

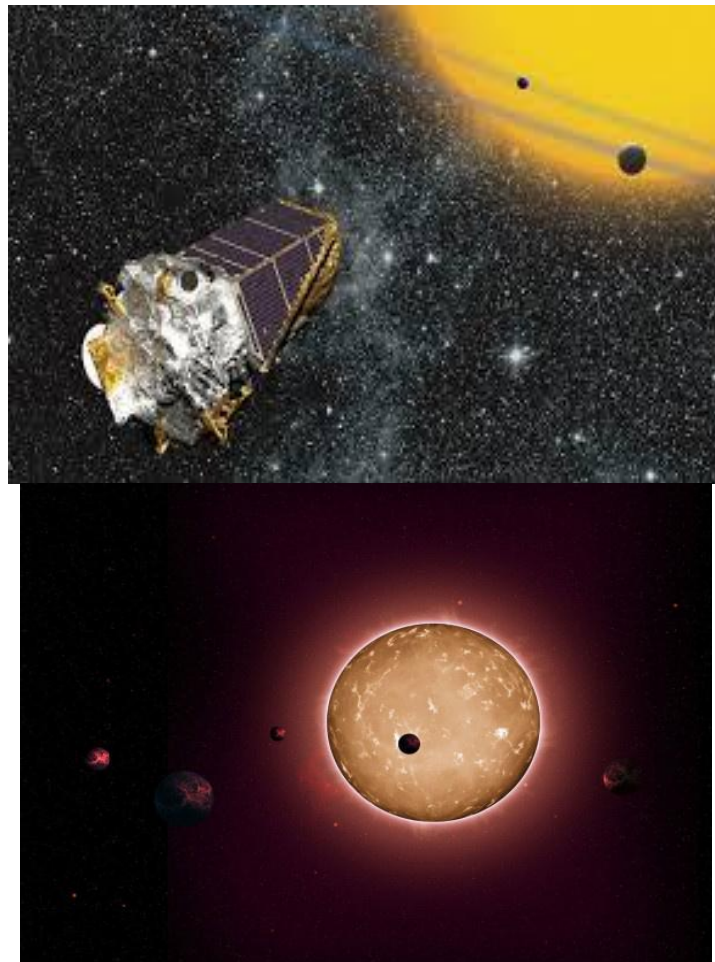
A Naprendszer általános jellemzése.

Az egyetlen bolygórendszer, amelyet részletesen ismerünk.

A Kepler űrtávcső már több ezernyi *exobolygót* (Naprendszeren kívüli planéták) fedezett fel, valamint a földi teleszkópok révén is számos új bolygót tudtak kimutatni, de a róluk szerzett ismereteink meglehetősen hézagosak. Ismerjük pl. a tömegüket, az anyacsillaguktól mért távolságukat.

Ezért csak a tágabb kozmikus környezetünkben lévő világokat tudjuk megismerni, amely sokszínű, változatos és az exobolygók jövőbeli részletes kutatása szempontjából sok tanulsággal szolgálhat.

Házunk tájának jellemzése iránymutató abból a szempontból is, hogy mely csillagokat érdemes célba venni, hogy a Földünkhöz hasonló égitestre bukkanhassunk.



A Keplerről elnevezett bolygókutató távcső a Föld körül kering. Megfigyelési módszere: ha a célcillag korongja előtt átvonul egy vagy több égitest, akkor a csillag távcsőbe érkező fényereje csökken.

