Naprendszer mozgásai

Bevezetés a csillagászatba 2.

Muraközy Judit

Debreceni Egyetem, TTK

2026. 09. 23.

Miről lesz szó a mai órán?

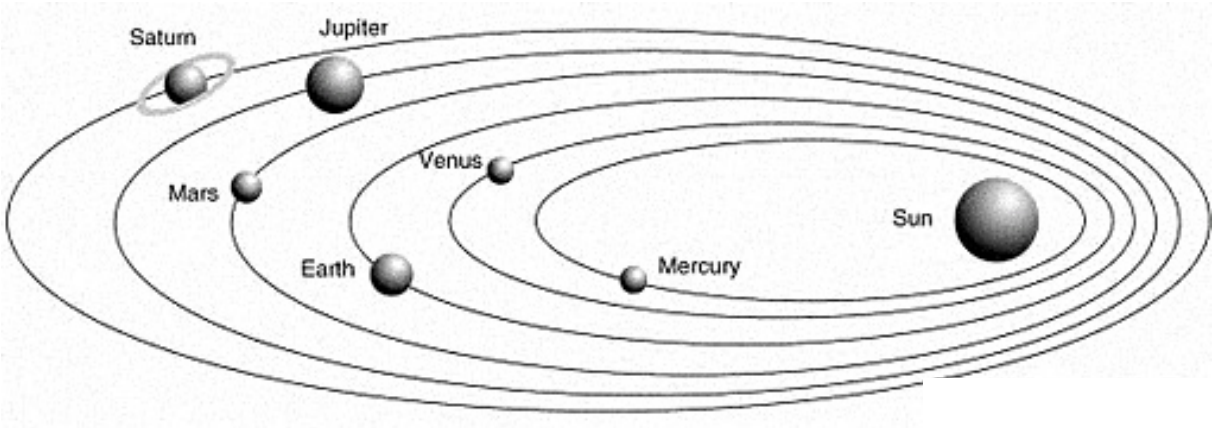
Naprendszer mozgásai

Égi mechanika alapjai:
Newton, kéttest-probléma, Kepler-törvények (III. törvény Newton által pontosított alakja), pályaelemek, Kepler-egyenlet, n-test probléma illetve a háromtest-probléma speciális esetei (Lagrange-pontok), precesszió, nutáció, Nap- ill. holdfogyatkozás, Vénusz-átvonulás mérése a Nap-Föld távolságra.

Az égi mechanika problémái

- – Milyen a pálya alakja?
- – Milyen a mozgás időbeli lefolyása?
- – Hosszútávon mennyire stabil a pálya?

I. törvény



A Naprendszer bolygói ellipszispályákon keringenek a Nap körül, mely az ellipszispályák egyik gyújtópontjában áll.

A Naprendszerben a bolygók pályája kúpszelet. Üstökösök esetén a pálya hiperbola, illetve parabola is lehet.

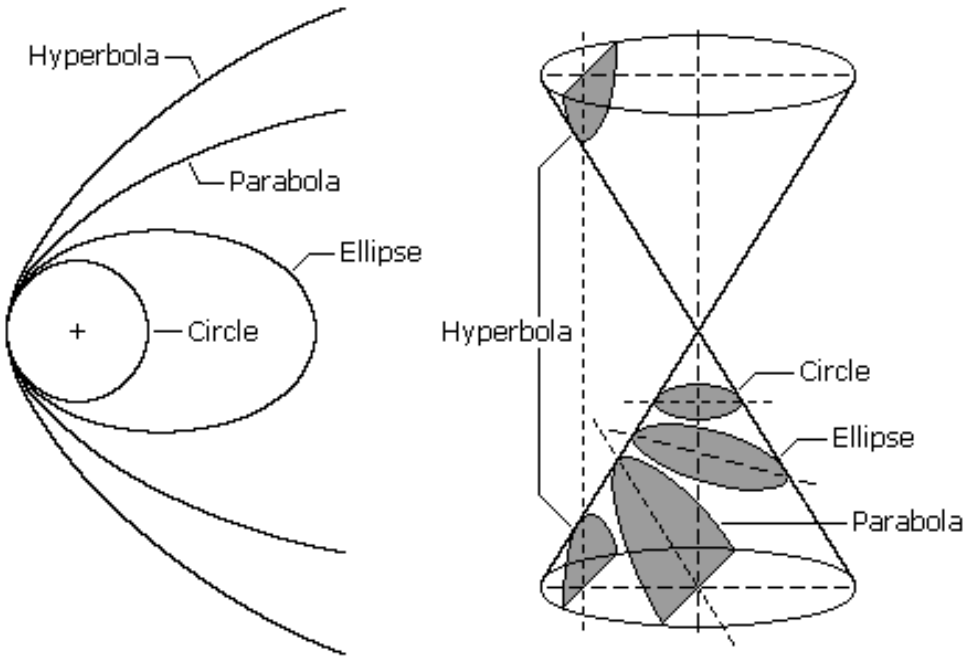
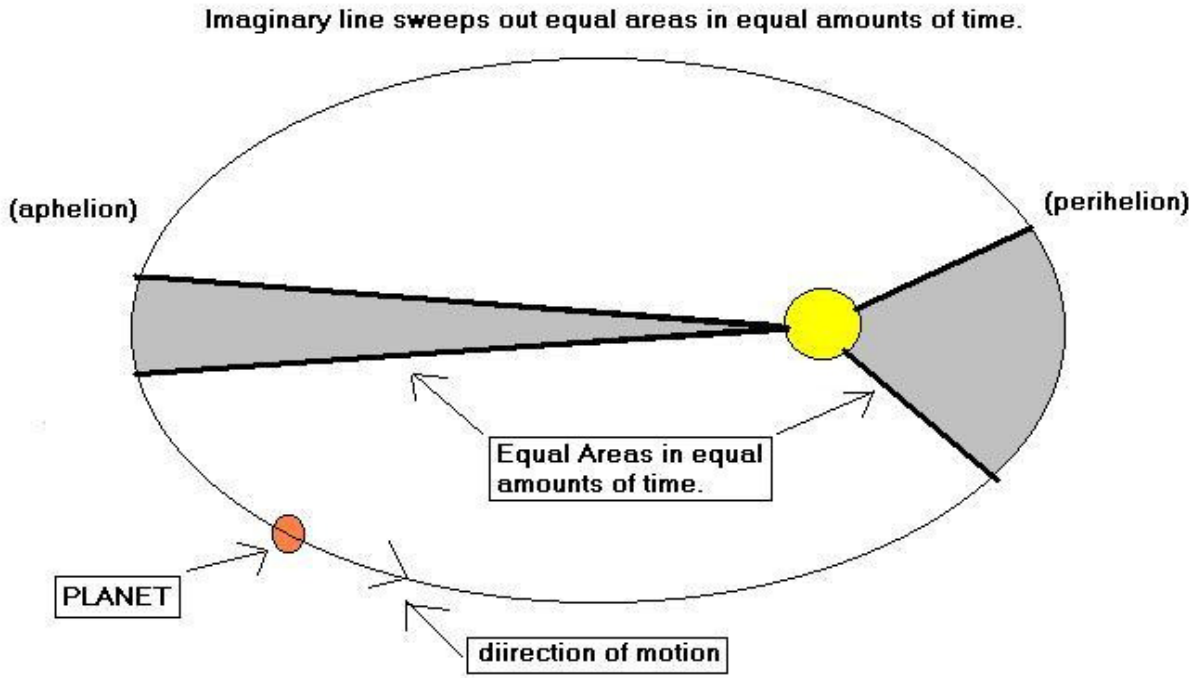


Figure 4.1

II. törvény

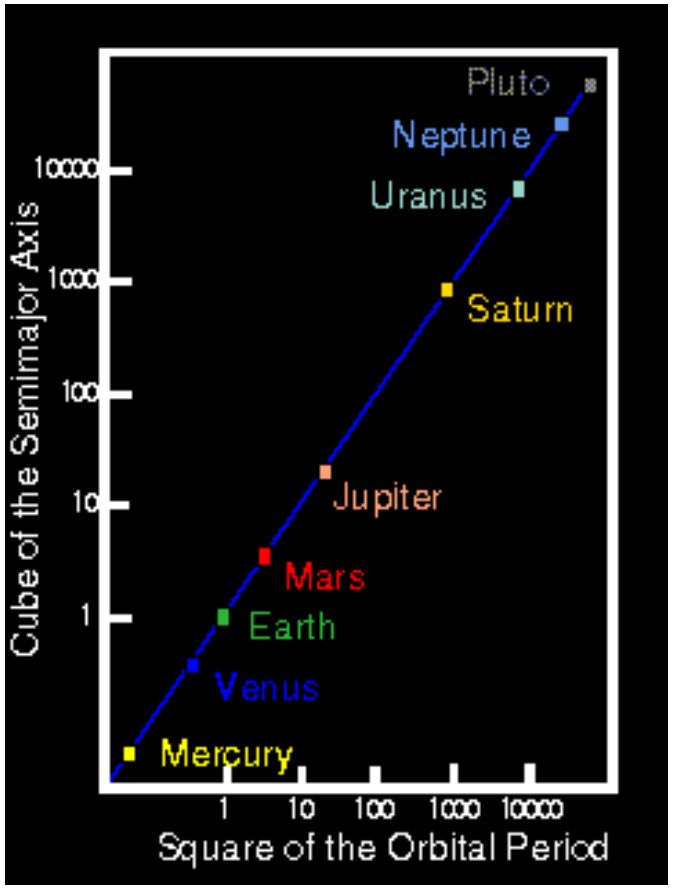


A bolygókhoz húzott vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket súrol.
A felületi sebesség állandó.
Tehát naptávolban a bolygók lassabban, napközelben gyorsabban keringenek.
(Youtube video)

III. törvény

$$\frac{T^2}{a^3} = konstans \qquad (1)$$

bolygó	a (CsE)	T (év)	a^3	T^2
Merkúr	0.387	0.241	0.058	0.058
Vénusz	0.723	0.615	0.378	0.378
Föld	1.000	1.000	1.000	1.000
Mars	1.524	1.881	3.540	3.538
Jupiter	5.203	11.860	140.851	140.660
Szaturnusz	9.540	29.460	868.251	867.892

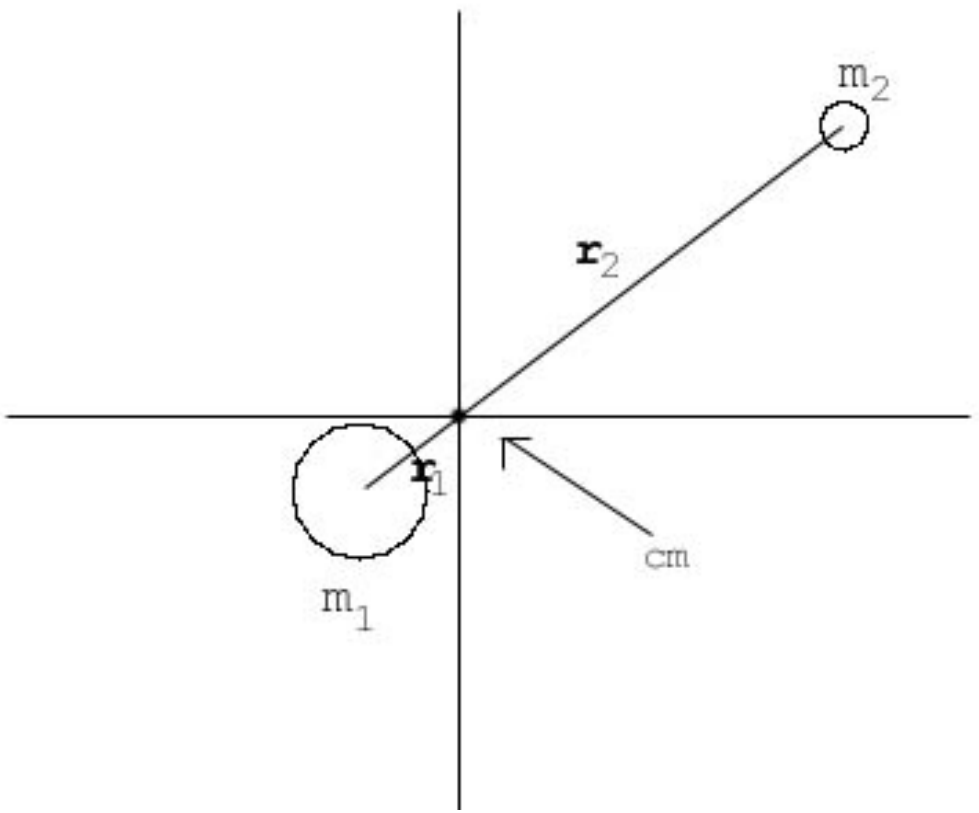


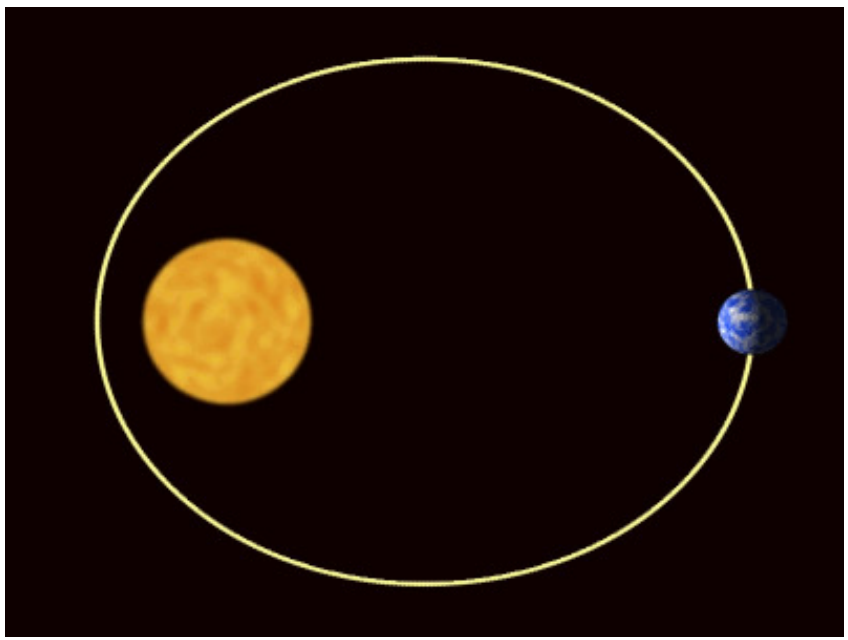
A bolygópályák keringési idejei négyzetének és a fél nagytengelyei köbének hányadosa állandó. Ez akkor igaz, ha a centrum tömegéhez képest elhanyagolható a keringő tömeg. Ha ezek összemérhetőek, akkor az általánosított törvény:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)} \qquad (2)$$

