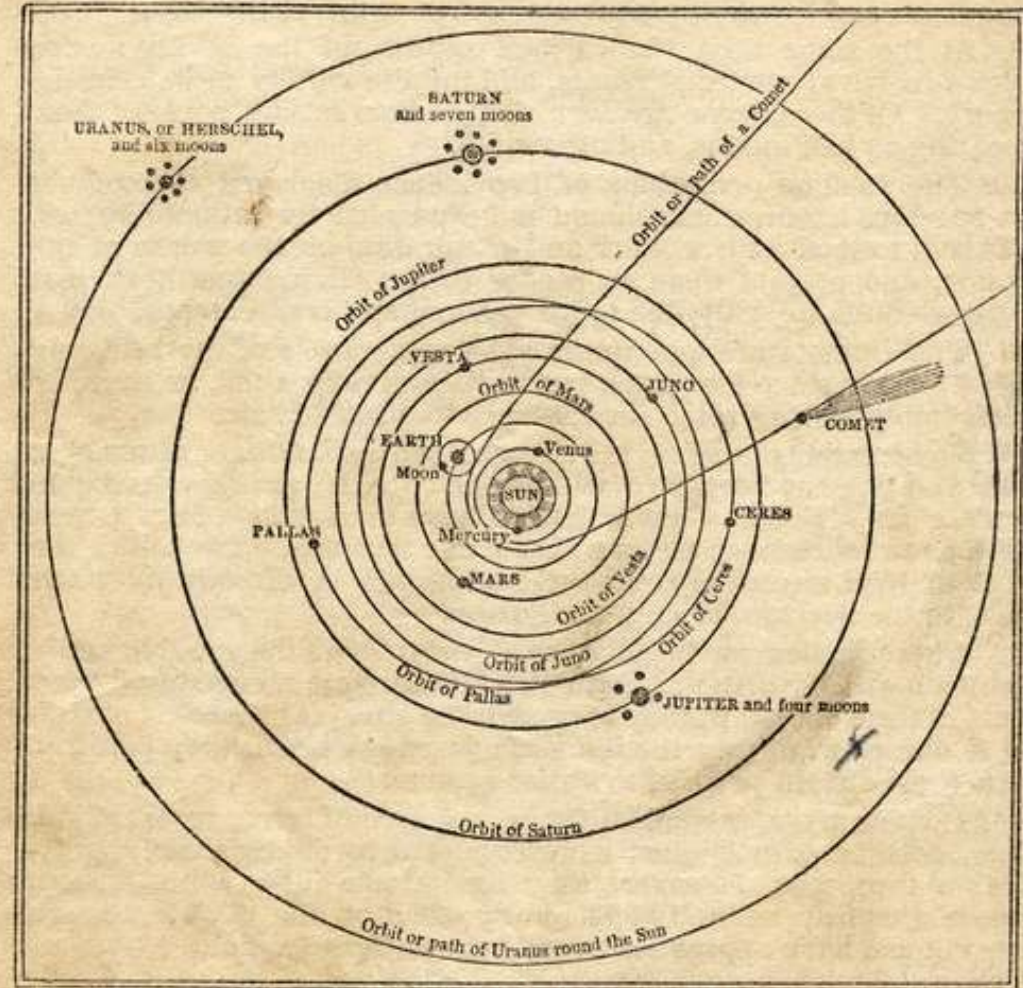


# A Naprendszer felfedezése a 19-20. században



The Engraving is a view, or Map of the Solar System. The Sun is in the centre. The circular lines are the tracks or orbits of the Planets, in which they revolve or journey round the Sun.

Point out the *Sun* — *Mercury* — *Venus*. The two last are called interior planets, because they move between the Earth and the Sun.

Point out the *Earth* and the *Moon* — *Mars* — *Vesta* — *Juno* — *Ceres* — *Pallas* — *Jupiter* — *Saturn* — *Uranus*. The last eight are called exterior planets, because they revolve beyond the orbit of the earth.

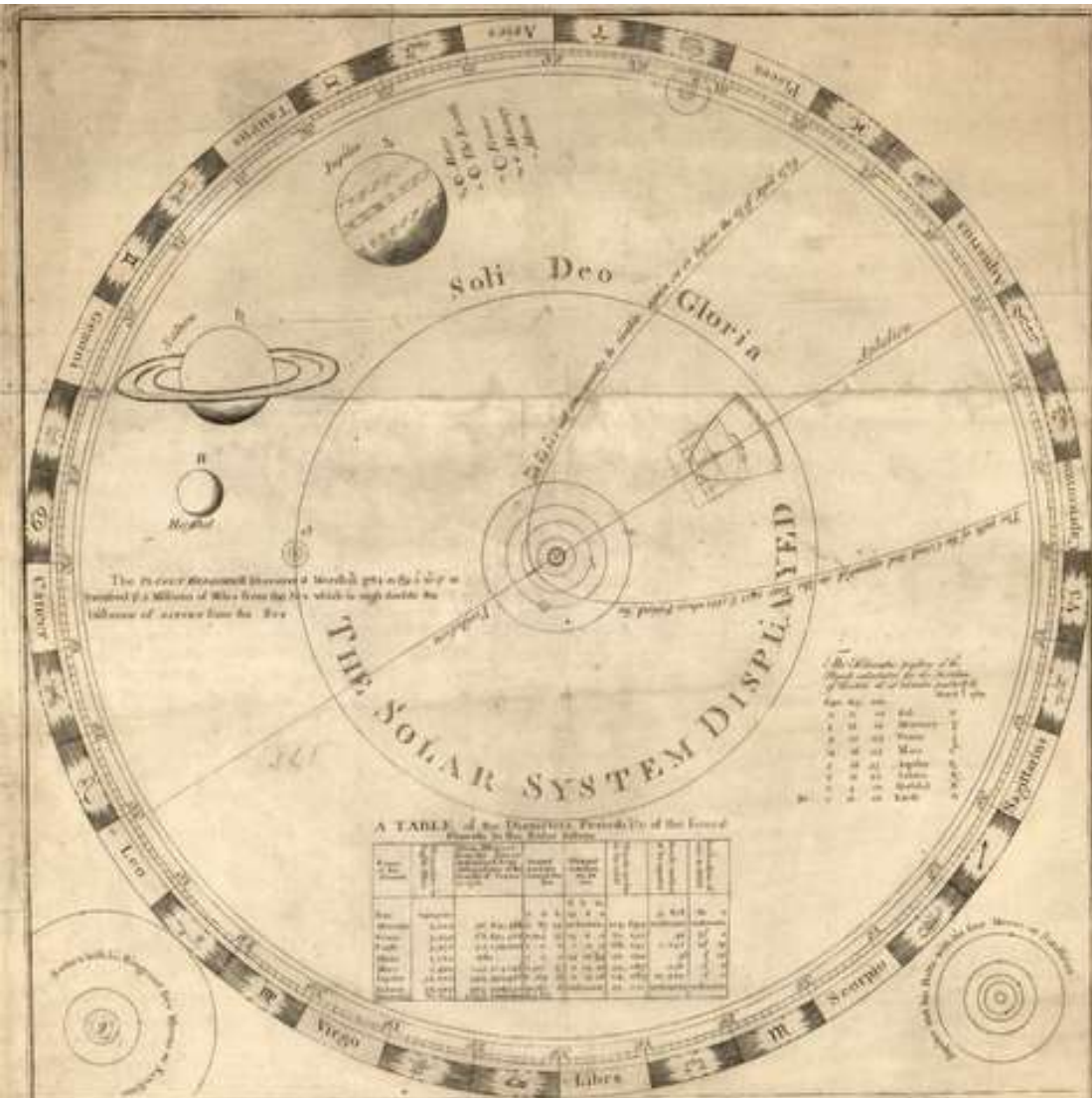
Tell how many planets there are. All the black spots on the engraving, except the comet, represent planets.

How many moons has the *Earth*? How many has *Jupiter*? *Saturn*? *Uranus*?

A csillagászat története 2.

2015. április 10.

# A Naprendszer 1800 körül



- a bolygó pályák (7) közel kör alakúak és közel egy síkban vannak
- a Nap egyenlítője is közel ebben a síkban van
- a Nap forgása és a bolygók keringése egy irányba történik, a szögsebesség kifelé csökken
- a belső bolygók kicsik és közetszerűek, a külsők nagyok és ritkák (gázszerűek)
- holdak (12: 1 F, 4 J, 5 Sz, 2 U), üstökösök, meteorok, stb.

# Az új század hajnala: Gauss



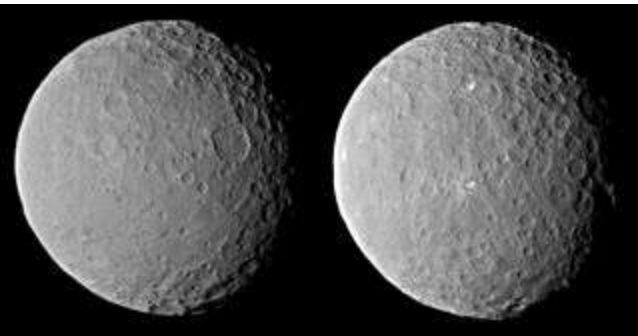
Carl Friedrich Gauss (1777-1855, Göttingen):

számítási forradalom két szinten:

- a legkisebb négyzetek módszere
  - a sok lehetséges, gyakran ismeretlen észlelési hiba hatásainak minimalizálására
  - nem az eredmények átlagát (számtani közép) kell venni, hanem figyelembe kell venni az adatok konzisztenciáját → nem minden adat ugyanannyira számít
  - az eltérések négyzetösszegét minimalizálja
  - (Arien Marie Legendre tőle függetlenül 1806-ban szintén kitalálta → név)
- pályaszámítás: *Theoria Motus* (1809) – 3 észlelt pozíció alapján:  
ha 3 észlelés 6 adatot határoz meg (deklinációk, rektaszcenziók), akkor 6 egyenletet fel lehet írni → ebből elvileg a 6 pályaelem (lásd: múlt óra) meghatározható  
(eddig hosszabb észlelési történet kellett → hatékonyá válik a pályaszámítás)

# A Gauss-módszer sikere

- 1801. jan. 1 (az évszázad első napja): Giuseppe Piazzi felfedezi a *Ceres*-t
  - egymást követő éjszakákon világos elmozdulást mutat → követi
  - 40 nap után eltűnik a Nap fényében → hol fog újra megjelenni?
  - a szokásos módszerekkel a pályája még nem lenne meghatározható
  - Gauss: pályaszámításai módszer + legkisebb négyzetek
  - majdnem egy évvel később majdnem pont ott jelenik meg, ahol jósolja
- Új korszak hajlana:
  - sokkal hatékonyabbá válnak a pályaszámítások: kevés adat alapján is
  - bolygópálya → új bolygó?
  - a következő években még 3 hasonló → új fogalom: *kisbolygó* (lásd később)



A gabonavetés és az anyai szeretet római istennője





# A Naprendszer eredete

- Uralkodó elképzelés: Kant-Laplace-féle ködelmélet → anyagörvényből kondenzálódott:
  - lassan forgó köd felpörög és felhevül, a közepén kialakul a Nap (Helmholtz: ez a kontrakció adja a Nap energiáját)
  - a közepe gyűrűket vet le magáról, ezekből kondenzálódnak a bolygók
  - azok is gyűrűket vetnek le magukról → holdak (Sz-gyűrűk: túl közel, így nem állt össze)
  - probléma: nincs elég imp.mom. ahhoz, hogy a ledobódások működjenek (Babinet, 1861)



- **Katasztrófa-elméletek:**

- a Nap ferdén ütközött egy csillaggal, ez dobta ki a bolygókat (Richard Proctor, 1870)

- ↔ és mi a helyzet a bolygók holdrendszereivel? azok is ütközések eredményei?