A Tejútrendszerünket több százmilliárd csillag népesíti be. A csillagok két fontos jellemzője a tömegük és a kémiai összetételük, amely életútjukat, fejlődésüket meghatározza (*Vogt-Russel tétel*). Ha a Napunknál jóval nagyobb tömegű egy csillag, akkor oly hamar feléli energiatermelő készletét, hogy csak néhány száz millió évig tart az élete. A naprendszerbeli kutatások pedig azt bizonyítják, hogy milliárd évek szükségesek ahhoz, hogy a szerves élet a szerveződés olyan fokát érje el, amely most a Földön van. Tehát a Naphoz hasonló tömegű csillagok környezetét érdemes vizsgálat alá vonni. Ezek *törpecsillagok*. Az ilyen égitestek 10 milliárd vagy még annál is hosszabb életűek. A sugárzásuk ereje (intenzitása) évmilliárdokon át nem változik. Ez pedig alapvető szempont. Ki lehet jelölni a csillagok körül azt az övet, amely a Naprendszerben is létezik. Ez a *lakható zóna*. Itt a hőmérséleti viszonyok az élet szempontjából kedvezőek. A felfedezett bolygó pályája ne legyen túl elnyúlt, mert akkor a hőmérséklet ingadozás értéke jelentős lesz. A nagyszerű oldószer – a víz – nem marad mindig folyékony állapotban. A bolygó tömegének elég nagyoknak kell ahhoz lennie, hogy légköre ne illanjon el. Fontos az is, hogy milyen az atmoszféra kémiai összetétele.

Sok-sok feltétel szükséges ahhoz, hogy a szerves molekulák úgy épüljenek fel, melynek végeredménye az élő anyag lesz. (A csillagközi gáz- és porfelhők sokféle szerves molekulát tartalmaznak, mégsem az élet hordozói.)

Jogosan merül fel a kérdés, hogy miként alakult ki a Naprendszer? A kérdésre ma még nem tudunk olyan teljes körű választ adni, amely minden megfigyelt tulajdonságot megmagyaráz.

A Naprendszer születése.

A csillagászat egyik ága a kozmogónia, amely az égitestek kialakulásával és fejlődésével foglalkozik.

Vegyük először szemügyre a klasszikus elméletet, majd pedig a további elgondolásokat!

Immanuel Kant (1724-1807) német filozófus és *Pierre Simon Laplace* (1749-1827) francia matematikus, fizikus és csillagász nevéhez fűződik az ún. *nebuláris-, ködelmélet*. Kant vetette fel 1755-ben és Laplace fejlesztette tovább 1796-ban.

Kant szerint a Naprendszer anyaga, kezdetben, különböző méretű és sűrűségű egyenletesen eloszló porszemcsék halmazából állt. A tömegvonzás miatt a nagyobbak a kisebbeket magukhoz vonzották. A legnagyobb tömegű göcbből jött létre a Nap, mely körül a hasonló módon összeállt bolygók keringeni kezdtek.

Laplace feltételezte, hogy a Naprendszer helyén egykor egy tengely körül forgó magas hőmérsékletű gázköd volt. A forgást nem indokolta. Ez a forgó gázköd volt az ősnap. Ahogy egyre jobban összehúzódott úgy nőtt a szögsebessége – az impulzusnyomaték (perdület) megmaradási törvény értelmében. (A megmaradási törvény természetesen zárt rendszer esetén érvényes. Legyen egy ilyen a tengelye körül forgó korcsolyázó. Jól lehet látni, ha kitért

kezeit a testéhez simítja, akkor fordulatszáma jelentősen nőni fog. Ez természetesen csak a merev testekre igaz.