Kéttest–probléma

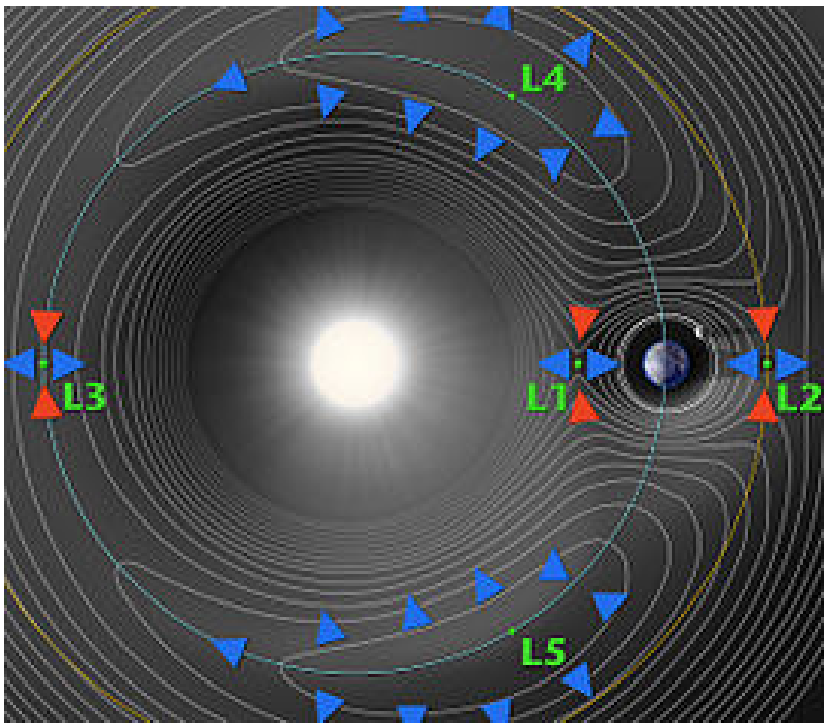
- Egzakt megoldása ismert már Newton óta
- **Nap–bolygó rendszer**ek: a bolygó perturbálatlan Nap körüli keringését a többi bolygó gravitációs hatása zavarhatja
- **Bolygó–hold rendszer**ekben perturbáló tényező lehet a bolygó lapultsága, a Nap gravitációs hatása, ill. a további holdak kölcsönös zavaró hatása
- **Kettőscsillagok**: két, egymás körül keringő csillagok rendszere

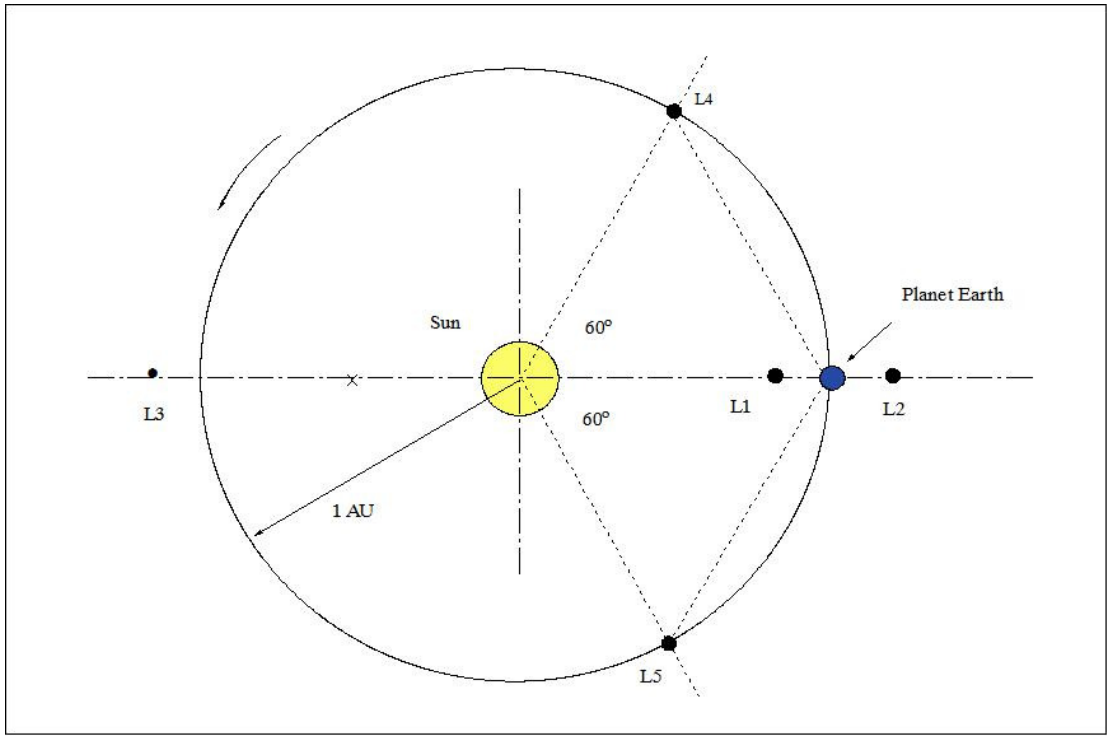




Háromtest–probléma

Lagrange–megoldás: a tömegpontok egyenlő oldalú háromszög csúcsaiban helyezkednek el

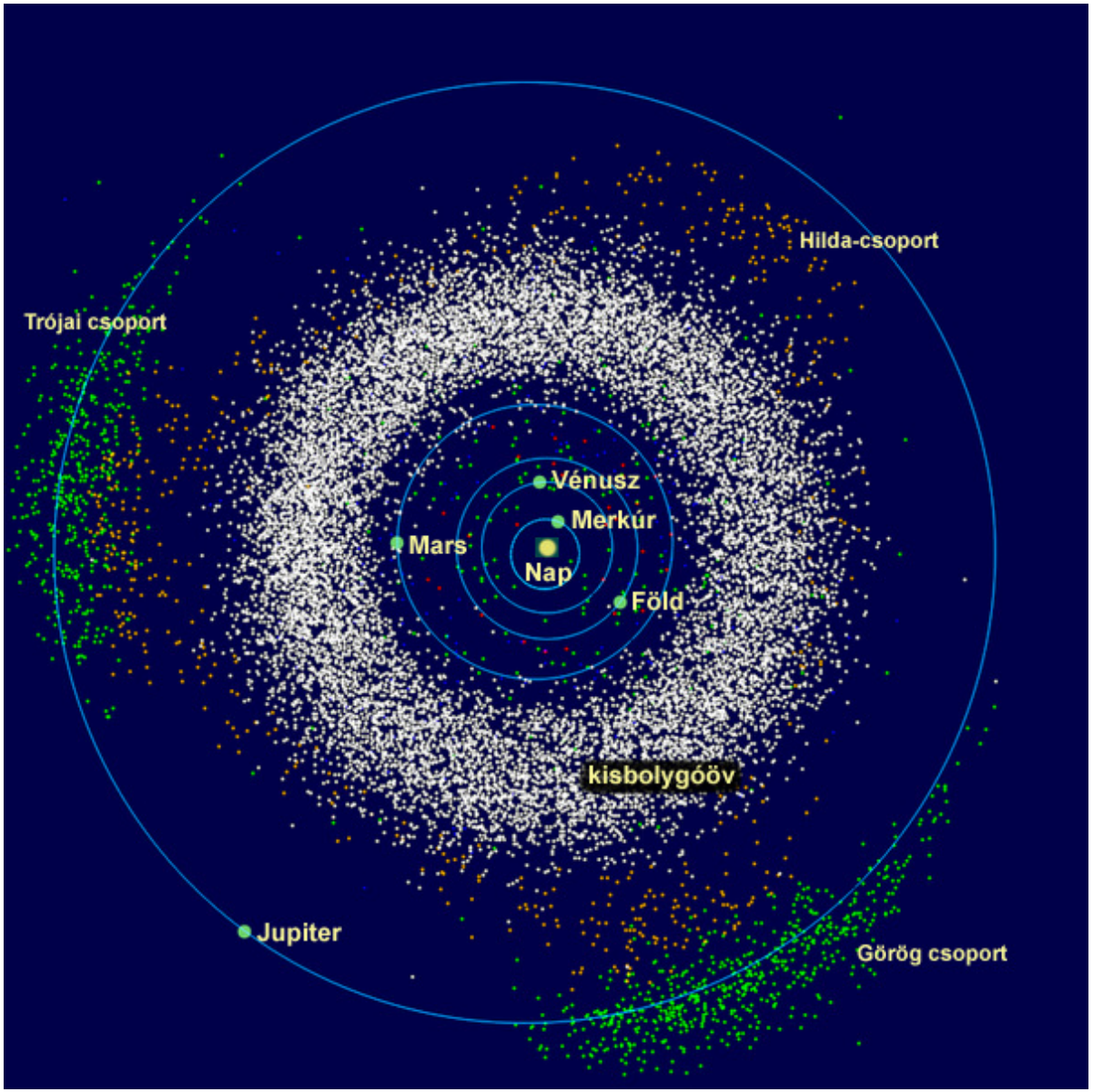




Lagrange-pontok:

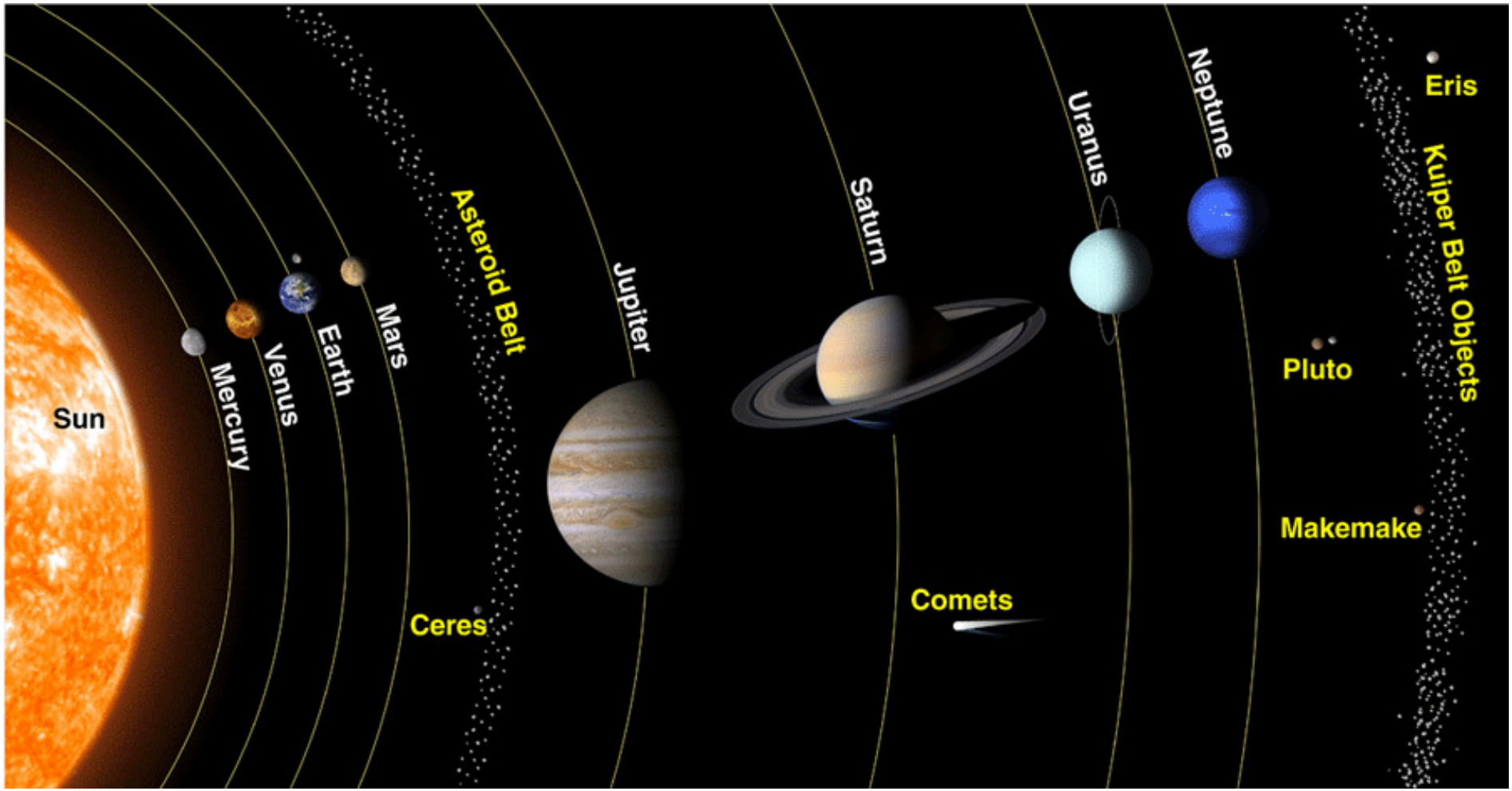
- – L_1, L_2, L_3 instabil pályák
- – L_4, L_5 stabil pályák
- – Nap – Jupiter rendszerben az L_4 és L_5 környékén ún. trójai kisbolygók találhatók

Nap-Jupiter rendszer Lagrange-pontjai



Trójai kisbolygók

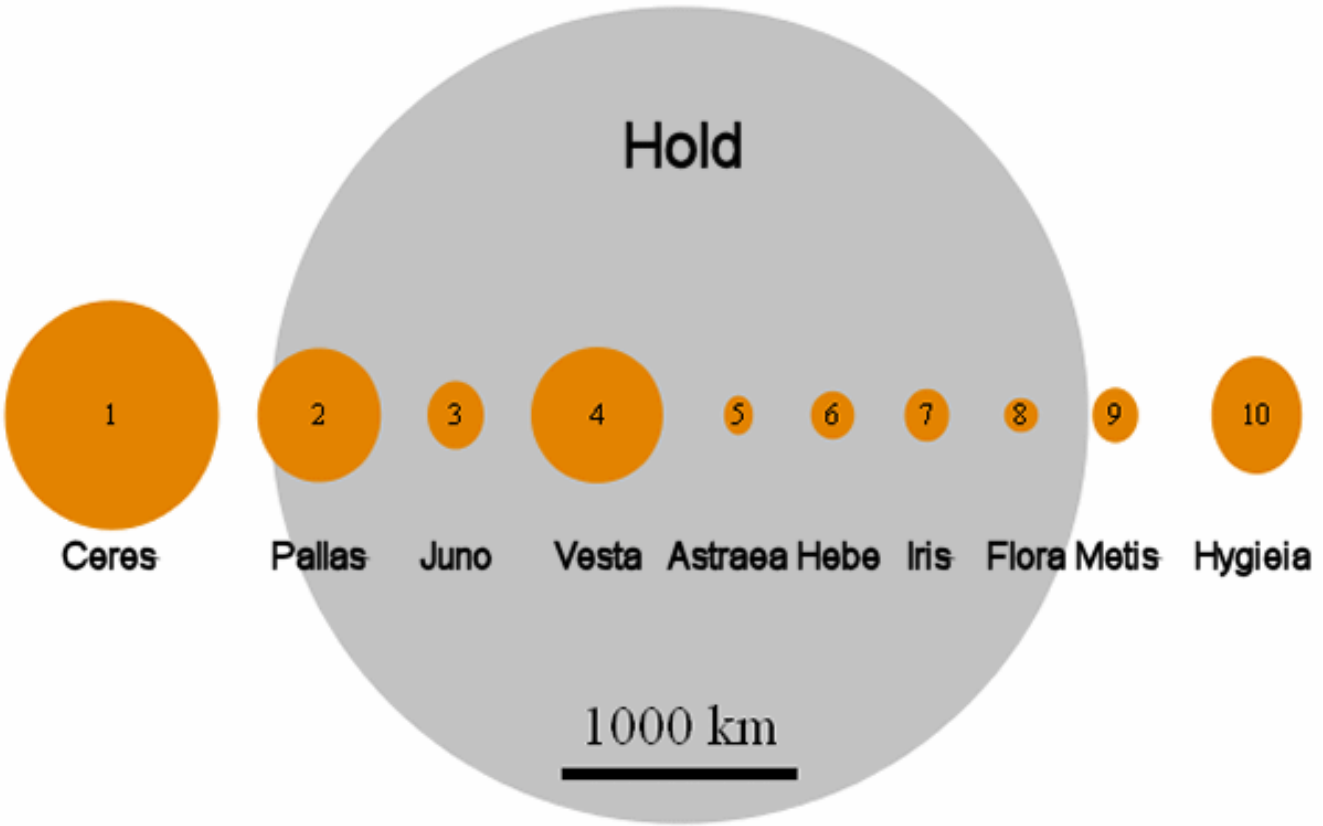
Naprendszer Lagrange-pontjai



- – **kisbolygó-öv**: a Mars és Jupiter pályája között található, rengeteg kis égitest (kb. 1000 km – < 1km) zónája, melyek nem söprik tisztára a pályájukat.
- – **Kuiper-öv**: Neptunuszon túli zóna, melyen jeges objektumok találhatók. A Naprendszer végső határának tekintett.

