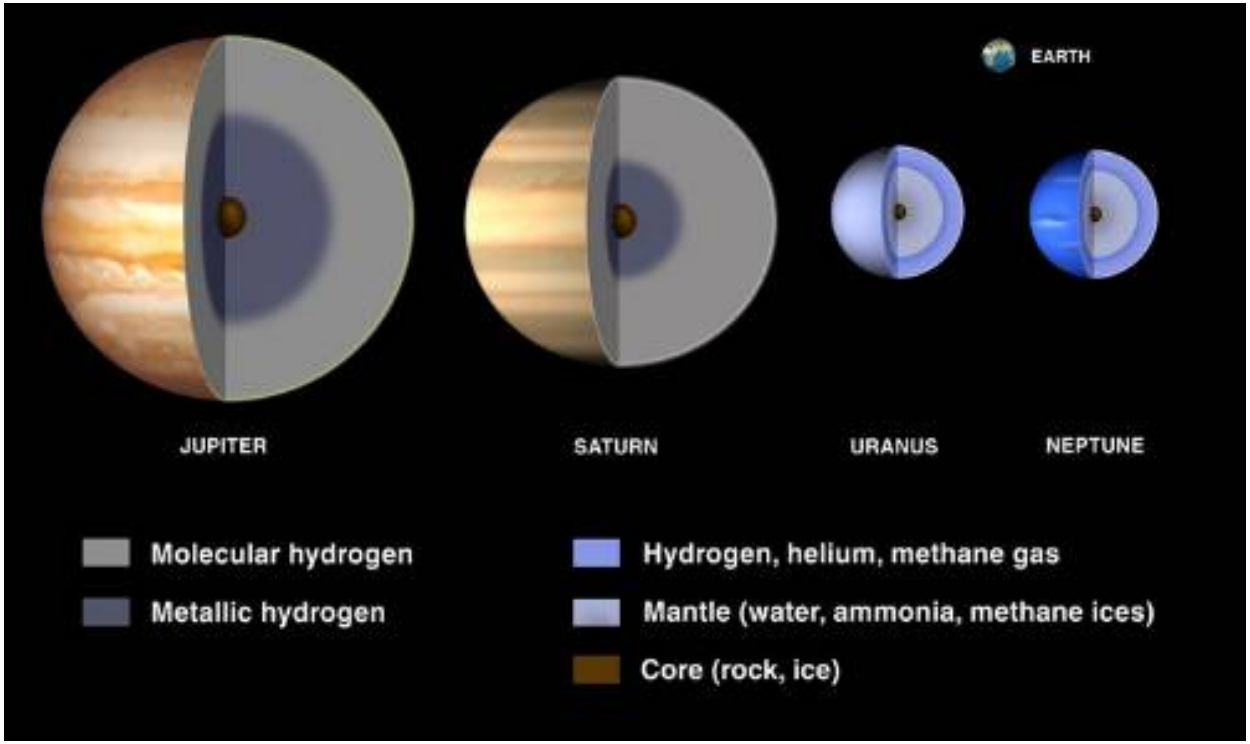
– atmoszférikus cirkuláció
– 14 holdat figyelt meg
– halvány gyűrűk
– nagy szélességeken felhők

Neptunusz gyűrűi és holdjai



– nagyobb holdjai: Triton, Nereid és Proteus
– Kuiper-övből befogva?

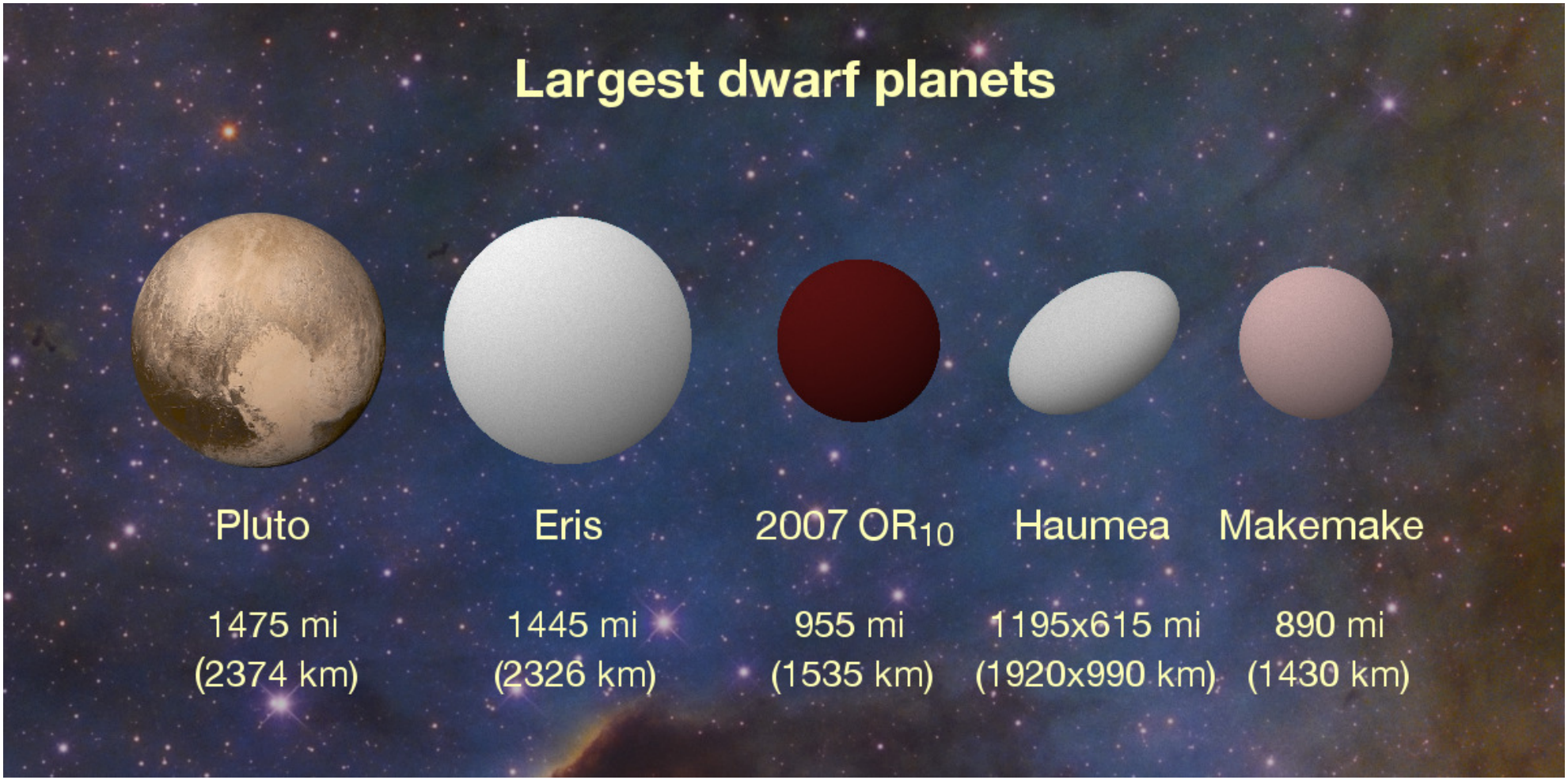
Összehasonlítás



Jupiter&Szaturnusz:
– átlátszó, 90% H_2 légkör
– r=R: átlátszatlan légkör (ködök, felhők), H_2 és *He*
– 2 Mbar 0.78R/0.5R a *H* fémes folyadék
– mag: 0.2R/0.25R-ig kőzet+jég, de önmagában is rétegzett

Uránusz&Neptunusz:
– átlátszó H_2 és *He* légkör
– felhőzóna alatti réteg az előzővel azonos
– vastag köpeny folyékony jegekből
– kőzetmag

A legnagyobb kisbolygók



Plútó

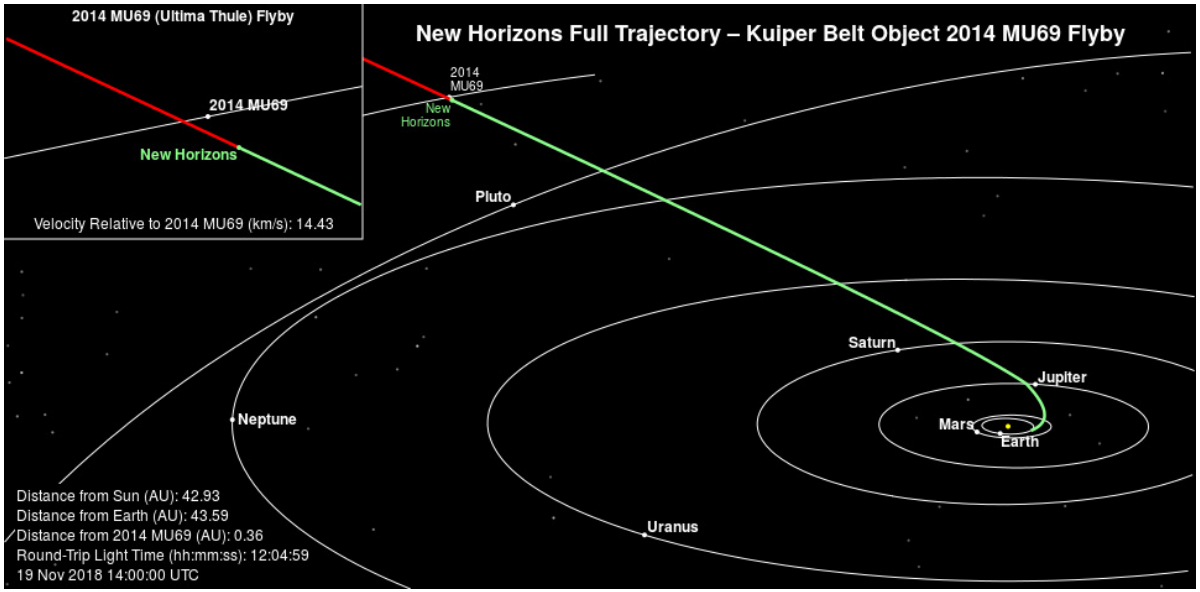


– 1930-ban fedezte fel Clyde Tombaugh
– Eris után a második legnagyobb törpebolygó
– magas T-n összetömörült anyagokból áll
– légkörét nitrogén, szén-monoxid és metán alkotja
– belsejében nagy kőzetmag+vízjég köpeny
– 5 holdja van (Charon, Nix, Hydra, Kerberos, Styx)



– felszínét fagyott nitrogén borítja, mely napközben kiolvad és vékony légkört alkot
– felszíne becsapódások és tektonikai folyamatok eredményét mutatja
– pályája nagyon elnyúlt (3–5 CsE)

Plútó – 2006-ban visszaminősítve kisbolygóvá



A New Horizons űreszköz pályája (2018. 11. 19.).