- a Nap közelében elhúzott egy csillag, és árapályerők tépték ki a bolygók anyagát (W.F. Sedgwick, 1898; vagy James Jeans, 1901)

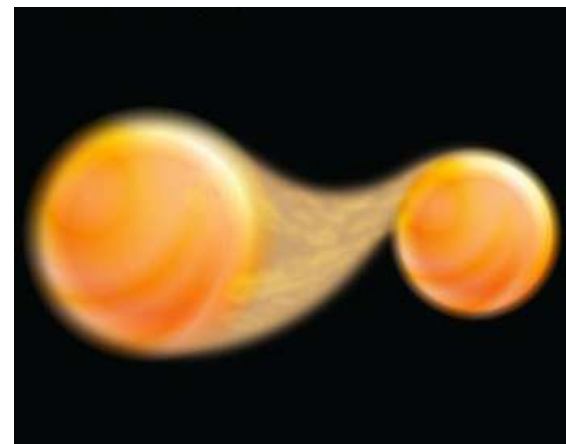
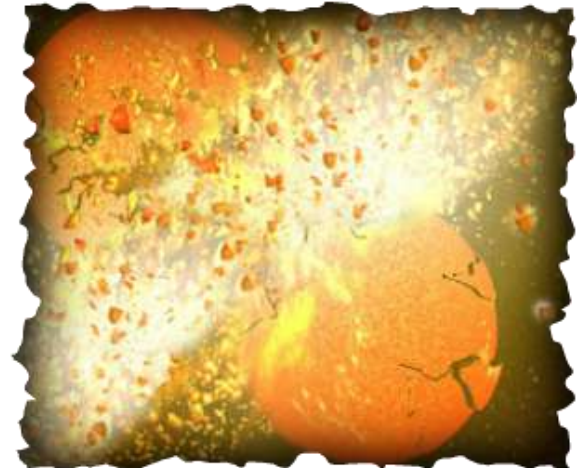
- a hosszú anyagcsóva több külön felhővé esett szét: a kicsik szétoszlottak, a nagyok összeálltak

- eleinte elnyúlt pályák → a Nap árapályhatása kisebb felhőket tép ki belőlük → holdak

- kisebb belső bolygók gyorsabban hűltek → ott kevesebb hold szakadt ki

- a maradék anyag fékezése miatt kb. körpályák

- ugyanez, csak a közeli csillag nagy protuberanciákat tépett le a Napról (Thomas Chamberlin, Forest Moulton, 1905)

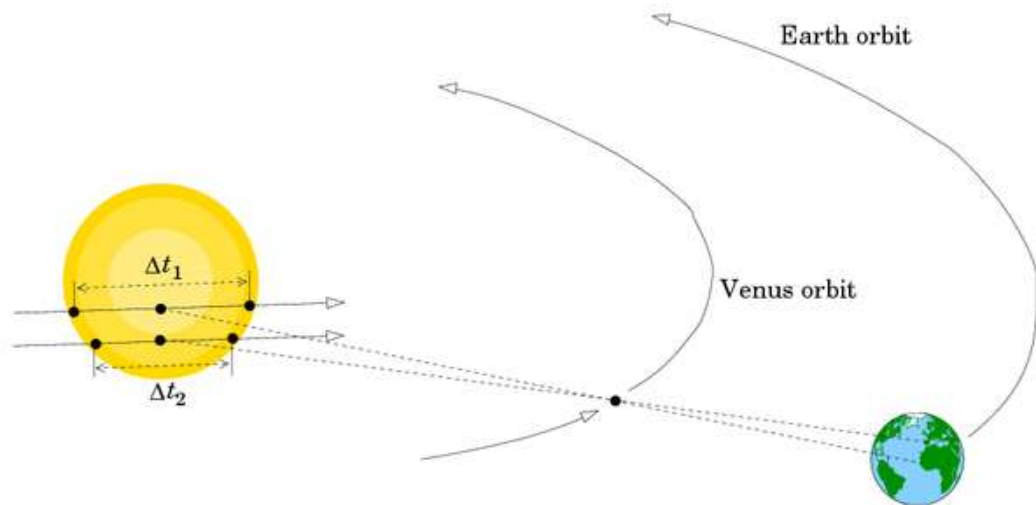


- 20. sz. közepe: vissza a ködelmélethez
  - Carl Friedrich von Weizsäcker, 1938: a kezdeti örvényben kisebb örvények  
→ ezekből a bolygók
    - kémiai összetételek alapján történő érvelés
    - magyarázza a bolygók Naptól mért távolságainak növekedését kifelé haladva
  - Gerard Kuiper, 1949: az örvények nem elég stabilak ehhez, mert túl kicsik  
→ eredetileg 100x ekkorák voltak, de csak az anyag 1%-a kondenzálódott, a többi elveszett a Naprendszerben  
→ Kuiper-öv: a Naprendszer peremvidékén rengeteg anyag üstökösökben
  - végül az akkréciós elmélet egyre pontosabb, jól magyarázza a részleteket (pl. Viktor Szafronov, 60-as évek) → kiszorítja a katasztrófaelméletet
- Megjegyzés:
  - a katasztrófaelméletek szerint a bolygórendszerek *ritkák* a világegyetemben
  - a ködelméletek szerint teljesen általános jelenség: keletkezési folyamat része (→ lásd ma: exobolygók sokasága...)

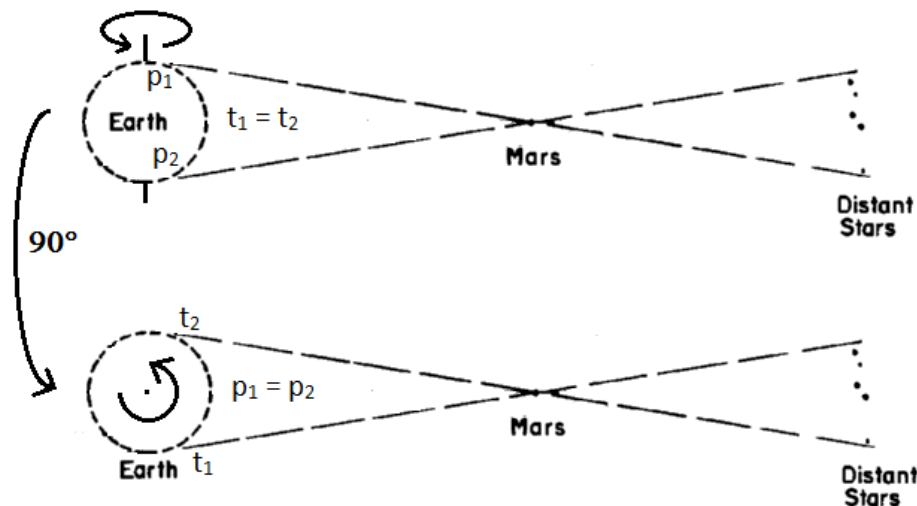
# A Naprendszer méretei

A relatív távolságok pontosan mérhetők (egyszerű geometria), de kell egy abszolút adat  $\rightarrow$  a Nap-Föld távolság ( $\rightarrow$  ez alapján: AU, csillagászai egység)

- 1872, 1882: Vénusz-átvonulások esetén a parallaxis de ekkor már fotográfia  $\rightarrow$  pontosabb pozíció-mérések

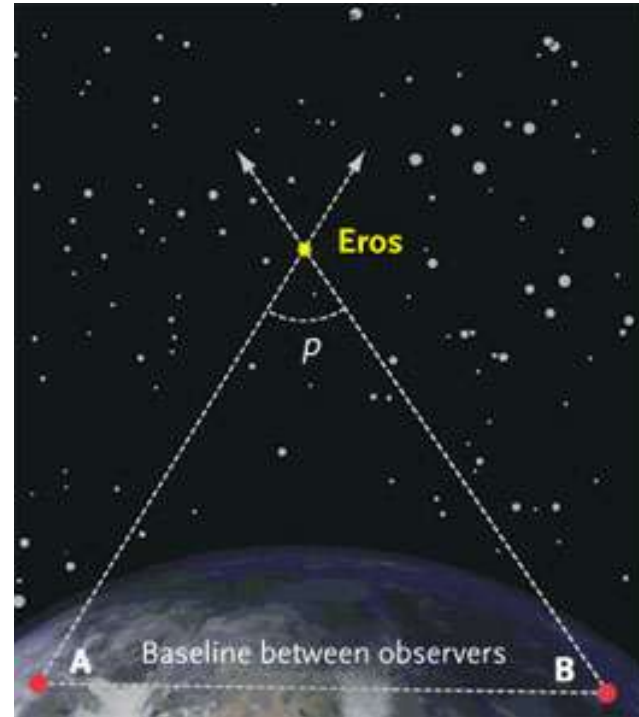
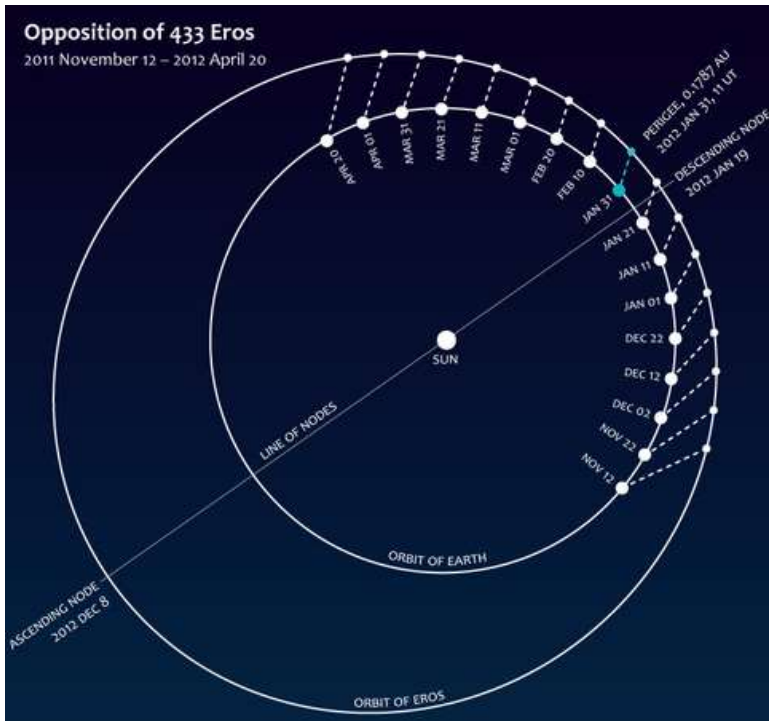


- Mars-oppozíció mérése
  - régebben: 2, szélességben távolabbi helyről, egy időben
  - Sir George Biddell Airy, 1857: elég egy helyről, néhány óra különbséggel: a Föld forgása jól ismert  $\rightarrow$  elmozdulás számítható (+ ugyanaz a műszer  $\rightarrow$  kis hiba)





- 1872, Johann Gottfried Galle: ugyanez kisbolygókra  
 → ugyan távolabb vannak, tehát kisebb a parallaxis, de pontszerűek, így pontosabb a pozíció mérése
  - 1898: Eros kisbolygó → „földsúroló”: sokkal közelebb jön, mint a többi  
 → sokkal jobban mérhető a parallaxisa (1901, 1941...)  
 (nyilván a Föld és az égitest elmozdulását is figyelembe kell venni, de azok aránya pontosan meghatározható)



- Laplace: a különböző perturbációk mértékéből számolható
  - pl. Hold: annak a távolsága jól mérhető parallaxissal → ha a Nap/Hold távolságok aránya jól számítható, akkor kijön a Nap távolsága
    - ún. parallaktikus egyenlőtlenségből (Hold): Hansen, 1854
    - holdegyenletből: a Hold elmozgatja a Földet, ami látszik a Nap pozíciójában (havi periódussal): Leverrier (1858)
  - szomszédos bolygók: Mars, Vénusz: néhány perturbáció a Nap/Föld tömegaránytól + a távolságoktól (négyzete! nem elég tudni a geo-i arányt) függ
    - Leverrier (1872) → ez a módszer hosszú távon egyre pontosabb, mert a kérdéses perturbációk szekulárisak
- aberráció: ha a fénysebesség függetlenül meghatározható, akkor az aberráció mértékéből számítható a földpálya nagysága
  - Fizeau, 1849 → Cornu (1874-76), Michelson (1879), Newcomb (1880)
- 20. sz.: radarhullám-visszaverődések, telemetrikus módszerek, stb.

*Distance.*

140 A.D.	4,500,000 miles	Ptolemy
1620	More than 13,500,000 „	Kepler
1660	20,000,000 „	Hevelius
1700	86,000,000 „	Cassini
1700	81,700,000 „	Flamsteed
1760	81,700,000 „	Lacaille
1820	95,200,000 „	Delambre
1835	95,400,000 „	Encke
1860	91,600,000 „	Hansen, Le Verrier
1900	92,900,000 „	International Agreement

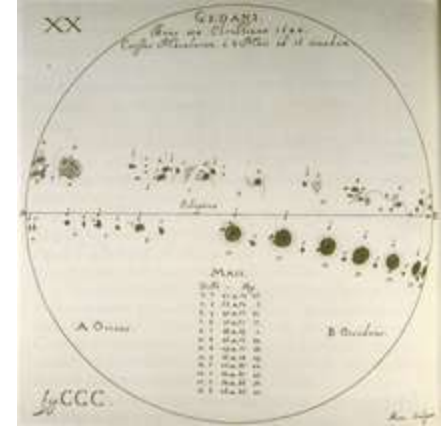
Date	Method	A/Gm	Uncertainty
1895	aberration	149.25	0.12
1941	parallax	149.674	0.016
1964	radar	149.5981	0.001
1976	telemetry	149.597 870	0.000 001
2009	telemetry	149.597 870 700	0.000 000 003

	Solar parallax
Archimedes in <i>Sandreckoner</i> (3rd century BC)	40"
Aristarchus in <i>On Sizes</i> (3rd century BC)	
Hipparchus (2nd century BC)	7'
Posidonius (1st century BC)	
Ptolemy (2nd century)	2' 50"
Godefroy Wendelin (1635)	15"
Jeremiah Horrocks (1639)	15"
Christiaan Huygens (1659)	8.6"
Cassini & Richer (1672)	9½"
Jérôme Lalande (1771)	8.6"
Simon Newcomb (1895)	8.80"
Arthur Hinks (1909)	8.807"
H. Spencer Jones (1941)	8.790"
modern	8.794 143"

A mérések javulása évszámok és módszerek szerint

# A Nap

- napfogyatkozások: naplégkör
  - korona: bár Plutarkhosz és Kepler is utal rá, de az 1842-es napfogyi után kezdik komolyan kutatni (+ protuberancia)
  - ezeket korábban is látták, de vagy a Naphoz, vagy a Holdhoz kötötték
  - ekkor még egy ideig a Herschel-féle „szilárd mag” elmélet az uralkodó
- napfoltok: Heinrich Schwabe, 1843/51: a Merkúron belüli bolygót keresi
  - 25 év napi szintű észlelései: 10 éves periódusú változásokat állapít meg
    - Rudolf Wolf visszakeresik történeti feljegyzésekben
      - működik, de nem egyenletes sem a periódus, sem az intenzitás
      - az átlag inkább 11,1 év
    - 1852, többen: korreláció a földi mágnesesség zavarainak periódusával
- differenciális rotáció mértéke: Richard Christopher Carrington, 1859
  - ez gáznemű anyagra utal (Angelo Secchi)
  - a foltok megjelenési helye a periódus mentén változik (Gustav Spörer)
- 1861, James Hall Naysmith: a felszín granuláris szerkezete
- lásd a továbbiakat: spektroszkópia, asztrofizika...