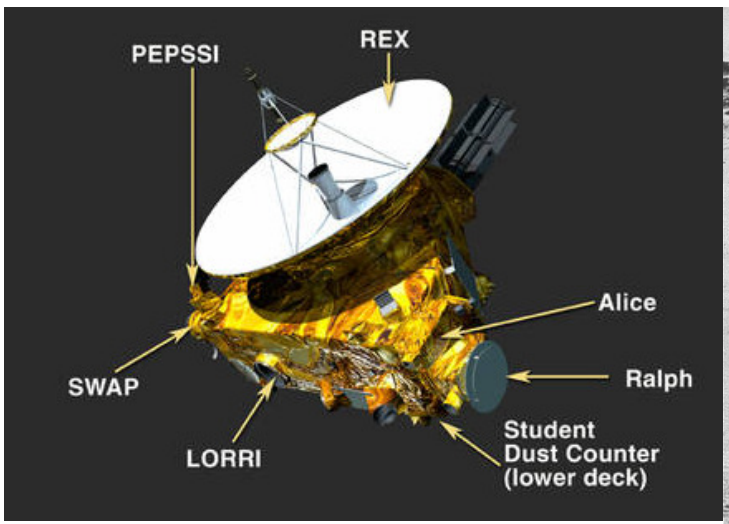
Kisbolygó-öv

- Mars – Jupiter pályája között húzódó, kisbolygókból álló övezet
- Objektumainak jellemző mérete: pár méter – néhány száz km
- Legismertebb objektumai: Ceres, Vesta, Juno, Pallas
- Kívülről a Trójai kisbolygók határolják

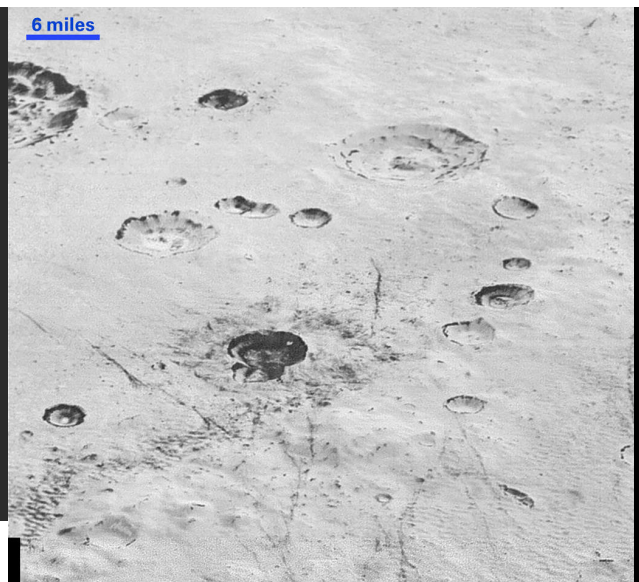


Kuiper-öv

- Neptunuszon túli jeges objektumokból álló övezet
- Elnyúlt pályán keringenek
- Nagyobb össztömeg, mint a Kisbolygó-övben
- Legtöbbjük 3:2-es rezonanciában a Neptunusszal (nem ütköznek)
- Legismertebb objektumai: Plútó, Eris, Charon, Makemake, Haumea
- NASA: New Horizons űreszköz, 2015-ben érte el a Plútót



New Horizons (NASA)



a Plútó felszíne

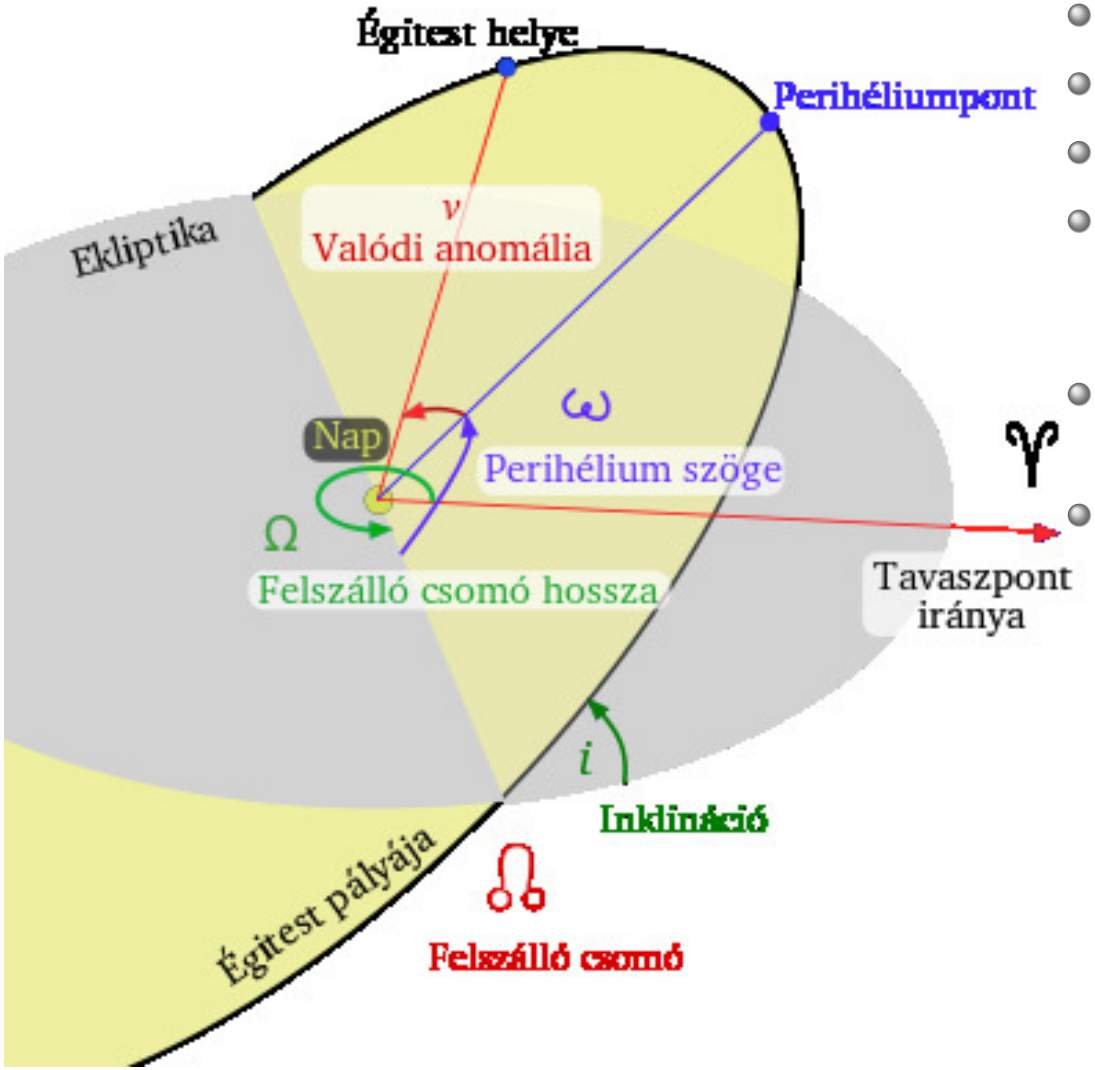

Nix a Plútó holdja

Kuiper-öv

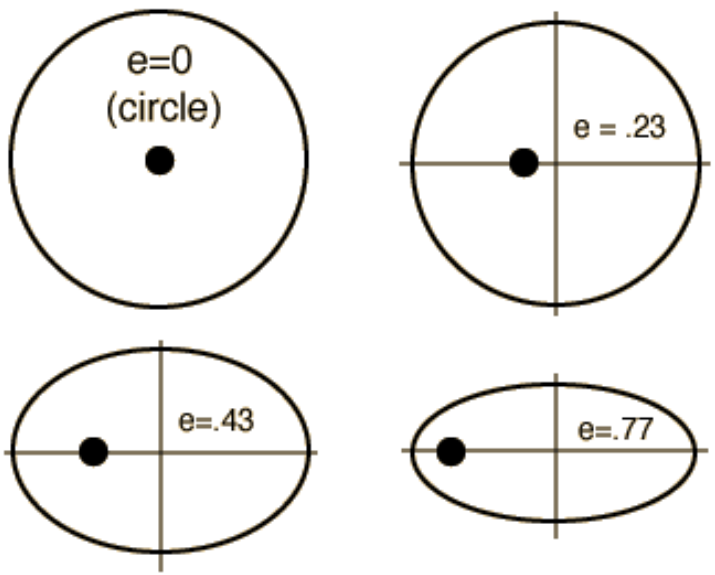


Ultima Thule, NASA 2019, New Horizons észlelése

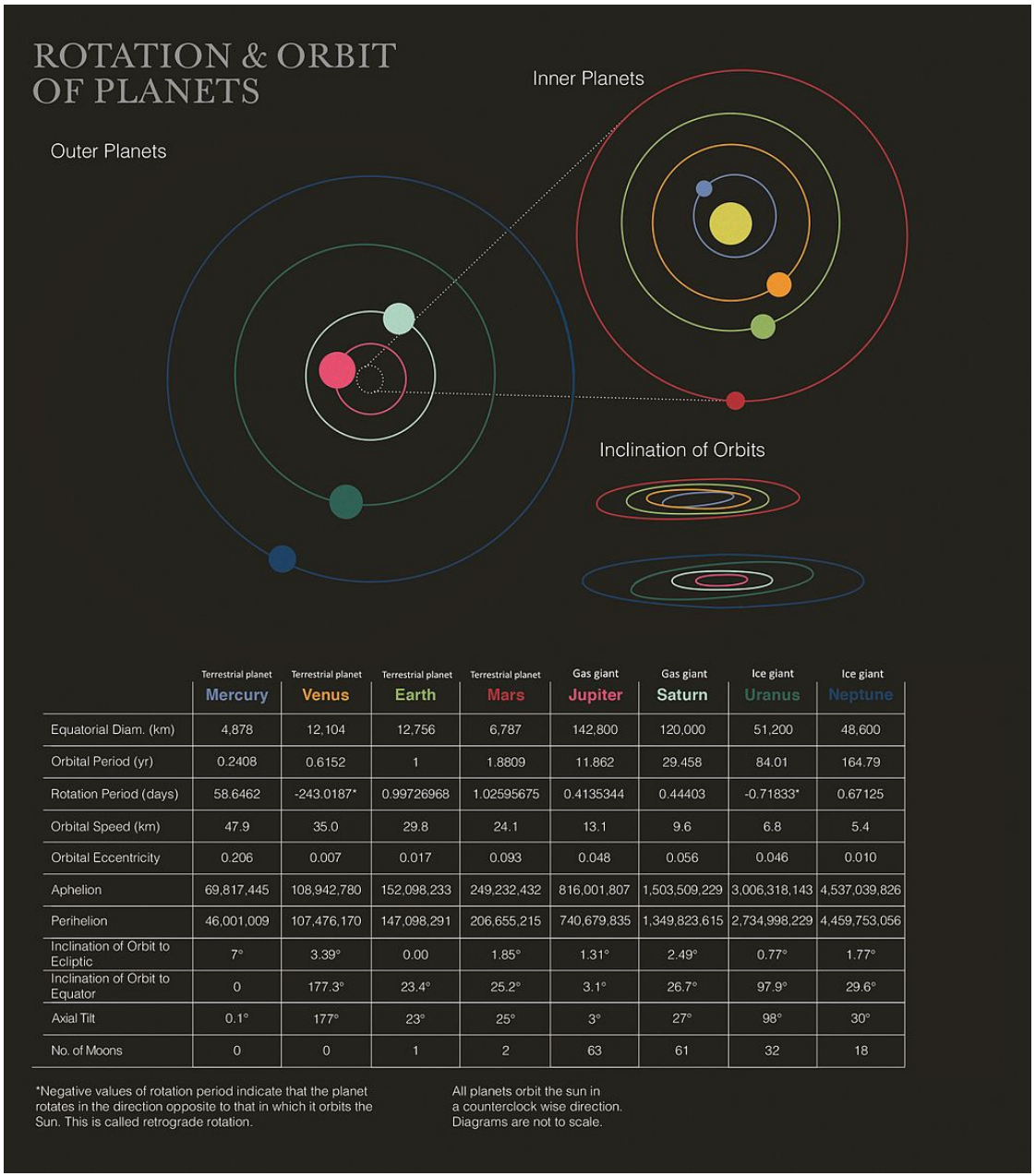
Pályaelemek



- a – fél nagytengely
- ϵ/e – excentricitás: lapultság
- i – inklináció: pályahajlás
- Ω – felszálló csomó hossza: az alapirány és a felszálló csomó által bezárt szög nagysága
- ω – pericentrum argumentuma (szögtávolság a felszálló csomótól)
- τ – pericentrum átmenet időpontja