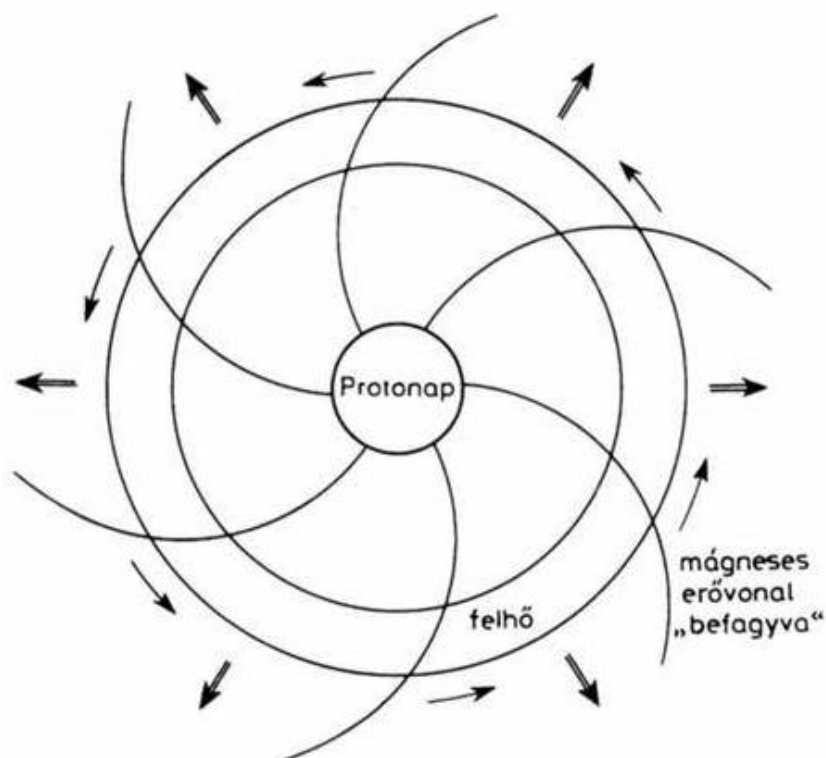
Ezért az ősnap pereméről anyagcsomók váltak le a centrifugális erő hatására. Kialakult egy olyan övezet, amely anyagcsomókból állt. A tömegvonzás hatására alakultak ki a bolygók, illetve az azokról leszakadó csomókból a bolygók holdjai.

Egy anekdota szerint, amikor Bonaparte Napoleon megkérdezte Laplace-t, hagyott-e helyet valahol a Teremtőnek, Laplace így válaszolt: „Első Konzul Polgártárs! Nekem nincs szükségem ilyen hipotézisre.”

Ez az elmélet jól adja vissza azt, hogy a bolygók egy irányban és nagyjából egy síkban keringenek a Nap körül. De sok más tulajdonságot nem magyaráznak meg. Kant és Laplace fejtegetései jó alapul szolgáltak a modell további fejlesztéséhez.

Hannes Alfvén (1908-1995) svéd csillagász rámutatott arra, hogy az anyag mágneses és elektromos tulajdonságait is figyelembe kell venni. (Jól ismert, hogy a plazmaállapotú anyag elektromosan töltött részecskék halmaza, melyek, ha mozognak, akkor mágneses mezőt keltenek maguk körül.) 1965-ben *Fred Hoyle* (1915-2001) angol csillagász ezt is tekintetbe vette, amikor a Naprendszer kialakulásáról írt elméletét ismertette. A Naprendszer egy olyan gáz- és porfelhőből alakult ki, amely a Tejútrendszerben keringett, tehát eleve forgásban volt. A gravitáció miatt összehúzódó felhő tengely körüli forgása megnőtt. Számításai szerint, amikor már csak a Merkúr pályájának megfelelő volt a mérete, akkor az egyenlítői térségből anyaggyűrűk repültek ki. A tömegvonzás okozta összehúzódás miatt a gázanyag hőmérséklete oly nagy lett, hogy plazmaállapotúvá vált, tehát a mágneses és az elektromos mező által létrehozott hatásokat is figyelembe kellett venni. A központi és a levált anyagcsomók mágneses mezejének kölcsönhatása azt eredményezte, hogy a Nappá zsugorodó központi felhő forgása nem gyorsult tovább. Ennek ellentételeként a levált felhő egyre jobban eltávolodott a Naptól. A Nap körül keringő felhő sebessége kisebb, mint a tengely körül forgó csillagé. A két anyagcsomót továbbra is összekapcsolta a mágneses mező, amelyek erővonalai a keringés miatt folyamatosan, egyre jobban felcsavarodtak (ez a mágneses befagyás tétele miatt van így = az anyag és a mágneses mező egymástól nem választható szét). A plazmafizika szerint ezek úgy viselkednek, mintha rugalmas kötegek lennének. Tehát a Napot és a gázcsomót összekötő erővonalak megnyúltak és folyamatosan felcsavarodtak a Napra. Ezáltal jelentősen csökkent az ősnap tengely körüli forgási sebessége. Így jött létre a mai tengely körüli forgási ideje.