# A Hold



## 1) Mozgása

- az égi mechanika tovább fejlődik: egyre pontosabb táblázatok
  - Peter Andreas Hansen, 1857: 2"-en belül
  - Ernest William Brown, 1919: még pontosabbak
  - Wallace John Eckert, 1940: számítások elektronikus számítógépekkel
- új holdelmélet: Charles Delaunay, 1866:  
a középmozgás szekuláris gyorsulása: még Laplace is téved kb. 5"-et  
→ az árapály miatti földforgás-lassulás következménye: mivel az időegységeink lassan nyúlnak (kb. 100 ezer évenként 1 sec), ezért minden (állandó) mozgás lassan gyorsulni látszik emiatt

(Megjegyzés: a súrlódási effektusokat kezdik figyelembe venni a hosszú távú stabilitás-vizsgálatoknál (→ Laplace-szal szemben nem úgy tekintik a világot, mint egy örökké egyformán járó mechanikus órát))

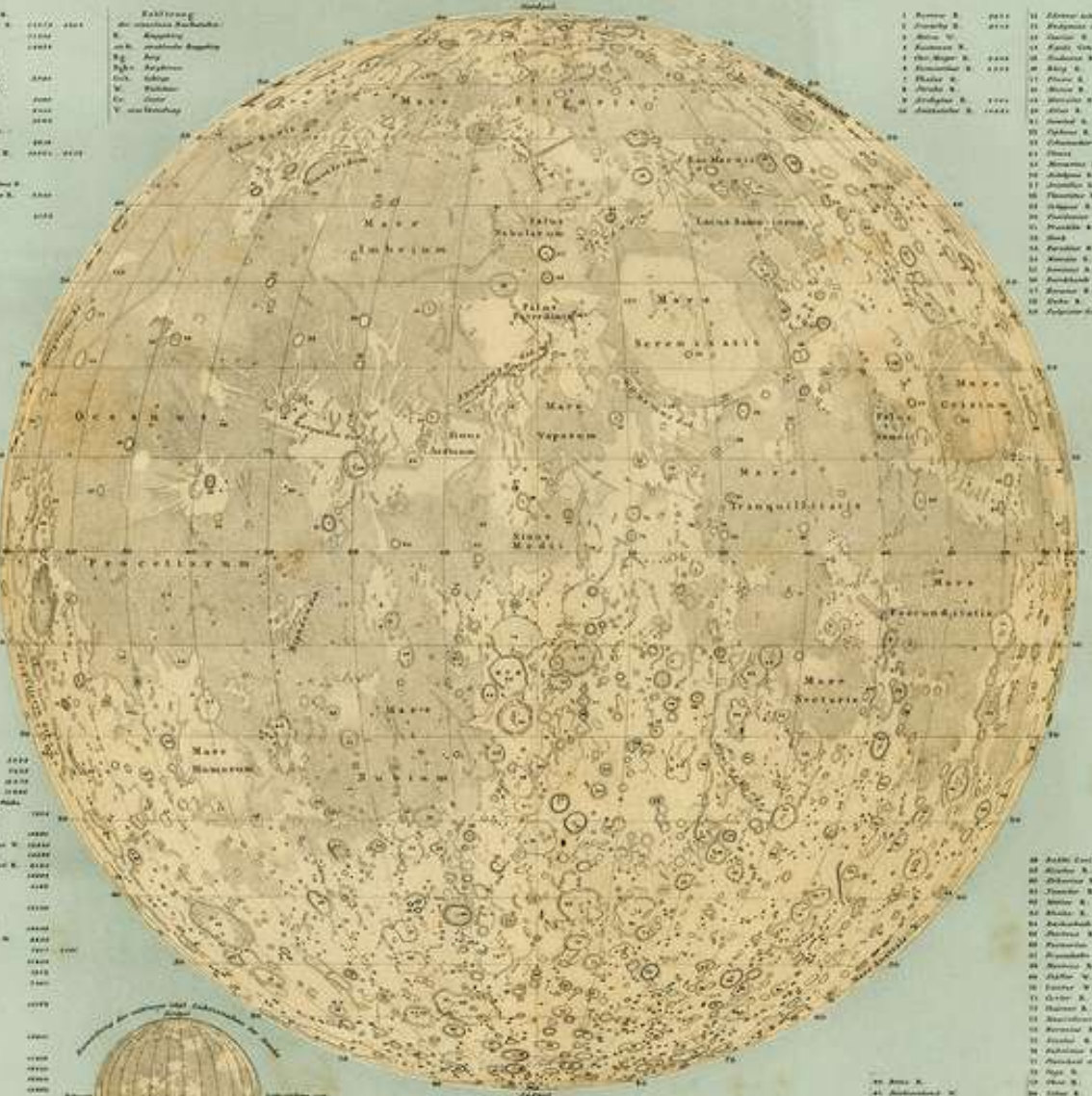
## 2) Felszíne

- Johann Hieronymus Schröter: 1785 és 1813 között rengeteget észleli + többen mások (főleg német amatőrök): sok felszíni alakzat felmérése
- Wilhelm Beer, Johann Heinrich von Mädler
  - 1834-36: *Mappa Selenographica* → sokáig a legpontosabb térképek (919 alakzat helyzete, 1095 hegy magassága, stb.)
  - 1837: *Der Mond*: elmélet: a Hold nem változik, nincs rajta víz, légkör
- első fotó: William Cranch Bond (USA), 1850 (egyik első asztrofotós: 2-300 dagerrotípiá + amerikai csillagászat egyik úttörője)
- 1878, Julius Schmidt (Athén): 30 évnyi észlelés alapján több mint 3000 rajz, kb. 33 000 kráter + egy új kráter megjelenését is leírja  
→ vannak változások ↔ ezt a szakemberek többsége nem fogadja el: inkább változatlanoknak gondolják
- 1903, William Pickering: növényzetet, hótakarót és folyóágyakat lát  
→ van primitív élet, ami a 14 napos nappal alatt befejezi a ciklust (1969, holdraszállás: az asztronautákat utána kicsit karanténba zárják a lehetséges mikroorganizmusok fertőzése miatt)

# Die sichtbare Seite der MOND-OBERFLÄCHE bei voller Beleuchtung. Nach Beer u. Wöhlert Karte.

1. Die hier gezeigte Seite zeigt diejenige Seite der Mond-Oberfläche, die wir von der Erde aus sehen können.

Namen u. Geburtsjahre	
1. Hippo K.	1800
2. Aristoteles K.	384 v. Chr.
3. Ptolemäus K.	127 v. Chr.
4. Claudius Ptolemäus K.	100 n. Chr.
5. Johann Hevelius W.	1687
6. Giovanni Cassini K.	1676
7. Giovanni Domenico Cassini K.	1676
8. Johann Baptist Mair K.	1754
9. Johann Hieronymus Schröter K.	1770
10. Wilhelm Beer K.	1803
11. Johann Gottfried Galle K.	1791
12. Heinrich Olbers K.	1758
13. Johann Valentin Schlegel K.	1783
14. Johann Baptist Schlegel K.	1783
15. Johann Baptist Schlegel K.	1783
16. Johann Baptist Schlegel K.	1783
17. Johann Baptist Schlegel K.	1783
18. Johann Baptist Schlegel K.	1783
19. Johann Baptist Schlegel K.	1783
20. Johann Baptist Schlegel K.	1783
21. Johann Baptist Schlegel K.	1783
22. Johann Baptist Schlegel K.	1783
23. Johann Baptist Schlegel K.	1783
24. Johann Baptist Schlegel K.	1783
25. Johann Baptist Schlegel K.	1783
26. Johann Baptist Schlegel K.	1783
27. Johann Baptist Schlegel K.	1783
28. Johann Baptist Schlegel K.	1783
29. Johann Baptist Schlegel K.	1783
30. Johann Baptist Schlegel K.	1783
31. Johann Baptist Schlegel K.	1783
32. Johann Baptist Schlegel K.	1783
33. Johann Baptist Schlegel K.	1783
34. Johann Baptist Schlegel K.	1783
35. Johann Baptist Schlegel K.	1783
36. Johann Baptist Schlegel K.	1783
37. Johann Baptist Schlegel K.	1783
38. Johann Baptist Schlegel K.	1783
39. Johann Baptist Schlegel K.	1783
40. Johann Baptist Schlegel K.	1783
41. Johann Baptist Schlegel K.	1783
42. Johann Baptist Schlegel K.	1783
43. Johann Baptist Schlegel K.	1783
44. Johann Baptist Schlegel K.	1783
45. Johann Baptist Schlegel K.	1783
46. Johann Baptist Schlegel K.	1783
47. Johann Baptist Schlegel K.	1783
48. Johann Baptist Schlegel K.	1783
49. Johann Baptist Schlegel K.	1783
50. Johann Baptist Schlegel K.	1783
51. Johann Baptist Schlegel K.	1783
52. Johann Baptist Schlegel K.	1783
53. Johann Baptist Schlegel K.	1783
54. Johann Baptist Schlegel K.	1783
55. Johann Baptist Schlegel K.	1783
56. Johann Baptist Schlegel K.	1783
57. Johann Baptist Schlegel K.	1783
58. Johann Baptist Schlegel K.	1783
59. Johann Baptist Schlegel K.	1783
60. Johann Baptist Schlegel K.	1783
61. Johann Baptist Schlegel K.	1783
62. Johann Baptist Schlegel K.	1783
63. Johann Baptist Schlegel K.	1783
64. Johann Baptist Schlegel K.	1783
65. Johann Baptist Schlegel K.	1783
66. Johann Baptist Schlegel K.	1783
67. Johann Baptist Schlegel K.	1783
68. Johann Baptist Schlegel K.	1783
69. Johann Baptist Schlegel K.	1783
70. Johann Baptist Schlegel K.	1783
71. Johann Baptist Schlegel K.	1783
72. Johann Baptist Schlegel K.	1783
73. Johann Baptist Schlegel K.	1783
74. Johann Baptist Schlegel K.	1783
75. Johann Baptist Schlegel K.	1783
76. Johann Baptist Schlegel K.	1783
77. Johann Baptist Schlegel K.	1783
78. Johann Baptist Schlegel K.	1783
79. Johann Baptist Schlegel K.	1783
80. Johann Baptist Schlegel K.	1783
81. Johann Baptist Schlegel K.	1783
82. Johann Baptist Schlegel K.	1783
83. Johann Baptist Schlegel K.	1783
84. Johann Baptist Schlegel K.	1783
85. Johann Baptist Schlegel K.	1783
86. Johann Baptist Schlegel K.	1783
87. Johann Baptist Schlegel K.	1783
88. Johann Baptist Schlegel K.	1783
89. Johann Baptist Schlegel K.	1783
90. Johann Baptist Schlegel K.	1783
91. Johann Baptist Schlegel K.	1783
92. Johann Baptist Schlegel K.	1783
93. Johann Baptist Schlegel K.	1783
94. Johann Baptist Schlegel K.	1783
95. Johann Baptist Schlegel K.	1783
96. Johann Baptist Schlegel K.	1783
97. Johann Baptist Schlegel K.	1783
98. Johann Baptist Schlegel K.	1783
99. Johann Baptist Schlegel K.	1783
100. Johann Baptist Schlegel K.	1783