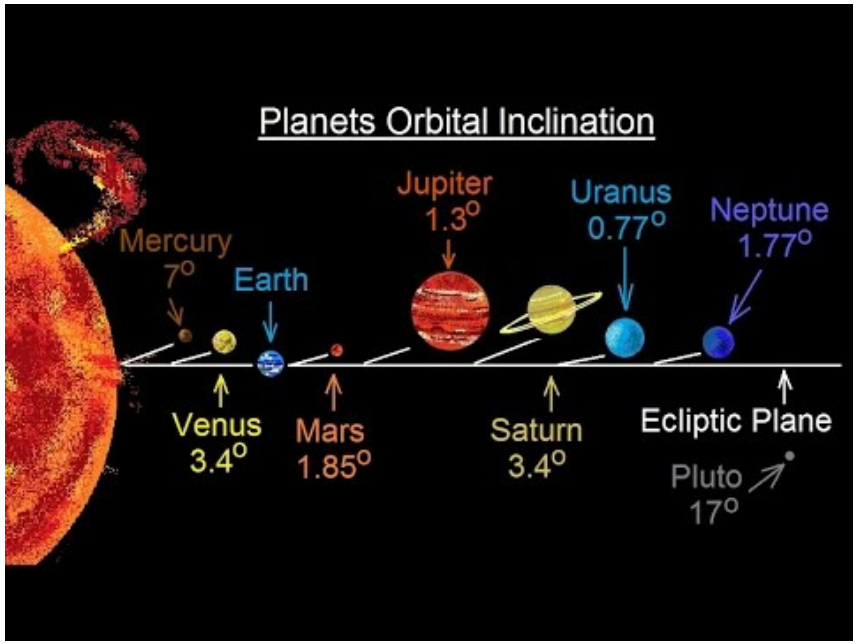
Naprendszerbeli bolygók pályaelemei

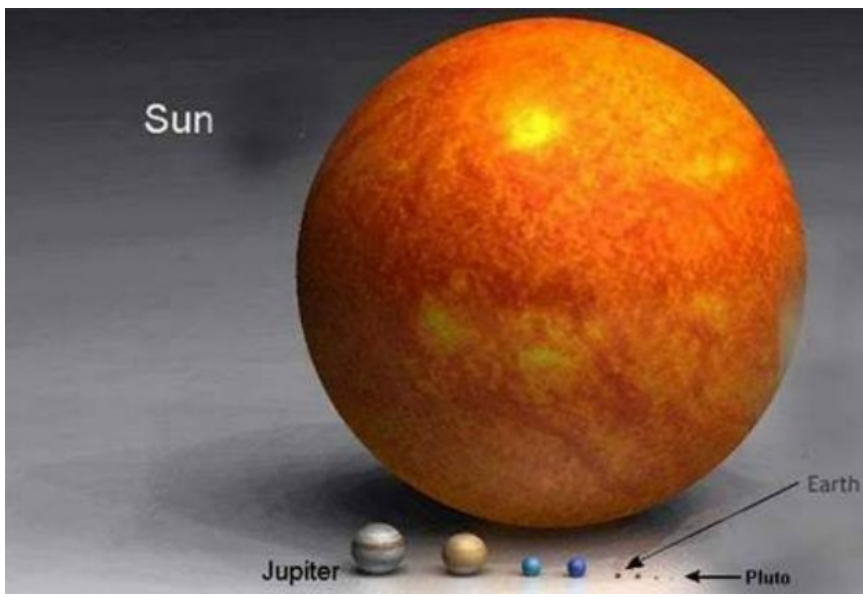


	Terrestrial planet Mercury	Terrestrial planet Venus	Terrestrial planet Earth	Terrestrial planet Mars	Gas giant Jupiter	Gas giant Saturn	Ice giant Uranus	Ice giant Neptune
Equatorial Diam. (km)	4,878	12,104	12,756	6,787	142,800	120,000	51,200	48,600
Orbital Period (yr)	0.2408	0.6152	1	1.8809	11.862	29.458	84.01	164.79
Rotation Period (days)	58.6462	-243.0187*	0.99726968	1.02595675	0.4135344	0.44403	-0.71833*	0.67125
Orbital Speed (km)	47.9	35.0	29.8	24.1	13.1	9.6	6.8	5.4
Orbital Eccentricity	0.206	0.007	0.017	0.093	0.048	0.056	0.046	0.010
Aphelion	69,817,445	108,942,780	152,098,233	249,232,432	816,001,807	1,503,509,229	3,006,318,143	4,537,039,826
Perihelion	46,001,009	107,476,170	147,098,291	206,655,215	740,679,835	1,349,823,615	2,734,998,229	4,459,753,056
Inclination of Orbit to Ecliptic	7°	3.39°	0.00	1.85°	1.31°	2.49°	0.77°	1.77°
Inclination of Orbit to Equator	0	177.3°	23.4°	25.2°	3.1°	26.7°	97.9°	29.6°
Axial Tilt	0.1°	177°	23°	25°	3°	27°	98°	30°
No. of Moons	0	0	1	2	63	61	32	18

*Negative values of rotation period indicate that the planet rotates in the direction opposite to that in which it orbits the Sun. This is called retrograde rotation.

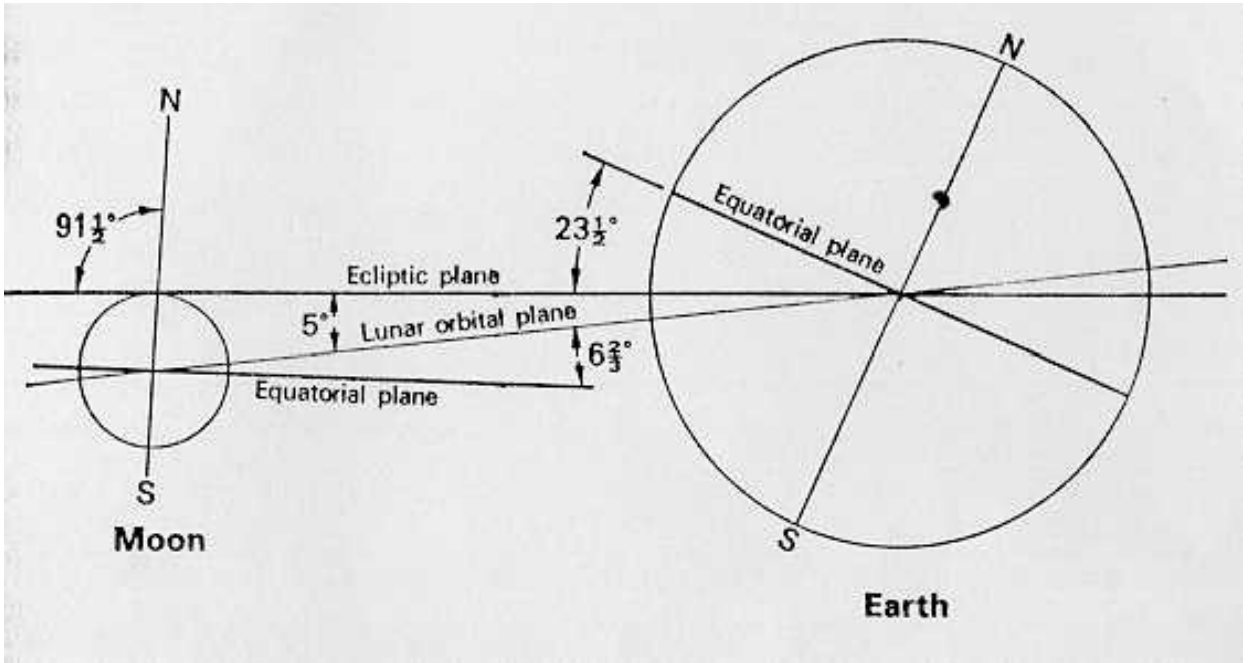
All planets orbit the sun in a counterclock wise direction. Diagrams are not to scale.





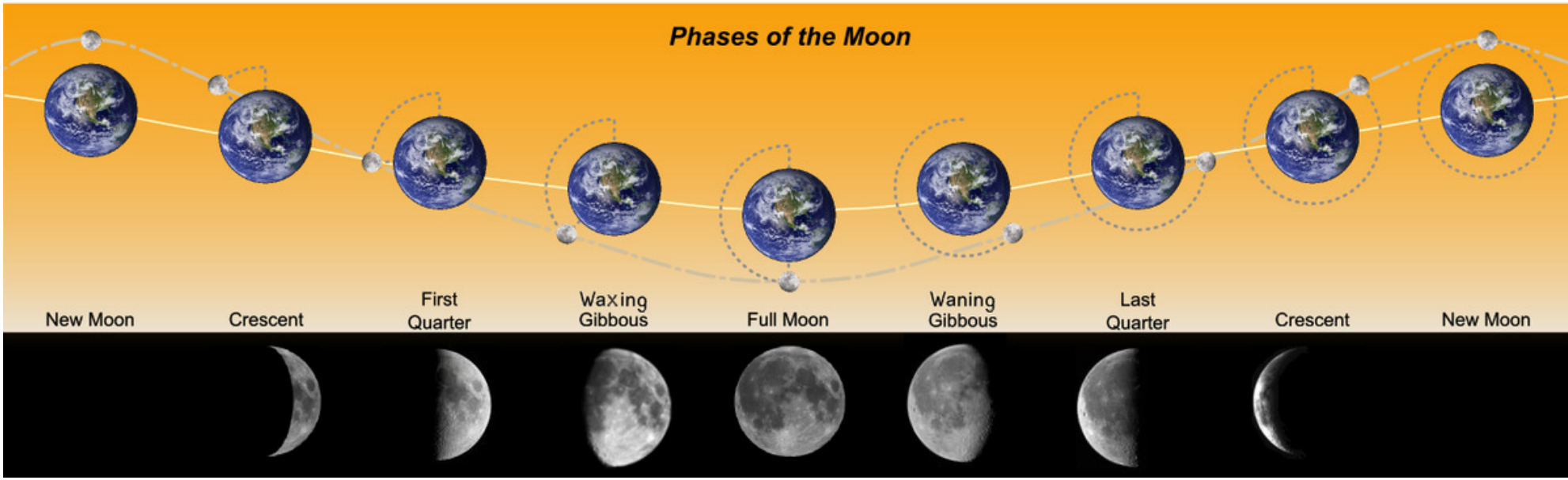
A Hold pályája





- – **sziderikus hónap**: az ugyanazon csillag előtti, két egymás utáni áthaladás között eltelt idő
- – **tropikus hónap**: a tavaszpont órakörén való két egymás utáni áthaladás között eltelt időtartam
- – **szinodikus hónap**: két, egymás utáni azonos holdfázis között eltelt időtartam (A Hold kora: az utolsó újhold óta eltelt idő.)
- – **anomalisztikus hónap**: a perigeumon való, két egymás utáni áthaladás között eltelt időtartam
- – **drakonikus hónap**: a pálya felszálló csomópontján való két áthaladás között eltelt időtartam

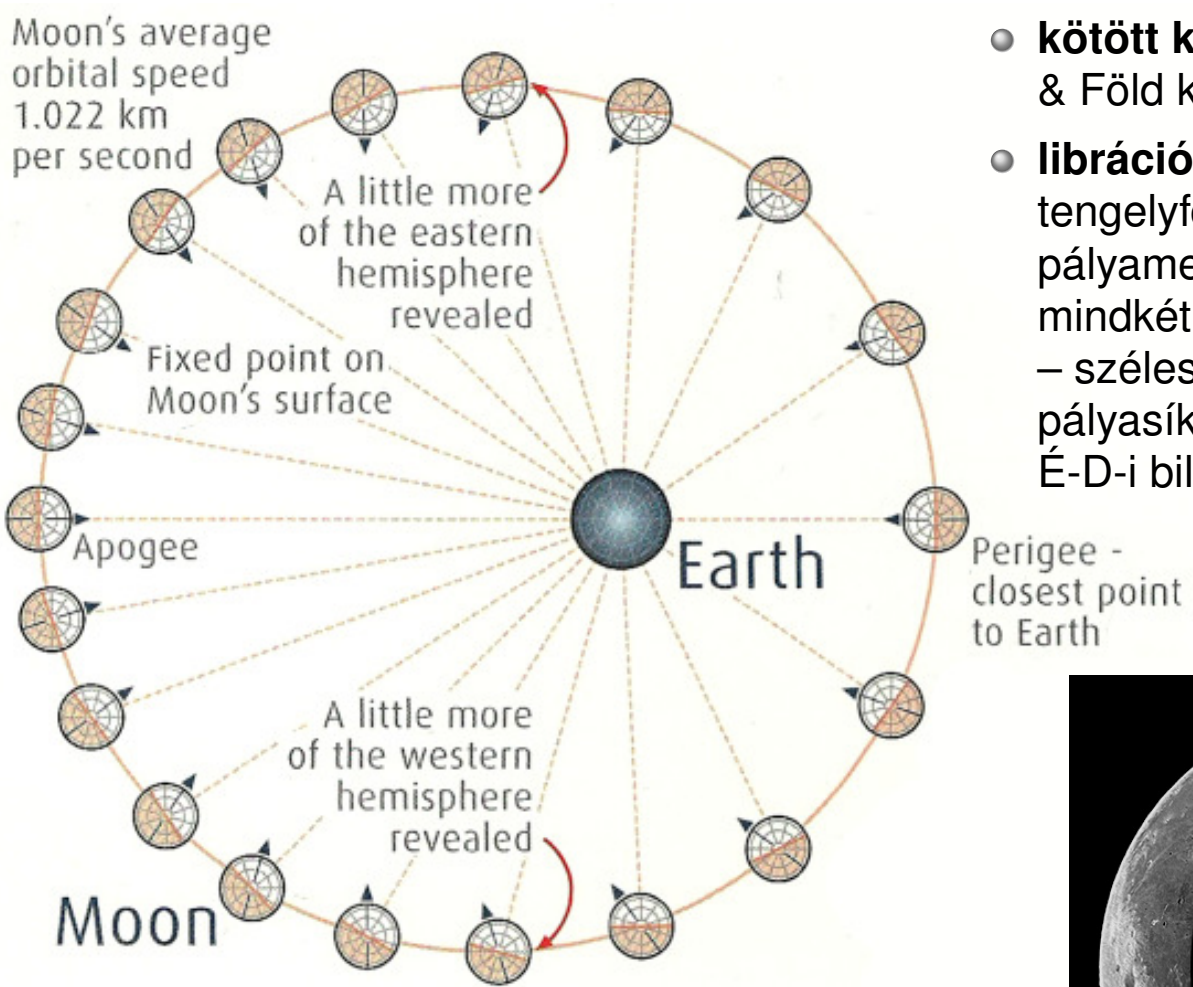
Holdfázisok



Holdfázisok:

- – újhold: a Hold láthatatlan
- – első negyed: napnyugtakor delel, éjfél körül nyugszik
- – telihold: egész éjjel látható
- – utolsó negyed: éjfél körül kel, napközben nyugszik

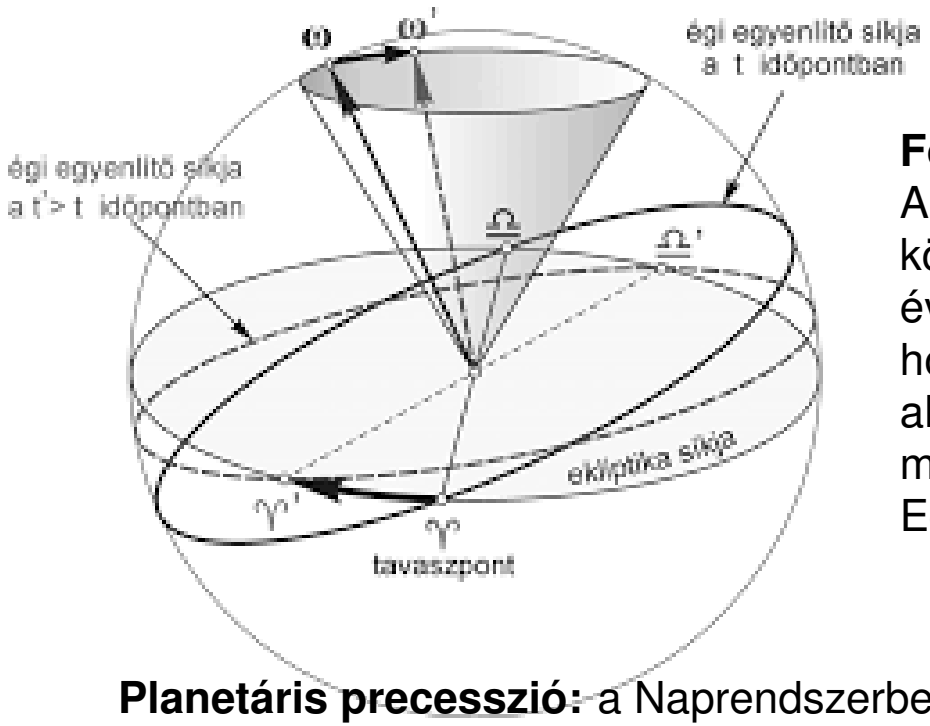
Hold – kötött keringés, libráció



- **kötött keringés**: azonos tengelyforgási idő & Föld körüli keringés
- **libráció**: – hosszúsági: állandó tengelyforgási sebesség, de változó pályamenti sebesség –> havi 7° elfordulás mindkét irányban
  – szélességi: a Hold egyenlítője és a pályasíkja egymással 6°-os szöget zár be –> É-D-i billegés