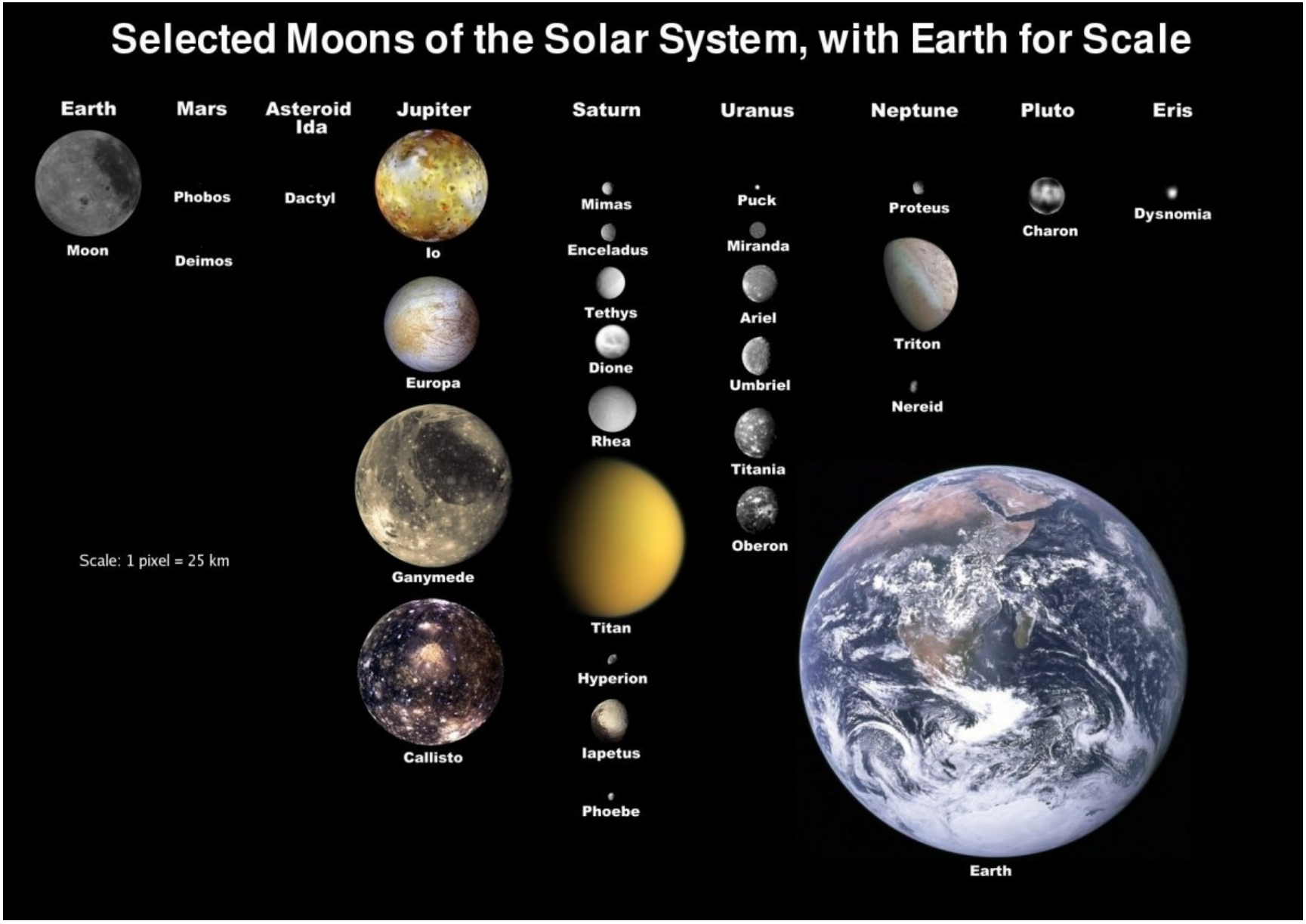


A New Horizons felvétele a Plútóról és a holdjáról, a Charonról (2015. 07. 14.).



Arrokoth

Holdak a Naprendszerben



Bolygók légköre

Belső bolygók:
– Föld: *N* és *O*
– Vénusz és Mars: CO_2 és *N*

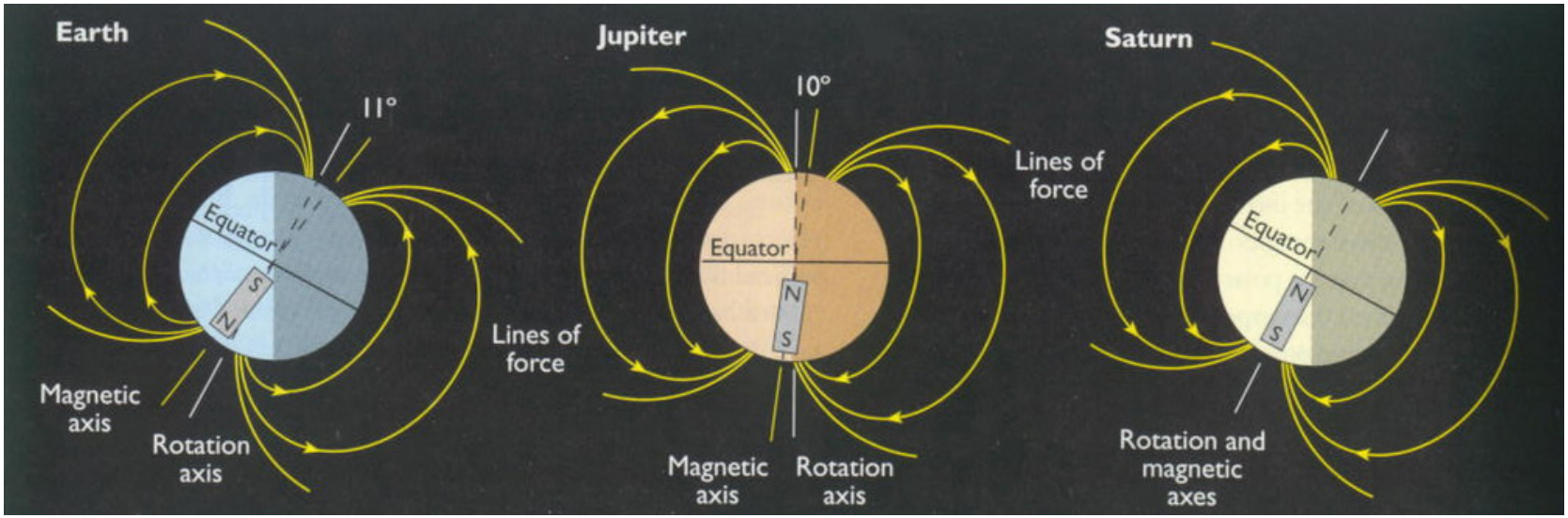
Külső bolygók:
– Főleg *H* és *He*
– az arányok különbözőek lehetnek (pl. Uránusz és Neptunusz esetén kevesebb *H*, több *He*)
– a komponensek sűrűsége fölfelé csökken, legfelül a legkönnyebb gáz (*H*) található

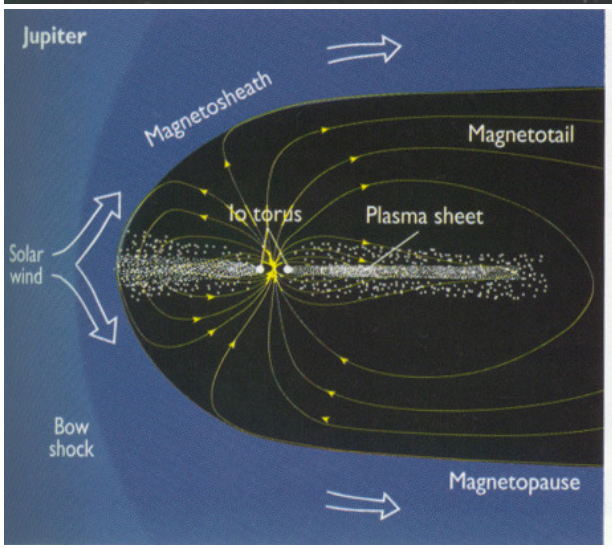
Table 11.1 Atmospheres of the Terrestrial Worlds

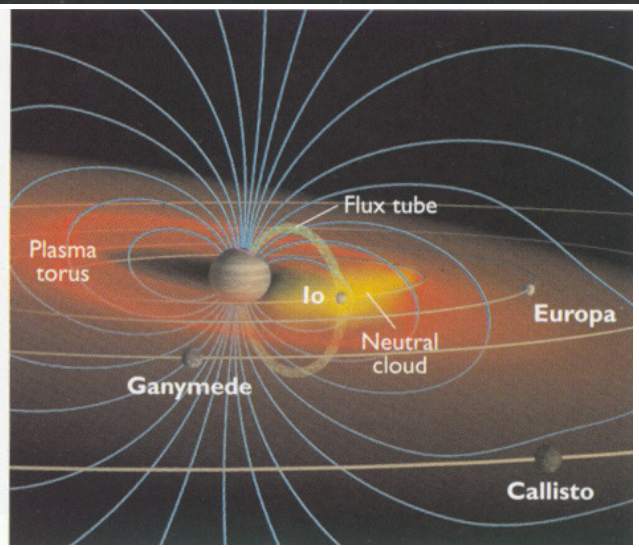
World	Composition	Surface Pressure*	Average Surface Temperature	Winds, Weather Patterns	Clouds, Hazes
Mercury	helium, sodium, oxygen	10^{-14} bar	day: 425°C (797°F); night: −175°C (−283°F)	none: too little atmosphere	none
Venus	96% carbon dioxide (CO_2) 3.5% nitrogen (N_2)	90 bars	470°C (878°F)	slow winds, no violent storms, acid rain	sulfuric acid clouds
Earth	77% nitrogen (N_2) 21% oxygen (O_2) 1% argon H_2O (variable)	1 bar	15°C (59°F)	winds, hurricanes	H_2O clouds, pollution
Moon	helium, sodium, argon	10^{-14} bar	day: 125°C (257°F); night: −175°C (−283°F)	none: too little atmosphere	none
Mars	95% carbon dioxide (CO_2) 2.7% nitrogen (N_2) 1.6% argon	0.007 bar	−50°C (−58°F)	winds, dust storms	H_2O and CO_2 clouds, dust

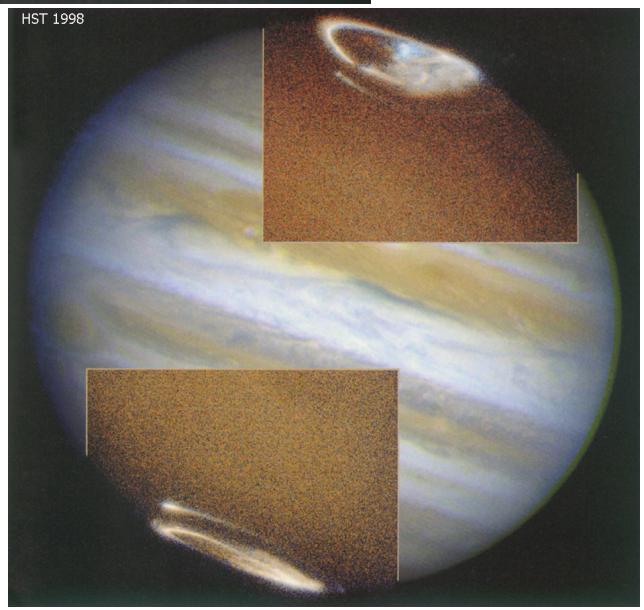
*1 bar ≈ the pressure at sea level on Earth.

