

**Garzó László**

# **Feltáruló Naprendszerünk**

© Dr. Garzó László 2013  
Lektorálta E. Kovács Zoltán

## **Tartalom**

Előszó
A Naprendszer
A Nap
A Merkúr
A Vénusz
A Föld
A Hold
A Mars
Az aszteroida öv
A Jupiter
A Szaturnusz
Az Uránusz
A Neptunusz
A Plútó és a Kuiper-öv
Az Oort-felhő

# Előszó

Én magam számtalanszor tartottam előadást a Kecskeméti Planetáriumban a Naprendszeréről. Összefoglaló jellegűeket is, és egy-egy bolygóról is. A Szaturnusz, a Jupiter vagy Hold holdak a Naprendszerben címmel. A Naprendszer jelenleg még kivételesnek számít, ha az exobolygó rendszerekkel hasonlítjuk össze. Ezért is, és azért is, mert szűkebb otthonunk kivételes figyelmet érdemel. Számos csoda található itt. Egy nap bizonytalán találunk majd más olyan bolygókat és naprendszereket, melyek talán felülmúlják, de akkor is elmondhatjuk, hogy a Naprendszer különleges.

E könyv a teljesség igénye nélkül vállalkozik arra, hogy képet nyújtson a Naprendszeréről. Azért mondom ezt, mert mára már annyi szonda vizsgálta, és oly sok tudományos eredmény gyűlt össze, hogy azok több kötetet is bőven megtöltenének. Én viszont arra törekedtem, hogy próbáljak nem túl tudományosan, inkább közérthetően, de minőségi tudást közvetíteni a Nap és bolygóiról.

A könyv felépítésében a Naprendszer felépítését követi, azaz a Nappal, mint csillagunkkal ismerkedhet meg először az olvasó, majd tőle egyre távolodva haladhat a rendszer határáig, ahol az üstökösök alkotta Oort-felhő van. Mostanában halljuk, hogy a Voyager szondák elhagyták a Naprendszert. Erre a hírről is választ kaphat a kedves olvasó, hogy valóban így van-e? Fogalmat alkothat a Naprendszer méretéről, összetételéről, szerkezetéről.

Remélem, e könyv érdekes és izgalmas kalauz lesz e hosszú utazásban. Igyekeztem az újabb eredményeket is beépíteni, de ez, mivel jelenleg is számos szonda dolgozik, és sorra születnek az újabb és újabb felfedezések, szinte lehetetlen vállalkozás. Ami ma még friss hír, holnapra már elavult, holnapután pedig újabb eredmények látnak napvilágot.

- Dr. Garzó László -

# A Naprendszer

A Naprendszer az a körülbelül 1 fényév átmérőjű tértartomány, ahol a Nap tömegvonzása erősebb a környező csillagokénál. A gyakorlatban, amit jól ismerünk belőle, az ennél sokkal kisebb térrész. Gyakorta halljuk mostanság, hogy a Voyager szondák elhagyták a Naprendszert. Ez nem igaz. A fentiek értelmében még jóval a Naprendszeren belül tartózkodnak, csupán a heliopauza határán vannak, ahol a napszél találkozik a csillagközi anyaggal. Hagyományosan a Nap, a 8 nagybolygó (Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz), a Plútó-szerű objektumok, a kisbolygók övezete (legnagyobbak: Ceres, Pallas, Vesta, Juno) és az a sok millió üstökös, mely az Oort-felhőt alkotja, tartozik a szűkebb Naprendszerbe. A bolygók és a Plútó-szerű objektumok csak a legbelső 50 CSE-et foglalják el. Az üstökösök akár 10-100 ezer CSE-ig, vagyis 1 fényévig terjedhetnek. (Egy Csillagászati Egység (CSE) mintegy 149,6 millió km.)

A Naprendszer összes tömegének 749/750-ed része a Napban koncentrálódik. Csupán a maradék, 1/750-ed része jut a bolygókra és egyéb égitestekre, melyek közül a Jupiter egymaga 70%-ot tesz ki. A Naprendszer tömeg- és méretarányai folyamatosan mennek át egymásba. Bolygók–holdak–kisbolygók. Persze léteznek a Merkúrnál nagyobb holdak is, mint például a Jupiter Ganymedes holdja, vagy a Szaturnusz Titán nevű holdja.

A Naprendszerben nagyok a sűrűségkülönbségek. A belső övezetében a nagy sűrűségű kőzetbolygók találhatók. Ezek között is vannak eltérések. A Föld, Vénusz és a Merkúr nagyobb sűrűségű, a Mars kisebb sűrűségű. Szintúgy a főként szilikátokból fölépülő Hold, mely méretét tekintve a Földdel szinte kettősbolygónak tekinthető. A külső gázóriások jelentősen kisebb sűrűségűek, ennek oka, hogy főként gázból állnak, méretükhöz képest viszonylag kicsiny maggal rendelkeznek. A Szaturnusz átlagsűrűsége még a vizét sem éri el.

A belső bolygók méretüket tekintve: legkisebb a Merkúr, őt követi a Mars, Vénusz és a Föld. A belső bolygók a Naprendszer bolygói tömegének kis százalékát képviselik, mivel bár sűrűek, de kis méretűek. A Jupiter a gázóriások közül a legnagyobb. Tömege össztömegüknek több mint a fele, a Föld tömegének pedig 318-szorosa.

A Naprendszer övezetes felépítésű. A központban a Nap foglal helyet. Majd sorrendben a Merkúr, Vénusz, Föld, Mars alkotja a kisebb térrészben elhelyezkedő belső bolygókat. Ezt követi a Mars és a Jupiter között a kisbolygó öv. A külső, nagyobb térrészben a gázóriások vannak: Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz, majd a Plútó-szerű objektumok, a Kuiper-öv. Végül legkívül az üstökösök alkotja az Oort-felhőt, gömbszimmetrikusan.

A Naphoz képest eltörpülnek még a gázóriások is. A bolygók és holdak között nincs éles határvonal tömegüket és méretüket tekintve. Folyamatosan mennek át egymásba. Bolygók–holdak–kisbolygók.

A Naprendszer keletkezését tekintve a ma legelfogadottabbnak tekintett keletkezési modell szerint Napunk születési helye egy molekulafelhő volt, egy gázzal és kozmikus porral teli, instabil térség, amelyben valamilyen okból – a legvalószínűbb forgatókönyv szerint egy közeli szupernóva robbanásának hatására – felborult az egyensúly, és egy Naprendszer méretű anyagcsomó a saját tömegétől összeomlott, és az anyag elkezdett összehúzódni egész addig, míg létre nem jött belőle a proto-Nap. A csillagkezdemény anyaga még tovább sűrűsödött, és néhány millió év alatt beindult a belsejében a magfúzió, megszületett a Nap. A beinduló magfúzió hatására a napszél is elkezdte áramlását és kifújta a maradék gázt a Nap környezetéből.

A bolygóképződés elmélete manapság még nem teljesen kidolgozott. Számos elképzelés van. Zavarba ejtő tény például az, hogy más naprendszerekben miért belül helyezkednek el a gázóriások. A legvalószínűbb – a tudományos közösség által napjainkban leginkább elfogadott, ám kísérletileg a Nap keletkezésmodelljéhez hasonlóan szintén nem bizonyított – keletkezéstörténeti forgatókönyv szerint a bolygók kialakulása közvetlenül a Nap születése után, a csillag körül kialakult protoplanetáris korongból indult el. A keringő anyag belső súrlódása miatt már a protocsillag állapot végén megkezdődött egy akkréciós korong kialakulása a gyorsan forgó csillag egyenlítői síkjában, a csillagkeletkezés

során visszamaradt gáz- és poranyagból. Először a gázbolygók alakultak ki a Nap sugárzása által a rendszer külső részébe fújt gázból, nagyjából 2–3 millió év alatt. A Naprendszert tekintve a helyi anyagsűrűsödésekből bolygócsírák képződtek, s ezek növekedtek, álltak össze bolygókká. Belül, ahol a hőmérséklet magasabb volt, az illó anyagok eltűntek, s a Naprendszer belső vidékein a gáz kifelé távozása miatt csak por maradt. Csak a kőzetek maradtak vissza. A külső régiókban, ahol alacsony volt a hőmérséklet, felgyülemlettek a gázok, így alakultak ki a gázbolygók és jégholdjaik. A belső Naprendszerben folyamatosak voltak a bolygócsírák ütközései, míg végül kialakultak a ma ismert bolygók. Ez a folyamat jóval hosszabb volt. E bolygócsírák is számtalan ütközést szenvedtek el. Például a Föld és a Thea bolygócsíra ütközése hozta létre a Holdat. A külső Naprendszerben eközben módosultak a gázbolygók pályái. A Jupiter 2:1-rezonanciába került a Szaturnusszal. Ennek következménye lett, hogy a Jupiter közelebb, a Szaturnusz távolabb került a Naphoz, míg az eredetileg eggyel beljebb keringő Neptunusz helyet cserélt az Uránusszal, így a sorrend Uránusz – Neptunusz lett a Naptól távolodva. E pályaváltozások hatására a Kuiper és az aszteroida övből számtalan törmelék indult a belső Naprendszerbe, és megkezdődött a kései nagy bombázás, melynek nyomát viseli a Hold és a Merkúr is. Ezt követően a Naprendszer stabilizálódott és elnyerte mai formáját.

# A Nap

Átlagos távolság a Földtől: 149,6 millió km.  
Felszíni hőmérséklete: 5500-6000 Celsius fok.  
Maghőmérséklete: 15 millió Celsius fok.  
Átmérője: 1,4 millió km.  
Forgási periódusa (poláris): 34 földi nap.  
Forgási periódusa (egyenlítői): 25 földi nap.  
Tömege (Föld=1): 330000.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A Napot szinte minden ősi kultúra valamilyen isteni tulajdonsággal ruházta fel. Egyiptomban ő volt Ré, majd Aton, a napkorong. Hasonlóképpen imádták az Inka Birodalomban is. A Nap verejtékének tartották az aranyat. A görög istenek között is helyet foglalt a Nap, ő volt Heliosz. Hüperion titán fia, Szeléné és Eosz fivére. Naponta négylovas szekeren indult égi útjára az Ókeanosz keleti partján, este pedig nyugaton leszállt, s aranycsónakon tért vissza palotájába. Odafentről mindent látott, és alkalomadtán Zeusznak vagy más isteneknek is szívesen szolgált. Balsorsú fia, Phaethon, aki megkérte apját, hogy vezesse a szekerét, de gyenge lévén, a lovak túl közel kerültek a földhöz, ezért Zeusz agyonsújtotta villámával, mielőtt mindent lángba borított volna. Több ókori szobor ábrázolja Helioszt és szekerét. Az ókori világ hét csodájának egyike volt a Rhodoszi kolosszus, mely 30 méternél magasabb volt, s a kikötő bejáratát őrizte. Egy földrengés döntötte le Kr.e. 225-ben.

## A NAP HELYE A CSILLAGOK KÖZÖTT

A Nap megértéséhez szükséges a Herzprung-Russel Diagram ismerete. A Herzprung-ról és Russel-ről elnevezett diagram a csillagokat színképosztályokba sorolja. Minden csillaghoz két adat kapcsolható, a felületi hőmérséklet és a fényesség. A diagram vízszintes tengelyén a színképosztályokat jelezzük O-tól M-ig, ezek megfeleltethetők a felszíni hőmérsékleteknek. A függőleges tengelyen a tényleges fényesség szerepel, magnitúdóban. A diagram közepén S alakban a fősorozat látható, ahol a csillagok H-He ciklusa zajlik. A bal alsó sarokban a fehér törpék állapota van feltüntetve, ezek elpusztult csillagok maradványai, míg felül az óriások és szuperóriások állapota található. Közülük némelyik fejlődése letért a fősorozatról. Ilyen vörös óriások például a Betelgeuse és az Antares. Ezekben He-C ciklus folyik, míg más óriáscsillagok, például a Sarkcsillag, egyelőre a H-He ciklusnál tartanak. A Nap ezek alapján egy fősorozati törpecsillag.

## A NAPRÓL ÁLTALÁBAN

Átmérője: 1.392.000 km. A Nap átlagos csillag, úgynevezett G2 színképű sárga törpe, mint azt a HR-diagram alapján megállapítottuk. Tömege több mint 330 ezer Földtömeg, a Jupiter tömegének pedig körülbelül ezerszerese. Átmérője a Földének 109-szerese. Centrális maghőmérséklete 15 millió fok, felületi hőmérséklete 5-6000 Celsius fok. Központjában magfúzió zajlik, a H-He, vagy más néven proton-proton ciklus. Ez a csillagok energiatermelésének legegyszerűbb folyamata. 80% hidrogén és 19 % hélium alkotja, ezenkívül némi egyéb elemet is tartalmaz. A Nap egy ősi csillagközi por- és gázfelhőből sűrűsödött össze 5 milliárd éve. Kezdetben heves T-Tauri jellegű változócsillag volt, mára azonban energiatermelése kiegyensúlyozott. Eleinte csillagunk gyorsan forgott a tengelye körül, mivel a molekulafelhő teljes perdülete benne maradt fenn, később azonban lassult a forgás. Nagyjából a kialakuló bolygórendszernek átadott impulzusmomentum, kisebb részt a napszél folyamatos, szintén impulzusmomentum (forgásmennyiség) átadásán alapuló „elszívó” hatása miatt. A Nap sugárzása is fejlődést mutat, születésekor a mainak mintegy 70%-a volt a kibocsátott sugárzás mértéke, amely milliárd éves időskálán folyamatosan növekszik, amíg csillagunk ún. fősorozati csillag marad. A Nap állapota során a legtöbb időt a fősorozaton van, ez csillagunk életpályájának aktív részét jelenti, amíg a hidrogénkészletét a magfúziós folyamatok héliummá alakítják. Modellszámítások szerint ennek a szakasznak a felénél tartunk. Az elkövetkező 1 milliárd évben a Nap fényessége és külső hőmérséklete tovább növekszik. A Nap nagyjából 10 milliárd éves koráig marad a fősorozati csillag állapotában, ekkor kifogy a hidrogénkészlete és átmegy a vörös óriás fázisba. Ebben a fázisban beindul a héliumfúzió – a hélium szénre alakulása –, ami megtízszerezi a mag hőmérsékletét, ezzel a sugárnyomást is, így a gravitáció és a belső nyomás egyensúlya felborul az utóbbi javára. Ez felfújja a csillagot, miközben a felszíni hőmérséklete lecsökken. A felfúvódás során a törpe magjának egy jelentős részét – számítások szerint 30%-át – is elveszti. A hélium-szén ciklus csupán néhány tízmillió évig tart. A Nap ledobja külső héját, amely egy tág burkot alkot

majd a megmaradt mag körül – egy távoli megfigyelő számára planetáris ködöt alkotva. A visszamaradt mag már a fehér törpecsillag. E földméretű fehér törpe rendkívül fényes, de energiatermelés benne már nem zajlik

## A NAP SZERKEZETE

A Nap övezetes felépítésű. Övezetei:

- Mag, a nap tömegének több mint fele, itt zajlik a fúzió.
- Sugárzási zóna.
- Konvekciós zóna. A hőáramlások folyamán a mélyből érkező forró plazma felfelé áramlik, majd lehűl, s oldalirányban szétterülve visszabukik a mélybe.
- Fotoszféra (a Nap látható felszíne, másképpen a Nap légkörének legalsó rétege).
- Kromoszféra (a légkör középső rétege).
- Napkorona (a külső légkör).