Precesszió

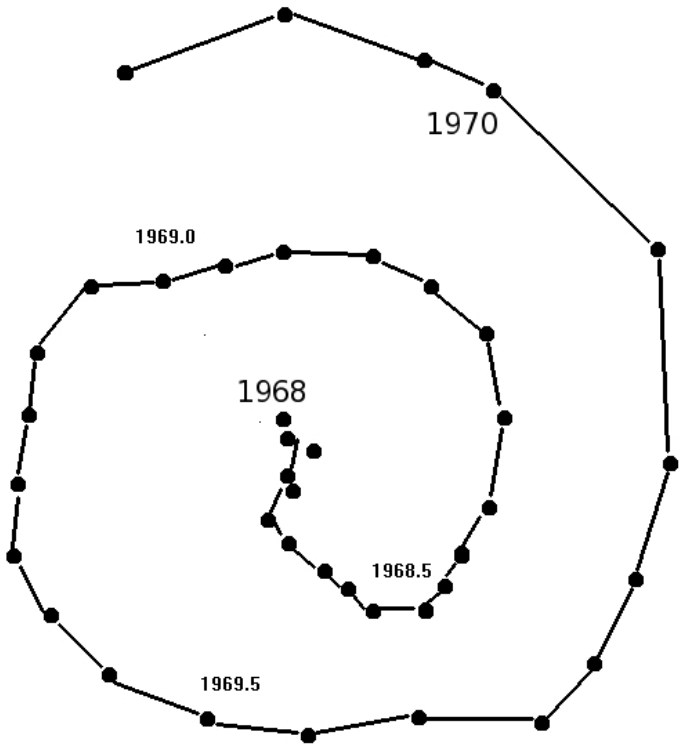


Forgatónyomaték hatására:
Az égi pólus az ekliptika pólusa körül lassan körbefordul. (A tavaszpont is elmozdul, így évszázados időskálán a csillagok ekliptikai hosszúságai észrevehetően megváltoznak. 1 év alatt kb. 50”-et mozdul nyugat felé az ekliptika mentén.)
Egy fordulathoz 25 729 évre van szüksége.

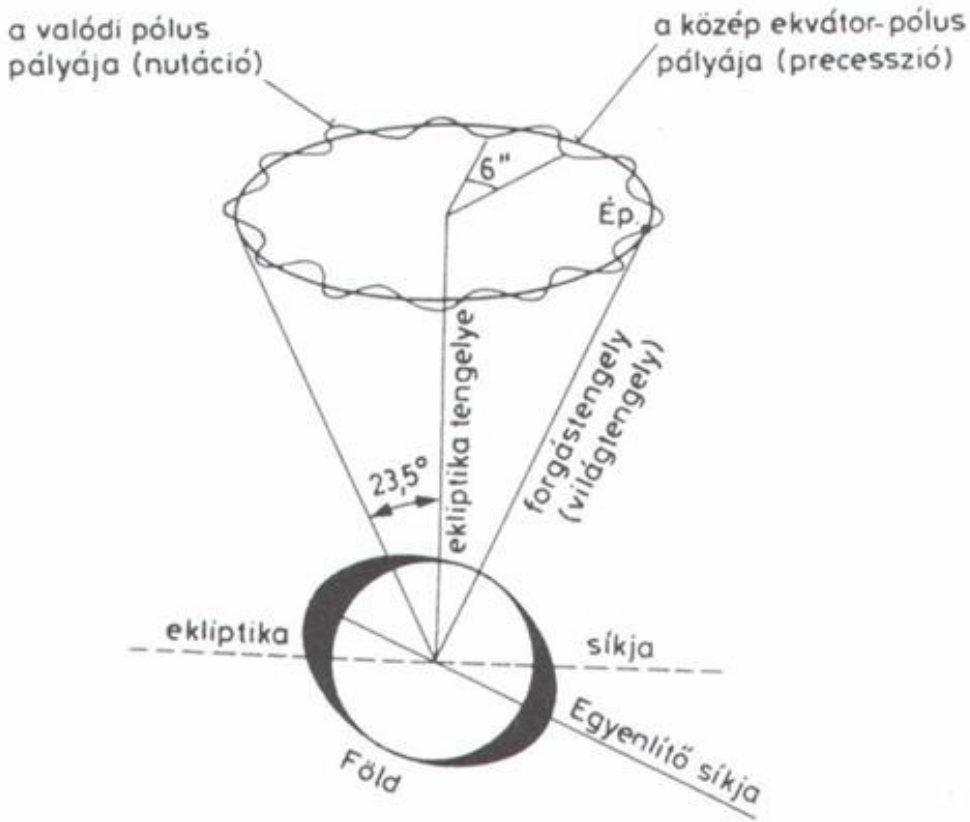
Planetáris precesszió: a Naprendszerbeli bolygók pályája nem esik egy síkba, ezért a földpálya síkja is precessziós mozgást végez a bolygók gravitációs hatása miatt.
A tavaszpontot Ny–K irányba tolja el évi kb. 0.11 ívmásodperccel.

Forgatónyomaték nélkül:
Euler-precesszió: a Föld forgatónyomaték-mentes precessziós mozgása (ha a szilárd égitest forg.tengelye nem esik egybe a legnagyobb tehetetlenségi nyomatékú tengelyével). – 305 napos periódus
Chandler-precesszió: megtalálta az Euler által jósolt precessziót 433 napos periódussal.
Különbség oka: a Föld magja nem szilárd.

Nutáció

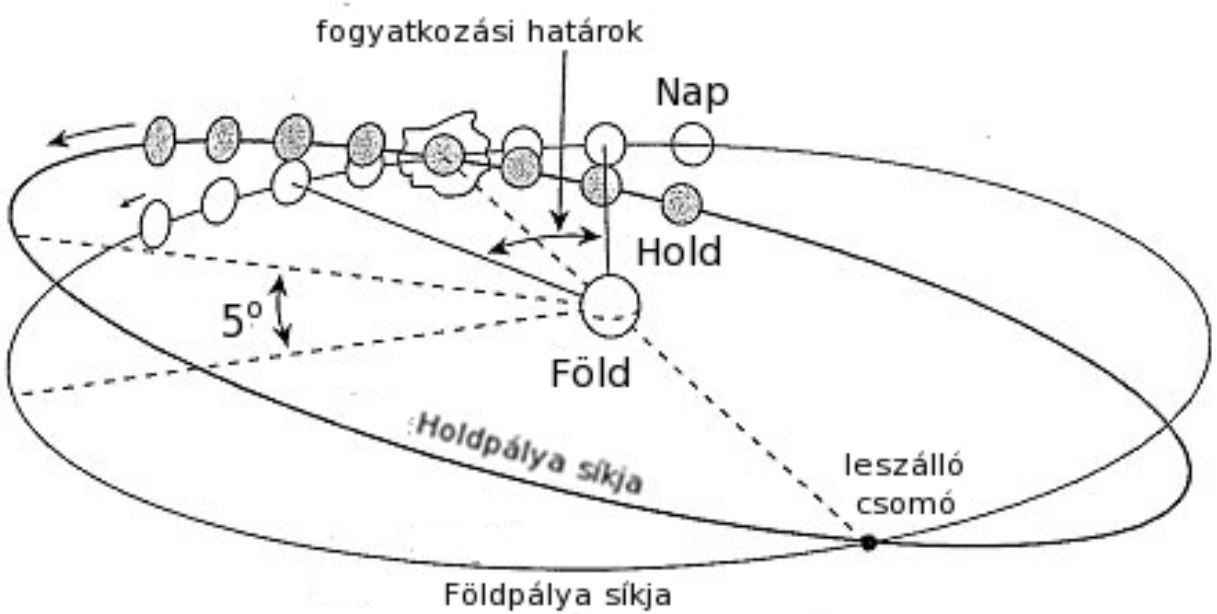


a Föld forgástengelyének helyzete az É-i sarkon



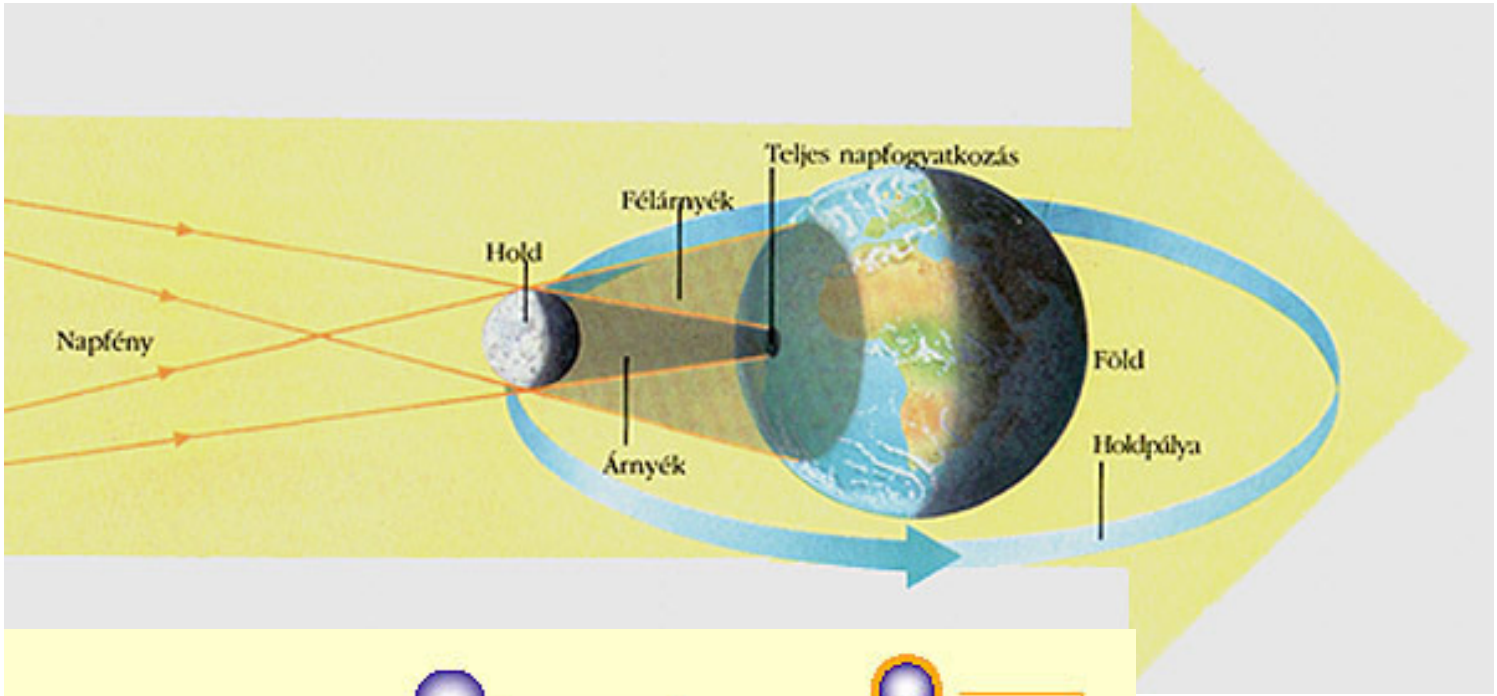
Nutáció: a precessziós mozgásban kimutatható periódikus ingadozások.
A Hold pályasíkja 5.1 fokot zár be az ekliptikával, ezért maga a pálya is precesszál a Nap gravitációs hatása miatt. A holdpálya csomóvonal körbemegy az ekliptika mentén Ny-i irányban.
Bradley (1747): 18.6 éves periódus; de van féléves periódus is

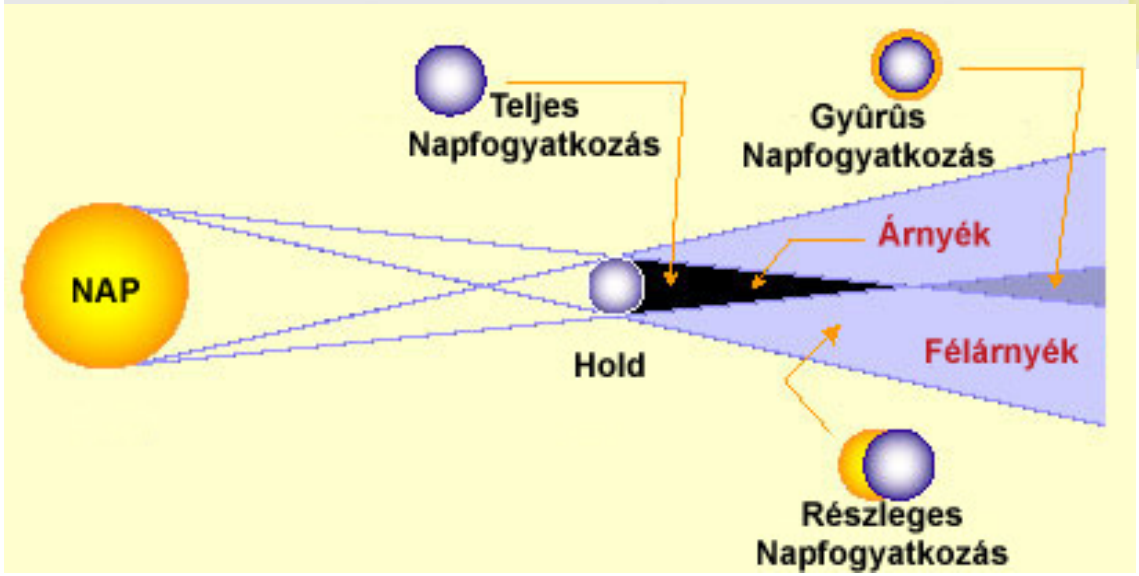
Napfogyatkozások



– újhold
– A Föld és Hold látszó átmérője azonos
– viszont pályasíkjuk nem az, ezért nincs minden hónapban fogyatkozás
– fogyatkozás feltétele: azonos ekliptikai hosszúságnál az ekliptikától mért távolság <0.5 fok
– teljes napfogyatkozás: ekliptika síkjában, perigeumban