Bolygók mágneses tere



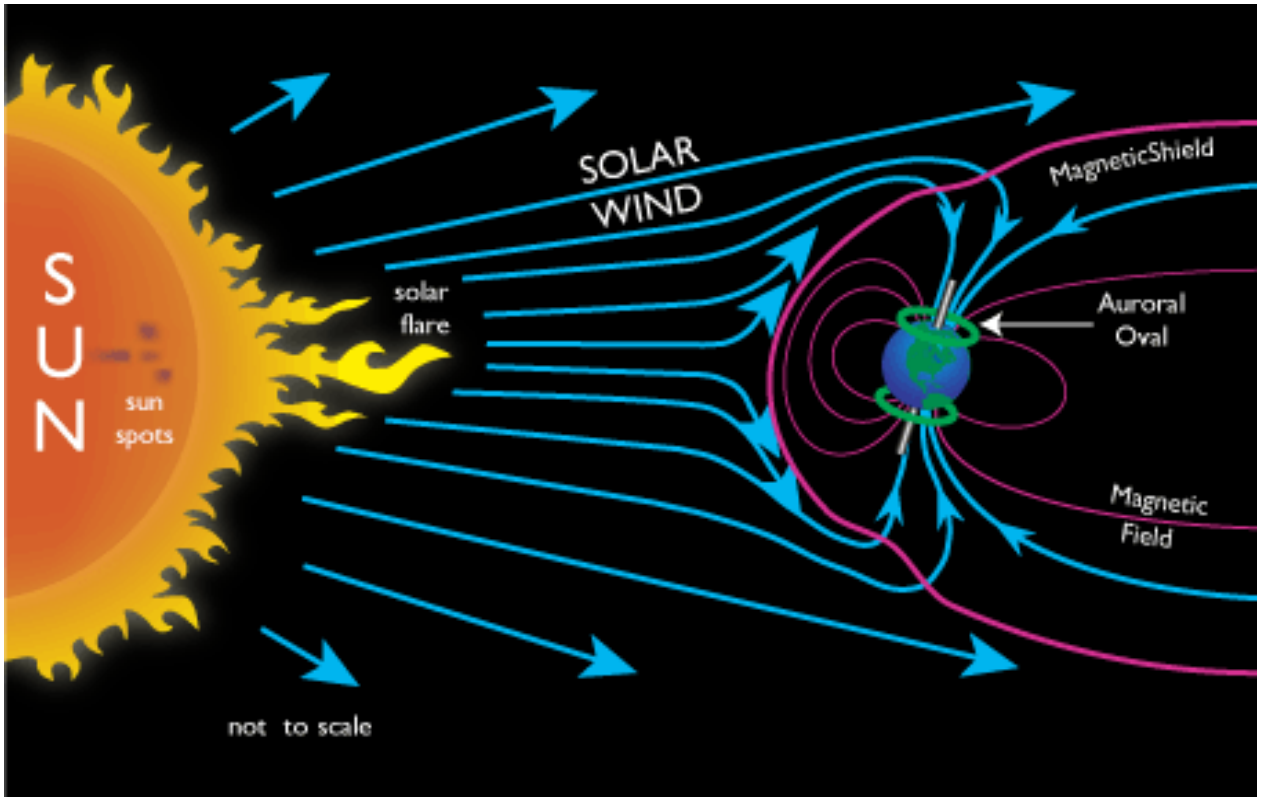






Auróra jelenség a Jupiteren

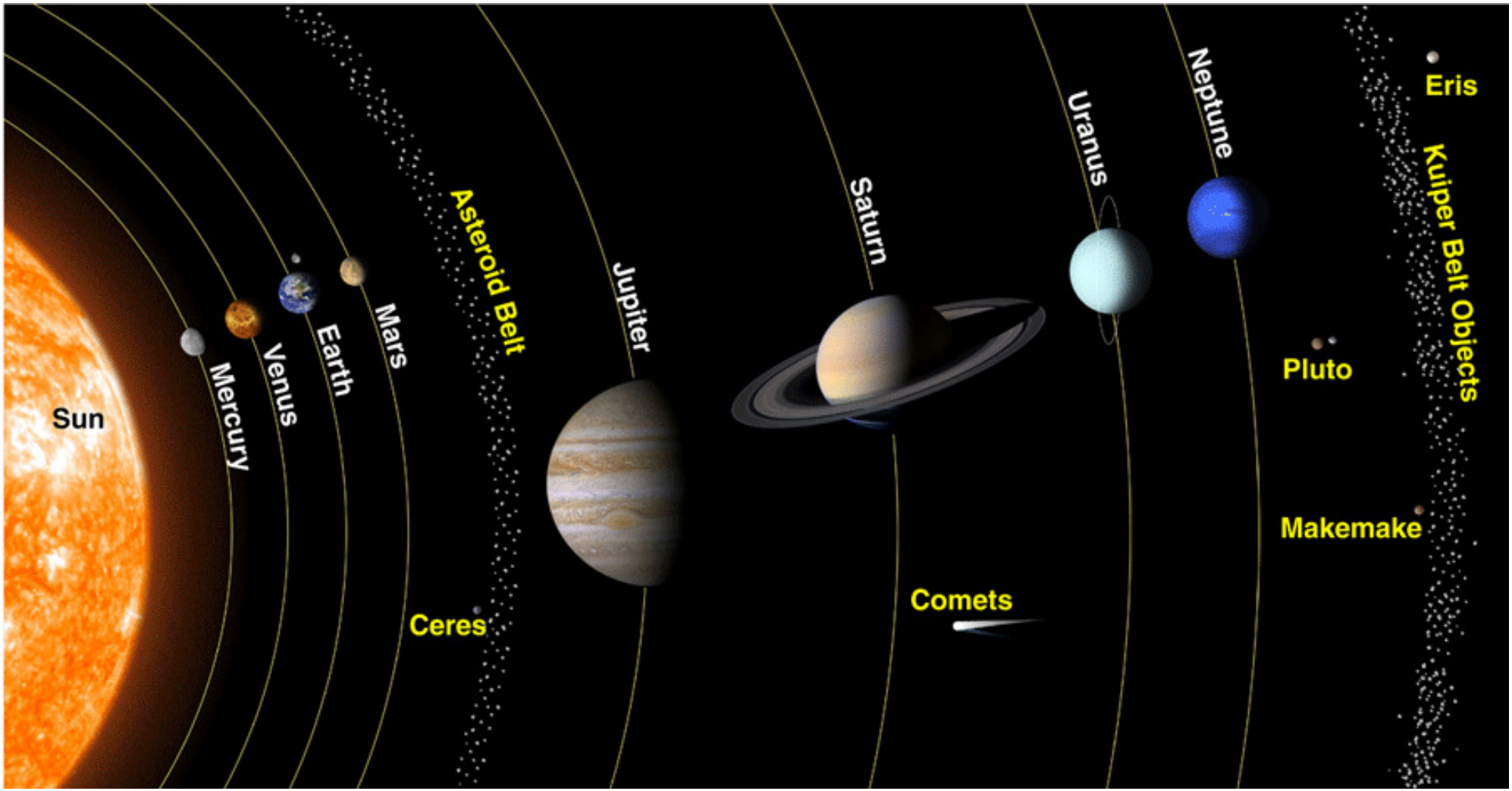
Bolygók mágneses tere – Föld





(csillagaszat.hu, Balázs Gábor, Dabas, 2023.11.05.)

A Naprendszer



Bolygó (IAU, 2006, Prága): Nap körül kering, elég nagy tömegű (gömb alak), tisztára söpört pálya; Plútó visszaminősítése

Kisbolygó-öv: Mars és Jupiter pályája között, sok apró égitest zónája, melyek nem söprik maguk előtt tisztára a pályájukat.

Naptávolság, bolygópályák

Titius–Bode szabály (1772–1778):

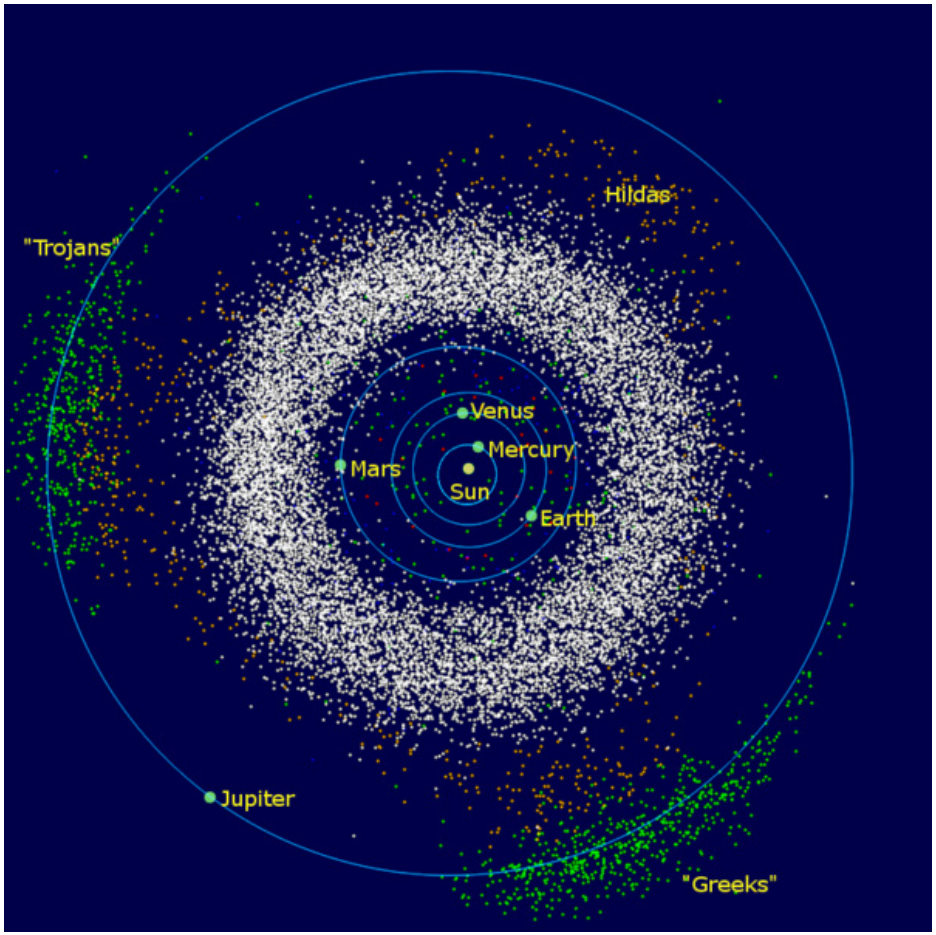
$$a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$$

ahol a: Naptól mért távolság

bolygó	n	a_{T-B} (CsE)	$a_{val.}$ (CsE)	hiba [%]
Merkúr	-∞	0.4	0.39	2.56
Vénusz	0	0.7	0.72	-2.78
Föld	1	1.0	1.00	0.00
Mars	2	1.6	1.52	5.26
Kisbolygóöv	3	2.8	2.77	1.08
Jupiter	4	5.2	5.2	0.00
Szaturnusz	5	10.0	9.54	4.82
Uránusz	6	19.6	19.2	2.14
Neptunusz	7	38.8	30.1	28.9
Plútó	8	77.2	39.5	95.4
Eris	8	77.2	67.7	+14.0