Namen u. Geburtsjahre	
101. Johann Baptist Schlegel K.	1783
102. Johann Baptist Schlegel K.	1783
103. Johann Baptist Schlegel K.	1783
104. Johann Baptist Schlegel K.	1783
105. Johann Baptist Schlegel K.	1783
106. Johann Baptist Schlegel K.	1783
107. Johann Baptist Schlegel K.	1783
108. Johann Baptist Schlegel K.	1783
109. Johann Baptist Schlegel K.	1783
110. Johann Baptist Schlegel K.	1783
111. Johann Baptist Schlegel K.	1783
112. Johann Baptist Schlegel K.	1783
113. Johann Baptist Schlegel K.	1783
114. Johann Baptist Schlegel K.	1783
115. Johann Baptist Schlegel K.	1783
116. Johann Baptist Schlegel K.	1783
117. Johann Baptist Schlegel K.	1783
118. Johann Baptist Schlegel K.	1783
119. Johann Baptist Schlegel K.	1783
120. Johann Baptist Schlegel K.	1783
121. Johann Baptist Schlegel K.	1783
122. Johann Baptist Schlegel K.	1783
123. Johann Baptist Schlegel K.	1783
124. Johann Baptist Schlegel K.	1783
125. Johann Baptist Schlegel K.	1783
126. Johann Baptist Schlegel K.	1783
127. Johann Baptist Schlegel K.	1783
128. Johann Baptist Schlegel K.	1783
129. Johann Baptist Schlegel K.	1783
130. Johann Baptist Schlegel K.	1783
131. Johann Baptist Schlegel K.	1783
132. Johann Baptist Schlegel K.	1783
133. Johann Baptist Schlegel K.	1783
134. Johann Baptist Schlegel K.	1783
135. Johann Baptist Schlegel K.	1783
136. Johann Baptist Schlegel K.	1783
137. Johann Baptist Schlegel K.	1783
138. Johann Baptist Schlegel K.	1783
139. Johann Baptist Schlegel K.	1783
140. Johann Baptist Schlegel K.	1783
141. Johann Baptist Schlegel K.	1783
142. Johann Baptist Schlegel K.	1783
143. Johann Baptist Schlegel K.	1783
144. Johann Baptist Schlegel K.	1783
145. Johann Baptist Schlegel K.	1783
146. Johann Baptist Schlegel K.	1783
147. Johann Baptist Schlegel K.	1783
148. Johann Baptist Schlegel K.	1783
149. Johann Baptist Schlegel K.	1783
150. Johann Baptist Schlegel K.	1783

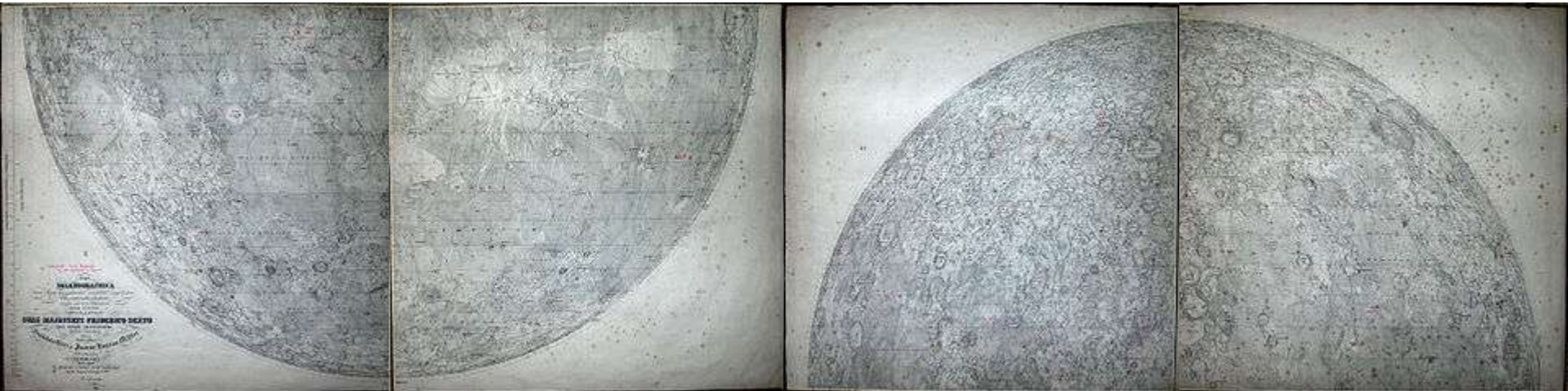


Anmerk. Die hier gezeigte Seite der Mond-Oberfläche ist diejenige Seite, die wir von der Erde aus sehen können. Die hier gezeigte Seite ist diejenige Seite, die wir von der Erde aus sehen können.

Beer és Mádler térképe a Holdról



- a formák eredete: 20. sz. első fele: a kráterek vulkanizmus-elméletét fokozatos felváltja a becsapódás-elmélet
  - probléma: a kráterek kör alakúak, pedig a becsapódásoknak szögben kellene esnie
    - javaslat: a Földről függőlegesen érkező testek ütötték őket
    - 2. v.h.: világos, hogy a becsapódási kráterek akkor is tudnak kör alakúak lenni, ha nem merőleges a becsapódás → elfogadják az elméletet
- 1920-as évek: érkező sugárzás fizikai tulajdonságai (spektrum, polarizáció, stb.) → hőmérséklet (+100 és -150 °C között), anyag (vulkáni hamu), kémiai összetevők...
- 1950-es évektől űrszondák, majd 1969-től holdraszállások



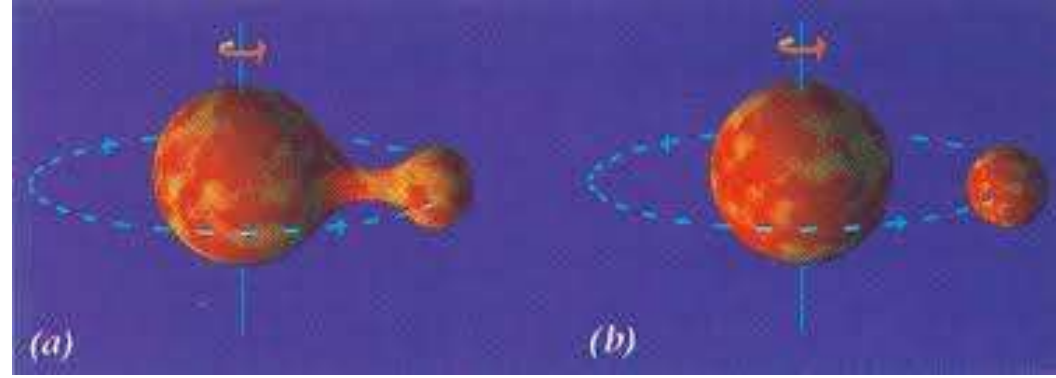


### 3) Eredete

- George Darwin (Charles fia), 1879-81: vetítsük vissza a mozgását: régen 3-5 óra

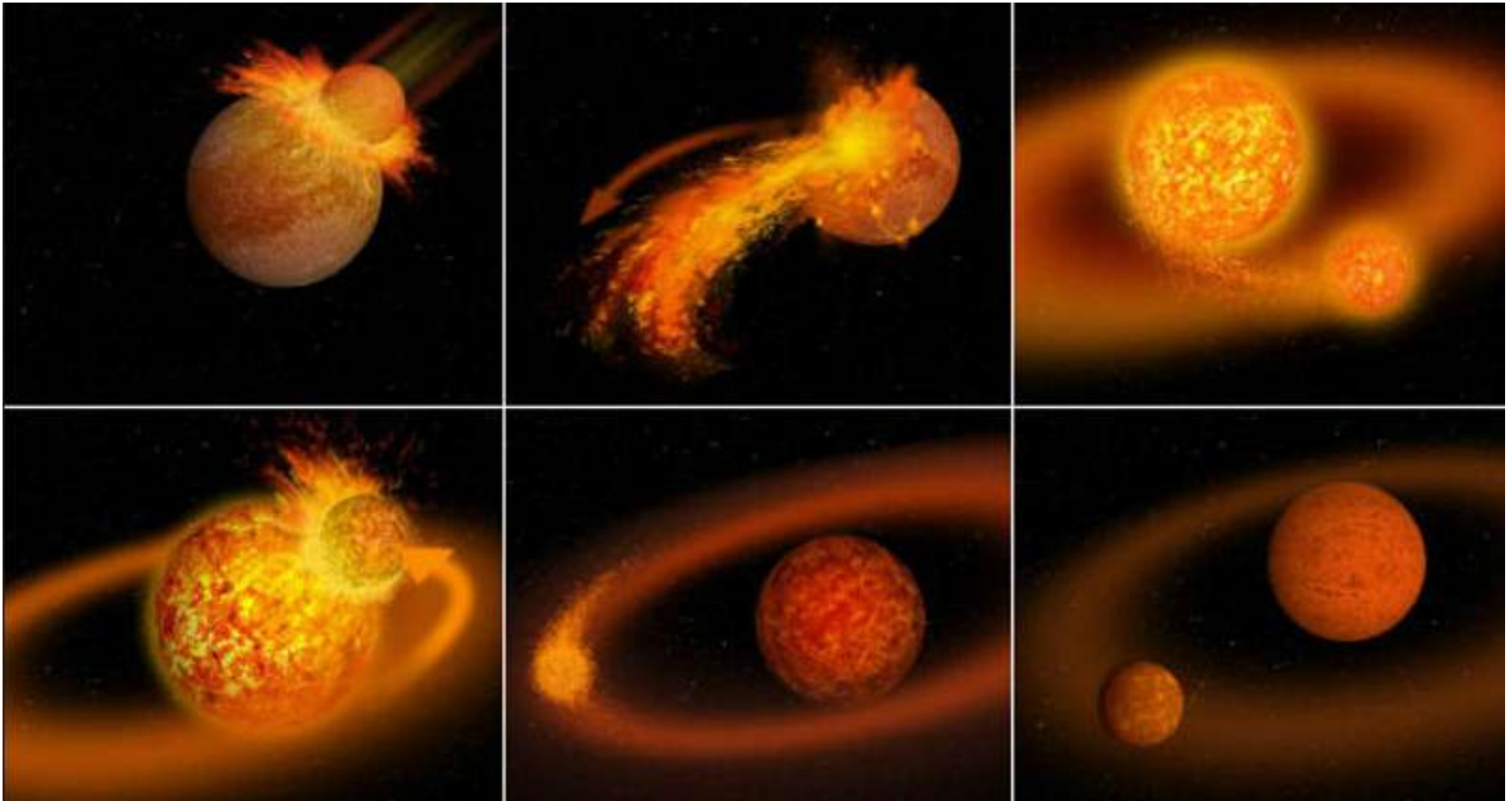
lehetett a keringési periódus (tehát nagyon közel volt), és feltehetőleg a Föld forgása ugyanekkor lehetett → kiszakadt az olvadt Földből

- kezdeti gyors forgás: az összehúzódás miatti felpörgés miatt → ez tépte szét → Henri Poincaré: számításokkal alátámasztja, hogy egy ilyen gyorsan forgó Föld instabil lenne, és két egyenlőtlen részre szakadna
- később az árapály ezeket lelassította, így eltávolodtak egymástól
- a jövőben a forgás és keringés ismét szinkronba kerülne (1400 órás (58 nap) periódussal), ha nem zavarna be a többi égitest
- (bár ellentmond a ködelméletnek + a többi holdra nem alkalmazható, mert túl kicsik az anyabolygóhoz képest)
- 20. sz. eleje: fizikailag nem stimmel a magyarázat: a rendszer jelenlegi imp.mom.-a nem lett volna elég a szétszakításhoz, az elég nagy imp.mom. pedig kiszakította volna a Holdat a Föld vonzásából



– 20. sz. 2. fele: két versengő elképzelés:

- a Föld befogta (H. Gerstenkorn, 1955) + eredetileg a Merkúron belüli bolygó volt (Cameron és Fremlin, 1973)  
↔ ezt a visszahozott anyagának vizsgálata cáfolta (rokonság a Földével)
- egy becsapódás szakította ki az anyagát a Földből, ami összeállt (pl. William Hartmann, Donald Davis, 1975)



# A bolygók – előjáték: a Neptunusz felfedezése

- sok korábbi véletlen észlelés (pl. Galilei), de nem észlelik a mozgását
  - Uránusz (1781) → nem igazán stimmel a mozgása: halmozódik a hiba (1830: 20"; 1840: 90"; 1844: 2')
    - kell lennie egy még távolabbi bolygónak, ami perturbálja
      - John Couch Adams, 1845: pálya- és pozíciószámítás (kb. 2° pontos)
        - elküldi a királyi csillagásznak (Airy) ↔ aki nem veszi komolyan, és nem kezdi el távcsővel keresni
      - Urbain Le Verrier, 1846: függetlenül ugyanez (kb. 1° fok pontos)
        - ezt már Airy komolyan veszi, és elkezdi nagyon lassan keresni (minden, a környéken levő csillagot katalógus alapján kizár egyenként)
        - L. eközben kéri a berlinieket, hogy keressék → Johann Galle fél óra alatt meg is találja: sokkal jobb térképeik vannak + a korong is látszik
- ⇒ hatalmas siker az égi mechanikának: az ismert jelenségek magyarázata mellett új jelenségek is előrejelezhetők
- (Megjegyzés: szerencsések voltak: mindketten jóval nagyobb pályát tételeztek fel ↔ együttállás-közében ez a pozíciót nem nagyon befolyásolja)