A Nap másodpercenként 4 millió tonnát veszít tömegéből. A Sugárzás a belsejéből több százezer év alatt jut a felszínre. A nap felületén láthatók a napfoltok, melyek a környezetnél hidegebb területek, ezeket elsősorban mágneses tevékenységek okozzák. 11 évenként napfoltciklusok váltják egymást. A forró plazma a mágneses erővonalak mentén mozog. A felszínről a napkoronába időnként anyag dobódik. A plazmakitörések során a mágneses erővonalak mentén anyag lövell ki. A Napból jövő részecskeáramlást hívják nap-szélnek.

## A NAP AKTIVITÁSA

A fotoszférában vannak a jellegzetes napfoltok, melyek a naplégkör zavart térségeinek, az ún. aktív régióknak legmélyebb szintjén jelentkező képződményei. A foltok környezetében, de magasabb szinten, mint amelyben ők jelentkeznek, a kromoszférában zajlanak le, a flare-ek (flérek), amelyek számos esetben protuberanciákat, vagyis óriási kiterjedésű, nemegyszer több százezer kilométer magasra felszökő hidrogénfelhőket indítanak útjukra. Pontosabban megfogalmazva: vagy új explozív jellegű protuberanciákat hoznak létre, vagy pedig a naplégkörben nyugvó hidrogénfelhőket teszik aktívvá.

A flare-ek lökéshullámokat keltenek a naplégkörben, s ahogy ezek a hullámok továbbhaladnak, esetleg újabb flare-ek keletkezését segítik elő, vagy nagyobb távolságban is megbontják az egyensúlyi helyzetet. Előfordul, hogy egy-egy különösen nagy protuberancia felszállási sebessége meghaladja a kérdéses hidrogénfelhő kiindulási szintje magasságának megfelelő szökési sebességet. Az ilyen protuberancia örökre elhagyja a Napot, kilövellődik a világűrbe. Az ilyen robbanásos protuberanciák nem túl gyakoriak. A bekövetkező anyagvesztés a Nap tömegéhez mérten jelentéktelen mennyiségű.

### A KORONA ÁTMENETI JELENSÉGEI

A korona két részből áll. A belső, fényesebb tartományt koronográfok segítségével a H-alfa vonalában a Földről is megfigyelhetjük. A külső, sokkal halványabb tartományt azonban koronográfokkal a Földről nem lehet észlelni. 1971-ben és 1973-ban hosszú, szalagszerű képződményeket mutattak ki. A Nap egyenlítői övezetei mentén jelentek meg és messze kinyúltak a látható Napkorong peremén túlra. E szalagok néha egészen gyors ütemben, és előre meg nem jósolható módon megváltoztak. Ebben az esetben nem protuberanciákról volt szó. Ezeket a felhőket a protuberanciáktól való megkülönböztetésük kedvéért, átmeneti koronajelenségeknek nevezték el. A további kutatások kimutatták, hogy a flare-ekkel is összefüggésben állnak. Később 1979-ben ismét vizsgálták e szalagszerű képződményeket, s már magasabb szélességeken is megfigyelték őket.

A koronafelhők alakilag eltérhetnek a robbanásos protuberanciáktól. Ez utóbbiakban többnyire függőlegesen fellövellődő gázsugarak vannak, s ha elég magasra jutnak, a mágneses erővonalak mentén meghajlanak. A még nagyobb protuberanciák, melyeknek permet a nevük, hevesen emelkednek, s anyag válik le róluk. Előfordulnak ív alakot öltők is.

A Nap légköre állandóan mozog, kavargó, mozgó anyag és a lokális mágneses mezők kölcsönhatása következtében sohasem nyugodt.

### A KORONALYUKAK

A fotoszféra hőmérséklete középértékben 6000 Celsius fok. A fényes fáklyák területén 1000 Celsius fokkal nagyobb. Amint felfelé haladunk, a gázok sűrűsége és nyomása csökken, a hőmérséklet pedig rohamosan nő. A fotoszféra fölött néhány ezer kilométerrel már 50 ezer Celsius fok, 1 millió km magasságban már 1,7 millió Celsius fok. A belső koronában már 3-4 millió Celsius fok. Ez a terület egyúttal erős röntgenforrás is. A belső koronának azonban akadnak olyan részei is, amelyekben a hőmérséklet viszonylag alacsony, rendszerint 1 millió Celsius fok alatti. Ezek a koronalyukak. A koronalyukak alatt semmiféle rendellenesség nem fedezhető fel. A koronalyukak mind a röntgen, mind az ibolyán túli fényben készített felvételeken sötétnek tetszenek.

### A SZUPERGRANULÁK

Már többször hangsúlyozásra került, milyen fontos szerepe van a mágneses mezőnek a Nap életében. A nagy hőmérsékletű gázokban az anyag és a mágneses tér elválaszthatatlanul összekapcsolódnak. A Napban és más csillagokban is a mágneses erővonalak mentén történik az anyagáramlás.

Már régóta jól ismertek a 400-500, kivételesen 1500-2000 km átmérőjű granulák. Ezek a fotoszférában találhatóak. Gyorsan változó képződmények. Ezeket a konvekciós áramlások hozzák létre. A granulák voltaképpen a konvekciós cellákkal azonosak.

Létezik egy másik, sokkal nagyobb granulációs hálózat is, ezek a szupergranulák. Ezek átmérője 15-30 ezer km. A szupergranulákat létrehozó konvekciós oszlopok mélyen a fotoszféra alatt képződnek.

### SOK ÉVTIZEDES NAPFOLTMINIMUMOK

E.W. Maunder angol csillagász 1893-ban arra a meglepő eredményre jutott, hogy az 1715. esztendő megelőző 70 évben csak rendkívül elvétve mutatkoztak foltok a Napon. Hetven éven át napfoltminimum uralkodott. Ezen állítást látszott igazolni, hogy az un. Maunder-minimumon belül akadt egy 37 éves időszak, amikor sehol a földkerekségen nem je-



gyeztek fel sarki fényt. Akadt azonban biológiai bizonyíték is. A Maunder-minimum egybeesett azzal a különös lehűlési időszakkal, melyet kis jégkorszaknak neveznek.

A további bizonyítékok, melyeket később amerikai tudósok gyűjtöttek, alátámasztani látszanak azt, hogy ez nem volt egyedülálló jelenség. Volt Sumér maximum Kr.e. 2700 körül, Görög maximum Kr.e. 2100 és 2400 között, Stonehenge maximum Kr.e. 1800 körül, Egyiptomi minimum Kr.e. 1400 körül, Homéroszi minimum Kr.e. 700 körül, Görög minimum Kr.e. 400 körül, Római maximum Krisztus születése körül, Középkori minimum Kr.u. 700 körül, Középkori maximum 1200 körül, és Sprörer minimum 1500 körül.

A napfoltciklusok elején a mágneses erővonalak pólustól pólusig futnak, s a mágneses mező az eltérő forgási sebességű sugárzási és konvekciós zóna határán keletkezik. A forgási sebességkülönbség miatt az erővonalak nyúlni kezdenek, ahogy a kavargó, áramló plazma tovább rángatja őket, energia halmozódik fel bennük. A megcsavarodott mágneses erővonalak végül följebb emelkednek, s lélegzetelállító alakzatokban törnek a Nap felszínére.

## A NAP LÜKTETÉSE ÉS FORGÁSA

A Nap oszcillációja olyan rendkívül kicsiny, az égitest sugara a folyamat során csupán méteres nagyságrendben változik, hogy ezt közönséges csillagászati mikroméretekkel lehetetlen mérni. Ezért a Nap Doppler-effektusát kellett megmérni. 2 óra 40 perces pulzációt sikerült mérni.

A Nap tengely körüli forgása meglehetősen sajátos jelenség. Az égitest nem forog szilárd testként. Az a legmeglepőbb, ahogyan a Nap belső rétegei forognak. A konvekciós zóna és a fotoszféra egyenlítői tartományban 26, a sarkoknál viszont 36 nap alatt tesz meg egy fordulatot. A mag és a sugárzási zóna gyorsabban forog a felső rétegeknél. A Nap belseje szilárd testként forog 27 napos periódussal.

## A NAP MÁGNESES MEZEJE

A Napon lényegében a mágneses mezők mozgatnak mindent. Csillagunknak van egy általános mágneses mezeje. A Napot körülölelő mágneses mező a belső plazmamozgás eredménye lehet. A napfolt mágnessége hűvösen tartja az alatta elterülő plazmát, s útját állja a forró anyag felemelkedésének. A konvekciós zóna és a még mélyebben elterülő sugárzási zóna eltérő sebességgel forog, s alapján véve ez kelti a mágneses mezőt. A konvekciós zóna plazmájában futóáramok látszanak.

# A Merkúr

Átlagos távolság a Naptól: 57,9 millió km.  
Felszíni hőmérséklete: -180 Celsius foktól  
430 Celsius fokig.  
Átmérője: 4875 km.  
Térfogat (Föld=1): 0,056.  
Holdak száma: 0.  
Forgási periódusa: 59 földi nap.  
Keringési periódusa: 88 földi nap.  
Tömege (Föld=1): 0,055.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Az olimposzi istenek egyike, Zeusz fia, anyja a Néreiszek közül való Maia volt. Egy árkádiai barlangban született, s már élete első napján furfangosan ellopta Apollón gulyáját, akit lantjával engesztelt meg. Apjának hírvívője, és utasításainak végrehajtója. Szárnyas sarujával szinte bárhová gyorsan eljuthatott. A vándorok és kereskedők védnöke lett, sőt az ügyes tolvajoké is, és ő vezette a holtak lelkét az alvilágba. Homérosz két himnusza szól róla az ókorban. Vázákon és falfestményeken is ábrázolták. Praxitelész szép márványszoborként örökítette meg, amint karján a gyermek Dionüszoszt tartja. Sok újkori festményen megörökítették, többek közt Tintoretto, Veronese, Rubens vásznain.

## PÁLYÁJA

A Plútót nem számítva, a Merkúr pályája az összes bolygópálya közül a legelliptikusabb. Periheliumban csak 46 millió km-re van a Naptól, de apheliumban 69,8 millió km távolságra van tőle. A Merkúr egyenlítőjének síkja egybeesik a saját pályájának síkjával, ez azt jelenti, hogy a bolygón nem léteznek évszakok, s a pólusaihoz közel eső krátereket soha nem éri napfény, ezért állandóan hidegek. Pályája 7 fokos szöveget zár be a földi pályasíkkal. Mint-hogy a Merkúr a földpályánál beljebb kering, a Holdhoz hasonló fázisokat mutat.

## HOLD-SZERŰ FELSZÍN

Mivel a Merkúr mindig a Nap közvetlen közelében látható, ezért a Mariner-10 űrszonda által készített fényképek előtt jóformán semmi biztosat nem lehetett tudni a felszínéről. A későbbiekben a Hubble űrtávcső sem figyelte meg pontosan emiatt. A Mariner-10-nek és a Messenger szondának hála, nyugodtan elmondhatjuk azt, hogy felülete igen sok vonatkozásban rendkívül emlékeztet Holdunk felszínére. Természetesen a két égitest között számtalan eltérés akad.

Első ilyen legfontosabb eltérés, hogy a Merkúrnak igen nagy vasmagja van, melynek sugara a bolygó fél átmérőjének 75-80%-a is

lehet. A szilikátos külső rétegek így csak mintegy 600 km vastagok. A nagy vasmag létezésére számos mérésből lehet következtetni. Legnyilvánvalóbb jele azonban a körülbelül 1800 km sugarú magnak, hogy az égitest Földével összemérhető átlagsűrűsége  $5,5 \text{ g/cm}^3$ . Ez azt igazolja, hogy a Merkúr bolygón erőteljes volt a differenciáció. Felmerül a kérdés, hogy miért ilyen vékony a felső szilikátos rész? Erre egyik magyarázat az lehet, hogy keletkezése után nem sokkal egy nagy bolygócsírával ütközött, s az eredetileg nagyobb Merkúr külső részei elpárologtak vagy kidobódtak az űrbe. A Merkúr sajátosságait sokféle folyamat magyarázhatja, ezek egyike a fentiekben vázolt elgondolás, hogy a bolygó összeállása során egy másik, hozzá hasonló méretű objektummal találkozott. Az ütközés nyomán külső rétegei leszakadtak, tehát ma nem az eredeti felszínalkotó kőzetet láthatjuk. Ugyanakkor a felszíni anyag sok ként tartalmaz, ami nehezen illeszthető ebbe a képbe, mivel az ősi kataklizma az egyébként illékony elemnek számító kén jelentős részét is elvitte volna.

A Merkúr keletkezése körül még mindig sok a kérdés. Egyes megfigyelések arra utalnak, hogy valóban egy ősi becsapódás szakította le a bolygó korai kérgét, ugyanakkor más mérések ennek ellentmondanak. A Messenger mérései révén egyértelmű, hogy a vulkanizmus kiterjedt felszínformáló tényező volt az égitesten. Talán vulkáni eredetűek a nemrég felfedezett világos foltok is, amelyek mélyedéseket öveznek, de lehet, hogy valamilyen egyéb folyamat révén távozott illékony anyag itt a felszín alól. A Messenger űrszonda tovább folytatja a bolygó vizsgálatát, és az égitest felszínének térképezéséhez a lassú tengelyforgás miatt hosszú idő szükséges.

További különbség a Merkúr és a Hold között, hogy az előbbi fényvisszaverő képessége, vagyis albedója nagyobb, mint a Holdé. Végül akadnak olyan felszíni képződmények is a Merkúron (például bizonyos vetődéstípusok, és körben futó, központi hegyvonulatok egyes nagy kráterek belsejében), amelyekhez hasonlóak a Holdon nem találhatók meg. Ezeket a különbségeket figyelembe véve is a Merkúrról készített felvételek egyes esetekben összetévesztésig hasonlítanak a Holdról készült képekre.

A bolygó 58,65 földi nap alatt fordul meg egyszer a tengelye körül, a Nap körüli

keringésének ideje pedig 88 nap. Két teljes keringés alatt tehát éppen háromszor fordul meg, vagyis két Merkúr év egyenlő három Merkúr nappal. Ebből a szempontból ez a bolygó egyedülálló a Naprendszerben. Emiatt egy-egy éjszaka igen sokáig tart, pontosan 176 földi naponként van napkelte, mely miatt a napos oldal 400 Celsius fok fölé melegszik, az éjszakai oldal pedig mínusz 170 Celsius fok alá hűl, tekintve, hogy nincs légkör, mely kiegyenlítené e különbségeket.