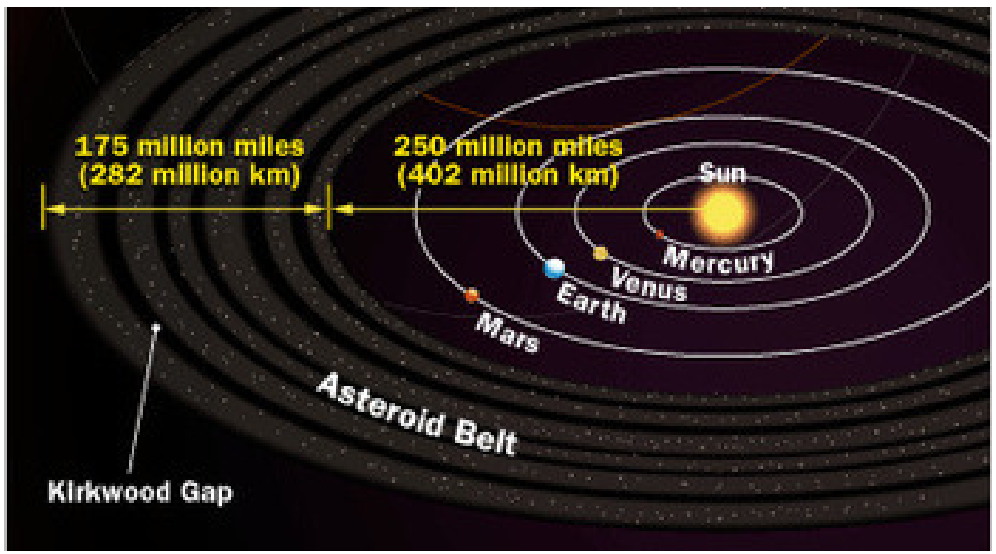
Érvényességének bizonyítéka (?): William Herschel Uránusz felfedezése (1781).
"Hiányzó" bolygó: Giuseppe Piazzi Ceres felfedezése (1801).
Több kisebb bolygó megtalálása a várt pályán.

Kisbolygó-öv

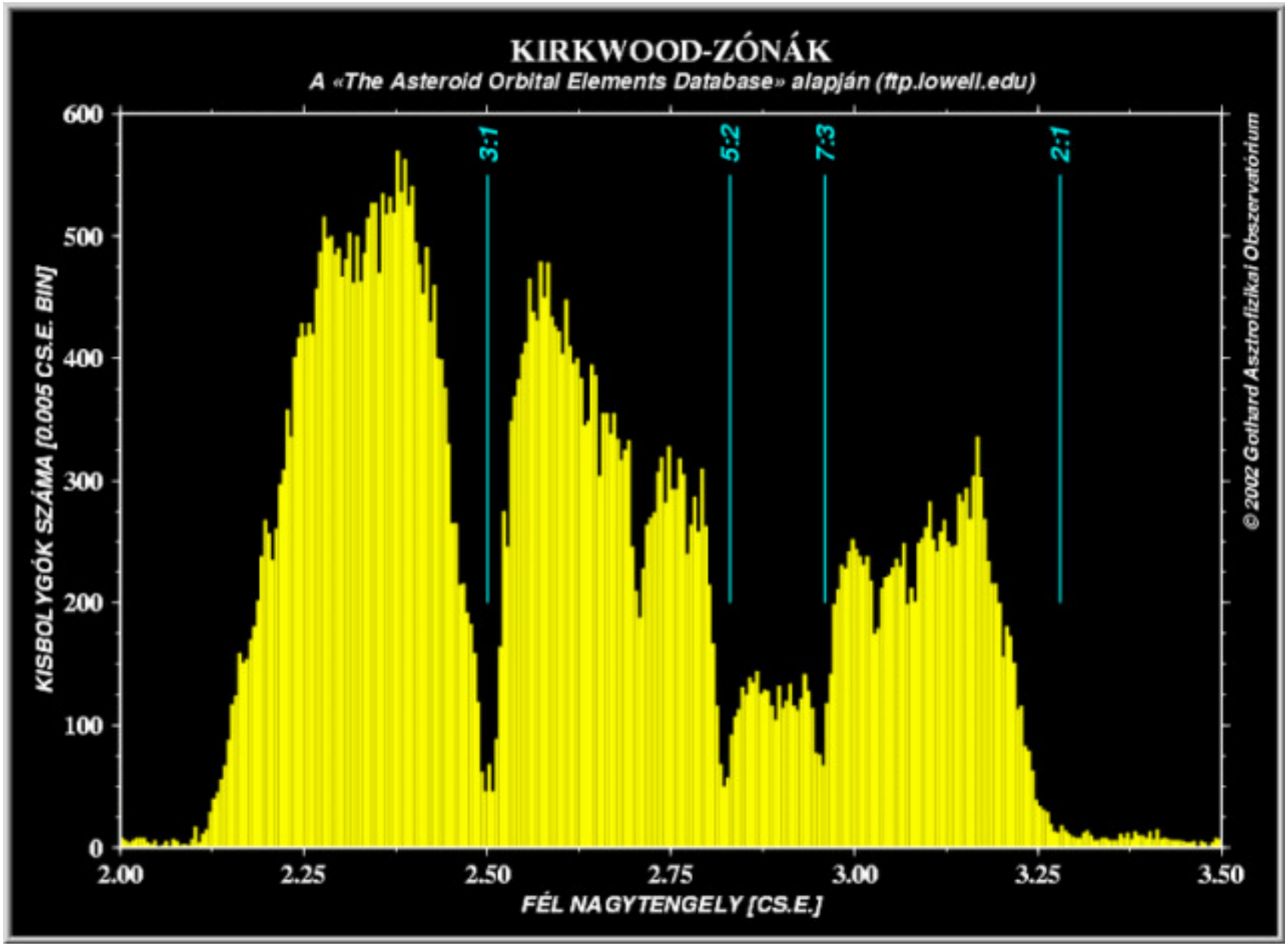


– Mars és Jupiter között
– eloszlásuk nem egyenletes
– számuk több ezer
– méreteik: méteres–néhány száz km átmérő
– alakjuk: nagyobbak–gömbhöz közeliek, kisebbek–szabálytalanok
– tengelyforgási sebességük: kisebbek–nagyobb sebesség, nagyobbak–kisebb sebesség, de ha $d >= 125$ km szintén nagyobb forgási sebesség