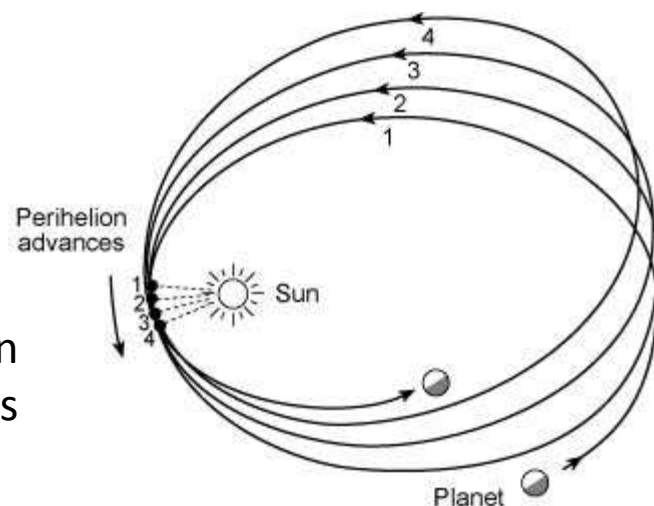
# Merkúr

- méret: az átmérő jól mérhető (tranzit), de a tömeg nehezen: szinte semmit sem perturbál, csak néha egy-egy üstököst (de: sűrűsége nagyságrendileg egyezik a Földével → kőzet)
- felszín: nehéz észlelni horizont közelében → légköri zavarok  
+ nagyon nehéz felszíni alakzatokat látni → felhők? ↔ kicsi albedó
  - Giovanni Schiaparelli, 1882: nappali észlelések (nincs túl alacsonyan)  
→ 88 napos periódus: = keringés → kötött forgás (→ többen megerősítik)
  - 1962, W.E. Howard (fotometria): az éjszakai oldal túl meleg ahhoz képest, mint ami a kötött forgásból következne
  - 1965, R. Dyce, G. Pettengill: Doppler-effektus mérése radarral: 58,65 nap  
→ majdnem pontosan hármát fordul két keringés alatt (→ két „forró pólus”: amik a Nap felé fordulnak perihélium idején (bár az egyenlítőn vannak))
    - ok: erős excentricitás → jelentős stabilizáló árapály-erők
  - 1974-75: Mariner 10 → Hold-szerű felszín + mágneses tér (→ sok vas)
  - 1991, radar: jégsapkák, stb.



- mozgása
  - Le Verrier (1859) próbálja magyarázni hasonló módon, mint a Holdat: kis bolygó a Naphoz nagyon közel  $\leftrightarrow$  egyszerűen nem fér bele a gravitáció akkori elméletének bármilyen gyakorlati pontosításába: a perihélium évszázadonként  $565''$ -et halad, de Newton alapján  $527$  kellene
  - felteszik: egy belsőbb, ismeretlen bolygó perturbálja: „Vulkán”
    - $\rightarrow$  keresik tranzit alapján (pl. Schwabe  $\leftrightarrow$  „csak” a napfoltciklust találja)
    - $\rightarrow$  keresik napfogyatkozás idején  $\leftrightarrow$  téves riasztások, de egyik sem tartós
  - Somin Newcomb: a Newton-törvényben az  $1/r^2$  helyett  $1/r^{2,0000001574}$  a helyes alak  $\leftrightarrow$  a Hold mozgásának pontos ismerete ezt cáfolja
  - 1915, Albert Einstein: az **általános relativitás elmélete** pont ezt jósolja:  $+ 43''$  évszázadonként (az ÁRE első fontos empirikus bizonyítéka) (későbbi (1959) radaros távolságmérések pontosítják a távolságot  $\rightarrow$  éppen az ÁRE által jósolt adat jön ki)

A Merkúr ún. perihélium-precessziója részben relativisztikus effektus

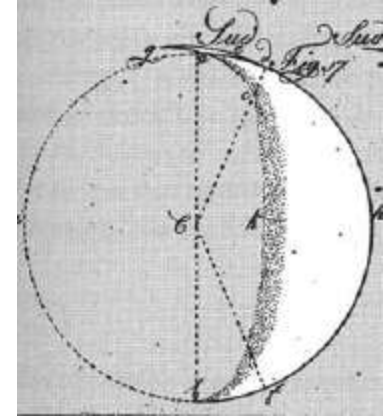


# Vénusz

- Holdak: nincs. De sokan véltek látni ilyet:

Year	Published	Observer	Place	No. of observations
1645	1646	F. Fontana	Naples	3
1646	1646	F. Fontana	Naples	1
1672	1730	J. D. Cassini	Paris	1
1686	1730	J. D. Cassini	Paris	1
1740	1744	J. Short	London	1
1759	1762/1778	A. Mayer	Greifswald	1
1761	1781	L. Lagrange	Marseille	3
1761	1761	J. Montaigne	Limoges	4
1761	1761	(anonymous)	St. Neot	1
1761	1813	F. Artzt	Gundersløvholm	1
1761	1776	A. Scheuten	Crefeld	2
1761	1882	P. Roedkiaer	Copenhagen	8
1764	1765	P. Roedkiaer	Copenhagen	2
1764	1765	C. Horrebow et al.	Copenhagen	3
1764	1766	Montbarron	Auxerre	3
1768	1882	C. Horrebow et al.	Copenhagen	1

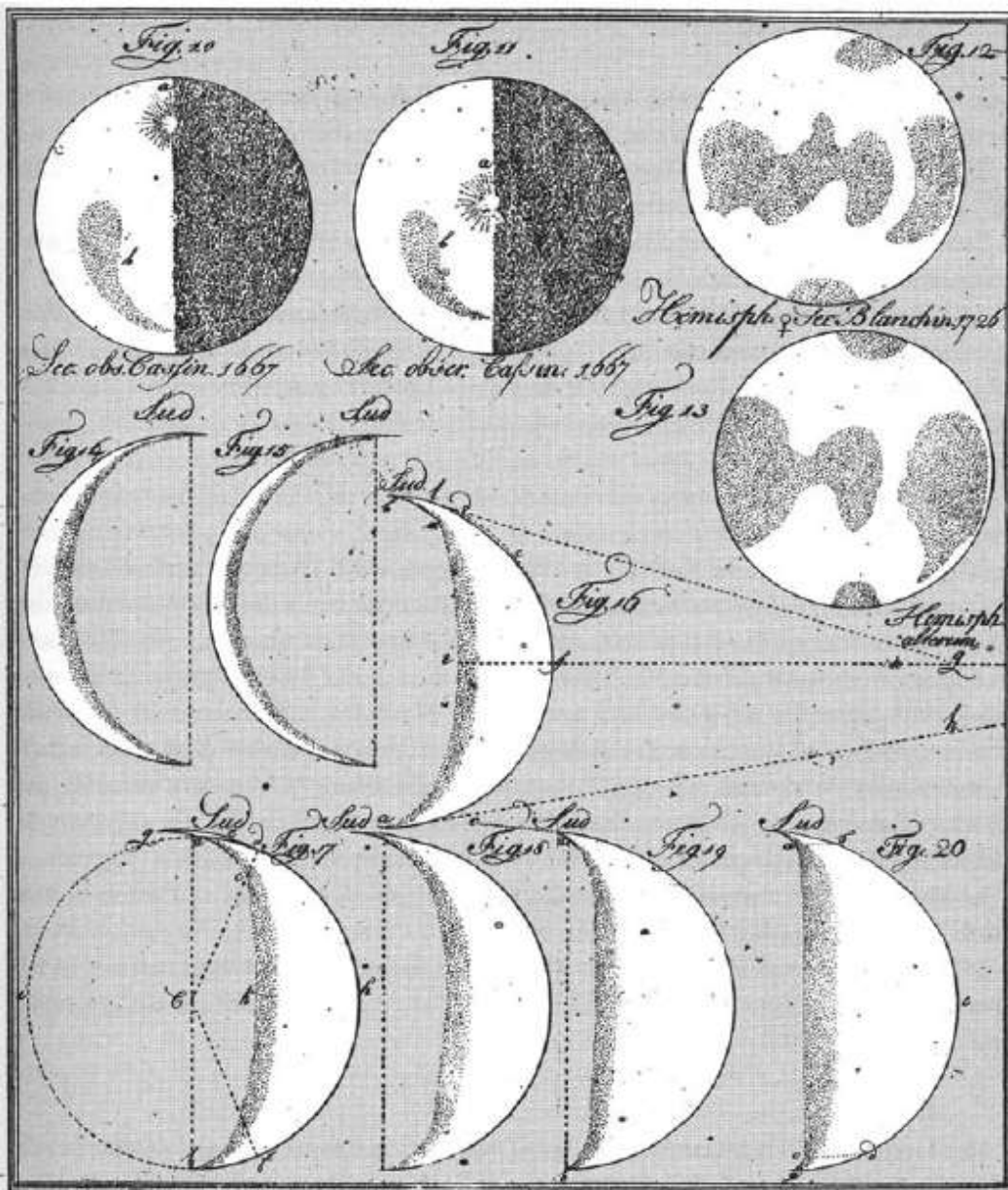
(Jó könyv erről: Helge Kragh: *The moon that wasn't*)



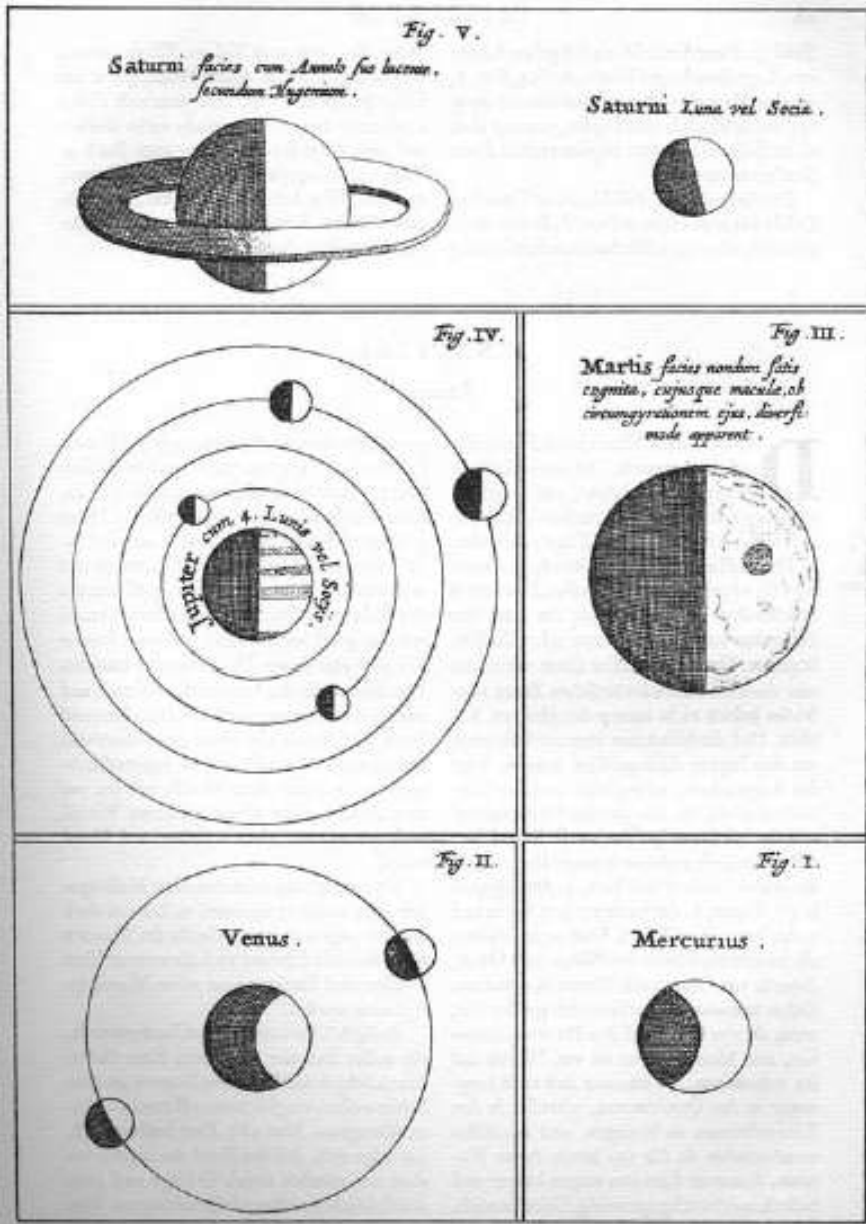
Lehetséges magyarázatok:

- optikai illúziók (távcső, szem)
- halvány csillagok benézése
- kisbolygók éppen ott
- addig ismeretlen bolygó (Uránusz, Neptunusz)
- légköri illúziók, csillanások
- napfoltok (tranzit esetén)
- stb.