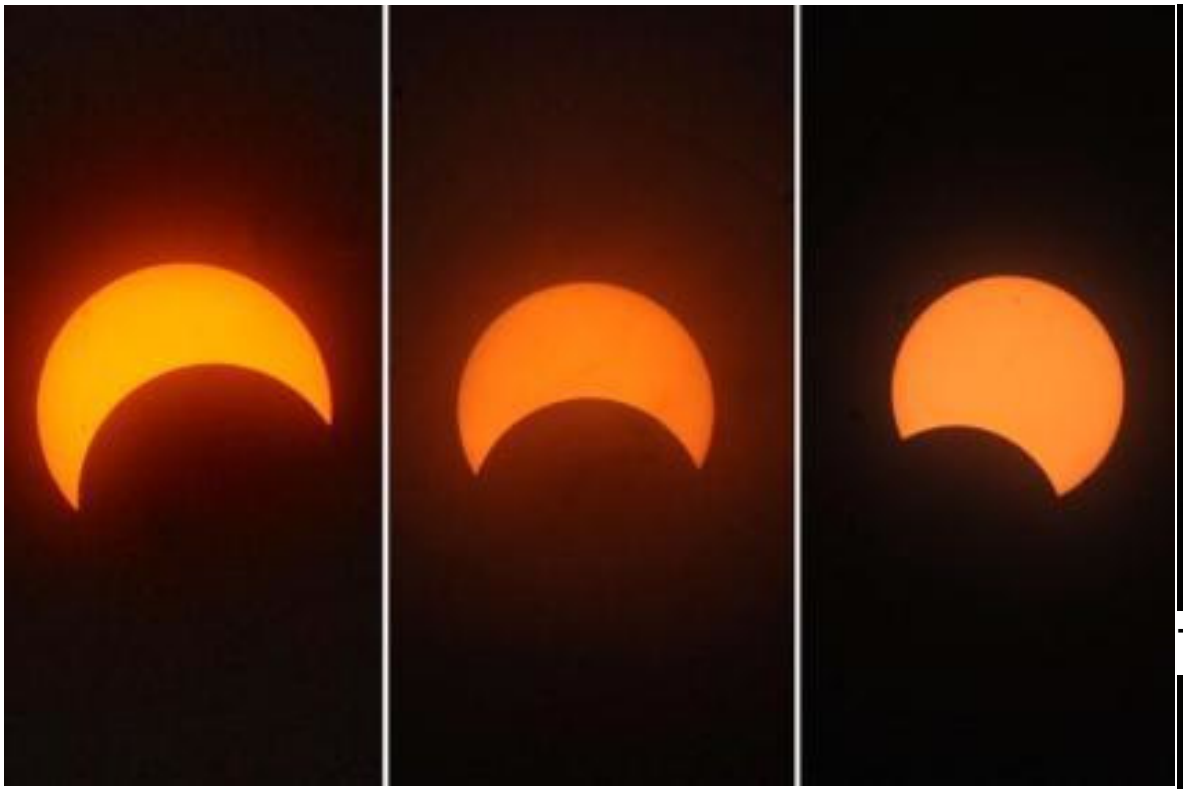
Napfogyatkozások



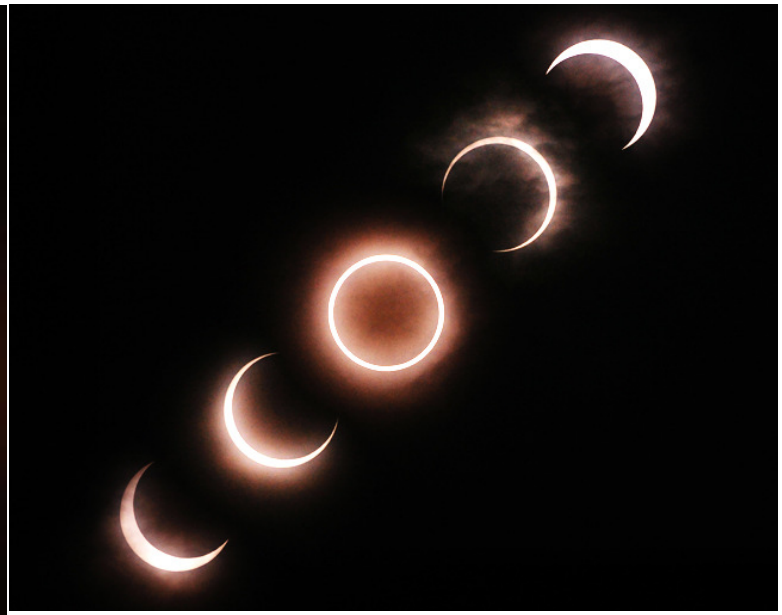


Napfogyatkozások képekben

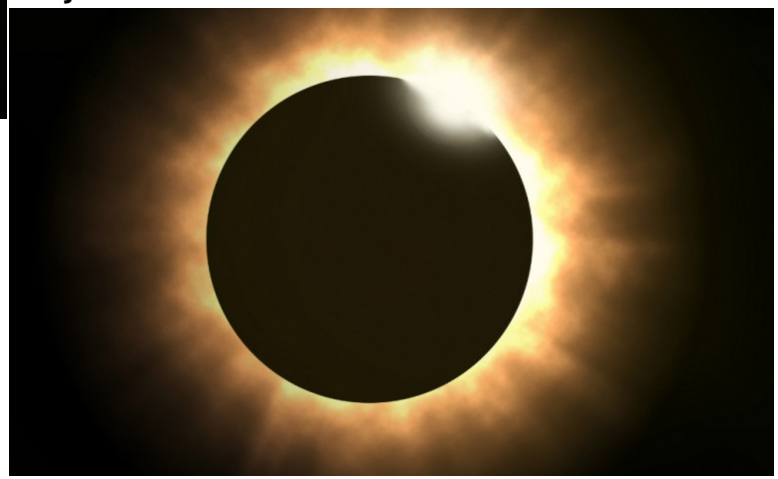
Részleges:



Gyűrűs:

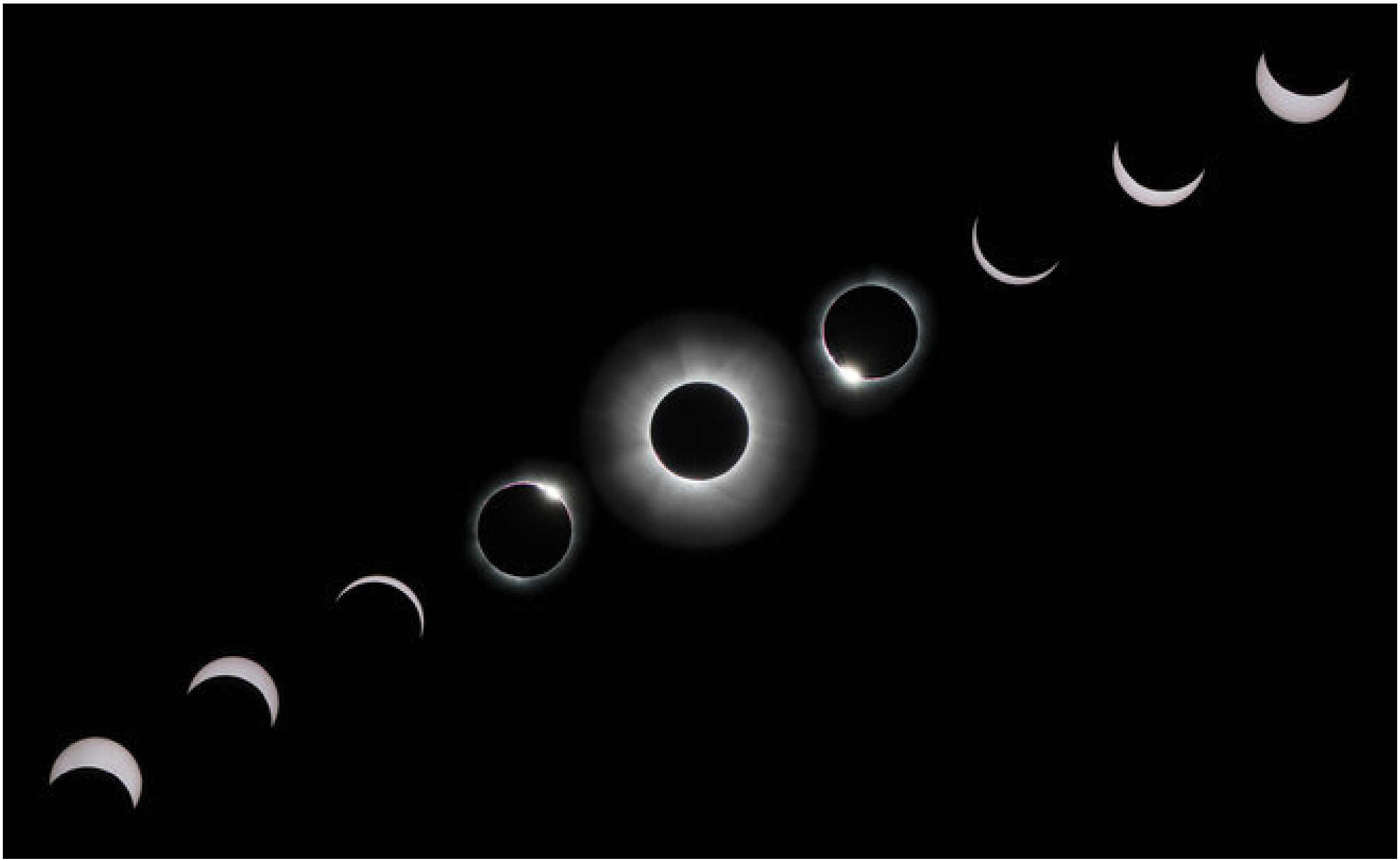


Teljes:

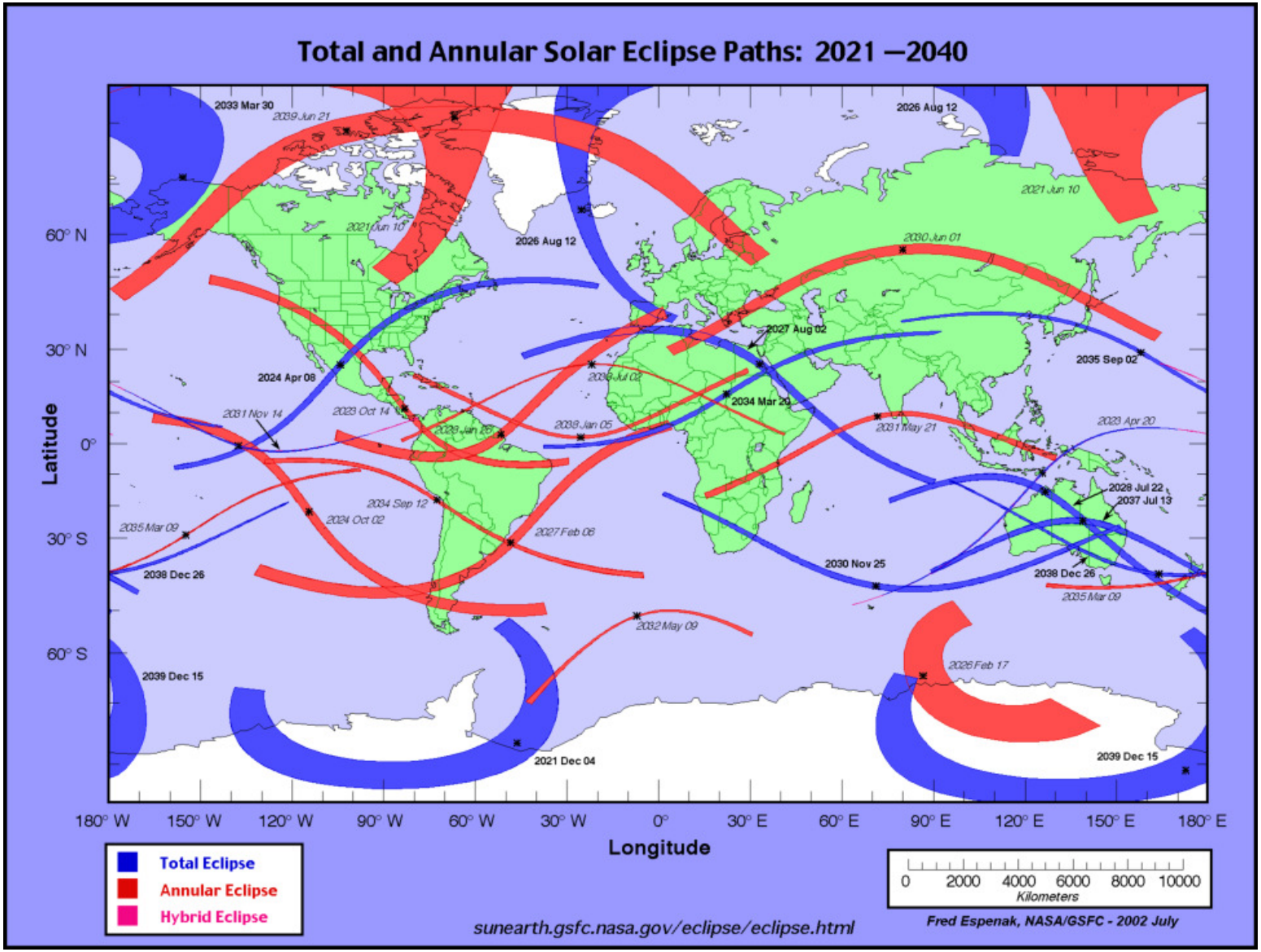


Következő, hazánkból megfigyelhető napfogyatkozások:
gyűrűs: 2075. júl. 13., 2093.júl. 23.
részleges: 2082. feb. 27. (>90%)
teljes: 2081. szep. 03.