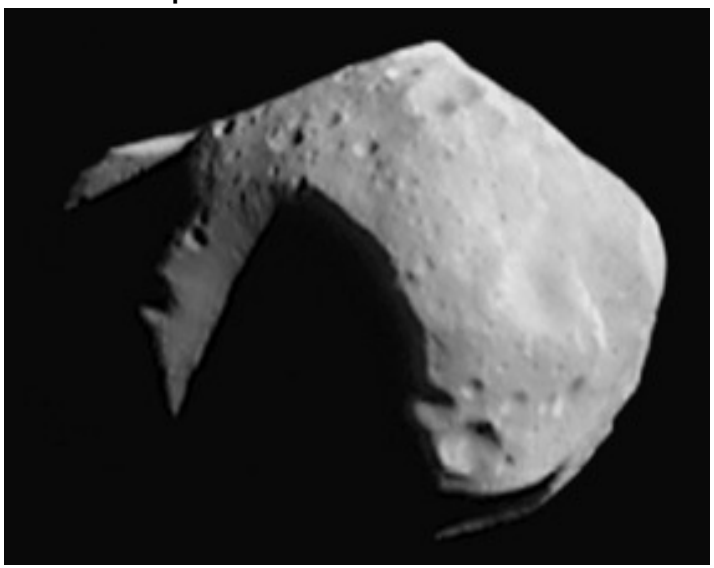
Kirkwood gaps, rezonanciák



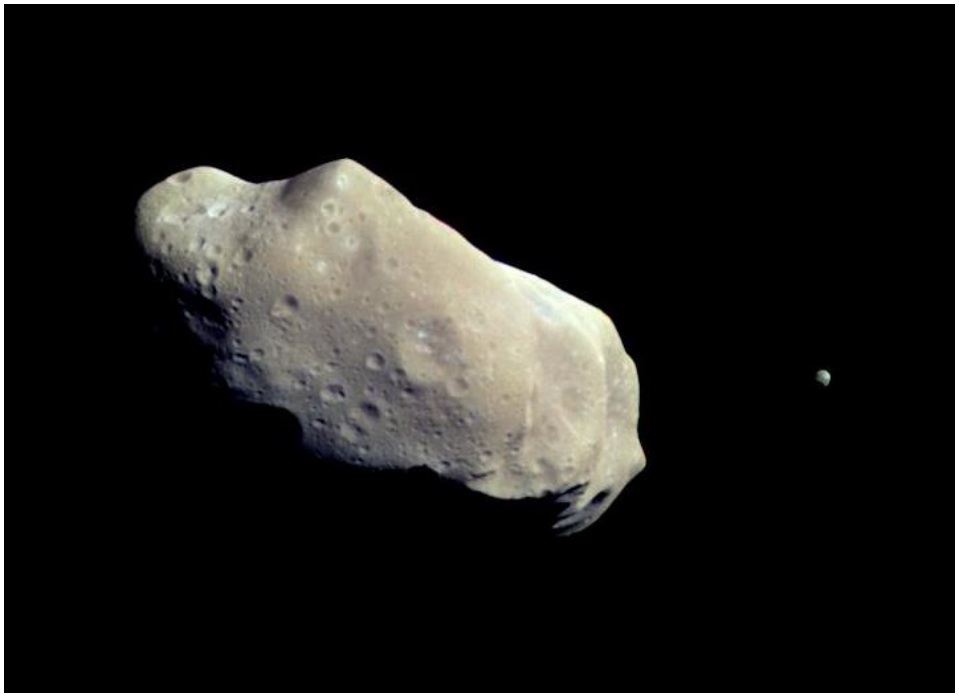
Néhány kisbolygó



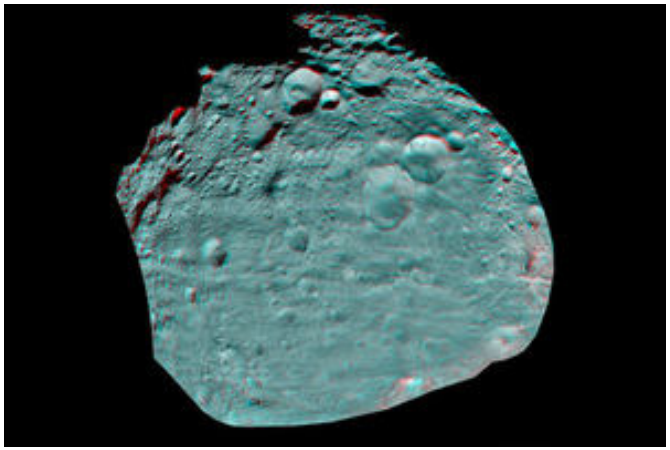
951 Gaspra



253 Mathilde

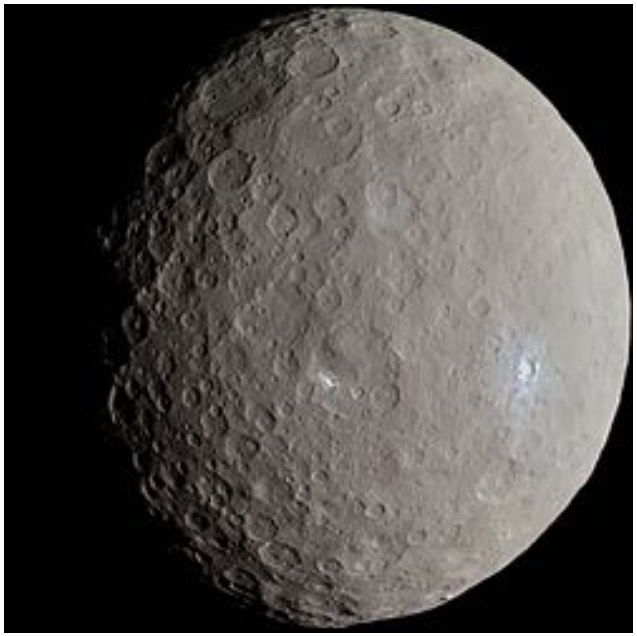


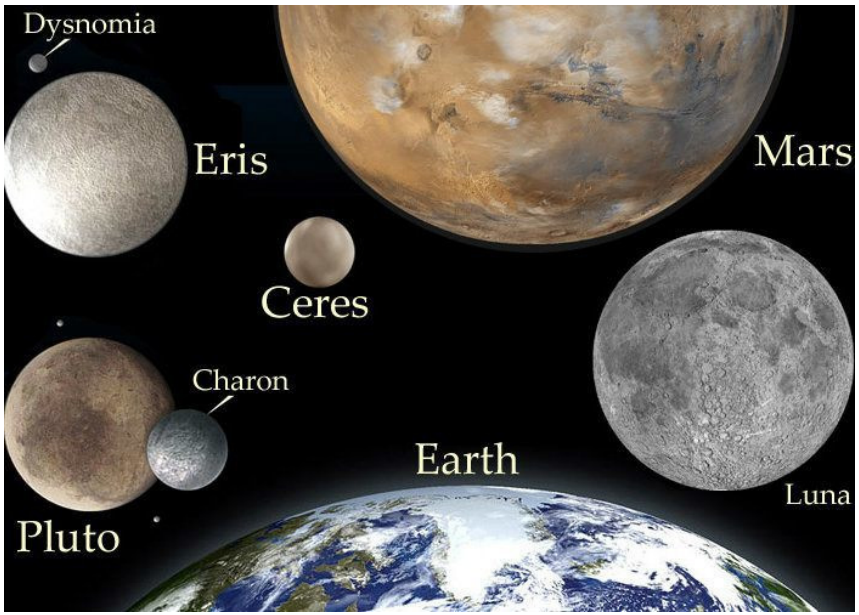
243 Ida és holdja, a Dactyl

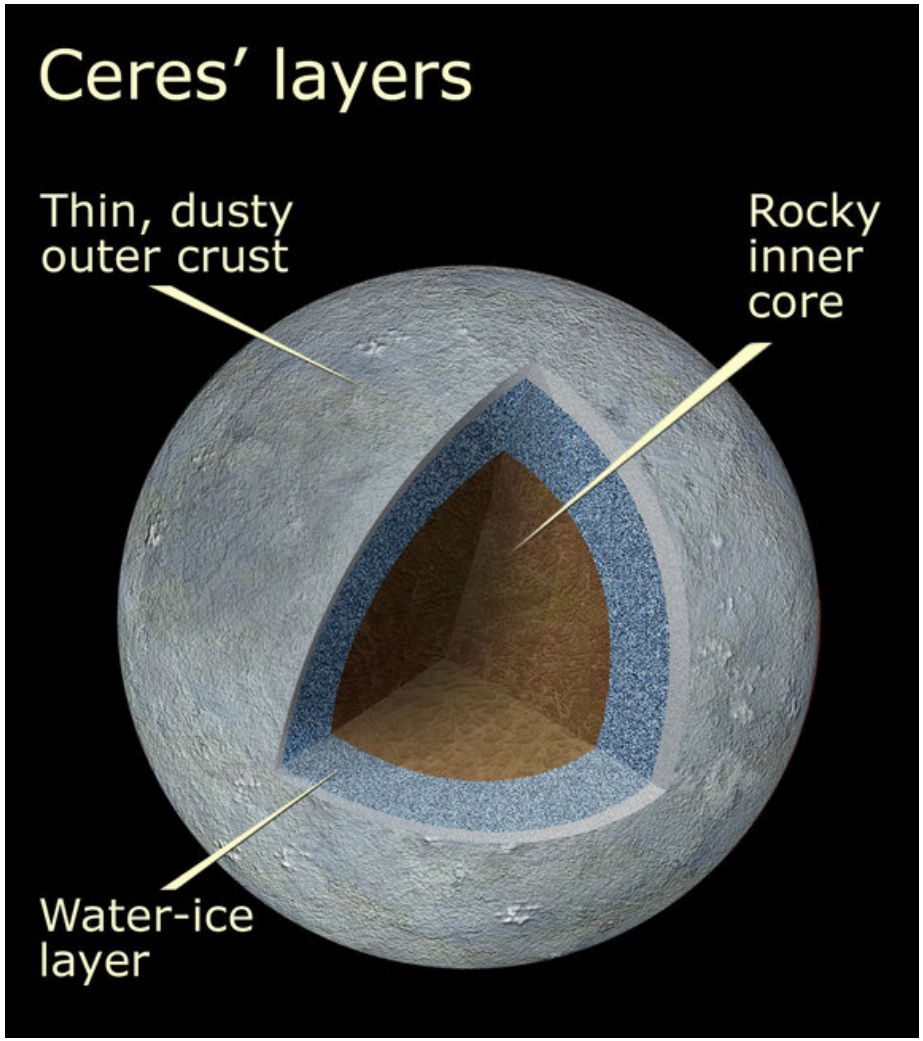


Vesta

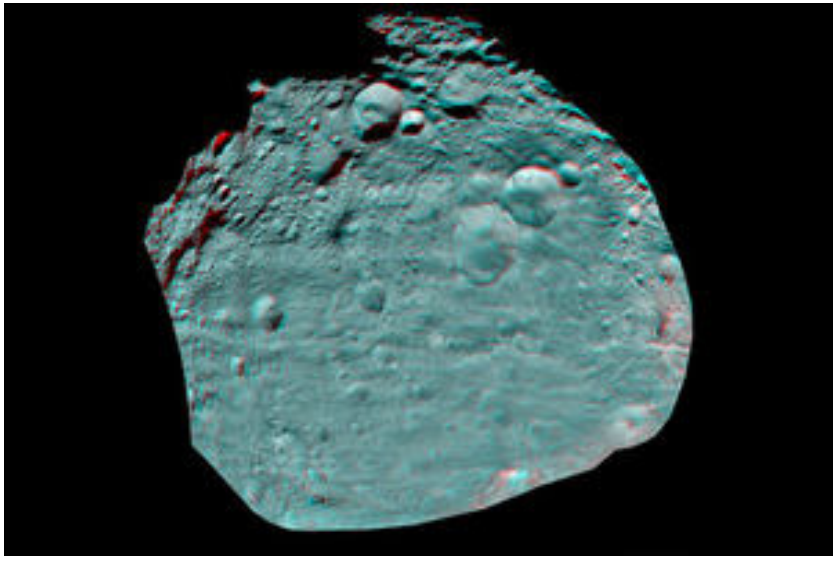
Ceres (Piazzi, 1801)







Vesta




sizes proportionate
Pallas
Vesta
Juno
Ceres
(now designated "dwarf planet")

Kémiai összetétel

- Ősi (primitív) kisbolygók: Naptávolban keringenek, vízben és szénben gazdagok
- Vulkanikus kisbolygók: Napközelben keringenek, erősen felmelegedtek, olvadékok alakították
- Metamorf kisbolygók: kisebb víztartalom, múltbéli felmelegedés

Keletkezésük

- Szétrobbant nagyobb bolygó (Phaeton): pályahasonlóság, szabálytalan alak
- Kivált kristályos anyagok ütköztek: nagy bolygók nem alakulnak ki, sok törmelékanyag
- Anyaguk nagy részét elvesztett üstökösök maradványa (rendellenes pálya)

Látszó jellemzők

- leggyorsabban, leglátványosabban változó objektumok
- apró, ködszerű folt $\longrightarrow$ fényessége, kiterjedése nő $\longrightarrow$ elhalványodik
- régen csak földi, távcsöves megfigyelések; de 1986-ban a Halley-t öt űrszonda vizsgálta



Halley üstökös (1986)



Hale–Bopp üstökös (1997)



McNaught üstökös (2007)