A Merkúr felszínének termális viszonyaira vonatkozó kutatások szerint a bolygót finomabb szemcséjű, törmelékes jellegű, szilikátos összetételű anyag borítja. A polarizációs radarmérések szerint ez az anyag darabosabb, mint a Hold felszínét fedő regolit. A nagy kiterjedésű, sötét területekről már biztosan tudjuk, hogy ezek a Merkúr medencéi, vagyis mélyebben fekvő, laposabb, valószínűleg bazalttal fedett síkságai, melyeken kevés kráter található.

Sok helyütt fénylő, küllőszerűen szétágazó sávokkal rendelkező gyűrűs hegyek láthatók. Az ilyen képződmények a Hold esetében sugaras kráterek, és általában a legfiatalabbak. Hasonló feltevéssel joggal élhetünk a Merkúr esetében is.

Sokáig elsősorban kráterek borította égitestnek tekintették a Merkúrt, nemrég azonban vulkáni eredetű lávaömléseket azonosítottak rajta. A vizsgálatok rámutattak, hogy az északi féltekének mintegy 6%-át ilyen anyag borítja. A nagyságrendileg egy kilométer vastag lávafolyások sok idősebb krátert temettek el, utólagos hűlésük és zsugorodásuk nyomán néhol repedések is mutatkoznak rajtuk. Anyaguk bazalthoz és komatiit-hoz hasonló összetételű lehet. Utóbbi igen primitív vulkáni kőzet, amely kevésbé átalakult, azaz gyengén differenciált anyag, és Földünkön 2,5 milliárd évnél korábban keletkezett.

A Merkúr felszínén ezek a lávák nagyon híg formában és 1600 Celsius-fok körüli hőmérsékleten folytak. Forró anyaguk úgynevezett termális erózióval változtatta a területet, amelyen áramlottak: az alapkőzetet felmelegítették, megolvastották és néhol mély völgyalakzatokat martak belé, sőt áramvonalas szigeteket is létrehoztak. A vulkáni tevékenységre 3,7-3,8 milliárd évvel ezelőtt kerülhetett sor a bolygón.

A legfurcsább alakzatok azok a világos mélyedések, amelyek néhány kilométer átmérőjűek, szabálytalan alakúak, és csoportokban fordulnak elő. Kráterek központi csúcsain, kiemelkedő peremükön jellemzőek, és bennük a mélyedést világos halo alakzat veszi körül. Eredetük pontosan nem ismert, de a feltételezések alapján valamilyen vulkáni jellegű folyamat révén vagy ehhez hasonlóan, de illó anyagok, gázok szelídebb kitorése során keletkeztek.

A bolygó felszínén előforduló kálium, tórium és uránium elemek gyakoriságát tekintve az anyag, amelyből a Merkúr összeállt, a többi Föld-típusú bolygóéhoz hasonló volt. A Merkúrt gyakran a Holdhoz hasonlítják, főleg sűrűn kráterezett megjelenése miatt, azonban kémiai összetételét tekintve felszíne eltér a Holdétól.

A Merkúr mágneses terében, valamint a vákuumhoz közeli kis gázsűrűségű, légkör jellegű, úgynevezett exoszférajában sok nátrium és oxigén található. Ezek legnagyobb gyakoriságban a mágneses pólusok felett fordulnak elő. A két elem feltehetőleg az erővonalak mentén a felszínt bombázó részecskék szabadítják fel. Ezzel ellentétben a hélium eloszlása a bolygó körüli ritka gázanyagban gömbszimmetrikus. Valószínűleg ez is a felszínről származik, azonban ennek eloszlása egyenletes, ezért elképzelhető, hogy a mágneses tértől függetlenül, a magas hőmérséklet miatt szabadul fel a kőzetanyagból.

A Merkúrnak csupán átmeneti jellegű, igen ritka légköre van. A Napból érkező plazmaáramlás által szállított héliumatomokból épül fel ez az atmoszféra. A felszíni légnyomás kisebb a mbar kétmilliárdod részénél. Az egyes atomokat körülbelül 200 napig képes a bolygó fogságában tartani, ezután a napszél mintegy kisöpri őket a világűrbe.

## A MESSENGER SZONDA A MERKÚRNÁL

2004 augusztusában indult útnak, egy évvel később, 2005 augusztusában „búcsút intett” a Földnek, s a Vénusz felé vette az útját. 2007 júniusában újabb „lendületet vett”, hogy a Merkúr eléréséhez megfelelő pályára állhasson.

A Merkúr mellett először 2008. január 14-én, másodszer október 6-án repült el, harmadszor pedig 2009. szeptember 29-én. E be-

repülések során a Messenger arról a féltékéről is készített felvételeket, amelyekről az 1970-es évek közepén a NASA Mariner-űrszondájának nem sikerült.

A Messenger főhajtóműve olyan üzemmódba kapcsol, amellyel negyedórás manőver során az űrszonda eléggé lelassul ahhoz, hogy a Merkúr gravitációja beszipantsa, és a bolygó körüli elliptikus pályára álljon. Ekkor a Messenger 46,14 millió kilométerre volt a Naptól és 155,06 millió kilométerre a Földtől.

Az űrszondán hét műszer van, beleértve a Merkúr kettős képfelvévő rendszerét (MDIS / Mercury Dual Imaging System), amelynek kamerái maximálisan 18 méteres felbontással rögzítik a felszíni domborzati viszonyokat. A Messenger fedélzetén működik a légkör és a felszín kémiai összetételét mérő spektrométer (MASCS / Mercury Atmospheric and Surface Composition Spectrometer), ahogy a töltött részecskék összetételét és energiáját mérő spektrométer (EPPS / Energetic Particle and Plasma Spectrometer) is.

Az első képeken a bolygó korábban ismeretlen területe volt látható, ahol számos becsapódásos kráter mutatkozik. Az alakzatok közül több is viszonylag fiatal képződmény, erre a belőlük kiágazó világos sugársávok utalnak. Némelyek belső része még világosabb, mint a sávokat alkotó kidobott törmelék - azonban több esetben a világos terület centrumában sötét folt sejtethető. A bolygón már korábban is azonosítottak ezekre emlékeztető, meglepően sötét krátereket. Keletkezésük magyarázata a küldetés egyik feladata.

A Messenger pályáján legszorosabban 200 kilométerre közelíti meg a felszínt, és attól legmesszebb 15 ezer kilométerre távolodik el. 2009-ben műszereinek tesztelése zajlott, de már most is használható adatokat készít és sugároz bolygónkra. A Messenger a pályára állás után röviddel összesen 363 képet rögzített, részben kalibrálási céllal.

A szonda tudományos programja április 4-én indul, akkortól kezdve legalább egy éven keresztül minden korábbinál részletesebben fogja térképezni az égitest felszínét, naponta közel annyi új adatot sugározva a Földre, mint amennyit korábban összesen készített, amikor elhaladt a bolygó mellett. A tervek szerint mintegy 75 ezer új képet rögzít majd a Merkúrról.

## MÁGNESESSÉG ÉS SUGÁRZÁSI ÖVEZET

A Merkúr-kutatás egyik legérdekesebb és legmeglepőbb eredménye volt az égitest mágneses terének felfedezése. 1974. március 29-én, a Mariner-10 amerikai űrszonda a bolygó árnyékában lévő, azaz éjszakai félgömbje fölött haladt el. Műszerei ekkor olyan mágneses lökéshullámot észleltek, mint amilyen a Föld magnetoszférájának Nap felőli oldalán alakul ki. A Messenger által mért adatokból a mágneses tér vizsgálata alapján a korábnál pontosabban sikerült meghatározni annak jellemzőit. A mágneses tér centruma nem pont a Merkúr geometriai középpontjával esik egybe, hanem attól 360 kilométerre északra helyezkedik el, aminek következtében a mágneses egyenlítő nem esik egybe a földrajzival. Ennek nyomán az északi sarkvidéken a mágneses mező felszíni térereje három-négy-szerese a délinek.

A mágneses tér aszimmetrikus térbeli helyzete és az erővonalak nagyobb északi sűrűsége miatt a világűrben érkező töltött részecskékből sokkal több bombázza a déli sarkvidéket, ahol ettől erősebb a felszínátalakulás. A mérések alapján kiderült, hogy a mágneses tengely 3 fokos szöveget zár be a bolygó forgástengelyével.

A nagyenergiájú részecskék eloszlása sokféle folyamatra utal a bolygó magnetoszférájában. A megfigyelések több alkalommal mutatták az ilyen részecskék számának és az általuk képviselt energiának a robbanásszerű felerősödését. Ezek leggyakrabban magas szélességeken jelentkeztek. További érdekesség, hogy a Merkúrnak nincsen a Földhöz hasonló Van Allen-féle sugárzási övezete.

### A MERKÚR FELSZÍNI ALAKZATAI

A bolygó feltérképezéséhez szükségessé vált egy kezdő meridián kijelölése. Egy nagyon kicsi, alig másfél kilométeres kráter választottak ki, mely az egyenlítőtől 0,4 foknyira van délre, az a kráter a Hun Kal nevet kapta, mely a régi maja indiánok nyelvén húszat jelent.

A Merkúr látható felszínét becsapódási kráterek borítják. Mivel felszíni gravitációja mintegy kétszer akkora, mint a Holdé, a kiövellt anyagok a szülő kráterhez közelebb

estek vissza, és vastagabb réteget alkottak, mint a Holdon. A nagy meteoritok becsapódásai többgyűrűs medencéket hoztak létre. Különösen szemléletes példa erre a Caloris-medence. A bolygónak a becsapódással ellentétes oldalán a földrengések hatására különös alakzatok keletkeztek. A krátereket a holdbéli tengerekhez hasonló, megszilárdult bazaltos lávából álló lapos síkságok töltik ki. A Merkúr felszínén számos, 1-3 km magas és 500 km hosszú hegylanc is van.

A Caloris-medence óriási, 1350 km átmérőjű. Kialakulása jelentős esemény volt a bolygó korai történelmében. Hasonlít a holdbéli Orientale-medencéhez. A medencét létrehozó test elérhette a 100 km-es nagyságot is. A medence mintegy 2 km mély. Nevét onnan kapta, hogy a Merkúr két legmelegebb pontjainak egyike.

A Brahms-kráter a Caloris-medence északi részén elhelyezkedő nagy kráter, melyet sugár irányú dombok vesznek körül.

A Degas-kráter átmérője 60 km, világos sugarakkal körülvett, viszonylag fiatal képződésű. Átfedi a tőle északra levő, kissé nagyobb Bronte-krátert.

A Bach-kráter átmérője 214 km. Ez a kétgyűrűs medence a kráterek átmeneti osztályát képviseli a kisebb, hegyes csúcsok és a többgyűrűs nagyobbak között. A becsapódást követően a láva elöntötte a krátert, kialakítva a sima felszínt.

A Discovery hegylanc hossza 500 km. Ez helyenként 2 km magas, szirtes hegylanc, fiatalabb, mint a kráterek, és vulkanikus síkságok, melyeken keresztülhalad. A Merkúr legnagyobb hegylánca. Akkor alakult ki, amikor a sziklás kéreg egy része megrepedt, és felemelkedett, közben a bolygó hűlni kezdett, és összehúzódott. Az eddig felfedezett 16 hegylanc egyike.

### A MERKÚR ÁTMENETI LÉGKÖRE

A Merkúrnak átmeneti és igen ritka légköre van, mivel a bolygó túl kicsi ahhoz, hogy visszatartsa a gázokat. Átmeneti légkörében oxigént (52%), héliumot (8%), hidrogént, nátriumot (39%), káliumot és kalciumot mutattak ki. Ezek az elemek a bolygó felszínéből párolognak. A napsugárzás nyomása atomokat lök el a Merkúrról, és ez hatalmas csóvát ered-

ményez. A nátrium atomok a napszél hatására a mágneses mezőben sarki fényeket okoznak.

## VULKÁNOSSÁG ÉS TEKTONIKA

Nézzük meg, a Merkúrra vonatkozóan vannak-e nyomai a hajdani vulkánosságnak? A Merkúr bizonyos krátereinek aljzatán dóm-szerű kiemelkedés látható, s e dómokon akna-szerű bemélyedés látható. Másutt a kráterek belsejében látható központi kiemelkedések a földi tűzhányók hamukúpjaira emlékeztetnek, de méreteiket illetően rendszerint lényegesen nagyobbak. Vannak olyan merkúri kráterek is, melyek belső erőkből fakadó, azaz vulkáni eredetét látszik igazolni, hogy e képződmények alakja nem kör, hanem hatszögletes. E formációk a helyi tektonikai törések mentén figyelhetők meg. A kéreg kezdeti kialakulásának időszakában, amikor a magmás differenciáció még csak éppen elkezdődött, a mélybeli gázok könnyen megtalálhatták az utat felfelé. Később azonban e folyamatok lassultak. A vonal-menti vulkáni tevékenység fokozatosan kialudt. Ugyanakkor nincsenek bizonyítékok, hogy jelentős konvekciós tényezők léptek volna fel a Merkúr köpenyében. A Merkúron hajdani vulkáni folyamatok lejátszódhattak, de a Merkúr fejlődése nem jutott el arra a szintre, amelyre a Mars eljutott, ahol bizonyított az egykori vulkánosság.

# A Vénusz

Átlagos távolság a Naptól: 108,2 millió km.

Felszíni hőmérséklete: 464 Celsius fok.

Átmérője: 12.104 km.

Térfogat (Föld=1): 0,86.

Holdak száma: 0.

Forgási periódusa: 243 földi nap.

Keringési periódusa: 224,7 földi nap.

Tömege (Föld=1): 0,9.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A görög mitológiában Aphrodité a szerelem istennője, aki egyesek szerint Zeusz leánya, vagy más mondákban Uranosz Kronosz által levágott falloszából született, amikor az a tengerbe esett. Alakjában keleti vonások is felismerhetők, például a sumér Istar alakja. Az istenek akaratából a legtorzabb égi lakó, Hephaisztosz felesége lett, de ő inkább a daliás Aresért rajongott. Aresnek öt gyermeket szült. Több ízben földi halandónak adta ki magát, s a hős Aineas anyja lett. Mivel Paris az ő javára ítelt, így a legszebb asszony, Helené szerelmével jutalmazta az ifjút. Ezért azután kitört a trójai háború. Több halandó férfival is volt viszonya, köztük Adonisszal, a férfiak legszebbikével. Számos költőt megihletett, köztük Szapphót is. Rengeteg képzőművészeti alkotáson örökítették meg. Torzóban a milói Vénusz maradt fenn. Az újkorban az egyik leg híresebb Botticelli Vénusz születése című festménye.