- felszín: látszólag mint a Merkúr (nincs alakzat), csak nagyobb és fényesebb
  - magas albedo (>50%) → felhők takarják
  - 1761-es tranzit: Lomonoszov: atmoszféra (→ spektroszkópia: összetétel)
  - Schröter, 1788: „felszíni” alakzatok alapján a forgást 23,5 órában adja meg  
↔ Schiaparelli, 1890: ezt is nappal figyeli → 225 nap (azonos a keringéssel)  
→ sokáig uralkodó elmélet: kötött keringés
    - egybecseng a kötött keringésű holdakkal: a Merkúr és a Vénusz túl közel van a Naphoz, így a súrlódások leállították a forgást
    - ráadásul ennek a két bolygónak nincs holdja → eleve kicsi impulzusmomentum volt, így mire ledobhatott volna gyűrűt, az árapály lefékezte olvadt korában
  - 1957, Charles Boyer: UV-ben 4 naponta visszatérő felhőalakzatokat lát, retrográd irányban mozognak → ez a felhőzet forgása
  - 1962, Doppler-effektusos radarmérések: 243 nap retrográd a felszín forgása
  - 1962: Mariner 2 szonda: 700 K felszín; 1970: Venera 7: a felszíni atmoszférikus nyomás a földinek 90-szerese; stb.



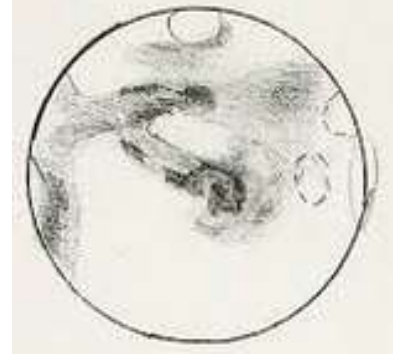
Johann Schröter által látni vélt felszíni alakzatok (1788)



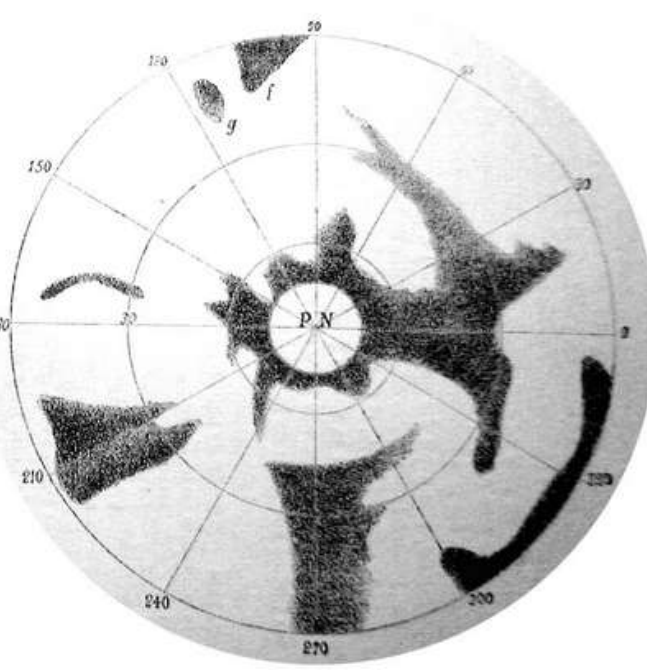
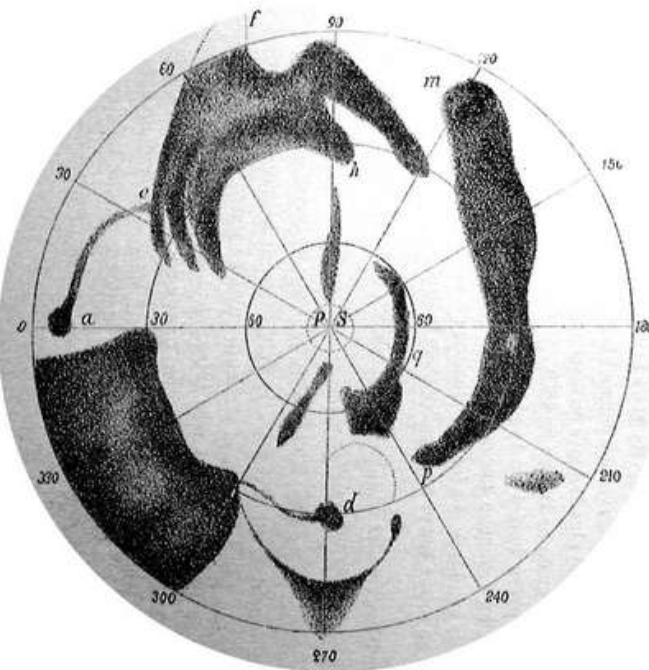
Otto von Guericke: *Experienti nova* (1672): csak a Jupiternek és a Vénusznak van holdja



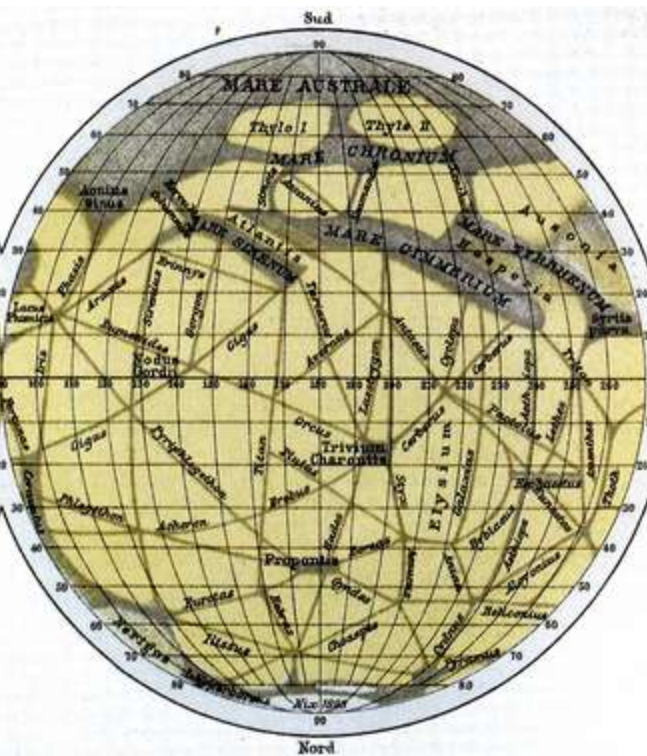
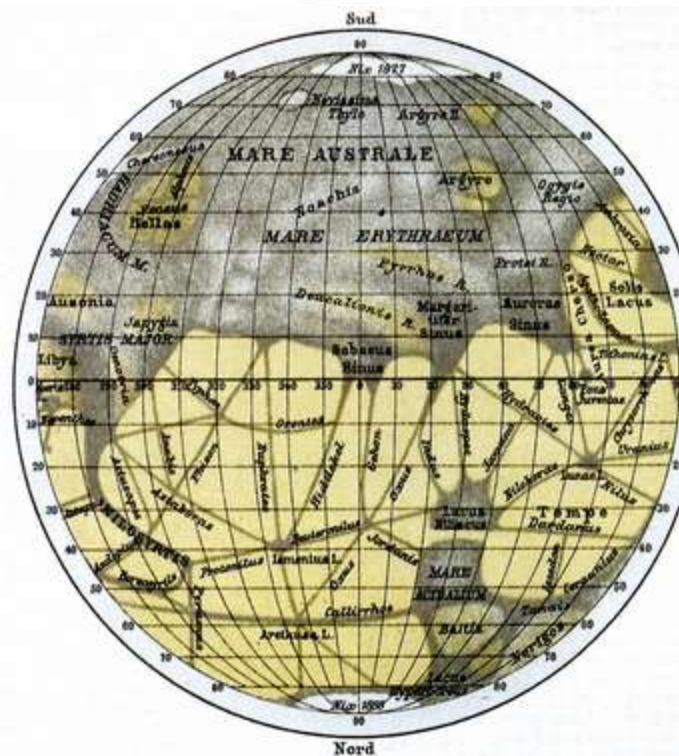
# Mars



- felszín
  - itt egyértelmű felszíni alakzatok → a forgás jól ismert
    - vöröses területek: szárazföld (növényzettel); kékes területek: tenger
    - jeges sapkák, évszakos változással
    - van atmoszféra (gyenge), de nincsenek felhők (bár többen légköri formációkat látnak (→ valószínűleg porviharok))
  - első feltérképezés: Beer és Mädler, 1840
  - 1877, Schiaparelli: csatornák → nagy vita: értelmes kéz nyoma?
  - 1894: Percival Lowell megalapítja a flagstaffi obszervatóriumot a bolygók, főleg a Mars figyelésére (Schiaparelli követője)
    - sok csatornát talál: mezőgazdasági tevékenységnek véli
    - az olvadó jégsapkák vizét vezetik szerinte
    - évszakos változásokat lát → növényzetre gyanakszik
  - sokan sokáig keresik az élet jeleit (bár a tengerek létét a polarizációs mérések kizárják) → haldokló világnak hiszik

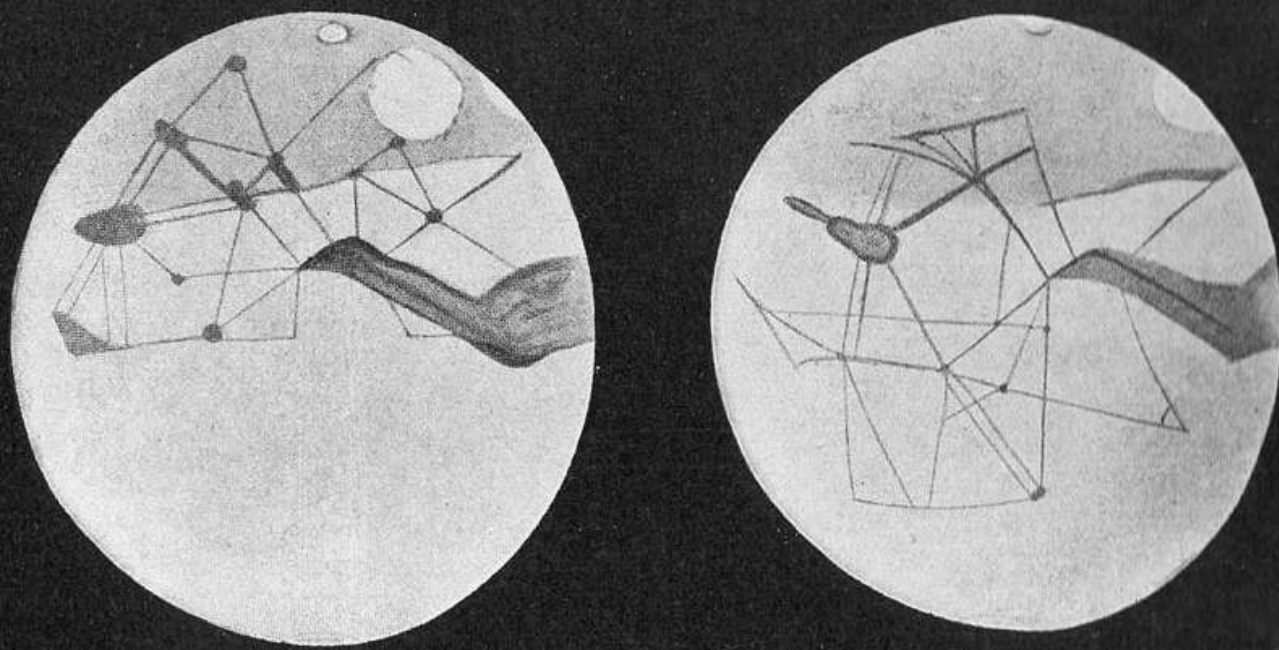


Beer és Mädler térképe (első) a felszínről (1840)

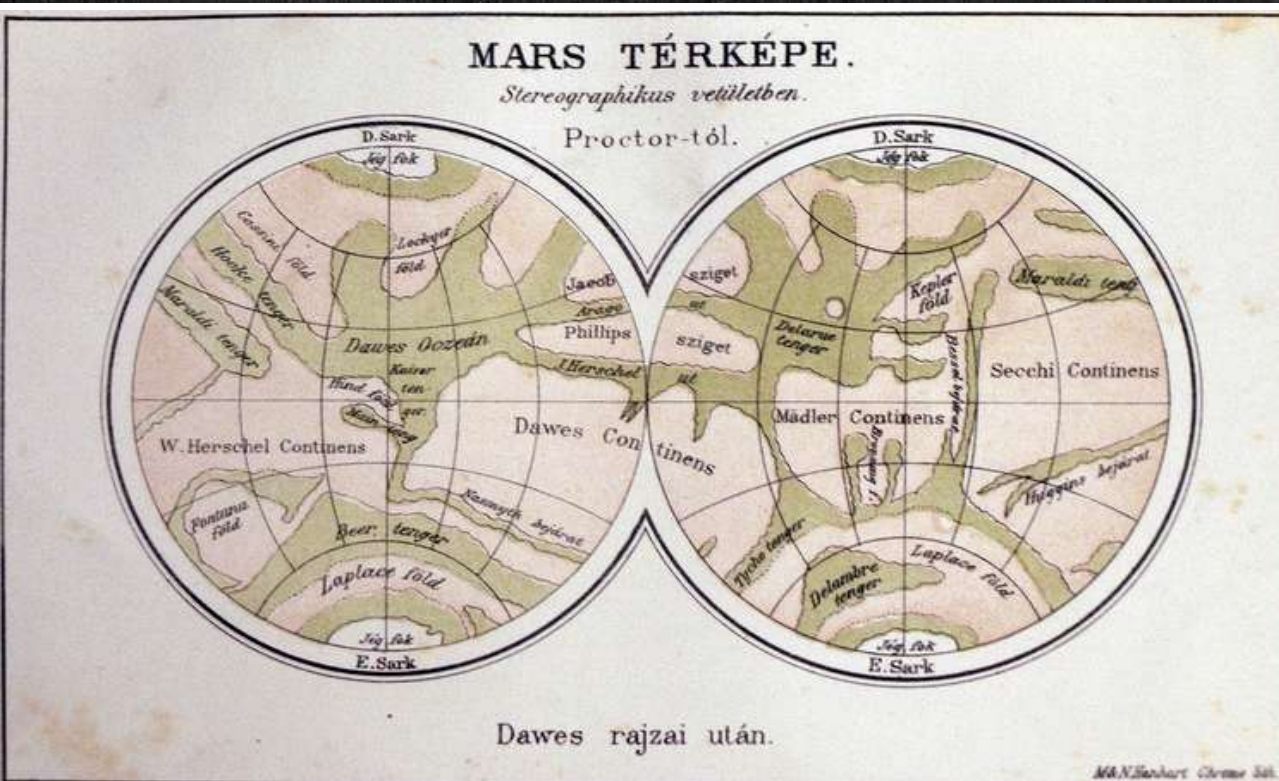


Schiaparelli rajza a csatornákról (1888)