Neowise üstökös – 2020 nyarán



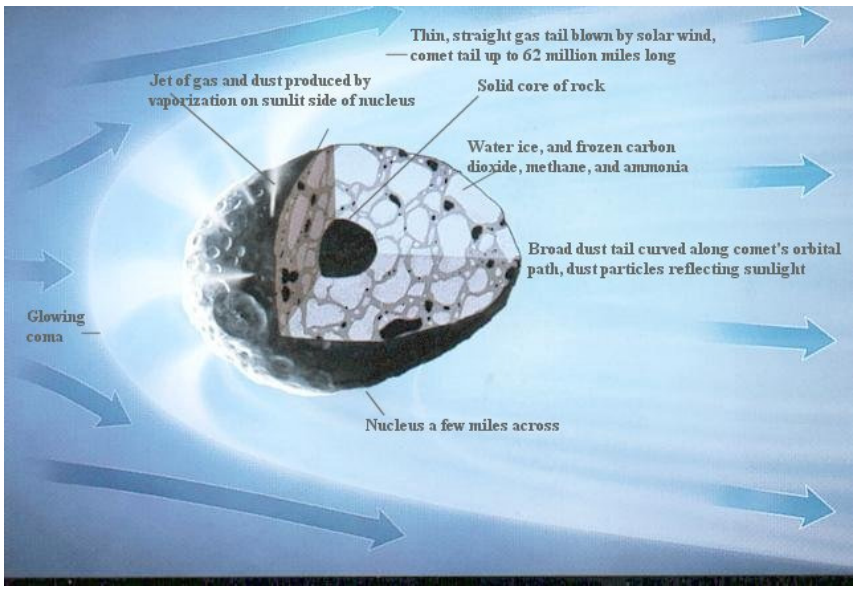
(By SimgDe - Own work, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=92294694)



(By Darshan Shankar - Own work, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=92180852)

Felépítés

- **mag** (fej): fagyott meteordarabok tömege, jég: vízjég, CO_2 és HCN jege "piszkos hógolyó"
- **kóma** (fej): elpárolgott jég + kiáramló por
- **csóva**: legritkább (1-10 molekula/cm^3) és leghosszabb rész (10–20 millió km), kis tömegű (mag tömegének egymilliomod része), gáz (gerjesztett állapotú $\rightarrow$ fényt bocsát ki) és por (visszavert napfény) keveréke



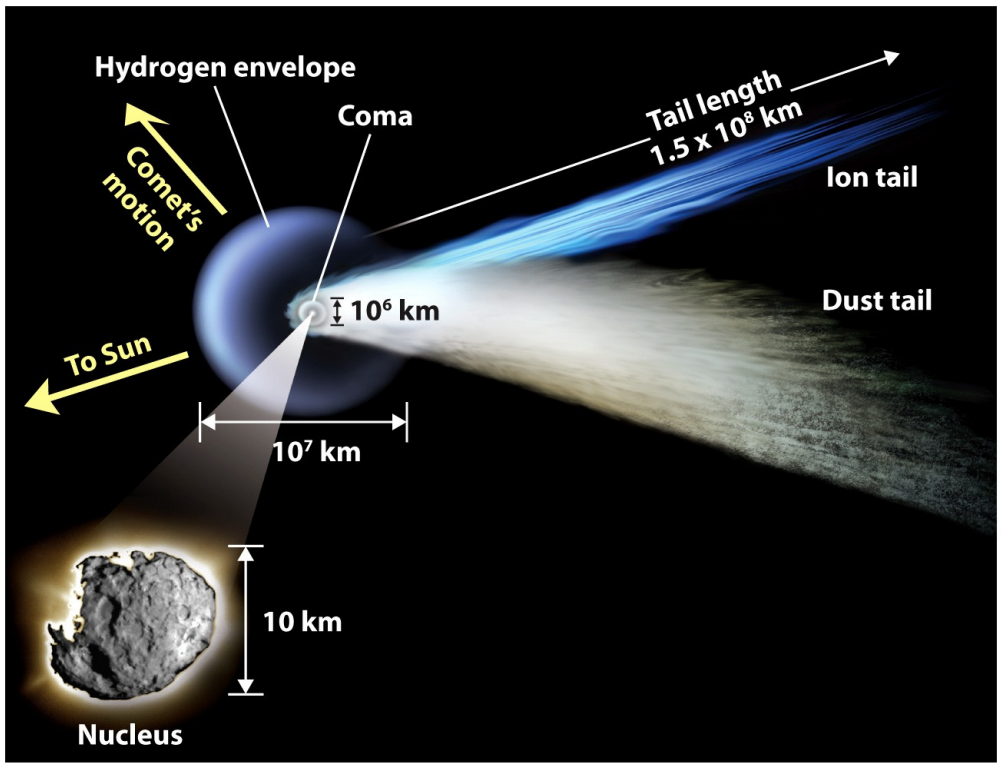
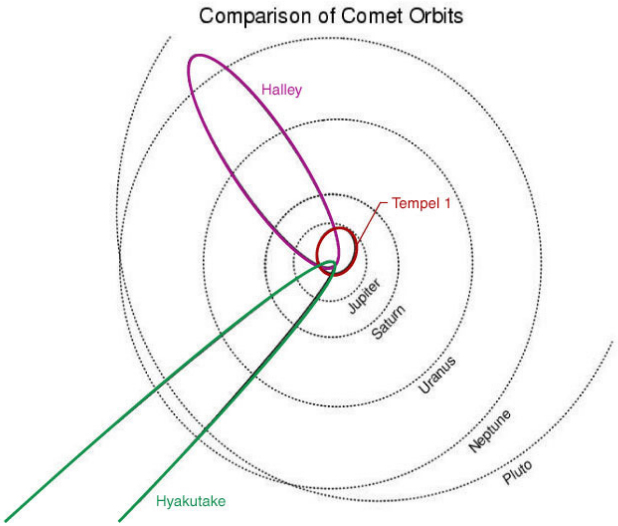
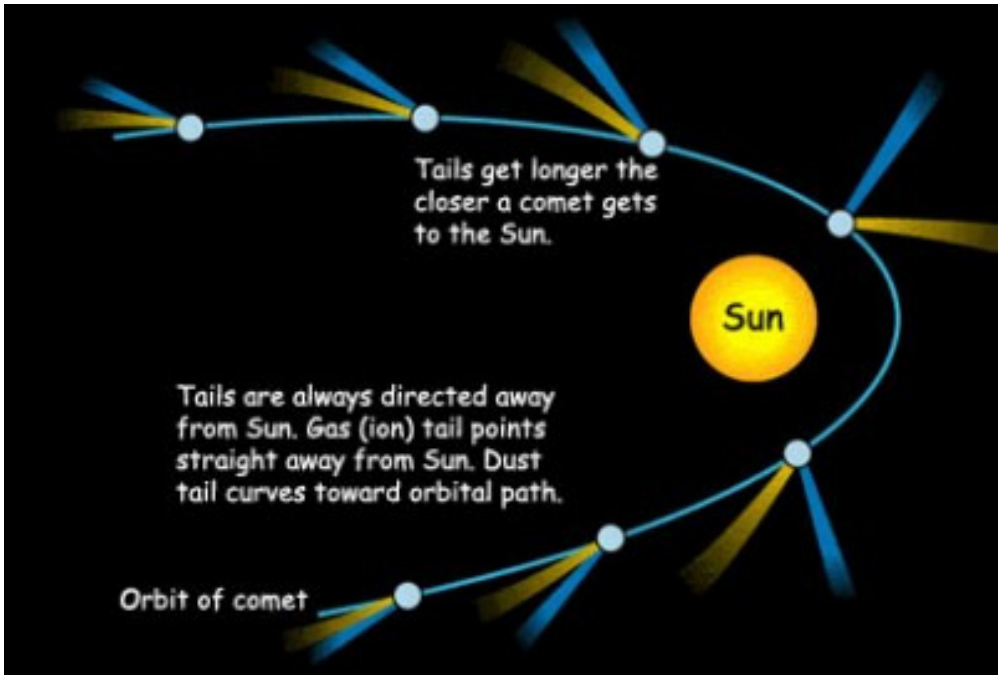


Figure 15-26
Universe, Tenth Edition
© 2014 W. H. Freeman and Company; Inset: NASA/JPL

Pálya – csóva helyzete & alakja



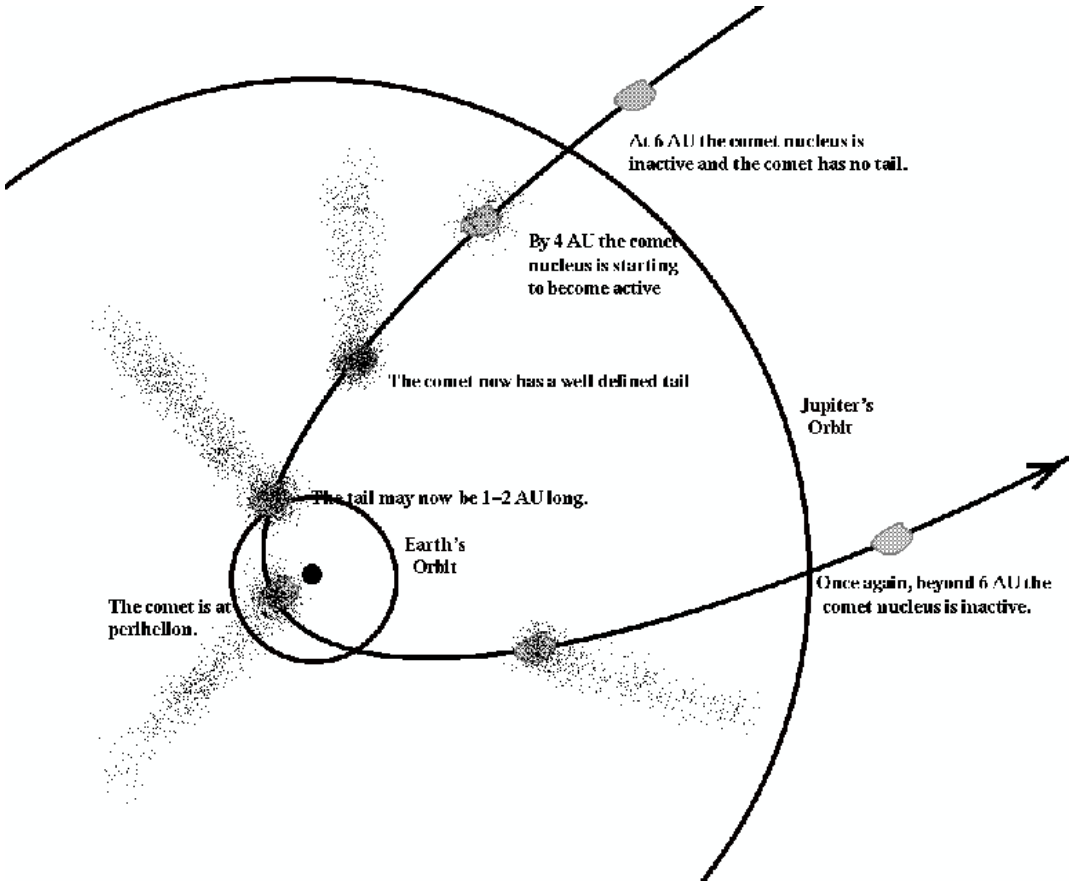
– külső tartományok felől
– hosszú periódusúak: T millió éves, 21%-a, perturbáció után rövid periódus
– rövid periódusúak: T néhány évtized, 16%-a, pl. Encke (3.3 év), Halley (76 év)
– parabola pályán: e=1, az üstökösök fele, perturbáció hatására ellipszis, illetve hiperbola lehet
– hiperbola pályán: e>1, az üstökösök kb. 12%-a, nem térnek vissza