A szép Esthajnalcsillag, ahogyan a népnyelv nevezni szokta a Vénuszt, a Nap és a Hold után az égbolt legfényesebb objektuma. A földi teleszkópokkal csak légkörének legkülső övezetét tudtuk megfigyelni. A rendkívül vastag felhőtakaró, melyet a bolygó légkör tartalmaz, megakadályozta, hogy a felszínét megpillantsuk. A Vénuszról éppen ezért számos legenda kapott szárnyra. A korai elképzelések alapján a felszínén őserdők burjánzanak, és csak úgy hemzsegek benne a sárkánygyíkok. Nos ennél nagyobbakat nem is tévedhetek volna. A Vénusz légkörében a széndioxid dominál. Felszínén a légnyomás a földinek mintegy 90-szerese, a hőmérséklet pedig a 400 Celsius fokot is meghaladja. Felhői kénsavból állnak, mely olykor kicsapódik és esőként aláhull. A Vénusz megismeréséhez nagyban hozzájárultak a radarvizsgálatok és az űrszondák, valamint a leszállóegységek.

## PÁLYÁJA

A Vénusz pályája az összes bolygóé közül a legkevésbé elliptikus. Csaknem pontosan kör alakú, így csak igen kis különbség van a bolygó perihelium- és apheliumtávolsága között. A Vénusz 224,7 földi nap alatt

kerüli meg a Napot. A Nap körüli keringése során a Vénusz rendkívül lassan forog a tengelye körül, lassabban, mint bármelyik másik bolygó. Egy fordulat megtételéhez pontosan 243 földi napra van szüksége, ami azt jelenti, hogy a vénuszi nap hosszabb, mint a vénuszi év. Ennek ellenére egy napfelkeltétől a következőig csak 117 földi nap telik el. A Vénusz lassú forgása egyébként retrográd, ami azt jelenti, hogy ellentétes irányú, mint a többi bolygóé. Pálya menti keringése során nincsenek évszakok, ennek oka, hogy tengelye csaknem merőleges a pályasíkra, és pályája is csaknem köralakú.

## A LÉGKÖR FELÉPÍTÉSE, AZ ÜVEGHÁZHATÁS

A Vénusz széndioxidban gazdag légköre (96,5%) a felszínétől mintegy 80 kilométerig nyúlik fel. 3 rétegre különül el, a legalsó réteg a legsűrűbb és nagy kénsavcseppeket tartalmaz. A Vénuszt érő napsugárzást a felhőzet visszaveri a világűrbe, így ez egy borús, narancsszínű világ. A napfény 20 százaléka jut el a felszínre, majd az infravörös sugárzást visszatartja a széndioxid légkör.

A különböző űrszondákkal 1978-ban végrehajtott mérések szerint a Vénusz légkörének összetétele az alábbi: nitrogén, argon, szénmonoxid, széndioxid, kéndioxid, oxigén, víz. A Venyera-12 leszállóegysége a napsütötte félgömbön, a felszínen 90 atmoszférás nyomást és 470 Celsius fokos hőmérsékletet állapított meg, ezek az adatok egyeztek a korábbi Venyera-11 mérési eredményeivel. Az eredmény igen jól egyezik a Pioneer Venus űrszonda által küldött adatokkal. A Vénusz felhőtakarója állandó mozgásban van.

Érdekes tény, hogy a Vénusz légkörében kb. 500-szor annyi ősi eredetű argon, és 2500-szor annyi neon van, mint a Földében. Ennek az elemnek a mennyisége még így is elenyésző. A Vénusz légkörében található széndioxid a Földön karbonátos kőzetekben van megkötve, így kerülhetett el a Föld a Vénusz sorsát. A Vénusz légkörének oxigéntartalma arra enged következtetni, hogy a bolygónak valamikor tekintélyes mennyiségű vízkészlete lehetett, de ennek nagy részét az elszabaduló üvegházhatás miatt teljesen elvesztette. A vízgőz a Vénuszon nagy magasságba jut, ahol azután az UV sugárzás alkotóelemeire bontja. A hidro-

gén, mivel könnyű elem, elszökik, az oxigén pedig a légkörben marad. A légkör hidrogénvesztése napjainkra gyakorlatilag véget ért.

A felhővezet három nagy egységre tagolódik, melyben egy, az egész égiteget beborító párás, homályos réteg húzódik. Vastagsága átlagosan 10 km, de a sarkoknál ennél vastagabb is lehet.

A Vénusz légkörének pokoli forrósága az üvegházhatás eredménye. Ha a Vénusz légköre ugyan olyan volna, mint a Földé, a felszínén csupán 38 Celsius fok körüli átlaghőmérséklet lenne. Ez a Naptól való távolsága miatt adódik. A légkörben található széndioxid azonban csapdába ejti a hőt.

Feltételezhető, hogy valamikor a Vénusz és a Föld hasonlóak voltak, de a Vénusz a gyorsabb párolgás miatt elvesztette vízkészletét az évmilliók folyamán, a már említett módon, s a lemeztektika során felszabaduló széndioxid nem kötődött meg a karbonátos kőzetekben. Ezért a széndioxid fokozatosan felgyülemlt, mely tovább gyorsította a folyamatot.

## SZÉLVIHAROK ÉS AZ ATMOSZFÉRA SZUPERROTÁCIÓJA

A Vénusz esetében a troposzféra fogalma csaknem pontosan ugyanazt jelenti, mint a Földében, azaz a légkör legalsó részét. Azonban a Vénusz troposzférája kb. 100-110 km magasságig terjed, tehát magába foglalja nemcsak a három felhőzónát, hanem még a jégkristályövezetet is. A hőmérséklet felfelé haladva egyre csökken, és a jégkristályövezetben mínusz 93 Celsius fokos minimumot ér el. Minthogy a hó a troposzféra legalsó részében gyülemlik fel, érthető a csökkenés.

A Vénusz troposzférájában is megnő az áramlási sebesség, mely adatokat a Venyera és az amerikai Venus szondák szolgáltatják. A Venyera-12 adatai szerint a szél sebessége nem növekedik a fölfelé haladás függvényében egyenletesen, sőt 40 km-nél még egy kis csökkenés is tapasztalható. A maximum 55 km körüli magasságban van, itt már olyan heves szélviharok vannak, mint a legnagyobb földi hurrikánokban.

A Vénusz felhőzetében bizonyos formációk figyelhetők meg, ezek a képződmények nem állandóak, változásaik szembetűnőek, és



követhetőek. Különösen azok az alakzatok, melyek 4 naponként fel-feltűnnek. Ebből arra lehet következtetni, hogy a Vénusz légkörében valamiféle szuperrotáció zajlik, mely sokkal gyorsabb, mint a bolygó forgása. A hozzánk viszonyított sebesség Doppler-módszerrel meghatározható. A szuperrotáció sebességére vonatkozó adatok maximum 100 m/s-os értéket mutatnak. Ez megfelel annak, hogy egy adott légtömeg 4 nap alatt járja körül a Vénuszt.

A Mariner-10 és a Pioneer Venus szondák adataiból azt lehetett következtetni, hogy a keletről nyugatra tartó áramlás 10 km-es magasságban kezdődik, mely úgynevezett futóáramlás, szélessége egyes adatok szerint 200-600 km, hosszúsága több ezer, vastagsága néhány km.

A Vénusz saját tengelye körül 243 nap alatt fordul meg, így egyetlen olyan bolygót sem ismerünk, mely esetében a légkör forgása és a bolygó forgása között ilyen nagy eltérés lenne.

A szuperrotáció pontos okát még nem sikerült megfejtetni, valószínű azonban, hogy egy állandóan meglévő áramlási rendszer lehet. Az igen nagy kiterjedésű áramlási rendszerek hosszú élettartamúak, s egy-egy teljes rotáció után is változatlanok maradnak. A kisebb képződmények gyorsan változnak, s élettartamuk 1,5-4 nap. Megállapítást nyert, hogy a sarkok felé tartó áramlások is léteznek a kelet-nyugati irányúak mellett. Ezek a sarkok felé tartó áramlások minden bizonnyal a hőszállításban vesznek részt.

## MÁGNESES TÉR, SUGÁRZÁSI ZÓNA ÉS IONOSZFÉRA

Első ízben a Mariner-2 végzett olyan méréseket, melyekkel kimutathatták volna a Vénusz mágneses terét, amikor a felszíntől 41000 km-re elszárguldott, de semmi jele nem mutatkozott mágneses térnek. A későbbi Venyera szondák sem észleltek mágneses teret. Ha létezik is a Vénusz belső folyamataiból eredő mágneses tér, az olyan gyenge, hogy a felszínen még a 4 gammát sem éri el. E gyenge mágneses tér semmi esetre sem elegendő, hogy eltérítse a napszelet. A Vénusz körül azonban lökéshullám-övezet létezik. Valószí-

nűleg atmoszférikus kölcsönhatással állunk szemben. Felvetődik a kérdés, van-e a Vénusznak ionoszférája? A Vénusz magaslégkörének az űrszondákkal végzett méréseket figyelembe véve, több modelljét is kidolgozták. A Mariner-10 az éjszakai ionoszférában 2 réteg létezését mutatta ki.

A Vénusz mágneses tere túl gyenge ahhoz, hogy számottevő hatással legyen a napszélre. A Mariner-10 mérései alapján az az álláspont alakult ki, hogy a napszél a Vénusz magaslégköre, elsősorban ionoszférája közötti kapcsolat emlékeztet arra, ami az üstökösök esetében tapasztalható, s ilyenformán a Vénusznak is létezik csóvája. A napszelet az exoszféra lassítja le, és téríti el, ennek eredményeként jön létre a lökéshullám. A napszél a Vénusz légkörének hatására fékeződni kezd, s az éjszakai félgömb fölött plazmacsóva alakul ki, mely egy olyan tartományt határol, ahová a napszél részecskéi nem jutnak be.

Világossá vált, hogy a szoláris szél beömlése révén keletkezik az ionoszférában egy viszonylag erős mágneses tér, s eltéríti a napból érkező plazmát.

## SZERKEZET

A Vénusz a négy Föld-típusú bolygó egyike, és ez hasonlít leginkább a Földhöz. Sűrű, sziklás világ, mely kicsit kisebb méretű és valamivel kisebb tömegű is a Földnél. A Vénusznak a Földhöz hasonló mérete és sűrűsége miatt a szakemberek úgy vélik, hogy belső szerkezete, magjának mérete és köpenyének vastagsága is hasonló a Földéhez. Így a Vénusz fémes magjáról is azt hiszik, hogy van egy szilárd belső és olvadt külső része. A Földtől eltérően nincsen kimutatható mágneses mezeje, mint arról szó volt, mert rendkívül lassan forog. A Vénusz belső hője, amit a köpenyben történő radioaktív bomlás keltett, vulkanizmus formájában szabadul fel.

## MI REJLIK A FELHŐTAKARÓ ALATT?

Az első radarvizsgálatokkal, melyeket a világ legnagyobb radartávcsöveivel végeztek, elsősorban három, nagy kiterjedésű, elliptikus területet fedeztek fel. A radarmérések sok helyütt igazolták nagy becsapódásos kráterek létezését is.

A korábbi radarmérések alapján megismert egyik legérdekesebb képződmény egy 1400 km hosszú és 150-300 km széles, mintegy 2-5 km mély szakadékvölgy. Északi részén több ágra bomlik. Az említett óriási völgy valószínűleg tektonikus folyamatoknak köszönhető.

A Pioneer Venus-1 űrszonda radarméréseiből az alábbi eredmények születtek: ennek során a Vénusz felszínének 93%-át ismerhettük meg. A Vénusz tulajdonképpen viszonylag sima felszínű égitest, a magasságkülönbségek felületének 60%-án nem haladják meg az 1 km-t. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ne léteznének rajta igen jelentős méretű mélyedések és kiemelkedések. A Maxwell nevet kapott roppant pajzsvulkán 11 km-rel magasodik a környező síkság fölé.

A kezdő 0 meridiánt egy hatalmas, mintegy 200 km átmérőjű gyűrűshegy jelöli. Ezt Évának nevezték el. A Nemzetközi Csillagászati Unió határozata alapján a Maxwell kivételével a felfedezett képződmények mitológiai istennőkről kapták a nevüket.

A Vénusznak vannak nagy kontinensei, de e kontinensek összterülete felszínének csupán 5%-át teszi ki, ha a selfeket is hozzá vesszük, akkor 35%-át. A Maxwell vulkán és a tőle délnyugatra eső Laksmi-fennsík a nagy északi kontinensek, az Istár Terrának egy része. A másik nagy kontinentális szerkezet az Aphrodité Terra.

A Magellan űrszonda 1990 és 1994 között teljesen feltérképezte a Vénuszt, így ma már pontos térképek állnak rendelkezésre a felszíni alakzatokról. A Vénusztól azt várták, hogy a földihez hasonlatos geológiai alakzatokkal rendelkezik, de egy kulcskérdésben különbözik. Nincsenek mozgó kéreglemezei, így felszíne inkább fel-le mozog. Mégis sok földihez hasonló alakzatot mutat, melyek tektonikai folyamatok kapcsán alakultak ki, de vannak szokatlanok is, például az arachnoidák (pókszerű vulkanikus alakzatok, központi kör alakú mélyedéssel). Több száz vulkánja van, kezdve a nagy pajzsvulkánoktól, ilyen a Maat-Mons. Találhatók repedések és szakadékok is.

A Vénuszon több száz becsapódási krátert azonosítottak, de ez a szám elmarad a Holdon és a Merkúron találhatóktól.

## BELSŐ SZERKEZET, TERMÁLIS MODELL

A Vénusz kérgének összetételéről először a Venyera-8-10 szondák leszállóegységei adtak képet. A radioaktivitási értékek a gránit-féléknél tapasztaltakhoz álltak közel. Ezen túlmenően a Venyera-9 és 10 olyan radioaktivitást mért, mely a bazalthoz hasonlít. Ezekből, illetve a kálium, tórium, urán adatokból arra lehet következtetni, hogy a Vénusz kémiai összetétele nagyban hasonlít a Földéhez. A Vénusz kérgének átlagos sűrűsége 2,7-2,9 g/köbcentiméter, a bolygó közepes sűrűsége azonban 5,24 g/köbcentiméter. Ebből az következik, hogy a Vénusznak nagy magja van, mely főként vasból áll. Ebből következne a mágneses tér, de a mérések csak igen gyenge, 30 gamma körüli értéket mutattak. A Vénusz differenciációja a Földhöz hasonlóan végbe ment.

Amikor a Vénusz kialakult, számottevő mennyiségű ként is magába gyűjtött az őanyagból. A Vénusz kérgében és légkörében sok kén található, csapadék formájában is jelen van.

A Vénusz és a Föld közel azonos tömegű égitestek, valószínű tehát, hogy a kezdeti radioaktív anyagtartalom megegyezett, így várható a hőtermelés, mely vulkanizmust hoz létre. A Vénuszon számos tektonikus alakzat és vulkán megfigyelhető, azonban inkább pajzsvulkánokról van szó, melyeket a forrópontok hoznak létre. A gomolyáramlások lehetőségét valószínűsítik a gravitációs mérési adatok is.