Teljes napfogyatkozás menete

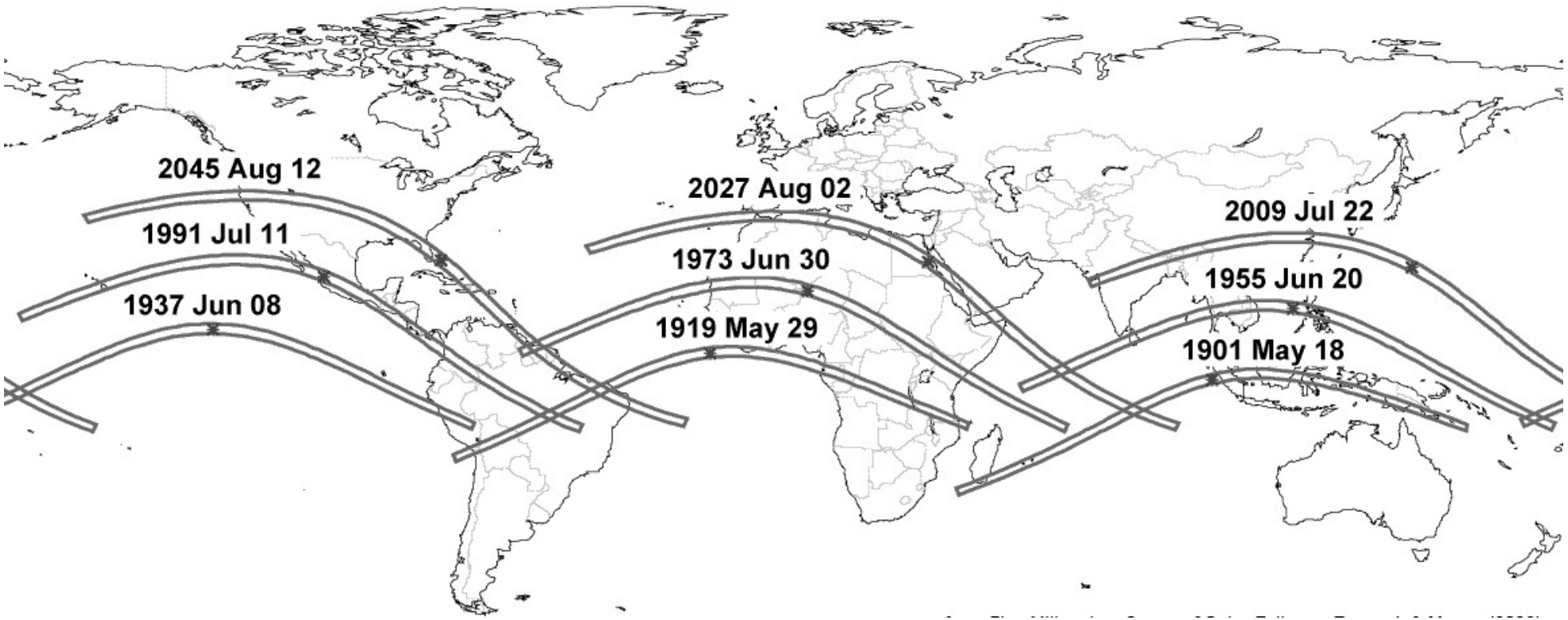


Napfogyatkozások a közeli jövőben



(https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEdecade/SEdecade1981.html)

Szárosz-ciklus



- Periódusa 6585.3211 nap, mely 18 év 11 nap és 8 órának felel meg.
- E periódussal ismétlődnek a teljes napfogyatkozások.
- 120 °-kal Ny-ra tolódnak az útvonalai

Szárosz-ciklus

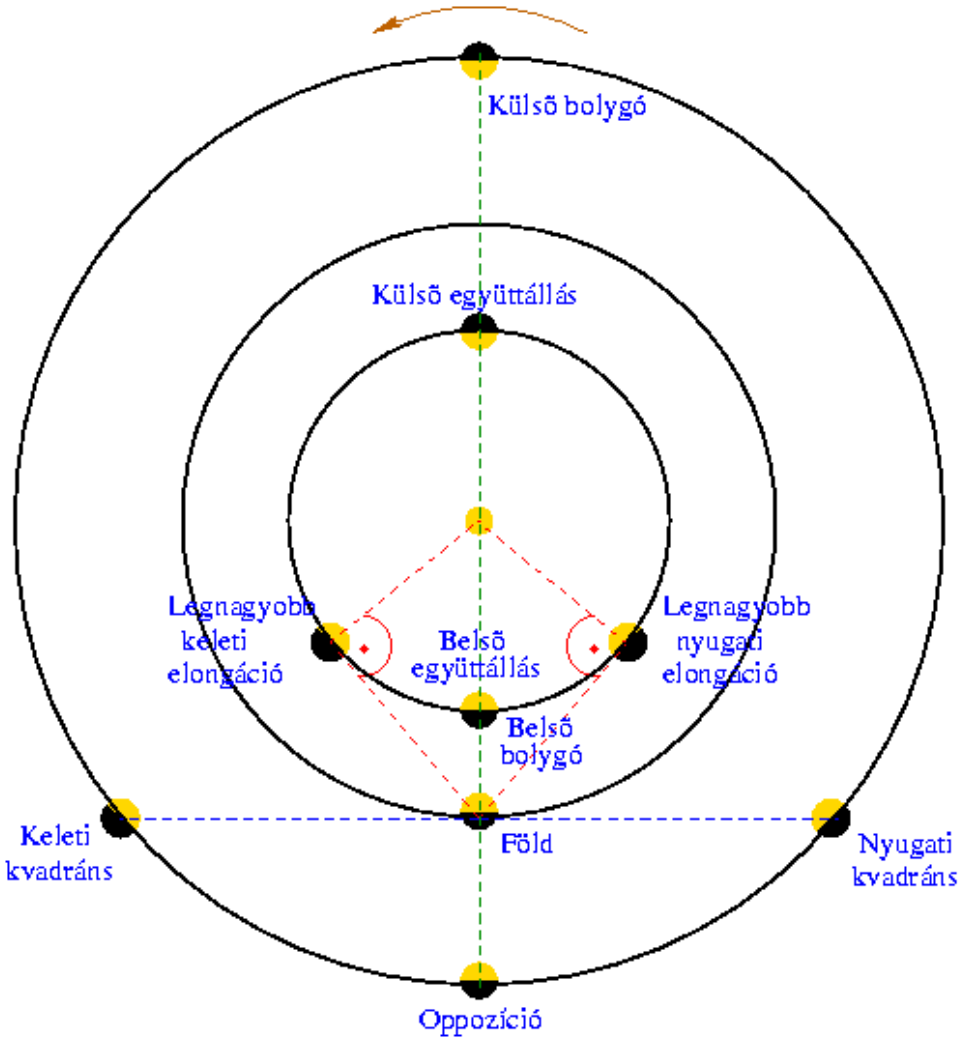


1999. aug. 11.
Magyarországról is látszott
2 min. 23 sec.



2017. aug. 21.
amerikai napfogyatkozás
2 min. 40 sec.
délebbre tolódott sáv

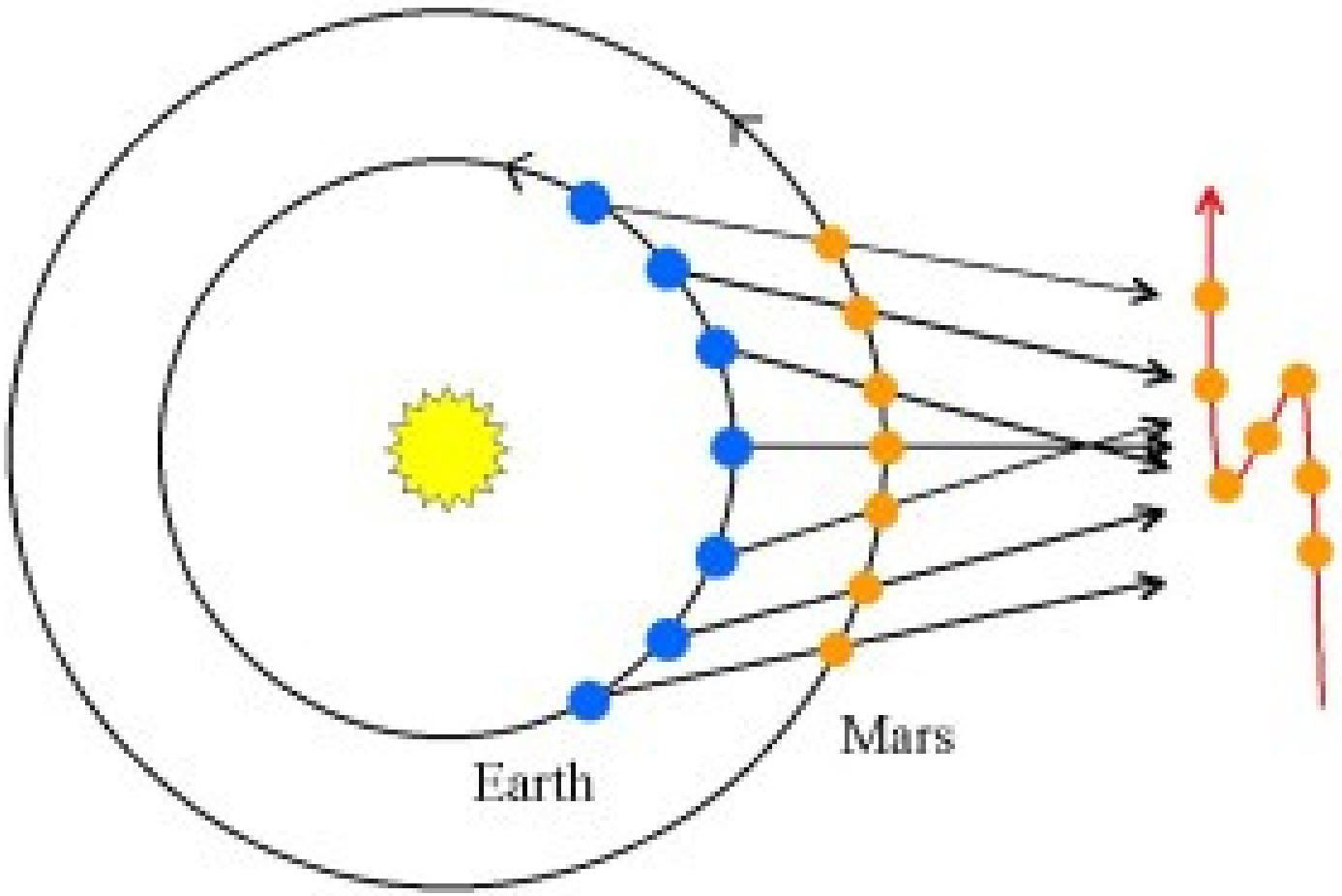
Aspektusok



Konstellációk:

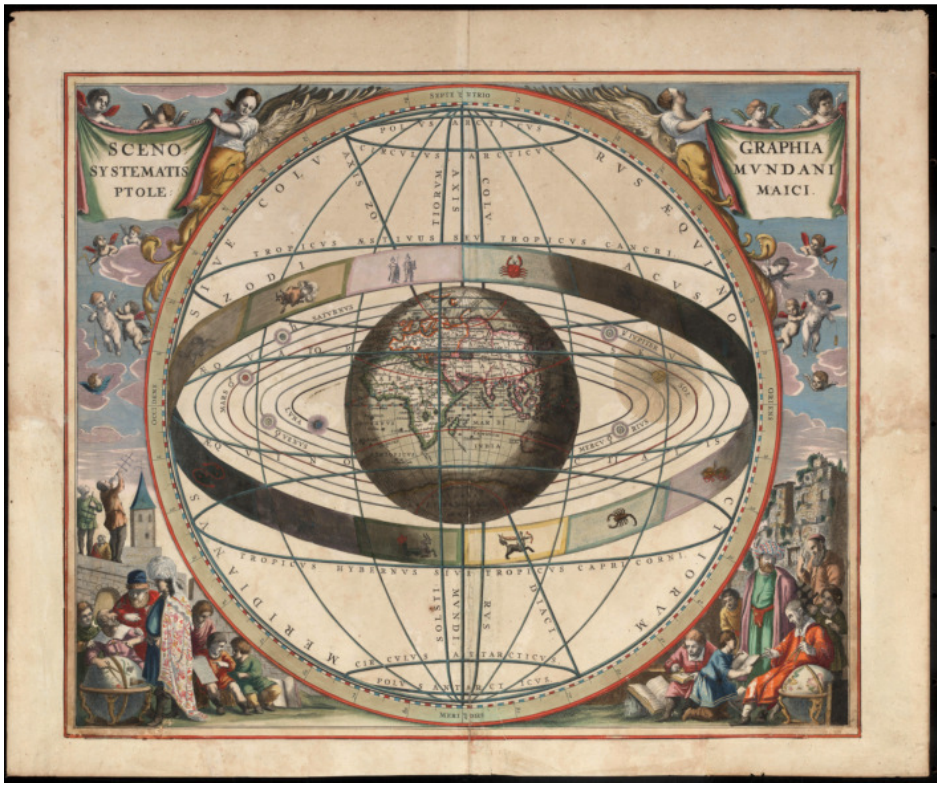
- – belső bolygók: alsó, ill. felső együttállás, elongáció
- – külső bolygók: együttállás, szembenállás (oppozíció)

Retrográd bolygómozgások

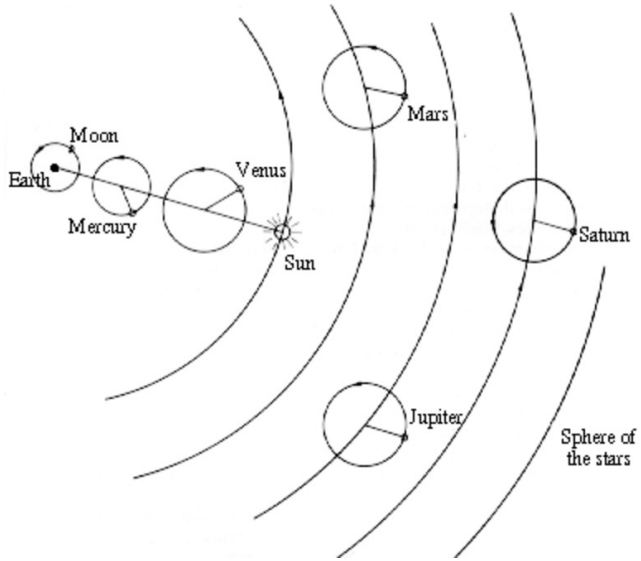


Látszólagos mozgás:
Ptolemaiosz epiciklusokat vezetett be e mozgás magyarázatára, míg heliocentrikus világképpel mindez könnyen magyarázható

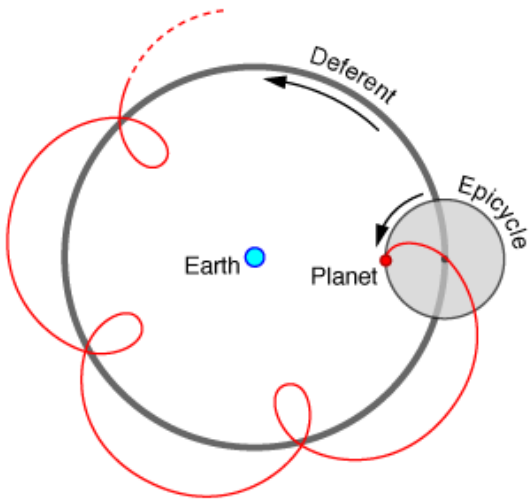
Retrográd bolygómozgások a ptolemaioszi világképben



Andreas Cellarius Harmonia macrocosmica seu atlas universalis et novus, totius universi creati cosmographiam generalem, et novam exhibens (1661)

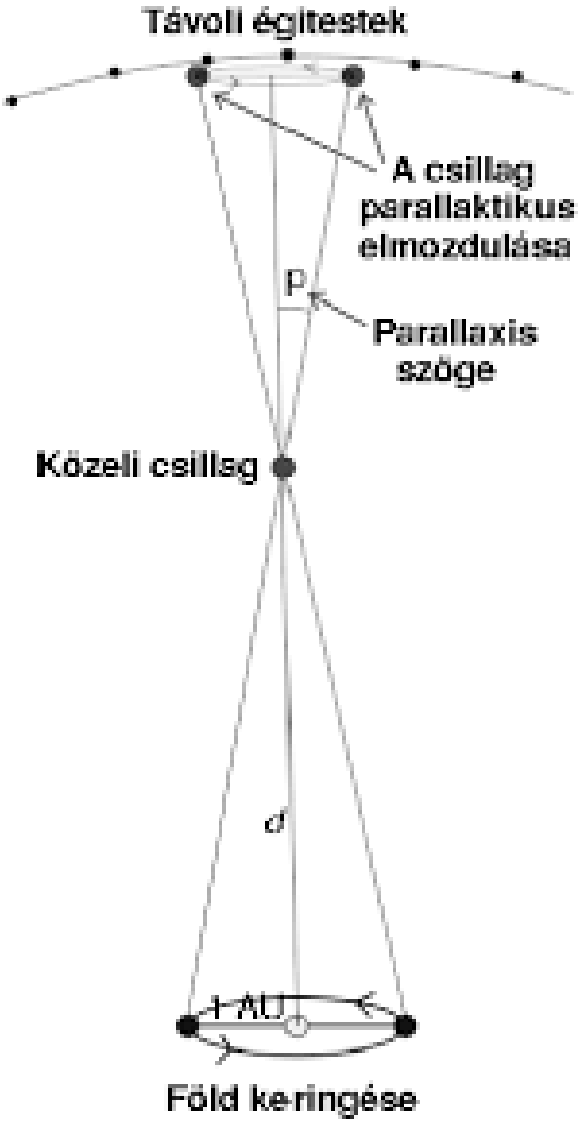


- retrográd bolygómozgás
- epiciklusok bevezetése



(Daniel V. Schroeder)