– a csóva helyzete változik
– hossza napközelben megnő
– alakja lehet egyenes (ioncsóva), vagy görbült (porcsóva)

Élete

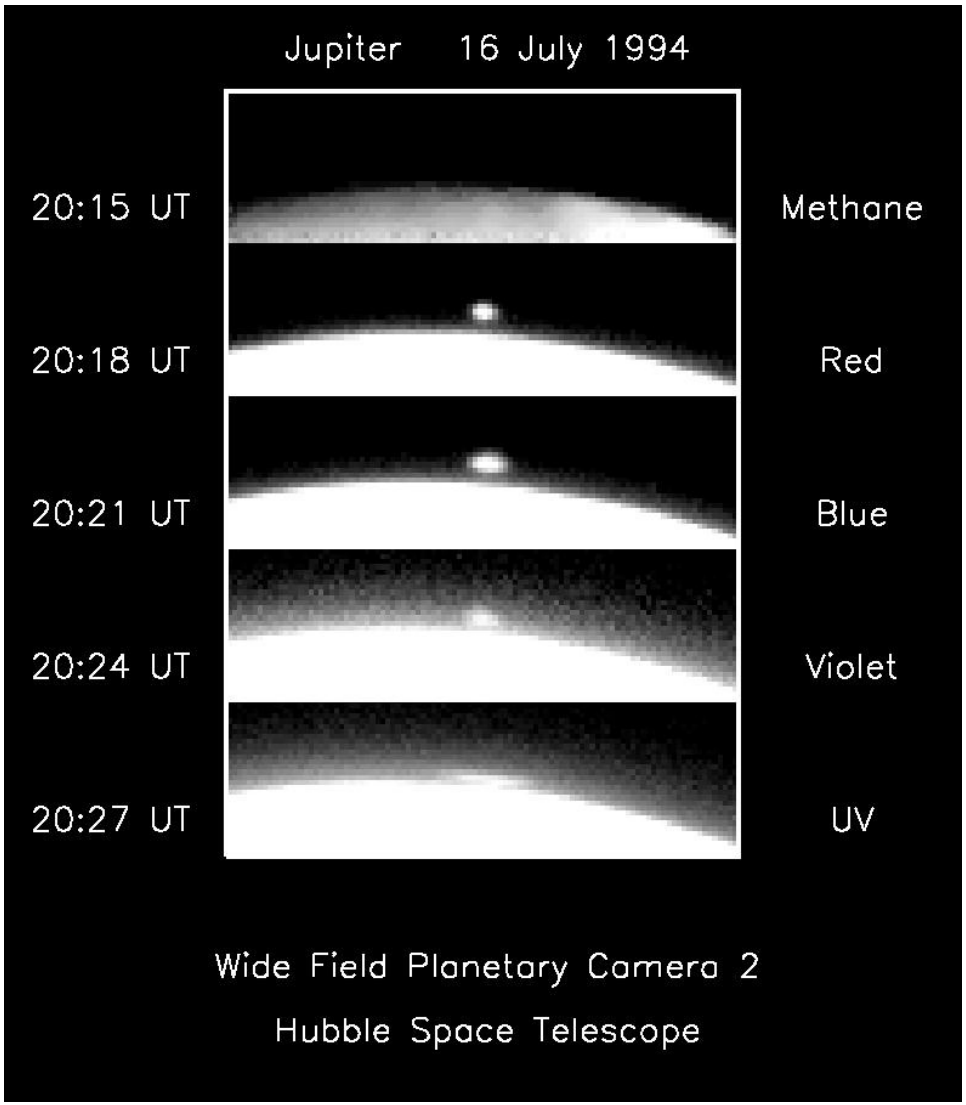
- a Naprendszer széléről jön
- megközelíti a Napot $\Longrightarrow$ a mag szublimálni kezd $\Longrightarrow$
- kóma- és csóvaképződés
- távolodás a Naptól
- visszatéréskor újabb anyagveszteség

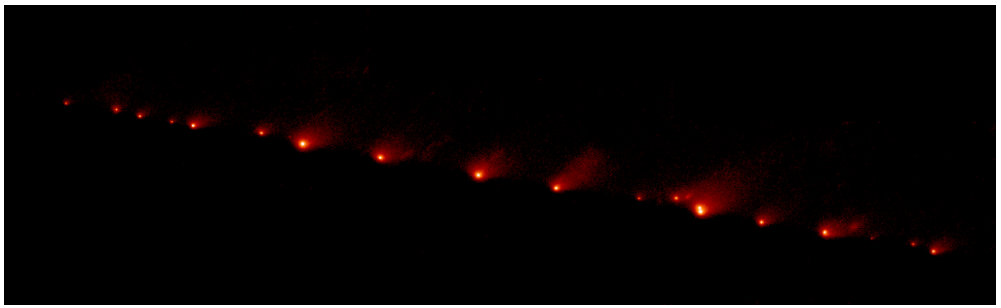


Halála

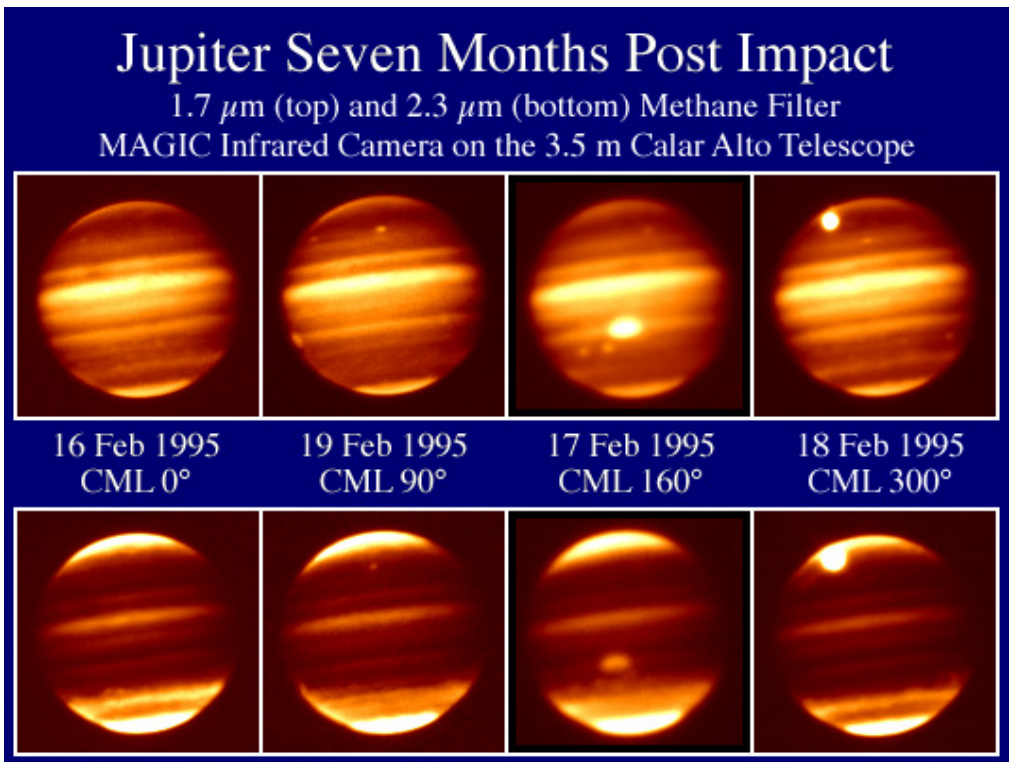
- végül a mag por és kődarabok halmaza lesz
- felbomlás, széthullás (Biela (1846), Ikeya-Seki (1965))
- ütközés (Shoemaker-Levy (1994) Jupiternek ütközött)

Shoemaker-Levy (1994)





21 fragmentum (1994. május 17.)



Hullócsillagok

Szétesett üstökösmagból.

- **meteorrajok**: darabjai a pálya mentén keringenek
- **sporadikus meteorok**: nem tartoznak rajhoz
- méret: homokszem, kavics, de vannak nagyobbak is (tűzgömbök)
- légkörbe lépve fékeződik, melegszik $\rightarrow$ mozg. energia hő & fény energia formában leadódik $\Rightarrow$ égés, fényjelenség 120 km – 70-80 km
- nagyobbak nem égnek el teljesen $\rightarrow$ tűzgömb