Lowell:  
a csatornák



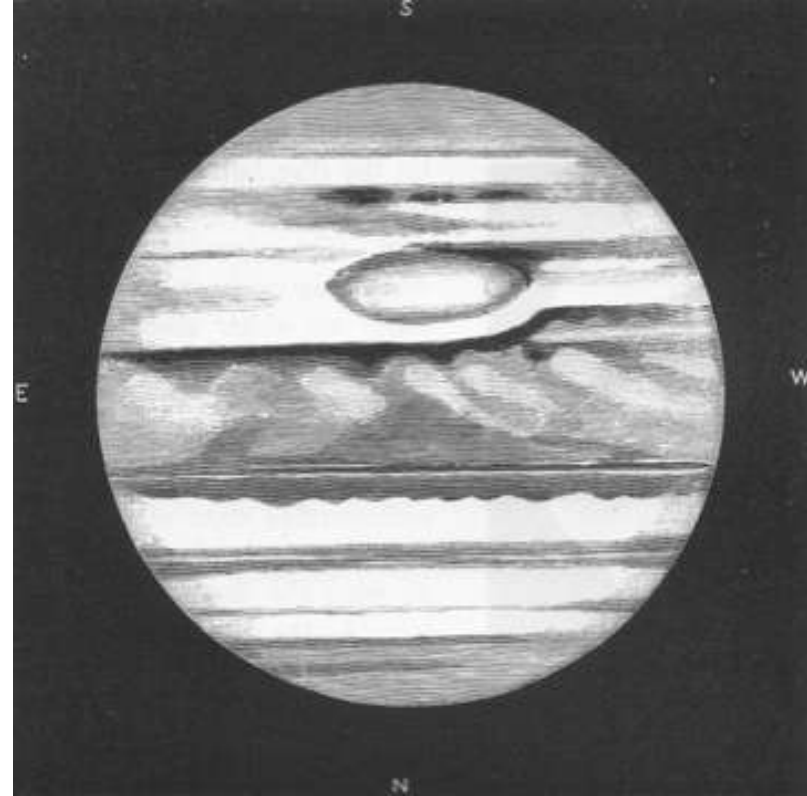
Richard A. Proctor  
számos Mars-térképének  
egyike magyar verzióban  
(1879)

- 1965: Mariner 4 (megközelít): krátereket talál + a Holdéhoz hasonló sivatagos felszínt, de növényzetet nem
    - egyesek korábban már láttak krátereket, csak nem publikálták, mások meg előrejelezték a létüket, de nem találták
  - 1971: Mariner 9 (kering): vulkánok, völgyek, csatornák
  - 1976: Viking 1,2 (leszáll)...
- holdak
    - ilyen is sokan véltek már felfedezni korábban, sosem meggyőző sikerrel
    - Asaph Hall, 1877: a két hold: Phobos és Deimos
      - rendkívül kicsik: 15-25 km (fényesség alapján)
      - nagyon közel vannak a bolygóhoz (→ a belső (P) gyorsabban kering, mint ahogy a Mars forog)



# Jupiter

- eleve tudott:
  - hatalmas (az eddigiekhez képest)  
(Föld több mint tízszerese átmérőben)
  - viszonylag ritka az anyaga
  - gyorsan forog (10 óra) → erősen lapult
  - 4 Galilei-hold
- holdak
  - 1892, Edward Emerson Barnard (USA): 5. hold (Amalthea)
    - nagyon bent: 12 órás periódus
    - az utolsó, vizuálisan felfedezett hold
  - 1920-ig 4 további fotografikusan, majd 1973-ig még 3, stb.
    - ezek jól elkülönülő csoportokat alkotnak mozgásukban és helyzetükben





- „felszín”

- Nagy Vörös Folt: Schwabe, 1831 (korábban is látták már néha)

- az 1860-as években újra rácsodálkoznak

- változik: néha erősödik, néha teljesen eltűnik
      - sokan viharnak gondolják, bár akkor hihetetlenül nagy (+ nem okozhatja a Nap hője, mert ahhoz túl távol van → a kezdeti hőjét még nem veszítette el)
      - Lowell pl. napfolt-szerűnek hiszi



- differenciális rotáció

- régóta sejtett jelenség
    - 19. sz. vége: folyékony a felszín
    - sokan azt hiszik, hogy a bolygó és csillag közti fejlődési állapotban van (még nem kondenzálódott bolygóvá)
    - 1922, radiometria: 140 K a felhők teteje → mégsem olyan forró, mint kéne
    - 1962, infravörös (repülőőről): kétszer annyi hőt sugároz, mint amennyit elnyel → mégis folyik még a kondenzáció?

(Ezen a ponton legyen elég a bolygókból...)

	1601-1650	1651-1700	1701-1750	1751-1800	1801-1850	1851-1900	1901-1950	1951-1999
Mars						Phobos (1877) Deimos (1877)		
Jupiter	Io (1610) Europa (1610) Ganymedes (1610) Callisto (1610)					Amalthea (1892)	Himalia (1904) Elara (1905) Pasiphae (1908) Sinope (1914) Lysithea (1938) Carme (1938)	Ananke (1951) Leda (1974) Themisto (1975) Metis (1979) Adrastea (1979) Thebe (1979))
Szturnusz		Titan (1655) Iapetus (1671) Rhea (1672) Tethys (1684) Dione (1684)		Mimas (1789) Enceladus (1789)	Hyperion (1848)	Phoebe (1899)		Janus (1966) Epimetheus (1977) Atlas (1980) Prometheus (1980) Pandora (1980) Telesto (1980) Calypso (1980) Helene (1980) Pan (1990)
Uránusz				Titania (1787) Oberon (1787)		Ariel (1851) Umbriel (1851)	Miranda (1948)	Puck (1985) Cordelia (1986) Ophelia (1986) ... (+ még 13)
Neptunusz					Triton (1846)		Nereid (1949)	Larissa (1981) Naiad (1989) Thalassa (1989) Despina (1989) Galatea (1989) Proteus (1989)

## A Naprendszer holdjainak felfedezése 1999-ig

Bianca (1986)  
Cressida (1986)  
Desdemona (1986)  
Juliet (1986)  
Portia (1986)  
Rosalind (1986)

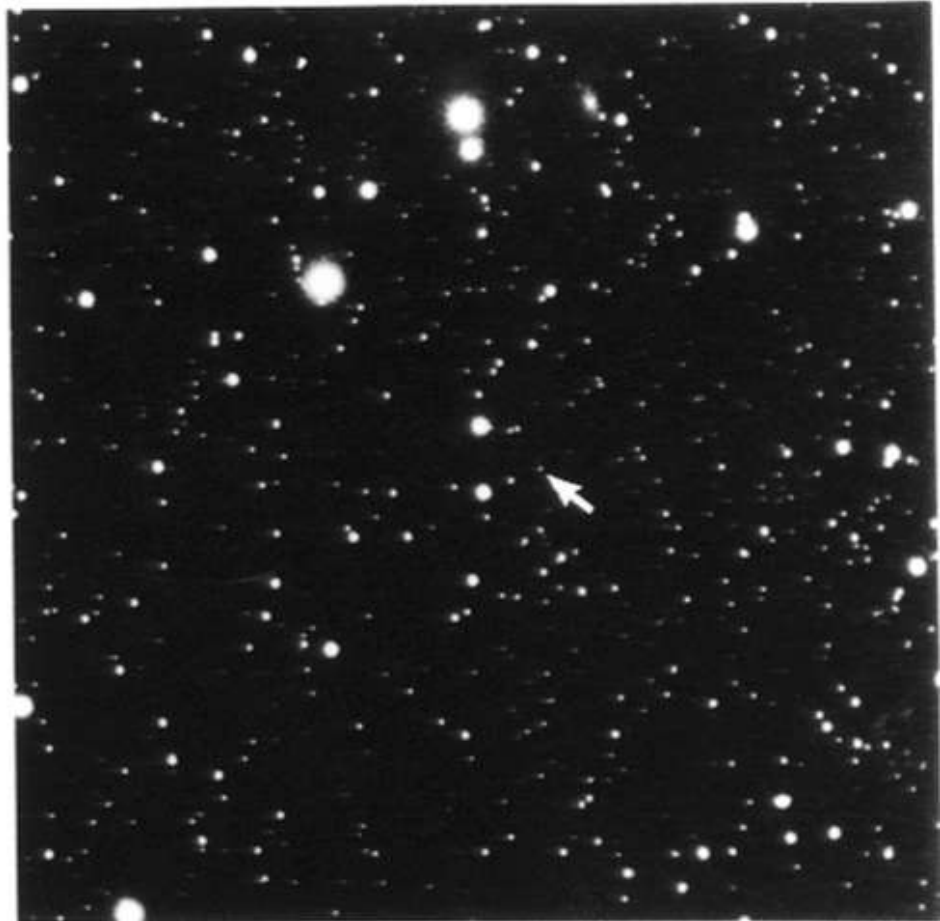
Belinda (1986)  
Caliban (1997)  
Sycorax (1997)  
Perdita (1999)  
Stephano (1999)  
Prospero (1999)  
Setebos (1999)

# Plútó

- a Neptunusz felfedezése alapján vérszemet kapnak: ugyanígy lehetne még külsőbb bolygókat → számos kísérlet, sikertelenül
- Percival Lowell, 1906: flasgtaffi obszervatórium
  - asszisztens (William Carrigan) a külső bolygók perturbációszámítására + fotografikusan elkezdi feltérképezni az ekliptika környékét
  - 1910: rájön, hogy verseny van, mert Pickering is keresi → maga számol
  - 1915: az „X bolygót”  $6,6 M_{\text{F}}$ -nek számoja és megadja a helyét  
↔ sosem találja meg; Pickering sem találta az „O bolygót”
    - P. jóslata szerint 3 ismeretlen bolygó van kifelé, pl. a „Q bolygó” ( $63 M_{\text{Jupiter}}$ )
- 1929: Abbott L. Lowell (öcs, Harvard rektora) vetet egy nagyobb nagytávcsövet
  - Clyde Tombaugh: fotografikus módszer + „pislogtatás”: azonos területről készült képek gyors váltogatása → az elmozdulás látszik
  - 1930: megtalálja az „X bolygót”: 15 magnitúdó
  - a Plútó nevet egy 11 éves lány javasolja (megkérdezik a publikumot)