Parallaxis

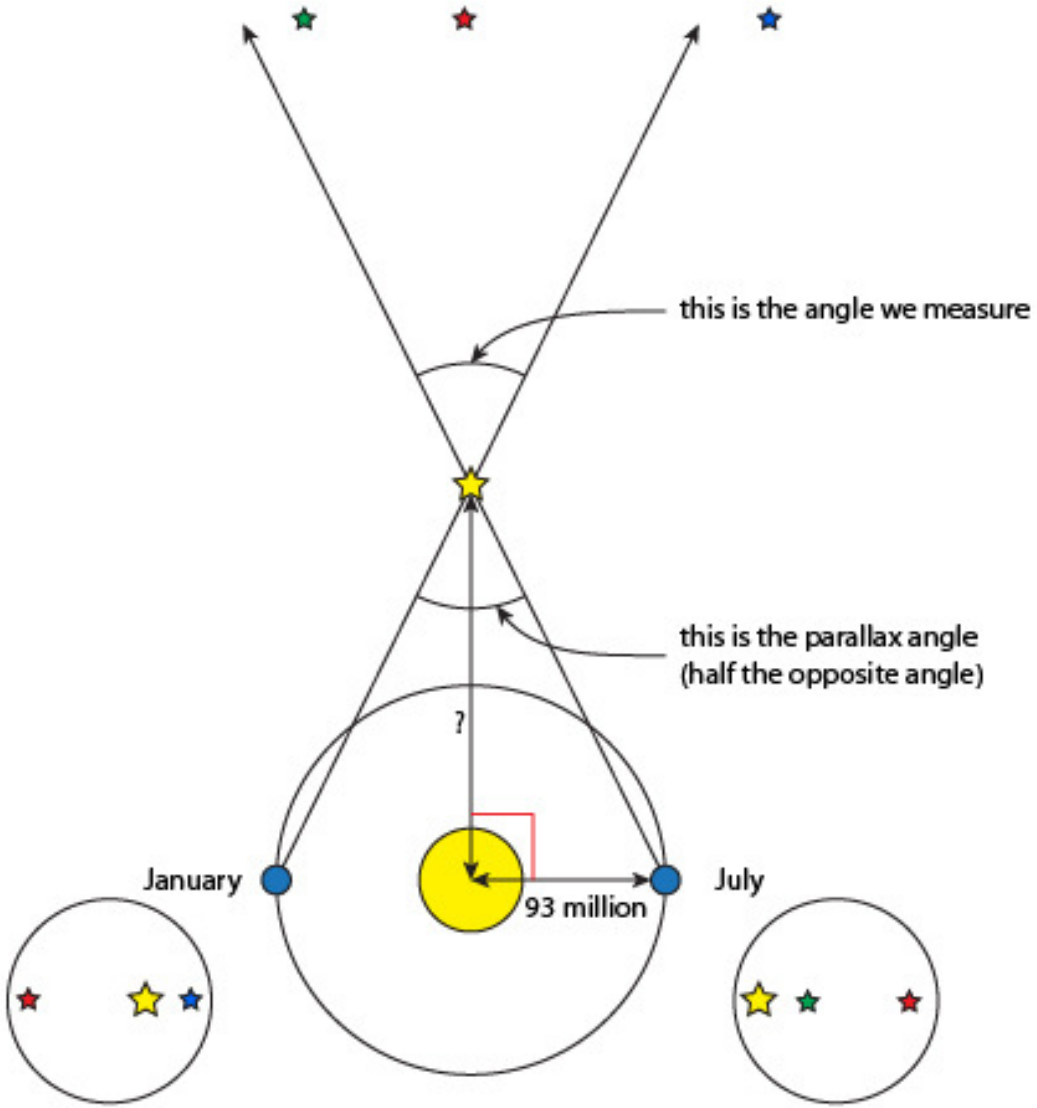


Az égitestek koordinátái megváltoznak, ha a megfigyelő elmozdul.

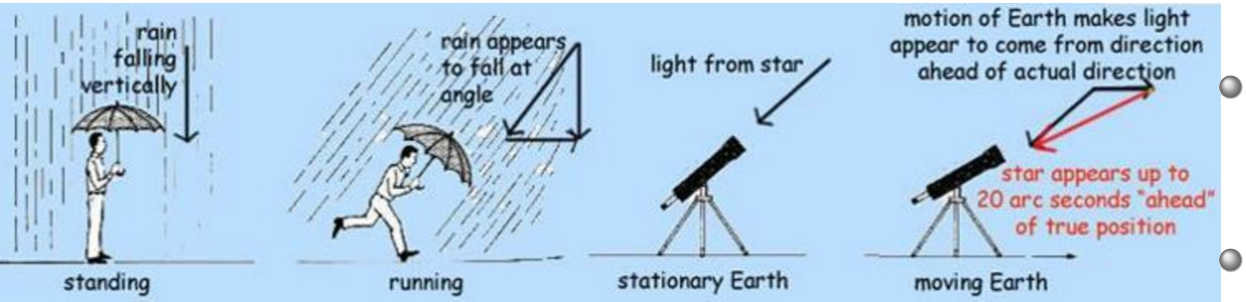
- napi: a megfigyelő helyzete a Föld forgása miatt változik
- évi: a megfigyelő helyzete a Föld Nap körüli keringése miatt változik
- szekuláris: a megfigyelő helyzete a Naprendszerrel együtt mozdul el

Új távolság-egység bevezetését teszi lehetővé: egy **parsec (pc)** távolságra van az az égitest, mely pályájának fél nagytengelye egy ívmásodperc alatt látszik az égitest éves elmozdulása során.
A Földön lehetetlen akkora távolságról észlelni, hogy a napi parallaxis segítségével meghatározható legyen a csillagok távolsága. A földpálya sugara már elég nagy ahhoz, hogy a legközelebbi csillagok távolsága az éves parallaxis segítségével meghatározhatóvá váljon.
1 pc = 206265 CsE = 3.259 fényév = $30.837 \cdot 10^{12}$ km

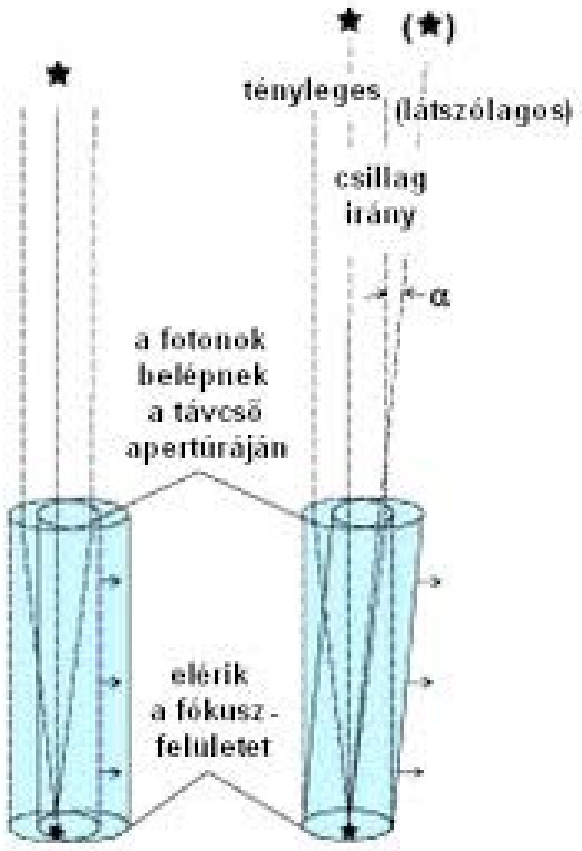
Parallaxis

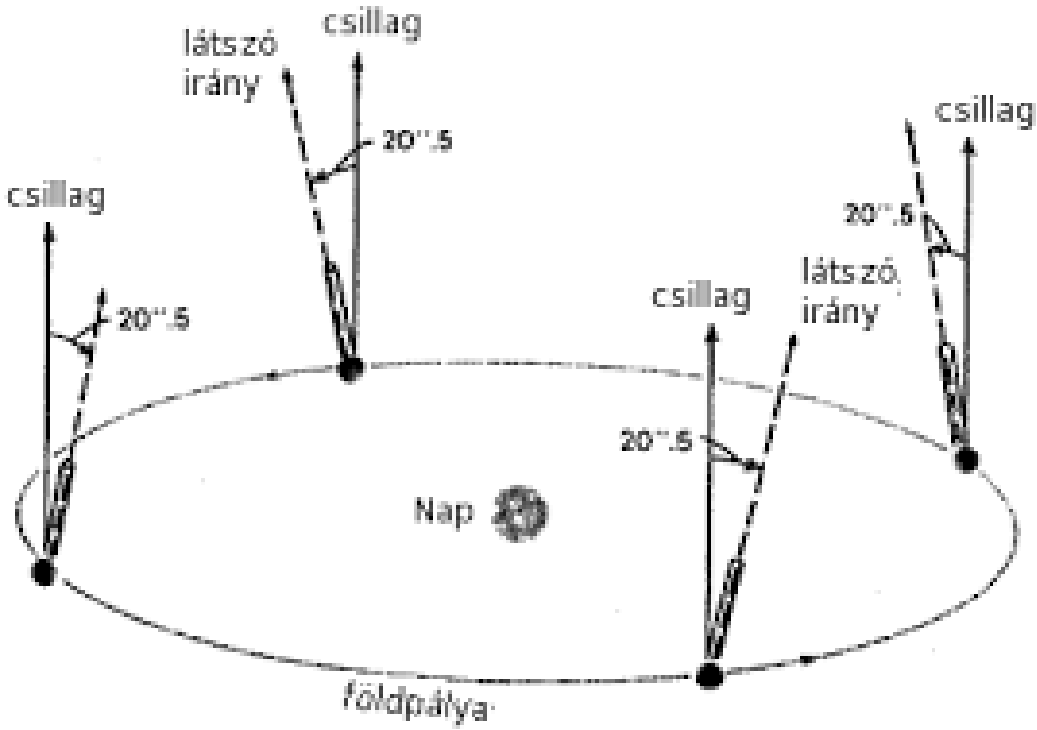

this is the angle we measure
this is the parallax angle
(half the opposite angle)
?
January
July
93 million

Aberráció

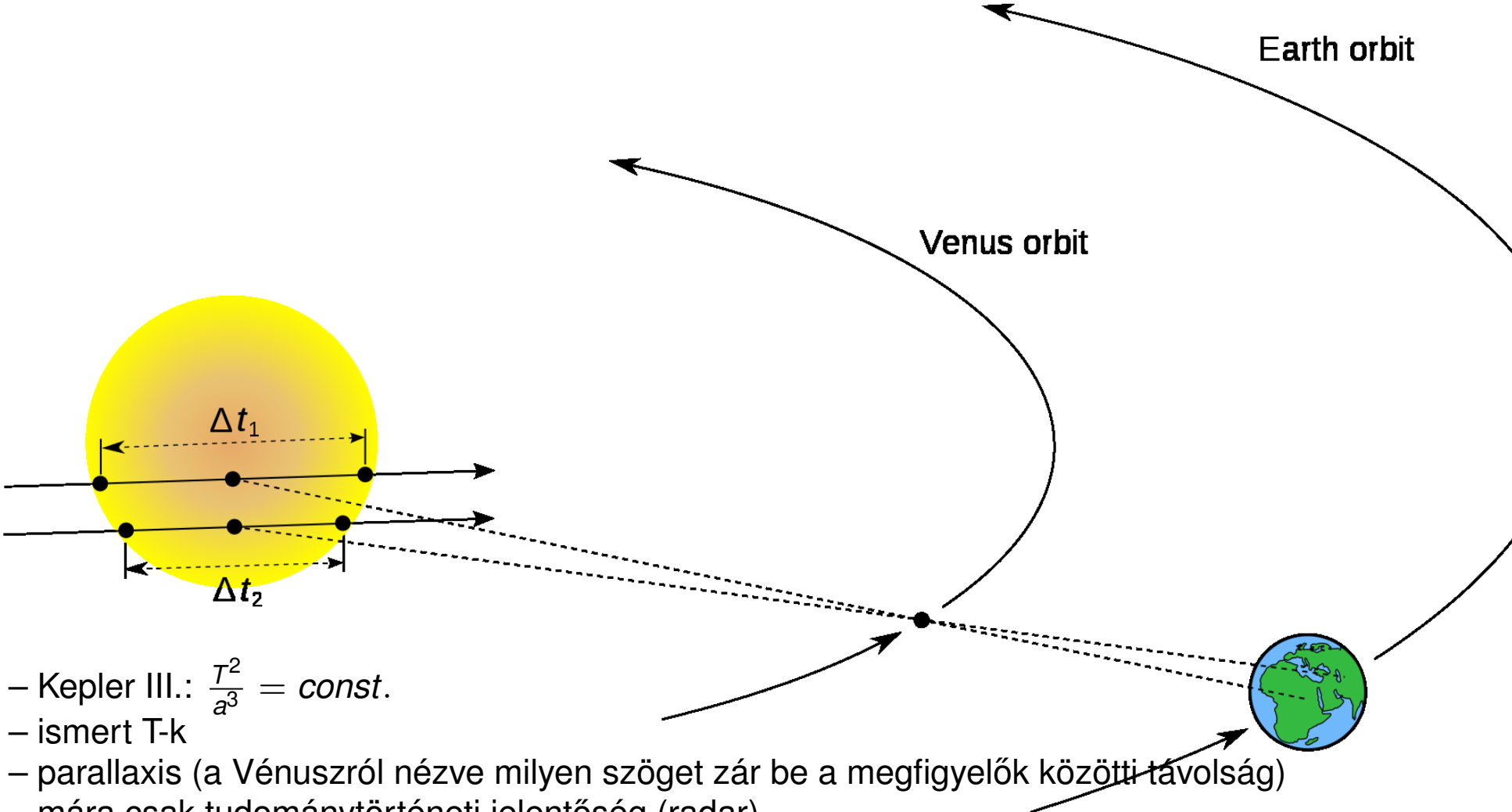


- – a megfigyelő mozgása és a fény sebességének véges természete miatt fellépő jelenség
- – a csillagra állítva a távcsövet, az nem a fonálkeresztenlátszik
- – aberráció: ϕ-ϕ'
- – éves, napi





Vénusz-átvonulás mérése Nap–Föld távolságra



– Kepler III.: $\frac{T^2}{a^3} = const.$
– ismert T-k
– parallaxis (a Vénuszról nézve milyen szöget zár be a megfigyelők közötti távolság)
– mára csak tudománytörténeti jelentőség (radar)

(forrás: https://hu.wikipedia.org/wiki/Bolyg)