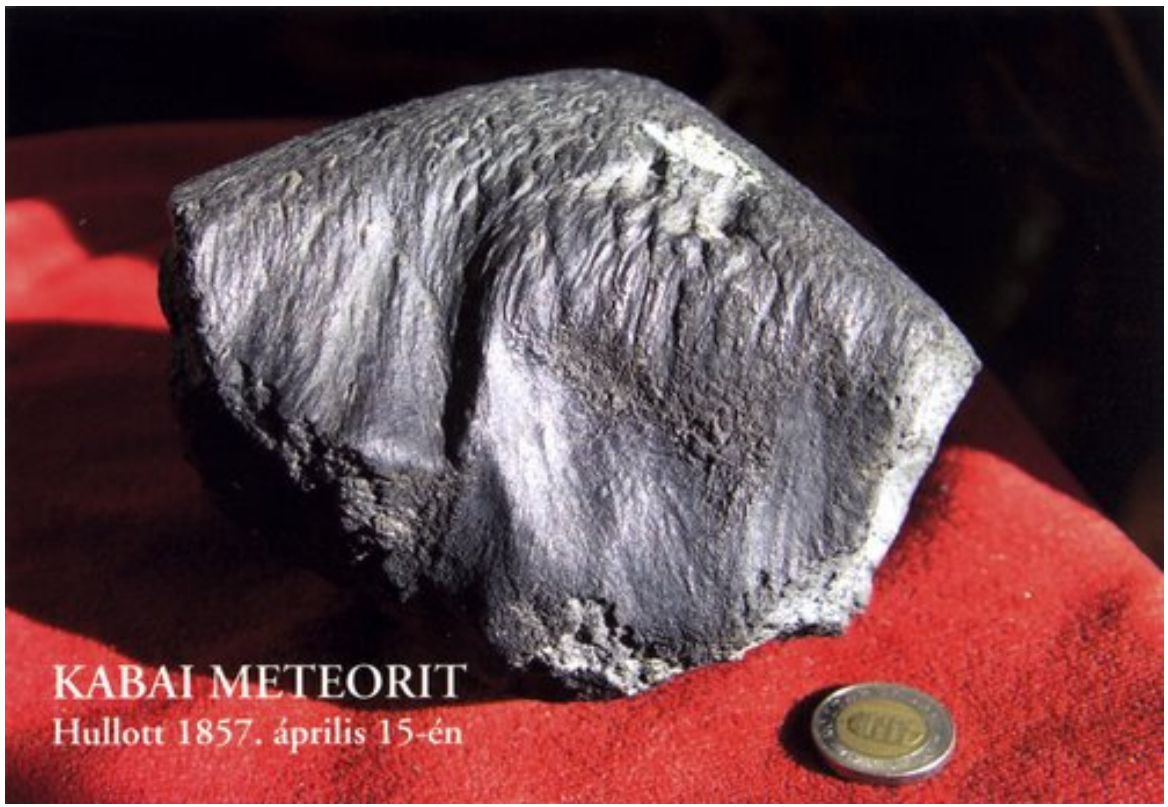
Meteorrajok, típusok

Meteorraj pályáján keresztülhaladva: felvillanások gyakorisága megnő

- **Perseidák**: augusztus 12. körül
- **Leonidák**: november 14. körül

Meteoritok típusai:

- **kő meteorit**: szilikát, Ca, 90%; pl. kabai meteorit 3.3 kg (1857) Debrecenben
- **vas meteorit**: Fe, Ni, Co
- **kő-vas meteorit**



Meteoritok



Hoba meteorit, Namíbia, 60 tonna, 1920

Tunguszkai meteor: hatalmas lökéshullám, robbanás, nagy fényjelenség, erdő pusztulása, meteorit nélkül

Kráterek



Chubb kráter, Kanada (3500 m / 190 m)



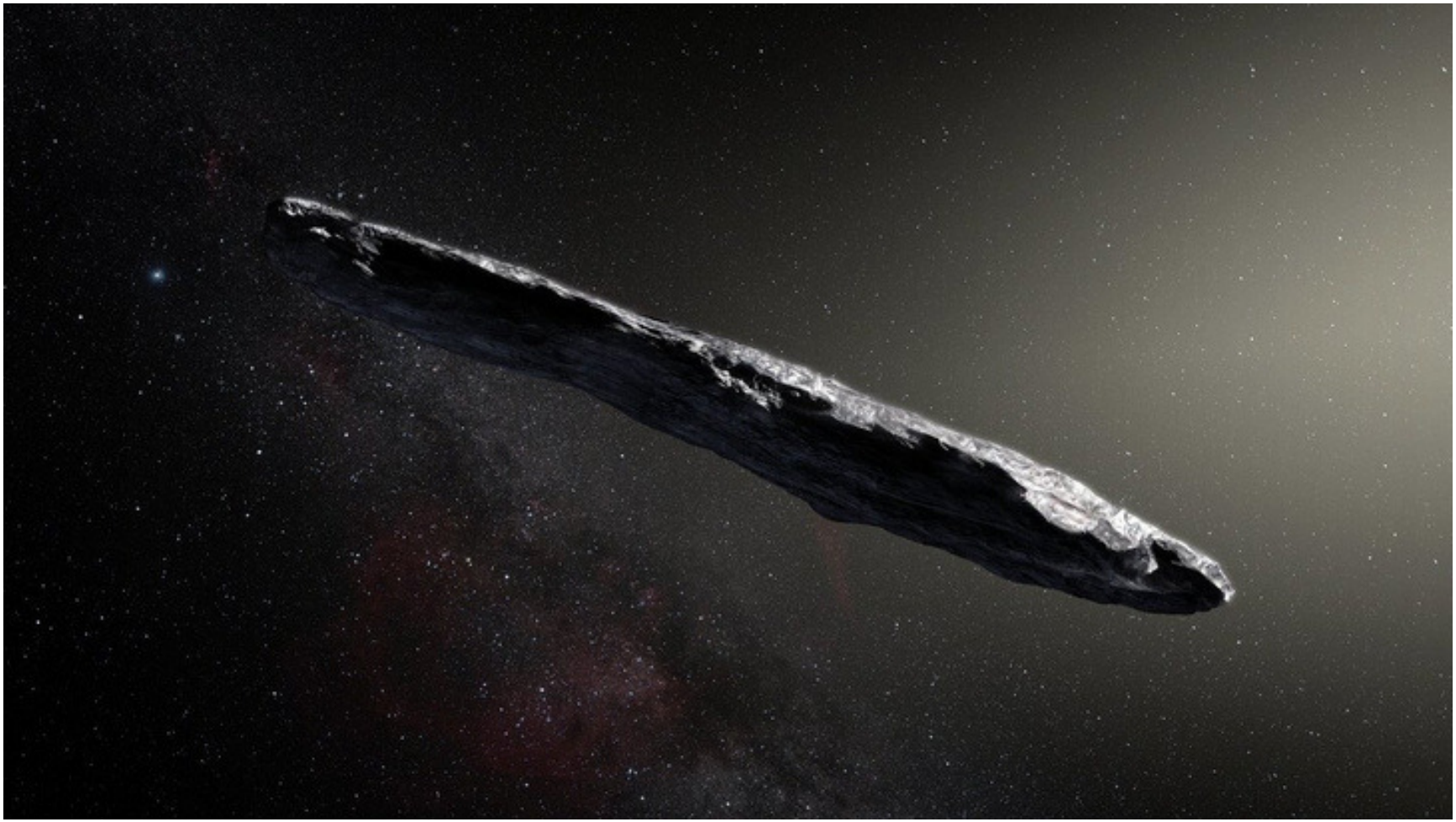
Ördög kráter, USA (AZ) (1170 m / 175 m)



Wolfe kráter, Ausztrália (853 m / 51 m)

Naprendszeren kívüli – Üstökös-aszteroida?

Oumuamua: “nagy távolságból elsőként érkező küldönc”



2017. október, szivarforma: hosszúsága = 10 x szélesség, por nincs a közelében, erősen elnyújtott hiperbolikus pálya

Interplanetáris anyag

- napszél (naptevékenység, néhány száz km/s)
- porszemcsék, főként szilikátok



Állatövi fény
– főként a trópusi övben
– nk. előtt & nny. után
– fénylő háromszög
Napsugarak szóródása az interplanetáris anyagon.

Megmagyarázandók

- A Nap tömege 750-szer akkora, mint a Naprendszer többi égitestjének együttes tömege
- 8 bolygó kering közel azonos síkban
- A Nap birtokolja a Naprendszer össz. imp.momentumának 2%-át: lassan forog
- Kétféle típusú bolygó:
  Föld-típusú: nehezebb elemekből, sűrűbb, lassan forog, kis tömegű
  Jupiter-típusú: összetétele kb. a Napéval egyezik meg

Izotóp előfordulások gyakorisága

elemarány	int.sztell. anyag	Nap	bolygók
D/H	$2 \cdot 10^{-5}$	$< 3 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-5}$

A bolygók anyaga nem jóval a Nap keletkezése után egy csillag belsejéből szakadt ki.
Xe izotópok rel. gyakorisága valószínűsíti, hogy a Nap és bolygók egyszerre, azonos folyamatban keletkeztek.
Hold kráterei, medencéi: 3-4 milliárd éves, bolygórendszer keletkezése végén kialakulhattak a nagyobb égitestek, míg a kisebbek belehullottak a nagyobbakba.

Hosszú felezési idejű izotópok meteoritokban végzett mérései alapján:
$t_{Naprendszer}$=4.55 $\cdot 10^9$ év

Keletkezési elméletek

Sokan (pl. Kant, Jeans, Laplace, Hoyle), többfajta elméletet dolgoztak ki.
1.) A Naprendszer egyszerre, ugyanazon esemény hatására, ugyanazon felhőből keletkezett (nebuláris elméletek).

2.) A Nap már kész volt, mikor a bolygók anyagát a csillagközi térből befogta. [Kis valószínűség!]

3.) A Nap kettőscsillag volt, melynek egyik alkotója darabjaira esett, s e darabokból keletkeztek a bolygók. [D/H arány!]

4.) Egy csillag túlságosan megközelítette a Napot, s hatására abból anyagfelhő vált ki, melyből a bolygók keletkeztek. [Megfigyelések]

Nebuláris elméletek

Kant: Nap, bolygók rendezetlen mozgású ősanyagból, kizárólag gravitáció hatására egy nagy test (Nap) született, de kimaradt egy kis anyag, melyből a körülötte keringő meteorraj keletkezett.

Laplace továbbfejlesztette (1796): mert az ősanyagnak nem volt imp.momentuma, míg a Naprendszernek van.

Roche matematikai tárgyalás (1873): Laplace elmélete kis módosításokkal matematikailag helyes.

Laplace-Roche elmélet

Magas hőmérsékletű forgó gázfelhő tölti ki a Világegyetemet, mely folyamatosan hűl és összehúzódik.

Összehúzódva egyre gyorsabban forog, belapul.

Egyenlítő mentén korong válik le.

A levált gyűrű helyére belülről forró anyag pótlódik. A korong folyamatosan hűl. Folyamatos anyag kiáramlás a gyűrű anyagának helyére. $\Rightarrow$ Sorozatos gyűrűleválás.

Nem magyarázható a kétféle típusú bolygó & a Nap lassú forgása!

Hoyle elmélet

Kiinduló közeg: molekulafelhő, mely teljesíti a Jeans kritériumokat

Akkréció intersztelláris anyagból: magasabb rendszámú elemek szupernóvarobbanásból kidobott anyagából begyűjtve a protosztelláris felhő által

Zsugorodás, rotációs sebesség növekedése, anyag hullik be a rot. tengely mentén, korongszerű eloszlás

Korongban mikroszkopikus szemcsenövekedés kondenzáció által, a kis szemcsék rugalmatlan ütközése után azok összetapadása, elérve azt a méretet, mely után gravitációsan is magukhoz tudnak kötni szemcséket

Növekedésnek gátat szab a Roche-kritérium:

$$\frac{r_{Roche}}{R_{Nap}} = 2.5 \cdot \left(\frac{\rho_{Nap}}{\rho_{bolyg.}} \right)^{1/3}$$

lehetséges következmények: kisbolygó övezet, bolygók gyűrűi

A napszél kezdetben kisöpörte a könnyebb elemeket az óriásbolygókhoz.