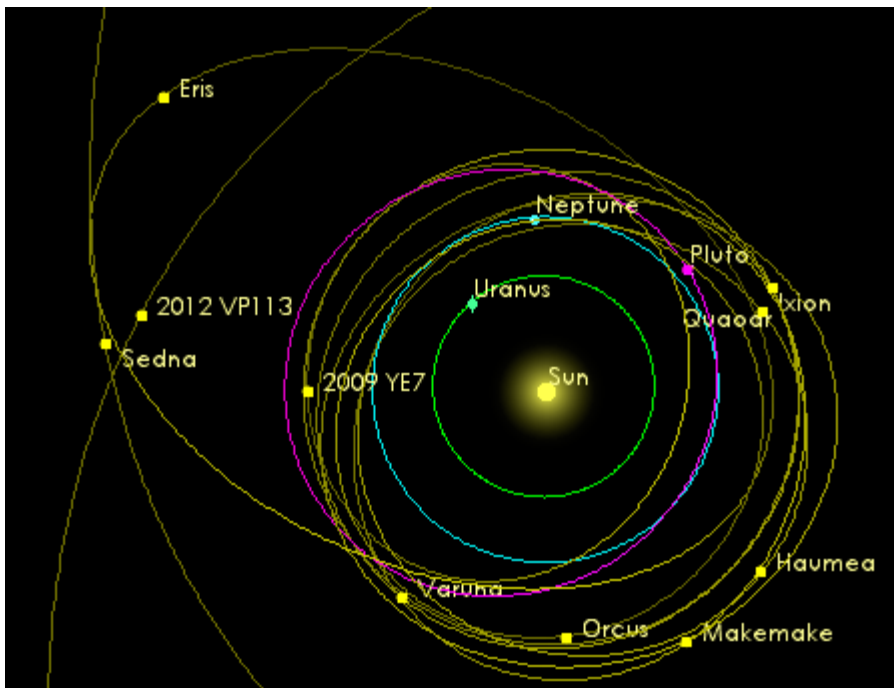
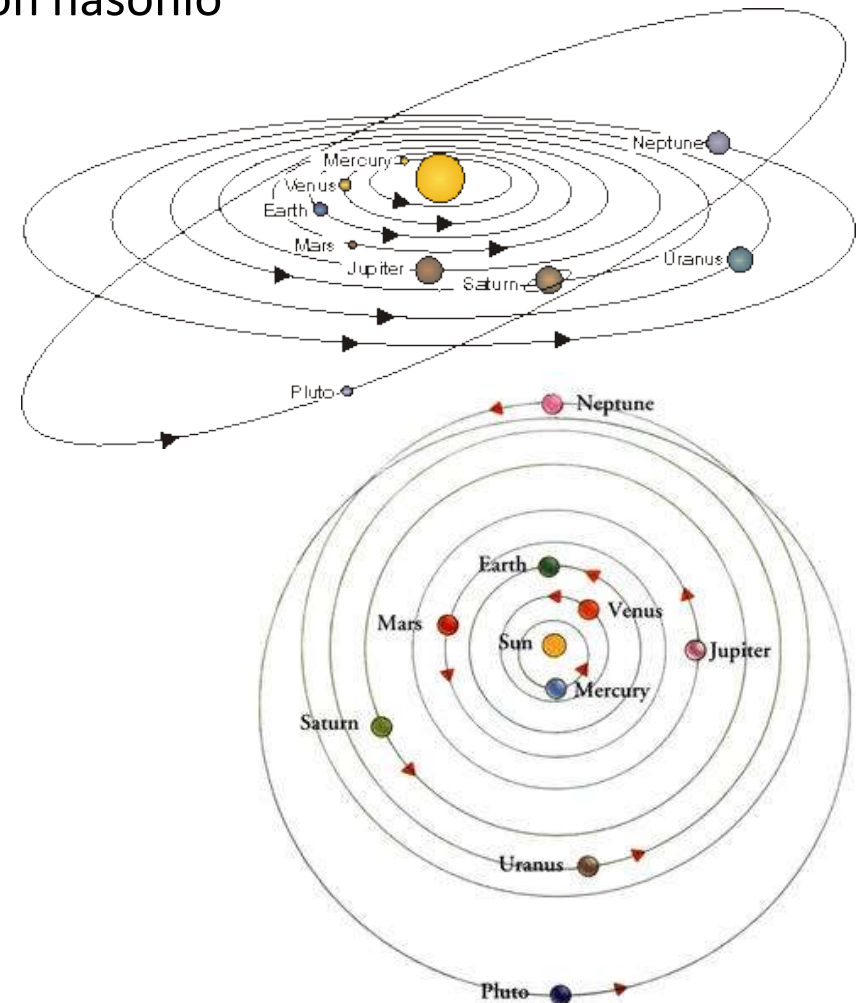


a Plútó jele: részben Percival Lowell kezdőbetűinek apropóján



Apró területe azoknak a fotólemezeknek, amelyeken Tombaugh felfedezte a Plútót  
(bejelölve)

- kicsit csalódás (túl kicsi), ill. nem perturbáció alapján találják (kb. véletlen), meg igen furcsa (nagyon nagy  $e$  és  $i$ )
- hold: keresték sokáig, de csak 1978-ban találták a Charont (James Christy)
- lefokozás
  - 1977: Chiron felfedezése → nagyon hasonló
  - 2005: Eris → még nagyobb is
  - 2006, IAU: törpebolygó





# Kisbolygók

- a 19. század első napján: Ceres
  - Megjegyzés: nem meglepő, sőt egyenesen keresik: Titius-Bode szabály
    - üres terület: már Kepler szerint is abnormálisan nagy
    - Johann Daniel Titius, 1776: a bolygópályák arányai kb. ennek felelnek meg:  $4 + (0; 3; 6; 12; 48; 96) \leftrightarrow$  a 24 hiányzik! (nagyon szép: a legkülső bolygó 100)
    - 1772: Johann Elert Bode is publikálja  $\rightarrow$  elkezdik tudatosan keresni
    - aztán az Uránuszra is stimmel ( $\leftrightarrow$  a Neptunuszra majd nem, de már nem baj)
- További első fecskék: Pallas (1802, Wilhelm Olbers); Juno (1804, Karl L. Harding); Vesta (1807, Olbers)
  - $\rightarrow$  túl sok van belőlük egy helyen, és túl kicsik (nincs korong + igen halvány) ahhoz, hogy bolygók legyenek
  - + ráadásul túl nagy  $e$  és  $i$  (pl. Pallas: 35 fok a hajlás, 0,25 az excentricitás)
  - $\rightarrow$  megszületik a kisbolygó mint külön kategória (W. Herschel: „aszteroida”)
    - mint 200 évvel később a törpebolygó, ugyanolyan okból (itt a Cerest fokozták le)
    - Olbers: ezek egy ősi bolygó törmelékei  $\rightarrow$  rögtön népszerű elmélet



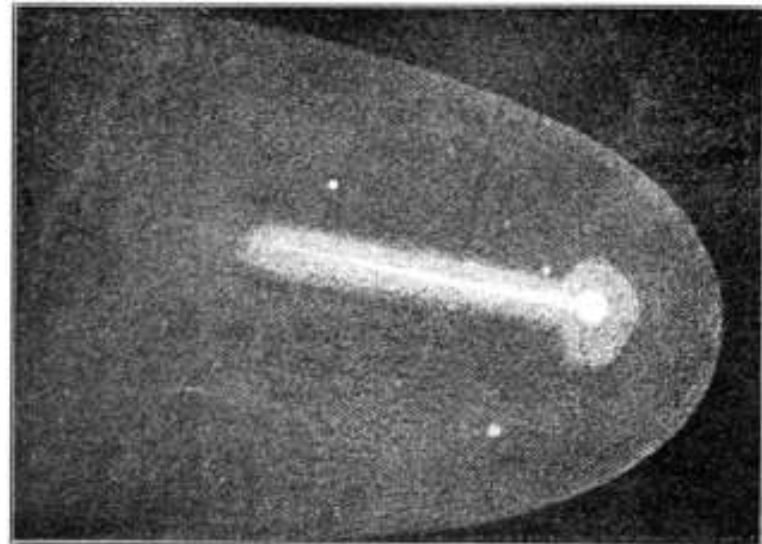
A négy kisbolygóval kiegészített Naprendszer (1846)

- Akadémiák és iskolák számára készült
- Érdeemes észrevenni a Vulkan bolygót a Naphoz legközelebb

- szisztematikus keresés indul
  - a Berliini Obszervatórium 9 mag. határig térképeket készít az ekliptika környékéről, hogy könnyebb legyen keresni (→ lásd: Neptunusz innen)  
→ 1945: Astaea, majd megindul → 1890-ig közel 300
  - Daniel Kirkwood, 1866: vannak relatíve tiszta sávok → itt a legerősebb a Jupiter zavaró hatása (lásd Lagrange: összemérhető periódusok)
  - a robbanás-elmélet visszaszorul, helyette a ködelmélet divatos: valahogy nem sikerült egyetlen bolygóvá kondenzálódni (túl kicsi az össztömeg + a Jupiter nem hagyta) ↔ ehhez kicsit túl nagy az inklinációjuk
- Max Wolf, 1891: fotográfia: több órás expozíciók esetén kirajzolódik az elmozdulás  
→ így már sokszáz újat könnyedén felfedeznek
- 20. sz. elejétől: nem csak a kisbolygó övben: trójaiak (Jupiter előtt-mögött Lagrange-pontokon, 1905-től), földsúrolók (Eros – 1898-tól), Jupiteren kívüliek (1920-tól)...  
→ családokat alkotnak

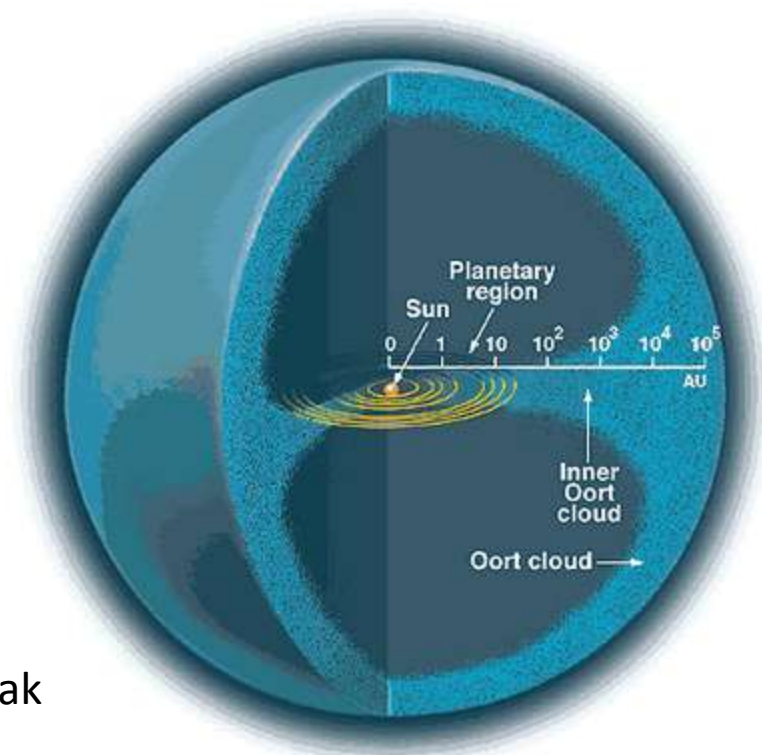
# Üstökösök

- 19. sz. elejére 1-2 felfedezés évente, század végére több száz ismert pályával
- specializálódott üstökös-„vadászok”  
pl. Jean-Luis Pons: 36-ot talál
  - pl. Encke-üstökös (1819 , Johann Franz Encke számolta a pályáját):  
3,3 év periódus (az első rövid periódusú → 1850-ig 6 ilyen ismert);
    - visszatéréseként több mint egy napot csökken  
→ közege fogja ↔ más üstökösöknél nem észlelhető ilyen
- általános fizikai jellemzők:
  - nagyon kicsi a mag
  - nagyon kicsi a tömeg: semmiféle perturbációs hatása nem észlelhető,
  - rendkívül ritka a hatalmas csóva (csillagok is átlátszanak rajta, és néha a Föld is áthalad egyen (1819), hatás nélkül)  
→ anyag, melyet a Nap hatása fúj le (Olbers, 1812: elektromos taszítás)



- kapcsolat a meteorjelenségekkel:
  - Schiaparelli, 1866: pályaszámítások meteorrajok forrására → üstökőspálya (parabola) + meteorrajok és korábban észlelt üstökösök azonos pályán
  - 1845-46: egy üstököst (Biela-üstökös) látnak kettéválni
    - 7 év múlva még látják, aztán többé nem
    - utána 7 évente ekkor hatalmas meteorzáporok → szétesett, lehullik
- 1860-as évek: spektroszkópiai vizsgálatok → anyag
- 1881-től fotók → 1892: fotóról fedeznek fel (Edward Emerson Barnard)
- 1950, Jan Oort: nem-periodikus üstökösök pályáinak elemzése
  - a tipikus félnagyitengely 2,4 fényév
  - Oort-felhő: a Naprendszer peremvidékén rengeteg üstökös. Ezek néha bedobálják egymást a Nap felé. Ha egy nagybolygó lefékezi őket, beesnek a belső Naprendszerbe.

logaritmikus méretskála!  
 → nagyon kint vannak





# Meteorok

- korábban többnyire légköri eredetűnek tartják (néhány kivétel, pl. Halley), eddigre sokak szerint a Hold krátereit lövik ki őket (pl. Laplace)
- 19. század eleje: már háromszöglik őket: ugyanazokat észlelik módszeresen különböző helyekről  
→ igen magasan vannak, a sebességük a bolygókéra jellemző
- 1833: hatalmas meteorzápor (százezres nagyságrend egy éjszaka alatt)  
→ mind egy helyről (radiáns pont) látszanak jönni: Leo (→ leonidák)  
→ párhuzamos pályán érkeznek
- egyéb rajokat is felismernek → 1860-70-es évek: több száz radiáns
- néhány leesik → kémiai, geológiai vizsgálatok

## Megjegyzés:

- tipikusan az amatőrök sportja: felszerelés helyett szerencse kell
- 19. sz. eleje: Herschell felfedezései rengeteg amatőrt motiválnak  
→ sokkal több az észlelés, mint korábban  
→ sok területen nagyon fontos: holdfelszín, meteorok, változók...