## TEKTONIKAI ALAKZATOK

Az űrszondás kutatásoknak köszönhetően a csillagászok részletes képet alkothattak a Vénusz változatos tájairól. A bolygónak három, terrának nevezett hegyvidéki régiója van. Ezek az Aphrodité, a Lada és az Ishtar. Ezeken túl még mintegy 20 kisebb felföldi régió található.

Az Ishtar Terra hegyvidéki terep, melynek kora kevesebb, mint 500 millió év, hossza 5610 km. Nagy, Ausztrália méretű fennsík, mely 3,3 km-rel van magasabban, mint a környező alföldek, ez hasonlít leginkább a földi kontinensekre. Nyugati része a Lakshmi Planum elnevezésű felföld, melyet északnyugatról az

Akna Montes és a Freyja Montes határol. A meredek oldalú Maxwell Montes hegylánc alkotja az Ishtar Terra keleti részét egy deformált területtel. A fennsík akkor keletkezhetett, amikor a bolygó kérgének részei együtt mozgtak. Valószínű, hogy az Ishtar Terra alatt egy kihűlt megvastagodott kéreg van, mely a köpenyből emelkedett ki.

A Maxwell Montes hegylánc kb. 500 millió éves, és 797 km hosszú. Ez képezi a Lakshmi Planum keleti határát. Ez a Vénusz legmagasabb pontja, mely több, mint 10 km-rel emelkedik a környező alföldek fölé. A Magellan űrszonda adataiból kimutatták, hogy a délnyugati hegyoldal lejtője 35 fokos.

A Devana Chasma 4600 km hosszú, vetődéses alakzat, mely a Beta Régióon vág át. Ez a nagy észak-déli irányú vetődés, akkor keletkezett, amikor a bolygó kérge kettészakadt és egy része lesüllyedt. 80-240 km széles.

A Dali Chasma az Aphrodité Terra nyugati részén van, hossza mintegy 2077 km. Ez egy szurdokvölgy és teknő-alakú völgyek rendszere, széles, kanyargós átvágást képez a bolygó felszínén.

## BECSAPÓDÁSI KRÁTEREK

A Vénuszon is található nagy kráterek, melyek a 7 km-től a 270 km-es átmérőig változnak. A vénuszi kráterek fiatalok, jó állapotban vannak. Kevés olyan geológiai esemény játszódott le az utóbbi 500 millió évben, mely tönkretelhetette volna őket. A Vénusz krátereit híres nőkről nevezték el.

A Kleopátra-kráter átmérője 105 km, a Vénusz legmagasabb hegyláncán a Maxwell Monteson található.

A Mead-kráter a Vénusz legnagyobb becsapódásos krátere, átmérője 270 km. Mélysége mintegy 1 km.

## A VÉNUSZ EXPRESS ADATAI

Az Európai Űrügynökség Venus Express űrszondájának legfrissebb mérései alapján valószínűsíthető, hogy belső bolygószerkezetünk valamivel lassabban forog, mint azt eddig gondoltuk. Az ESA szakemberei az űrszonda látható és infravörös tartományban működő spektrométere, a VIRTIS nevű műszer

segítségével vizsgálták a bolygó felszínét, amikor észrevették, hogy a felszíni alakzatok nem pontosan ott vannak, ahol az általánosan elfogadott forgási sebesség alapján lenniük kellene.

Ez felveti a NASA Magellan szondája által az 1990-es évek elején mért adatok pontatlanságát, hiszen a Vénusz felszínének jellegzetes formái akár 20 km-rel is távolabb estek a várt pozíciókhoz képest. Az újabb adatok segítségével a kutatók tovább vizsgálhatják majd a bolygó felépítését abból a szempontból, hogy a magja folyékony-e vagy sem.

Amennyiben a Vénusz szilárd maggal rendelkezik, akkor a sűrűsége a középpont felé növekszik. Ebben az esetben a bolygó forgására kisebb hatással lesznek a külső erők, mint például a nagysebességű atmoszférikus szélrendszerek. Ez a jelenség a Földön is megfigyelhető, itt a szelek és az árapály okozzák ezt a hatást: szezonálisan akár egy milliszekundummal is megváltoztathatják a Föld tengelyforgási idejét.

A múlt század 80-as és 90-es éveiben a Venyera és Magellan űrszondák radarképeket készítettek a Vénusz felszínéről, felfedve annak alakzatait. Ez volt az első alkalom, hogy átláttunk a planéta vastag, sűrű és mérgező gázfelhőin. A Magellan négy éves küldetése alatt folyamatosan figyelte a felszíni alakzatok mozgását, ami alapján a kutatók kiszámolták egy vénuszi nap hosszát, ez 243,0185 földi napnak adódott. Ezzel szemben a Venus Express által 16 évvel később végzett megfigyelésekben fellépő eltérések alapján a bolygón egy nap 6,5 perccel hosszabb, mint amit a Magellan mért. Ez megerősíti a legutóbbi, a Földről készült radarképek eredményeit is, az eltérés azokon is kivehető volt.

A legújabb légkörmodellek alapján a Vénusz időjárás ciklusai akár évtizedekig is eltarthatnak, ami viszont okozhat hosszú periódusú változásokat a tengelyforgásban. Emellett még más hatások is szerepet játszhatnak, például a Vénusz és a Föld közötti impulzusnyomatékcseré, amikor a két bolygó viszonylag közel van egymáshoz. A Vénusz forgási idejének pontosítása elengedhetetlen ahhoz, hogy a jövőbeni küldetések leszálló egységeinek megfelelő célterületeket találjunk.

# A Föld

Átlagos távolság a Naptól: 149,6 millió km.

Felszíni hőmérséklete: 15 Celsius fok.

Átmérője: 12.756 km.

Térfogat (Föld=1): 1.

Holdak száma: 1.

Forgási periódusa: 23,93 óra.

Keringési periódusa: 365,26 nap.

Tömege (Föld=1): 1.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A görög mitológiában Gaia a föld istennője, Khaosz után, de nem tőle jött létre. Önmagából szülte Uranoszt, az ég istenét. Uranosz előbb a küklopszokat, majd a titánokat nemzette neki. Mivel apjuk a titánokat a föld mélyébe zárta, ezért Gaia lázadást szított ellene, s Kronosz megfosztotta őt a hatalmától. Uranosz férfiasságát levágta, s az aláhulló vérből születtek a gigászok. A rómaiak Gaiát Tellus vagy Terra néven ismerték. A földanya tiszteletét nagyon sok vallásban megtalálhatjuk Nevét számos tudományág, úgy mint a geológia, geodézia őrzi.

## PÁLYÁJA

A Föld 108 ezer km/óra sebességgel kering a Nap körül. A többi bolygóhoz hasonlóan elliptikus pályán, mely azonban majdnem kör. A Föld pályasíkját ekliptikának nevezzük, forgástengelye ezzel 23,5 fokos szöget zár be. A Föld pályájának excentricitása (körtől való eltérésének mértéke) 100 ezer éves ciklussal, míg forgástengelyének hajlásszöge 42 ezer éves ciklussal váltakozik. Ehhez járul egy harmadik ciklus, a precesszió.

## SZERKEZETE

A Föld forgása következtében egyenlítői vidéke kissé, kb. 21 km-rel kidomborodik a pólusokhoz képest. A Föld belsejében 3 fő réteget különböztetünk meg. A belső, központi mag átmérője mintegy 7000 km, és főleg vasból és nikkeltől áll. Szilárd központi részének hőmérséklete 4700 Celsius fok. Külső része viszont folyékony halmazállapotú. A magot a köpeny veszi körül, mely magnéziumban és vasban gazdag, és kb. 2800 km vastag. A Föld kérge sokféle kőzetből és ásványból áll, de főleg szilikátokból.

## A LEMEZTEKTONIKA

Mai tudásunk szerint a Föld az egyetlen olyan égitest a Naprendszerben, ahol ez a folyamat ma is zajlik. Az elmélet egyik legfontosabb alapfogalma a litoszféra. A mai elfogadott tézis szerint a litoszféra a szilárd föld-

kéregből és az alatt lévő földköpeny legfelső részéből álló, mechanikailag összefüggő egység. A Föld felszíne 6 nagy és 20-25 kisebb lemezre bomlik. Ezek a lemezek meglehetősen merevek. A litoszféramezek egyaránt hordozhatnak tengeri, óceáni területeket és kontinenseket is. Az egyes lemezek határait erős tektonikai tevékenység jellemzi, mely földrengekben és vulkanizmusban nyilvánul meg.

#### *Az óceáni hátságok*

Az Atlanti-, Indiai, és Csendes-óceánok mélyén található hosszú, gerincszerű kiemelkedések, melyek tengelyvonalaiban mély völgy található, egyetlen összefüggő rendszert alkotnak. Ennek teljes hossza mintegy 60.000 km, felületi kiterjedése pedig akkora, mint a szárazföldké együttesen.

Az óceánközépi hátságok anyaga bazalt, s a rajta lévő üledékek mennyisége a bazaltéhoz képes jóformán elhanyagolható. A repedésvölgyeket közepes szeizmicitás jellemzi. Az állandó kőzetolvadék felszívargás révén hő jut az óceán aljzatára. A mélységből feltörő bazaltos jellegű kőzetolvadék építi fel a repedésvölgyet két oldalról határoló, kiemelkedő peremet, vagyis magát a hátságot. Amint az idő halad, az újabb feláramlások szétolják a peremet, s mind jobban eltávolodnak. Így születik az új litoszféra.

#### *Az óceáni árkok*

Ezek a többnyire 6-9 km mély, néha azonban még mélyebb, 100 km széles és 2000-4000 km hosszú, íves képződmények általában az óceánok peremrészén találhatók. Amíg a repedésvölgy az új litoszféra szülőhelye, addig az óceáni árok az elöregedett litoszféramezek temetője. Az óceánt hordozó lemez meghajlik, és alábukik a kontinentális lemez alá. Az óceáni árkok mögött vulkanikus szigetívek vagy fiatal gyűrthegecségek találhatók. Az alábukó lemez mintegy 700 km-es mélységben teljesen beolvad. Így zárul be a litoszféramezeket létrehozó és elpusztító körfolyamat.

Valószínűleg mindezeket a mozgásokat a földköpenyben zajló konvekciós áramlások idézik elő, melyeket a hőmérséklet-különbségek kelteneek.

## GOMOLYÁRAMLÁSOK, FORRÓ PONTOK

A lemeztektonika egyik ága a gomolyáramlásokkal foglalkozik. Ennek ismerete szükséges a többi kőzetbolygó vulkánosságának megértéséhez is, hiszen e kivételével, más tektonikus jelenségek ezeken a bolygókon hiányoznak.

Bolygónk felszínén a forró pontok teljesen rendszertelenül helyezkednek el, viszonylag kicsi, néhányszor 10 vagy 100 km-es átmérőjűek. A forró pontok területén a földkéreg egy kissé felemelkedik, mintegy dóm-szerűen kiduzzad, itt a föld hőáramlása erősebb, mint másutt, ezeken a helyeken felfelé tartó anyagáramlás zajlik, a gomolyáramlások nagy mélységből indulnak. A forró pontok helyzete az utóbbi 200 millió évben nem változott, viszont ez idő alatt a kőzetelemezek jelentősen elmozdultak. A Csendes-óceánon például 3 olyan szigetlánc van, ahol jól nyomon követhető az elmozdulás. Az egyik ilyen a Hawaii-szigetek. Amint a csendes-óceáni lemez elmozdult a forró pont felett az utóbbi 80 millió évben, újabb és újabb szigetek jöttek létre.

## A FÖLD HŐTERMELÉSE

A Föld tulajdonképpen különleges a kőzetbolygók között. A hőkülönbségek idézik elő az anyagáramlásokat, melyek a köpenyben zajlanak, s mozgatják a felszíni litoszféramezeket. A Föld belsejében elsősorban a radioaktív tórium, urán, kálium és urán-235 izotópok bomlása miatt, olyan nagyon sok hőenergia szabadul fel, hogy azt sem a vulkánosság, sem a geotektonikai folyamatok nem képesek teljes egészében elhasználni. Ezért bolygónk azt a világűrbe kisugározza.

## A FÖLD FEJLŐDÉSÉNEK NÉHÁNY ÁLLOMÁSA

Kétségtelen, hogy a Föld-típusú bolygók közül a Föld jutott el a fejlődés legmagasabb fokára. A fejlettségi szint alapján a következő példákat lehet felhozni:

1. A Hold: viszonylag gyenge differenciáció, a kéreg és a köpeny elkülönült.
2. A Merkúr: erős belső differenciáció, nagyméretű mag kialakulása, majd zsugorodási időszak.
3. Mars: a differenciációnak köszönhetően a mag, a köpeny és a kéreg elkülönült. Hatalmas vulkáni képződmények épültek fel. Bár a felszín nem tagozódott litoszféralemezekre, a Valles Marineris mégis felrepedésnek tekinthető.
4. A Vénusz: jóformán olyan mértékben ment át a differenciáción, mint a Föld. Vulkanizmusa is hasonló lehet, a kéreg itt is felhasadt, noha különálló lemezek mégsem jöttek létre.
5. A Föld: az eddig felsorolt égitestek közül ez a legdinamikusabb fejlődésű, legerősebb differenciálódású. Heves vulkánosság és lemeztektonika jellemzi.

## A MÁSODLAGOS ŐSLÉGKÖR, AZ ŐSÓCEÁN, AZ ÉLET MEGJELENÉSE

A Nap körüli plazmafelhőből származó, főként hidrogénből és héliumból álló elsődleges ősléggörzt az erős csillagszél mintegy kifújta a Földről. Ezt követően alakult ki az újabb, másodlagos atmoszféra, mely a jelenleginek közvetlen elődje volt. Ennek az ősléggörnek a kialakulásában jelentős szerepe volt a vulkanizmusnak, így széndioxid, szénhidrogének és ammónia szabadult fel. Sok vízgőz is felszabadult minden bizonnyal. A nitrogén a vegyi átalakulások terméke volt. Kezdeti mennyisége megegyezett a maiéval.

Miután az élet megjelent, az első fotoszintetizáló organizmusok széndioxidot használtak fel és oxigént szabadítottak fel. Ebből az oxigénből sok százmillió év alatt kialakult az ózonréteg is.

Jelenlegi légkörének összetétele 78,1% nitrogén, 20,9% oxigén, 1% argon, széndioxid és más gázok. A légkör a gravitáció hatására a Föld felszínénél a legsűrűbb, és felfelé rohamosan ritkul. A magasság növekedésével változik a hőmérséklete is. A legalsó rétegben, a troposzférában zajlanak az időjárási események. Időjárás mozgatója a Nap által kisugárzott energia. Ennek egyenetlen eloszlása légáramlási rendszereket hoz létre.

A szerves anyagok, S. L. Miller 1953-as kísérlete szerint, az ősléggör anyagaiból hő és elektromos kisülések hatására jöhettek létre vizes környezetben. Egyes elméletek szerint a víz nagy része, sőt az élet egyes alkotó elemei is üstökösök becsapódásával kerültek a Földre.