A mágneses kapcsolat adhat arra magyarázatot, hogy ma a bolygók képviselik Naprendszerünk perdületének 98%-át, a Nap pedig csak a csekély maradékkal rendelkezik.



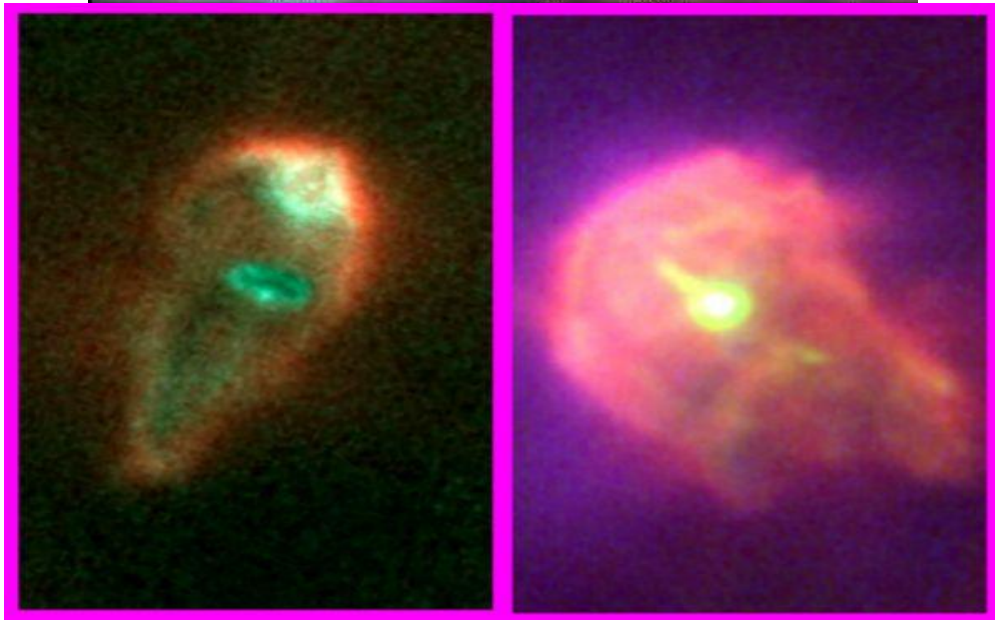
Jól látszik a befagyott mágneses mező szerkezete, melynek hatására a levált anyaggyűrű anyaga eltávolodik az ősnaptól.

Az imént felvázolt kép nem teljes, de folyamatosan dolgoznak a finomításán.

Nagyon jól tudjuk, hogy bolygórendszerünk övezetekből épül fel. A Naphoz legközelebbiek csoportját kőzet- vagy Föld-típusú bolygóknak nevezzük. Ezek a Merkúr, a Vénusz, a Föld és a Mars. Néhány ezer kilométer az átmérőjük, nagy az átlagsűrűségük, tehát szilárd felszínnel rendelkeznek.

A Mars és a Jupiter pályája között helyezkedik el a *kisbolygó (aszteroida) övezet*. Itt százezernél is több, szabálytalan alakú égitest kering. Keletkezésükre ma sem tudunk egyértelmű magyarázattal szolgálni.