Nem elhanyagolhatóak azok az elméletek, melyek az extermofilek, valamint só- és savtűrő organizmusok létrejöttéről szólnak. Ezek lehettek az első élőlények, mivel az ősföld viszonyai nagyban hasonlíthattak az óceáni füstölők melegvizes viszonyaira, a savas és sós vulkáni tavakra. Az élet már igen korán megjelent, mintegy 3,9 milliárd évvel ezelőtt.

A kozmikus katasztrófák az élet fejlődésére is nagy hatással voltak. Nagy becsapódásos kráterek (mint a Holdon) azonban nem maradtak fenn, mivel a tektonikai folyamatok és az erózió elpusztította őket. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ne történtek volna jelentős mérvű becsapódások. A legközismertebb nagy becsapódásos katasztrófa 65 millió évvel ezelőtt, a Kréta kor végén történt.

## GYŰRŰ A FÖLD KÖRÜL

Ez az érdekes és új elmélet J.A. O'Keefe nevéhez fűződik, aki arról írt, hogy mintegy 34 millió éve a Földnek is volt gyűrűje. Elméletét paleobotanikai vizsgálatokra alapozta. Geológiai bizonyítható, hogy 34 millió éve nagy tektiteső hullott a bolygónkra. A teljes tektittömeget 1-10 milliárd tonnára becsülik. A tudós állítása szerint e tömeg a Holdról származott. E tektittömeg jelentős része gyűrű formájában a Föld körül záródó pályára állt. A Holdról kirepült anyag teljes mennyisége 25 milliárd tonna lehetett. A kidobódott anyagból a gyűrű 1 év alatt létrejöhetett. A belső széle a Föld középpontjától 1,5 Föld sugárryira, külső pereme pedig 2,5 Föld sugárryira lehetett. Amennyiben a gyűrű az egyenlítő síkban helyezkedett el, az magyarázatot adhat a növényzetben bekövetkezett változásokra, mivel évszakosan az északi féltekét télen leárnyékolta, míg nyáron már nem volt ilyen hatása.

Az elmélet legnagyobb hiányossága azonban az, hogy mi történt ezzel a gyűrűvel, vagyis hogyan bomlott fel? A szétesésben elsősorban a Holdnak lehetett szerepe.

## NAGY ELJEGESÉDÉSI CIKLUSOK

Mai ismereteink szerint a Föld pályájának elemei nem állandóak. Változik a pálya excentricitása, és a Földtengely hajlásszöge az ekliptikához. Ezeket foglalja össze a Milankovic-ciklusnak nevezett elmélet. A fenti pályaelem változások az elmélet szerint nagy eljegesedéseket okoznak. Ilyen nagy eljegesedések 1250, 900, 650, 450, 250, 2 millió éve voltak. Egy-egy nagy eljegesedés 50 millió évig is eltarthatott.

## A FÖLD-HOLD RENDSZER

A Hold kialakulására ma a legelfogadottabb elmélet szerint közvetlenül a Föld létrejöttét követően került sor, amikor egy nagyjából Mars-méretű testtel ütközött. Az ütközés során szétszóródó törmelék először gyűrűt alkotott, majd belőle állt össze a Hold. Ennek az elméletnek bizonyítékát a Hold összetételében és szerkezetében látják igazolva.

A Föld és a Hold méretüket tekintve inkább kettősbolygónak mondhatóak, mivel a Hold körülbelül negyedakkora, mint a Föld. A Naprendszerben csak a Plútó és a Charon között van hasonló arány.

A Hold éppen ezért mindig is jelentős hatással volt a Földre, melynek legnyilvánvalóbb jele az ár-apály.

A Hold mai közép távolsága 384.400 km, viszont 34 millió évvel ezelőtt ez csupán 338.000 km volt. Ebből és a mérésekből az következik, hogy a Hold távolodik a Földtől. Évente mintegy 3 cm-t. A két égitest közötti kölcsönhatásokat jelentősen befolyásolja például a szárazföldek elhelyezkedése is. 200 millió évvel ezelőtt a Pangea feldarabolódása jelentős hatással volt az ár-apály erőkre. A Hold mintegy 420 millió éve csak 171.000 km-nyire volt, majd távolodni kezdett. A távolság nem egyenletes mértékben növekedett.

A Holddal a továbbiakban jelentősége miatt a következő fejezet külön foglalkozik.

# A Hold

Átlagos távolság a Földtől: 384.400 km.  
Felszíni hőmérséklete: -150 és +120 Celsius fok.  
Átmérője: 3476 km.  
Térfogat (Föld=1): 0,02.  
Holdak száma: 0.  
Egy nap hossza: 29,53 földi nap  
Keringési periódusa: 27,32 földi nap.  
Tömege (Föld=1): 0,012.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Már az őskorban tisztelet övezte a Holdat. A barlangrajzokon a bölények egyfajta holdállatokként szerepelnek. A születés és az elmúlás kozmikus jelképe a Hold. A Holddal hozták kapcsolatba a születést, a termékenységet, a nőt.

A Sumérok számára a Holdisten éppúgy kétnemű volt: bika és anyaöl egyszemélyben. Ugyanezzel a mitikus dualizmussal találkozhatunk kínai agyagedényeken is: holdsarlóhoz hasonló bikaszarvak és stilizált női nemi szervek.

A Hold sötét foltjainak elnevezése a mítoszokban nyúl és béka.

A görög mitológiában Szeléné, a Hold istennője Hüperion titán és Theia lánya, Heliosz és Eósz nővére. Égi fogata lassabb volt, mint bátyjéé, mert csak két öszvér húzta.

## PÁLYÁJA

A Hold elliptikus pályán kering a Föld körül, így a két égitest közötti távolság is változik. Amikor legközelebb van a Földhöz, 10%-kal van közelebb, mint legtávolabbi pontján. A Hold keringése kötött, azaz ugyanannyi idő alatt fordul meg tengelye körül, mint amennyi egy Föld körüli keringés megtételének ideje. Így mindig ugyanaz az oldala fordul a Föld felé, bár a librációnak nevezett billegés miatt a Hold túlsó oldalának néhány kisebb részlete megpillantható.

## A HOLD TÖRTÉNETE

Senki sem tudja, hogy pontosan hogyan keletkezett a Hold, de a legelfogadottabb elmélet szerint 4,5 milliárd évvel ezelőtt egy nagy tömegű aszteroida eltalálta a Földet, s a kiszóródó törmelékből állt össze. Életének első 750 millió évében a Hold heves bombázások korát élte, a becsapódások megrepesztették a kérget, és az egész felszínen krátereket hoztak létre. Mintegy 3,5 milliárd éve a bombázások intenzitása csökkent, és jelentős vulkáni tevékenység korszaka kezdődött. A kéreg repedésein keresztül 100 km mélyből felszivárgott a láva, és megtöltötte a mélyebben fekvő nagy krátereket. A láva megszilárdult és létrejöttek a mare-nak nevezett síkságok.



## GYŰRŰS HEGYEK, KALDERÁK, METEORITKRÁTEREK

A Holdon lezajlott vulkáni tevékenység-nél figyelembe kell venni az alábbi szempontokat: A felszínen a Hold vonzóereje csak mintegy hatodrésze a Földének, következésképpen egy adott nagyságú vulkáni erő a Holdon sokkal hatékonyabban működhetett.

A Holdnak gyakorlatilag nincs légköre, ezért a felszínre jutó kőzetolvadék kristályosodása és lehűlése másként történt, mint a Földön.

A Hold-kráterek között akadhatnak vulkáni eredetű kalderák is, így felvetődik, hogy nem minden kráter becsapódásos eredetű. A Hold egyes kráterei esetében lávafolyások ismerhetők fel, továbbá a gyűrűs hegyek aljzatát lávából képződött anyag fedi, és a tipikus hamukúpok is ott találhatóak. 55 olyan központi csúcs van a Holdon, melynek közepén kicsiny kráterakna található.

A Holdon sok helyütt található másodiklagos, parazitakrátereket nagyobb gyűrűs hegyek sáncán. Találtak továbbá összeomlott lávacsatornákra utaló képződményeket is.

A medencéket, mint tudjuk, bazaltok fedik s ezek az úgynevezett területi vulkánosság révén jutottak a felszínre.

Szintén vulkáni eredetűek a sötét haloval rendelkező kráterek is. Ezek esetében a vulkáni tevékenység során nagyon sötét anyag szóródott ki a felszínre.

## HOLDRENGÉSEK

Az Apolló-expedíciók műszerei szolgáltatott adatokból az a megállapítás adódott, hogy egy-egy holdrengés kipattanása után esetleg egy óránál is hosszabb idő szükséges a rezgések végleges elcsitulásáig. Minden egyes állomás évente 600-3000 holdrengést regisztrál. Ám ezek a rengések nagyon gyengék.

A rengések egyik okozó tényezője minden bizonnyal a Föld által a Holdban keltett árapály erő.

## A HOLD BELSŐ SZERKEZETE

Az Apollo-expedíció asztronautái csupán 3 m mélyre fúrtak. Az otthagytott műszerek azonban még ma is működnek. Ezen adatok-

ból következtethettek arra, hogy egy forró és folyékony belső mag rejlik az egyébként halottnak tűnő égitest mélyén.

A Földhöz hasonlóan a Hold mélyében is szilárd és folyékony héjak találhatóak. Ezek közül a legbelső, a mag a legforróbb. A Hold magja statikus lehet.

A Hold szerkezete a következő:

1. Kéreg: kisebb-nagyobb kráterekkel sűrűn borított.
2. Köpeny: 40 km mélységig terjed, anyaga olivin, peridotit és gránit. Hőmérséklete 1327 Celsius fok.
3. Részben olvadt zóna: mélysége 1255 km, peridotit, titánban gazdag szilikátolvadék. Hőmérséklete 1377 Celsius fok.
4. Külső mag (cseppfolyós): mélysége 1410 kilométer, anyaga cseppfolyós vas és más fémek. Hőmérséklete 1427 Celsius fok.
5. Belső mag (szilárd): mélysége 1495 km, anyaga szilárd vas és más fémek, hőmérséklete 1437 Celsius fok.

## LÉGKÖR

A Holdnak gyakorlatilag nincs légköre, a jelenlévő gázok teljes tömege mindössze 10000 kg. Mivel kicsi a tömege, a gázok folyamatosan elillannak, s csak a napszél pótolja őket. A légkör összetétele: neon 29%, hélium 25,8%, hidrogén 22,6%, argon 20,6% és egyéb gázok nyomokban.

## FELSZÍNI ALAKZATOK

A Hold felszínét a meteoritok porrá zúzták, mely több méter vastag, a talaj legfelsőbb rétege a napszélből érkezett hidrogénionokkal telített.

Távolról nézve a Holdon világosan megkülönböztethető a terep két típusa. Találhatók mare-k, nagy sötét síkságok, de vannak világos, erősen kráterezett felföldi régiók is.

A Mare Crisium átmérője 563 km. Felszíne rendkívül sima. A Mare Tranquillitatis (Nyugalom Tengere) a holdbeli egyenlítő mellett fekszik, és a Mare Serenitatis (Derűtség Tengere) délkeleti részéhez csatlakozik. A Nyugalom Tengere titánban gazdag vidék. Az 1969. évi Apolló 11 küldetés leszállóhelye.

A Mare Orientale átmérője 900 km, többgyűrűs medence, mely feleakkora, mint a Mare Imbrium.

A Montes Appeninus (holdi Appeninek) gyűrűt alkot a Mare Imbrium becsapódási medence délnyugati szélé köré 401 km hosszan.

# A Mars

Átlagos távolság a Naptól: 227,9 millió km.  
Felszíni hőmérséklete: -125 Celsius foktól  
25 Celsius fokig.  
Átmérője: 6780 km.  
Térfogat (Föld=1): 0,15.  
Holdak száma: 2.  
Forgási periódusa: 24,63 óra.  
Keringési periódusa: 687 földi nap.  
Tömege (Föld=1): 0,11.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A görög hadisten Aresről kapta a nevét, aki Zeusz és Héra fia. Az adáz harcok és végtelen öldöklések istene. A bolygó feltűnő vörös színét már az ókorban is a vérrel azonosították, innen kapta nevét. Arest rendszerint két fiával, Phobossal és Deimosszal ábrázolják. E két fiúról nevezték el a Mars holdjait. A trójai háborúban a védőserég pártján állt, de még egy halandó is megfutamította lándzsájával. Alulmaradt Heraklésszel szemben is. Nem házasodott meg, de elszerette Aphroditét, aki Erószot szülte neki. A halandóktól is született gyermeke. Az amazonok, e harcias nők is tőle származtatták magukat. Számos ókori és újkori képzőművészeti alkotáson megörökítették. Gyakran ábrázolták szeretője társaságában.

## PÁLYÁJA

A Mars pályája elnyúltabb ellipszis, így a Naphoz legközelebbi pontján 45%-kal több sugárzást kap, mint legtávolabbi pontjában. Ez azt jelenti, hogy a felszíne a déli pólusnál -125 Celsius fok hőmérsékletű, és +25 Celsius fokig változhat a nyár folyamán. Jelenlegi 25,2 fokos tengelyhajlása hasonló a Földéhez, és évszakok lépnek fel a Marson is. Történelme során a Mars tengelyhajlása különböző tényezők következtében ingadozhat. Az ingadozások jelentős éghajlatváltozásokat okoznak. Amikor a Mars tengelyhajlása erős, akkor a pólusok nagyobb mértékben vannak kiteve a Nap hatásainak.

## LÉGKÖR, IDŐJÁRÁS

A Marsnak igen ritka légköre van, amelynek átlagos légnyomása a felszínen mintegy 6 millibar (a Föld felszínen mért 1%-a). A légkör főleg széndioxidból 95,3%, nitrogénből 2,7%, argonból 1,6%, oxigénből és egyéb gázból 0,4% áll. Az égbolt rózsaszínűnek látszik, mivel igen finom vasoxid porszemcsék lebegnek benne. Nagyobb magasságokban fagyott széndioxidból és vízből álló ritka felhők vannak jelen, de nyaranta a magasabb csúcsoknál is képződnek. A Mars hideg, száraz bolygó. Ott, ahol soha nincs csapadék, az átlagos felszíni hőmérséklet -63 Celsius fok. A Marsnak igen

dinamikus időjárási rendszere van. A déli tavasz és nyár idején felmelegedett szelek fújnak, porfelhőket kavarnak fel. Ezek akár 1000 m magasra is felszállnak, és hetekig megmaradnak. A nagyobb porviharok az egész bolygót beborítják. A homokból dűnéket halmoznak fel.

## BELSŐ SZERKEZET, ÁLTALÁNOS FEJLŐDÉSMENET ÉS MÁGNESESSÉG

A Mars belső szerkezetére már abból az egyetlen adatból következtetni lehet, hogy átlagsűrűsége jóval kisebb, mint a Földé, és alig valamivel nagyobb, mint a Holdé. A bolygó felépítése ezért eltérő. A feltevés szerint a Mars belsejében az első egy-két milliárd évben a vas és a vas-szulfid keverék megolvadt, s így egy viszonylag sűrű mag jöhetett létre.