Ezt követően az *óriás- vagy Jupiter-típusú* planétákkal találkozunk, melyek *gázóriások*. A *Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz* tartozik ebbe a családba. Átmérőjük és tömegük jócskán meghaladja a kőzetbolygókét. Átlagsűrűségük azonban a vízével összemérhető. A Szaturnuszé csupán $0,7 \text{ g/cm}^3$! A Neptunuson túli térségben *törpebolygókat* vagy a náluk jócskán kisebb méretű égitestek (pl. üstökösök magjai) végzik a mozgásukat. A *Kuiper- és az Oort-övezetről* van szó. Az Oort-zóna az üstökösök öve, amely 100 ezer csillagászati egység távolságban, egy óriási gömbfelületet alkot. Ez a terület már közel esik a Nap gravitációs vonzási határához, amely a Naprendszer határa is egyben.



*Egy kialakuló bolygórendszert láthatunk a Hubble űrtávcső felvételén. (APOD)
Szintén az Orion-ködben található protoplanetáris ködök. (APOD, HST felvétel,
képfeldolgozás: J. Bally, H. Throop, C.R. Deil).*

A Naprendszer gravitációs határa 1-2 fényév között húzódik. Ezt átlépve már egy másik csillag tömegvonzása „dirigálja” az ott lévő test mozgását.

Joggal teheti fel bárki a kérdést, hogy miért ilyen övezetes felépítésű a Naprendszer.

Az általánosan elfogadott nézet szerint a fiatal Nap részecske-, korpuszkuláris sugárzása, valamint az elektromágneses sugárzások okozta fénynyomás lényegesen nagyobb mérvű volt, mint ma. Ezért a hozzá közeli térségből kiseperte a kisebb részecskéket, a könnyű

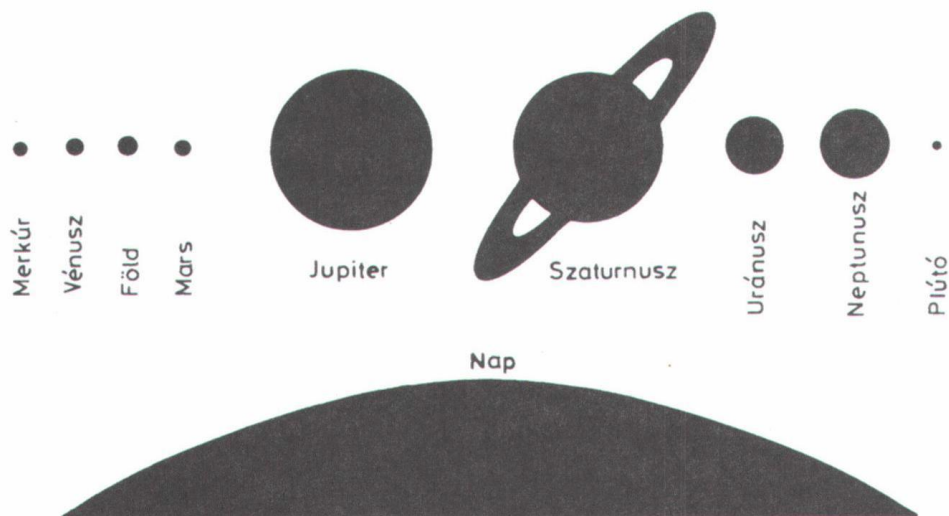
kémiai elemeket és molekulákat. Hoyle számításai szerint így maradhattak meg a kb. méteres anyagszemcsék, amelyek azután a sorozatos ütközések és összetapadások nagyobb testekké, kőzetbolygókká álltak össze. Távolabb a Naptól, ahol a hőmérséklet jóval alacsonyabb, így a gázok is megfagytak, nagyjából 10 méteres anyagcsomók keletkeztek, melyek könnyebb elemekből álltak, és a fenti folyamathoz hasonlóan, óriásbolygókká álltak össze.

Így érthetővé válik, hogy a belső bolygók miért kőzetekből állnak, az óriásokat pedig főleg hidrogén, hélium, metán és ammónia alkotja. Mindegyikük holdrendszerében viszont szilárd felszínű égitesteket találunk!