A kéreg 20-80 km vastag, ezzel együtt a szilárd litoszféra 100-200 km vastag lehet, a köpeny 1300-1800 km vastag, a vasmag pedig 1800-2000 km sugarú. A bolygó magját általában szilárdnak gondolják, ennek oka, hogy nincs globális mágneses tér, mindezek ellenére a Mars Global Surveyor mérései alapján folyékony külső mag is lehetséges.

A Mars fejlődése szempontjából meghatározó a belső aktivitás időbeli csökkenése, a kevesebb vulkáni gáz kibocsátása. A légkör jelentős része mára elszökött a napszél romboló hatása miatt. Kezdetben a mainak 10-20-szorosa lehetett. A Mars fejlődését 3 nagy időszakra osztjuk. Ezek közül a legkorábbi a Noachi időszak (4,5-3,6 milliárd éve). Ekkor történt a belső differenciáció, a kéreg elkülönülése, a mag képződése. Ekkor született az északi mélyföld, valamint a legnagyobb kráterek. A Tharsis-hátság is ekkor indult fejlődésnek. Ekkor talán lemeztectonikához hasonló folyamat is zajlott, majd a hűléssel párhuzamosan leállt a mágneses dinamó. A felszínen ekkor vizes mállás zajlott.

Hesperiai időszak (3,6-1,8 milliárd éve) Ekkor jött létre a legtöbb vulkáni síkság. Ebben a korban nyílt fel a Valles Marineris. A bolygó globális hűlése a jellemző. A felszínen a víz elkezdett kifagyni. Áradásos csatornák jöttek létre. Rövid életű tavak és esetleges északi óceán keletkezett.

Amazoni időszak (1,8 milliárd évtől). A bolygó legnyugodtabb periódusa. A száraz és hideg éghajlat jellemző. Ekkor keletkeztek a pólussapkák, időnként gleccserszerű jégárak mozogtak a felszínen.

Jelenleg nincs globális mágneses tere a Marsnak, az ezt generáló dinamó hatás már valószínűleg mintegy 4 milliárd éve leállt. Ennek következtében a napszél közvetlenül a légkörrel kerül kölcsönhatásba, és azt erodálja. Ugyanakkor sok mágneses anomália mutatkozik a Marson. Ezek az ősi erőtér maradványai.

## ÉSZAK-DÉL ASZIMMETRIA

Amikor a Mariner-4 űrszonda elkészítette az első, 22 felvételtől álló fényképsorozatot a Marsról, a képek meglehetősen sivár, kráterezett tájat mutattak. Csak a Mariner-9 képei változtattak ezen. A képein gigantikus vulkánok, zezugos labirintusszerű szakadékok, kanyonok látszóttak. A sarkvidékeken jégapok és üledékes kőzetek voltak.

A különböző fényképfelvételek eredményeként a kutatók arra a megállapításra jutottak, hogy a Mars felszíne meglehetősen aszimmetrikus. Az északi és a déli félteke meglehetősen eltérő, mind összetételben, mind a korában. A vulkáni képződmények közül a legfiatalabbak az északi félgömbön vannak. (Tharsis-vonulat) A Mars észak-dél aszimmetriája a bolygó általános magassági térképét vizsgálva határozottan szembetűnő. A déli féltekén egyetlen nagy mélyedés van: a Hellas-medence. Ezzel szemben északon hatalmas kiterjedésű mélyedészóna foglal helyet. Egyes feltételezések szerint ezt egy nagyobb test olyan becsapódása hozhatta létre, mely ferde szögben történt, és a kidobódott anyagot az űrbe szórta. Később ezt a mélyedést esetlegesen a korai időszakban egy óceán tölthette ki.

## VULKANIZMUS A MARSON

A Marson látványos vulkáni alakzatok vannak, ugyanakkor a mélyben történő folyamatok kevésbé ismertek. A vulkáni területek a bolygó felszínének 2%-át teszik ki, a lávafolyások pedig 58%-át. A kisebb tömeg miatt és a kevesebb radioaktív bomlásból származó hő

következményeként, a vulkánosság időben előre haladva csökkent. A magma nagy vastartalma híg lávát eredményezett. A földinél kisebb gravitáció miatt pedig magasabb vulkáni képződmények keletkeztek. A kitörési felhők magasabbak és gyorsan szélesedő tölcsérek voltak. Ez részint a ritkább légkörnek is köszönhető. A bolygón megfigyelhető vulkáni alakzatok három nagy csoportja: a vulkáni pajzsok, melyek kúpja lapos; a vulkáni kúpok, melyek a vulkáni pajzsoknál meredekebbek; és az ún. paterák, melyek rendkívül lapos, sugaras mintázatú kalderák.

A marsbéli lávafolyások bazaltosak. Feltételezhetőek lávabarlangok is, melyek a hosszanti törések mentén futnak. A vulkáni kalderák a földinél nagyobbak, átlagosan 1 km átmérőjűek.

A vulkanizmus a fő vulkáni térségekben koncentrálódott, ezek a Tharsis-hátság, az Elysium-hátság, a Syrtis Major térsége és a Hellas-medence körüli vulkáni terület.

A vulkanizmusnak jelentős szerepe volt a bolygó fejlődésében. Gázkibocsátása növelte a légkör mennyiségét, ezáltal az üvegházhatást is erősítette. Vízet és széndioxidot juttatott ki. A vulkáni tevékenység által kibocsátott teljes gázmennyiség a jelenlegi légkör 10-30-szorosa lehetett. A vulkáni hó következtében vízfeltörések jöttek létre, melyek nagy, áradásos alakzatokat hoztak létre. A Marson a hasadékvulkanizmus is előfordult.

## TEKTONIKUS ALAKZATOK

A Tharis-régió nagy vulkánjai:

Pavonis Mons: nagy pajzsvulkán, kora 300 millió év, átmérője 375 km. A nyugati félteke hatalmas kidudorodása. A vulkán csúcsa 7 km-rel emelkedik a környezete fölé, a kalderája egy nagyobb sekély mélyedésben van.

Ascraeus Mons: pajzsvulkán, kora 100 millió év, átmérője 460 km. A Tharsis-régió legészakibb vulkánja, kb. 18 km-rel emelkedik a környezete fölé.

Arsia Mons: pajzsvulkán, kora 700 millió év, átmérője 475 km. Térfogatát tekintve a második legnagyobb, csúcsa 9 km magas, kalderája 120 km átmérőjű.

Olympus Mons: pajzsvulkán, kora 300 millió év, átmérője 648 km. A Naprendszer legnagyobb vulkánja, csúcsa több mint 24 km,

térfogata 50-szer nagyobb, mint bármely földi pajzsvulkán.

A Valles Marineris:

Nagy hasadékvölgy, szurdokvölgyek rendszere. Kora 3,5 milliárd év, hossza több mint 4000 km. A Valles Marineris a legnagyobb alakzat a Marson, amelyet minden jel szerint tektonikai erők hoztak létre. Helyenként akár 700 km széles, és átlagosan 8 km mély. A Valles Marineris közvetlenül az egyenlítő mentén, attól délre található, nagyjából kelet-nyugati irányú. Vonala mentén vetődések találhatóak, melyek a Tharsis-hátságból indulnak ki. A szurdokvölgyet a víz és a szél is alakította. A Noetis Labyrinthus jelzi a rendszer nyugati végét. Ez egy nagyjából háromszög alakú terület, melynek ágai labirintust képeznek. A Valles Marineris keleti végét szabálytalan terep határolja. Itt a hajdani víz szurdokokat és csatornákat képzett. Ezek szállították el a folyók vizét a Marinerisből északra, a Chryse Planitia alföldi régió felé. Az egész vidéket kiterjedt vízerózió érte. A víz hatására több millió köbméternyi anyag mozdult el. A szurdokban réteges kőzetek találhatóak, melyek üledékes eredetűek lehetnek.

## VÍZ ALKOTTA KÉPZŐDMÉNYEK

Mind a folyékony, mind a megszilárdult víz alkotott képződményeket a Marson. Óriási, csatornaszerű völgyek tűnnek elő, melyek hatalmas áradások tanúi. Másokat a folyók lassan folydogáló vize alakított. Egyes alakzatok arra utalnak, hogy a Marsnak egykor tengerei voltak.

A két fehér, poláris sapka szembeötlő kontrasztot alkot a Mars vörös színével. Az egyikük középpontja nagyjából az északi póluson van. Ez a Planum Boreum. Ez egy jégborította domb, mely néhány kilométerrel emelkedik a környező síkság fölé. Állandó vízjég-sapkából áll, melybe némi szárazjég is keveredik. A marsi tél folyamán az egész régió hat hónapon át sötétségben van. A legújabb felvételeken a földi sarkvidékeken találtakhoz hasonló, sokszög-alakú mintázatok borítják a poláris vidéket. Ezek a jég felolvadásával és újbóli megfagyásával keletkeznek.

A Kasei Vallis kifolyási csatorna, melynek kora 3-3,5 milliárd év. Hossza 1780 km. Nem csak hosszú, de legnagyobb kiterjedésénél 200 km széles, és mélysége helyenként 3 km. Az áradás, mely létrehozta, nagyobb volt, mint bármely másik a Földön vagy a Marson.

A déli-sarki sapka, a Planum Australe, jégből álló, néhány km magas kiemelkedés. Három részből áll, egy vízjégből álló sapka, melyet széndioxid-jég fed be. Harmadik eleme a permafrost, s ez több száz négyzetkilométert fed be.

## VÍZ A MARSON

A Marson a víz jelenleg a légköri vízpára, a felszíni jég, és a felszínalatti jég formájában van jelen. A legnagyobb vízmennyiség a felszín alatti jég. A Mars fejlődésének kezdeti időszakában annyi víz lehetett jelen, ami a bolygó teljes felszínét 100-500 m vastagon fedte volna be, ha egyenletes eloszlást feltételezünk.

A vízjég a Marson vándorolhat a légkör segítségével. Egyes területekről eltűnik, míg másutt lerakódik. A felszíni és felszínalatti jég eltűnése, megjelenése sokrétű következményekkel jár. A terület felmelegedésében, lehűlésében és a felszín elmozdulásában mutatkoznak meg ezek a jelenségek.

A bolygó felszínén a jég elhelyezkedése jelentősen változott a fejlődése során. Erre utalnak a völgyhálózatok, melyek a jég megolvadásakor keletkező vizet vezették el. A tengelyferdeség jelentős időbeni változása során a jég a pólusok és az egyenlítő között vándorolt.

A Marson ma jelentős szereppel bírnak a vizes sóoldatok. A Marson a sóoldatok jelenlétére elméleti modellek és megfigyelések egyaránt utalnak. A vízben oldott sók jelentősen csökkentik a fagyáspontot, így lehetséges a folyadékok áramlása, kicsapódása. A legelterjedtebbek a szulfátos és kloridos sóoldatok. Az ilyen folyadékok feltételezése megoldja azt a problémát, hogy a Mars történetének legnagyobb részében hűvös lehetett, ám ennek ellenére számos folyásnyom található. Az sóoldatok elméleti létezésének lehetőségét a Phoenix űrszonda a gyakorlatban is megerősítette.

## AZ ÚJABB ŰRSZONDÁS VIZSGÁLATOK

A Mars Exploration Rover programban a NASA két űrszondát küldött 2003-ban a Mars felszínére. A MER-A és MER-B jelzésű, nagyteljesítményű roverek a Spirit és az Opportunity nevet kapták. Az első a Guszev-kráterben szállt le, a második, az Opportunity, közép-európai idő szerint 2004. január 25-én landolt a bolygó túloldalán, a Meridiani Planum nevű síkság Sas-kráterében, 10.600 kilométerre ikertestvérétől. Mindkét űrszondának az volt a feladata, hogy bizonyítékokat keressen a múltbéli marsi víz létezésére.

Az eredetileg néhány hónaposra tervezett missziót az ügynökség már többször meghosszabbította. Mindkét marsjáró fontos felfedezéseket tett, amelyek bizonyítják, hogy valamikor a Mars a Földre hasonlított: légköre elég vastag volt ahhoz, hogy folyékony víz legyen a felszínén, és akár bakteriális életközösségek is kifejlődhettek a vörös bolygón. A Spirit arra is talált bizonyítékokat, hogy az őskorban termálforrások léteztek a Marson. Az utóbbi űrszonda küldetése végül 2011 májusában ért véget, amikor a NASA felhagyott a próbálkozással, hogy kapcsolatba lépjen a homok fogságába esett marsjáróval.

Az Opportunity azonban máig rendületlenül folytatja útját. Eredetileg három hónapos létre szánták, és a kijelölt idő alatt 600 métert kellett volna megtennie. Ehelyett a napenergiával működtetett, hatkerekű űrszonda már 35,46 kilométert barangolt a vörös bolygó nem éppen vendégmarasztaló felszínén, és összesen négy kráter mélyén kutakodott. Az űrszonda 2011-ben érkezett a vörös bolygó óriáskráterének, a 22,5 kilométer átmérőjű Endeavournek a pereméhez. A krátert azért iktatták a programba, mert sokkal korábbi, mint az addig vizsgált képződmények, és lényegesen különbözik a többi krátertől. A marsjáró által készített felvételek olyan agyagásványokat mutattak ki, amelyek a feltételezések szerint a korai Mars meleg és nedves környezetében alakulhattak ki, és mélyebb, régebbi rétegekből származnak. Az Opportunity korábban már rábukkant egy olyan, 1-2 centiméter széles és 40-50 centiméter hosszúságú „gipsz-érre” a kráter szélén, amely víz egykori jelenlétére utalt.

A Phoenix 2008. május 25-én landolt a Mars északi sarkvidékén, és közel öthónapos működés után, november 2-án küldte az utolsó jelet a Földre. Már a program tervezésekor egyértelmű volt, hogy ez rövid életű küldetés lesz, mivel a napelemtáblák csak a helyi nyár idején képesek a működéshez elegendő energiát termelni. A Phoenix az ősszel kiterjedő és tavasszal visszahúzódó északi pólussapka területén landolt, amely a csökkenő hőmérséklettel párhuzamosan most egyre dagad, és lassan maga alá temette a szondát.

A Phoenix bebizonyította, hogy a Mars északi sarkvidékén az utóbbi időszakban is olyan aktív felszínalakító folyamatok zajlottak, amelyek miatt ott kevés becsapódásos kráter látható; a terület kora néhány millió év körüli. A szonda adatai egybevágóan az elméleti modellek és egyéb megfigyelések alapján feltételezett múltbeli éghajlat-módosulásokkal. Ezek a forgástengely változó ferdeségével kapcsolatosak, amelyek miatt a besugárzás, a hőmérséklet és a jég területi eloszlása millió éves időskálán ingadozik.