A Naprendszer tömegének 99%-a a Laplace-féle invariábilis síkban található.

A Naprendszer rövid leltára.

A Nap, törpecsillag, körülötte nyolc nagybolygó kering, azok körül 100-nál több hold mozog, Ehhez kell hozzá számítani a százezernél több aszteroidát és törpebolygót, az üstökösöket, a meteorokat, valamint a bolygóközi por- és gázanyagot.



A Nap és a bolygók méretarányos ábrázolása. Érdeemes megfigyelni, hogy a Föld-típusú és a Jupiter-típusú bolygók között milyen nagy a méretkülönbség. A „lefokozott” Plútó, pedig valóban törpebolygó.

Mintázzuk meg a Naprendszert!

Az alábbiakban a tömeg-, a méret- és a távolságok arányait találhatják meg, melyek segítségével könnyen bemutatható kozmikus környezetünk.

A tömegarányok:

10 kg kristálycukrot (1 kg-os csomagolásban) mindenki el tud képzelni. Bontsuk meg az egyik csomagot, és vegyünk ki belőle egy csipetnyit. Ez 14 g tömegű. A maradékot tegyük félre. Ez lesz a Nap tömege! A 14 gramm pedig a korábban leírt összes égitest anyagmennyiségét képviseli.

Ennek megfelelően a Földre 0,03 gramm, a Vénuszra ugyanennyi, a Marsra 0,003 grammnyi, a Merkúrra pedig 0,00165 gramm anyag jut. Most jön a nagy váltás! A Jupiter 9,54 gramm kristálycukrot, a Szaturnusz 2,85 grammot, az Uránusz és a Neptunusz pedig 0,47 és 0,54 gramm cukorból áll. A maradék pedig a többi égitestnek jut.

A méretarányok:

Legyen a Nap kinyitott esernyő, amely 109 centiméter átmérőjű. Ekkor a Föld csupán 1 centiméter méretű, ez egy szem málnának felel meg, a Vénusz szintén ekkora, a Mars csupán egy borsszemmel egyenlő, a Merkúr pedig egy apró borsszem – 0,3 centiméter.

Ismét jön a nagy változás: A Jupiter 12 centiméter átmérőjű almának vehető, a Szaturnusz egy kisebb gyümölcs (10 centiméter), az Uránuszt és a Neptunuszt pedig egy négy centiméter átmérőjű paradicsom képviseli.

A távolságarányok:

Legyen a Nap és a Föld közötti átlagos távolság egy méter – ez képviseli a csillagászati egység mini változatát. A Merkúr 40 centiméterre kering a Naptól, a Vénusz 7 deciméterre. A Mars átlagos távolsága már 1,5 méter. Ismét jön a nagy ugrás. A Jupiter 5 méterre van, a Szaturnusz 10-re, ez már nem fér be a tanterembe. Az Uránusz távolsága 30 méter, a Neptunuszé pedig 40. A Plútó 50 méternyire is képes eltávolodni. A bolygórendszerből még nem léptünk ki, hiszen vannak olyan törpebolygók, amelyek ennél is távolabb keringenek.

Rendszeresen összekeverik a Naprendszer és a bolygórendszer határainak fogalmát!

Az 1973-ban elindított Pioneer-10 űrszonda kb. 150 méterre jár a Naptól, de a Naprendszer határa jócskán távolabb van. Ha a határt 1,5 fényév távolságban húzzuk meg, akkor kb. 100 kilométerre kell eltávolodnunk a Földtől! Ez pedig a Budapest-Veszprém távolságnak felel meg.

Négy űrszonda – a Pioneer-10 -11, Voyager-1 -2 tart kifelé a Naprendszerből. Mindegyikük csupán egy szerény utcahossznyi távolságra jutott tőlünk!

Ez csupán a Naprendszer, amely porszemnek számít a Tejútrendszer valódi kiterjedéséhez képest.

Most pedig vegyük szemügyre a körülöttünk lévő égitesteket!