A felszíni fotókon sok, 1,5-2 méteres, poligonális (sokszögletes) alakzat mutatkozott, amelyekhez hasonlóak a Földön az ún. periglaciális, azaz jégkörnyéki területen jellemzőek. Ezek a bolygónkon elsősorban a víz váltakozó megfagyása és megolvadása révén keletkeznek. Elméletileg nem kizárt, hogy a marsi alakzatok is hasonló úton jöttek létre, bár folyamatosan fagyott állapotban is kialakulhattak. Lehetnek ún. szublimációs poligonok is, amelyek a regolit (a felszínt borító törmeléktakaró) jégtartalmának olvadás nélküli változásától (eltávozásától és visszafagyásától) születtek.

## A PHOBOS ÉS A DEIMOS

A Mars két kicsiny holdja, a Phobos és a Deimos a Naprendszer legnehezebben megfigyelhető égitestei közé tartoznak. Mind a két hold szabálytalan alakú. Kötött keringésűek, ami azt jelenti, hogy állandóan ugyanazzal a felükkel fordulnak a Mars felé. Mindkét holdon nagy számban található kráterek.

Egyes feltételezések szerint a két hold az aszteroida övből származik, s a Mars befogta őket. Vannak azonban olyan elméletek, melyek szerint a Mars keletkezése után vissza-

maradt törmelékből jöttek létre. Erre utalhat, hogy a bolygó egyenlítői síkjában keringenek.

A Phobos kondritos felépítésű, azaz sok szenet tartalmaz. A Deimos anyaga feltehetően szintén széntartalmú kondrit.

# Az aszteroida öv

## NEVESEBB ASZTEROIDÁK

Név	átmérő
Ceres:	1003 km
Pallas:	608 km
Vesta:	538 km
Hygiea:	450 km
Juno:	247 km

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Ceres a gabona ősi római istennője, de eredeti vonásairól semmit sem tudunk, mert a legkorábbi időktől a görög Demeterrel azonosították, eleinte még papnőit is a görög-lakta területekről importálták. Tiszteletére áprilisban egyhetes ünnepséget tartottak: a Cerealiákat, áldozatokkal, kocsiversenyekkel és ajándékokkal.

Juno ősi itáliai istennő, Saturnus és Ops lánya, Jupiter húga és felesége. A hónap névadója, tiszteletét a szabin Titius Tatius társkirály vezette be Rómában. Juno óvta a házasságot, a családot, a gyermekágyas asszonyokat. Jupiter és Minerva társaságában a capitoliumi istenhármaság tagja volt, s az egész római állam védnöke. Sok rokon vonás miatt azonosult később a görög Hérával.

Pallasz Athéné istennő másik neve vagy állandó mellékneve. Ezt onnan nyerte, hogy a gigászokkal vívott küzdelemben megölt egy ilyen nevű óriást, és pajzsát az ő bőréből készítette el, más verzió szerint Tritón lányát, az ő gyermekkori barátnőjét hívták így, akit ő véletlenül megölt. Az ő emlékére készítette volna a Palladion nevű szobrot, melynek városvédő erőt tulajdonítottak. Számos városban tartottak ilyen, s külön szentélyekben őrizték. Nevezetes volt Trója városának szobra, melyet a legenda szerint Aineiasz vitt magával.

Vesta ősi itáliai istennő, neve és szerepe is hasonló a görög Hesztiaéhoz, akivel azonosították, de valójában megmaradt jellegzetesen római istenségnek. Eleinte a házi tűzhely védnöke, legfontosabb az állam nyilvános tűzhelyének védelme, melynek számára a római Forumon emeltek kör alakú oszlopocsarnokot.

## ASZTEROIDÁK - ÁLTALÁBAN

A kisbolygók vagy más néven aszteroidák többsége a Mars és a Jupiter pályája között lévő úgynevezett aszteroida övben helyezkedik el. Keringési periódusuk általában 4-5 év. Az aszteroidákról csak az 1970-es évektől vannak ismereteink. Kitűnt, hogy 30%-kal nagyobbak, mint azt korábban gondolták. 1977-ben 2042 kisbolygó pályaelemét ismerték pontosan. További 2000 olyan aszteroidáról van tudomásunk, melyet legalább egyszer



észleltek. Az aszteroidák mennyisége, a néhány száz méter átmérőjűeket is figyelembe véve, több millió lehet. Az 1,5 km átmérőjűeknél nagyobbak száma kb. 450 ezer lehet. Összesített tömegük azonban a Földének csupán 0,0004 része. Ez ellentmond annak a korábbi feltételezésnek, hogy a kisbolygók egy korábban szétrobban nagybolygó, a Phaeton darabjai lennének. Az általánosan elfogadott elmélet szerint a Jupiter zavaró hatása miatt sosem álltak össze bolygóvá. Még a Naprendszer kialakulásakor keletkeztek. Legnagyobb képviselőjük a törpebolygó Ceres.

A Naprendszer hajnalán jó néhány olyan aszteroida létezett, amelyek nagyjából akkorák lehettek, mint a Mars, ezek megolvadhattak és differenciálódtak. Azóta azonban a folyamatos ütközések miatt széttöredeztek.

Három fő csoportjuk létezik. Az első a szénben gazdag, széntartalmú, kondritos. A másik a szilikátos, a harmadik a fémes.

## A TRÓJAI KISBOLYGÓK

A trójai hősököről elnevezett aszteroidák, a Jupiter pályája menti két librációs pont környezetében található, nagyjából 60 fokkal a Jupiter előtt és után.

Néhány ismert trójai kisbolygó:

Név	átmérő
Agamemnon:	74 km
Diomedes:	64 km
Patroclus:	60 km
Aeneas:	60 km
Achilles:	59 km
Odysseus:	59 km
Nestor:	51 km
Priamus:	47 km
Menelaus:	22 km

## NÉHÁNY ASZTEROIDA

### VESTA

Átlagos távolsága a Naptól 353 millió km, keringési periódusa 3,63 év. A Vesta nagy aszteroida, amelynek felszíne a ráeső fény nagy hányadát visszaveri, így az egyetlen, amelyet szabad szemmel is látni. Nagyjából

gömb alakú, rajta egy hatalmas, 460 km átmérőjű, 13 km mély kráter van.

### CERES

Átlagos távolsága a Naptól 414 millió km, keringési periódusa 4,6 év. A Cereset 1801-ben véletlenül fedezte fel G. Piazzi. A legnagyobb kisbolygó, törpebolygóként tartják számon.

### IDA

Átlagos távolsága a Naptól 428 millió km, keringési periódusa 4,84 év, hossza 60 km. Az Ida egyike volt annak a 119 aszteroidának, melyeket J. Plaisa és M. Wolf fedezett fel. Az Ida azért híres, mert a Galileo szonda részletesen lefényképezte. Az Idának saját holdja van.

### EROS

Átlagos távolsága a Naptól 218 millió km, keringési periódusa 1,76 év. Mivel földközeli pályán kering, a kisbolygó-övön kívül, általában közelebb van a Naphoz, mint a Marshoz. Az Erost a NEAR-szonda vizsgálta, és le is szállt a kisbolygóra. Felszínét kőzet és regolit borítja.

# A Jupiter

Átlagos távolság a Naptól: 778,3 millió km.  
Hőmérséklet a felhők tetején: -110 Celsius fok.  
Átmérője: 142.984 km.  
Térfogat (Föld=1): 1321.  
Holdak száma: 63.  
Forgási periódusa: 9,93 óra.  
Keringési periódusa: 11,86 év.  
Tömege (Föld=1): 318.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A szabad szemmel is látható, a Naptól számított ötödik, külső bolygó a Jupiter, melyet a görögök Zeusszal azonosítottak, az istenek atyjával. Az ősnymtatványokon felvilágosult tudósoknak vagy bírónak ábrázolják, az érett férfiú két madár húzta szekéren ül.

Kronosz és Rheia gyermeke. Több különleges családi viszonyáról is tudunk: Athéné például felnőttként, teljes fegyverzetben pattant ki a fejéből.

Hadésszal és Poszeidonnal, és a küklopszok kovácsolta villámokkal megdönti apja, Kronosz uralmát.

Később nővérét, Hérát veszi feleségül. Gyermekeik: Arész, Hébé, Héphasztosz. A Földi nőket igencsak kedvelte, legtöbbször valamilyen álcában környékezte meg és ejtette teherbe.

A Jupiter Galilei által felfedezett négy nagy holdja szeretőiről van elnevezve. Ezek: Io, Europa, Ganymedesz, Callisto. Európé főnői királylány. Jupiter körül számos monda kering, így fontos még megemlíteni Minoszt, Kréta legendás királyát, aki Zeusz és Európé nászából született.

Ebből a fantasztikus mondavilágból emelkedik ki Ión tenger és a Boszporusz elnevezése is.

A Medve csillagkép születése is a Zeusz-Jupiter monda kör része, Zeusz és Kalliszto nászából megfogant Arkasz. Az istenek ura, hogy tettét titkolja, medvévé változtatja. Később mindkettejüket csillagkép formájában az égre emeli.

Zeuszt az antik képzőművészek erőteljes termetű szakállas, szép férfiként ábrázolták, aki nyugalmat és fenséget sugároz. Az ókori világ hét csodája között tartották számon aranyból és elefántcsontból készült szobrát, Pheidiasz legpompázatosabb alkotását, mely az olümpiai Zeusz-templom szentélyében állt.

Zeusz tiszteletére a görögség Olümpiában négy évente játékokat rendezett. Erre az időre a háborúskodásokat is beszüntették. A játékokon csak férfiak vehettek részt.

## PÁLYÁJA

A Jupiter a Naptól számított ötödik bolygó. Mintegy ötször messzebb van, mint a Föld, de a Naptól való távolsága nem állandó. Pályája elliptikus, és 76,1 millió km különbség van a napközeli és a naptávoli között. A Jupiter forgástengelye 86,9 fokos szöveget zár be a keringési síkkal, ami azt jelenti, hogy nincsenek szembetűnő évszakjai. A bolygó a gyors tengelyforgás miatt egyenlítőjénél kidudorodik, emiatt egy lapult gömb a kinézete.

## SZERKEZET

Bár a Jupiter a legnagyobb tömegű bolygó, a nagy térfogat következtében sűrűsége kicsiny. Összetétele leginkább a Naphoz hasonlít. A Jupiter hidrogénje és héliuma lég-nemű állapotban van a bolygó külső részén, ahol a hőmérséklete kb. mínusz 110 Celsius fok. Közeledve a középpont felé, a nyomás és a sűrűség, valamint a hőmérséklet növekszik. A gázok állapota is ennek megfelelően változik. Kb. 7000 km-es mélységben 2000 Celsius fokon inkább már folyadékként viselkedik, míg 14.000 km-nél 5000 Celsius fok mellett a hidrogén már fémes hidrogénné tömörül, és olvadt fémként viselkedik. Mélyen a bolygó belsejében, 60.000 km mélységben kőzet és fém keverékből álló szilárd mag van. Ez a Jupiter tömegéhez képest kicsiny, de tízszer akkora tömegű, mint a Föld.

## MÁGNESES MEZŐ

A Jupiternek kiterjedt és erős mágneses mezeje van, melyet a benne keletkező örvényáramok hoznak létre a fémes hidrogénben. A mágneses pólusokat összekötő tengely 11 fokos szöveget zár be a forgástengellyel. A mágneses mező húszszerezésesen múlja felül a földit. A Jupiteren is sarki fény keletkezik az északi és déli pólusnál. A mágneses mező által befogott töltött részecskékből a Jupiter egyenlítője mentén korong képződik. Ebben a korongban elektromos áramlás van. A magnetoszféra csóvája egyes szakemberek szerint 600 millió km hosszú is lehet.

## LÉGKÖR

A Jupiter légkörében a hidrogén (89,8%) a leggyakoribb gáz. A maradék hélium és egyszerű hidrogénvegyületek (10,25%). Például: metán, ammónia, víz, etán, acetilén, propán. Ezek a vegyületek kondenzálódnak a légkör különböző színű felhőivé. A légkör hőmérséklete lefelé haladva fokozatosan növekszik, ezért különböző típusú felhők képződnek. A hőmérséklet-különbségek hatására heves, turbulens áramlások jönnek létre, ez okozza a csíkozottságot. A Jupiter emelkedő, hűvös, fehér sávjait zónáknak, míg vörösésbarna, leszálló, melegebb részeit sávoknak nevezik.

A különböző kémiai összetételű felhők a légkör különböző magasságaiban képződnek, ammónium-hidroszulfid, ammónia és jégkristály felhők jönnek létre.

A felemelkedő meleg gázok és a leszálló hideg gázok erős áramlásokat, örvényeket hoznak létre. A szelek sebessége meghaladja a 400 km/h-t. Óriási kiterjedésű viharok jönnek létre, melyek közül a legnevezetesebb a Nagy Vörös Folt. A Földnél is nagyobb, 340 évvel ezelőtt észlelték legelőször és azóta is tombol.

## GYŰRŰK

A Jupiter gyűrűrendszerét 1979-ben fedezték fel a Voyager-1 által készített egyik felvételen. Ezt a három részből álló, vékony, halvány gyűrűt a négy belső holdjáról kikerült porméretű részecskék alkotják. A főgyűrű lapos és 7000 km széles. Rajta kívül helyezkedik el a fátolgyűrű, mely 850 ezer km átmérőjű. A főgyűrű belső részén 20 ezer km vastag, fánk-alakú halo van. Ez leér egészen a felhőzet tetejéig.

## A GALILEI-FÉLE HOLDAK

### IO

Távolsága a Jupitertől 421.000 km, átmérője 3643 km. Az Io kicsit nagyobb és sűrűbb, mint a Föld holdja. Az Io a vulkanikus mélyedések, kalderák, hasadékok, lávafolyások igen színes világa. E hold természetét először a két Voyager szonda derítette föl, majd a majd a Galileo-küldetés vizsgálta. Az Io a Naprendszer legvulkanikusabb égitestje. Az

lonak vékony, szilikátokból álló kérge van, amely egy olvadt szilikátokból álló réteget vesz körül, ez alatt helyezkedik el a viszonylag nagy és vasban gazdag mag. Az lot a rá ható árapály erők melegítik fel. A vulkanikus jelenségek az egész holdon megfigyelhetők. Több mint 80 nagyobb aktív vulkánt és 300-nál több kürtőt azonosítottak. Találtak „tollaknak” nevezett alakzatokat is a felszínen, melyek inkább gejzirekre hasonlítanak. Túlfűtött kén-dioxid lövell ki belőlük. A vulkanikus forró pontok hőmérséklete 1230 Celsius fok, míg másutt mínusz 153 Celsius fok.

## EURÓPA

Távolsága a Jupitertől 670.900 km, átmérője 3122 km. Az Európa jéggel borított, gömb-alakú szikla, melyet már 400 éve vizsgálnak, de igazi természetére csak akkor derült fény, amikor a Galileo űrszonda tanulmányozta. A Jupiter negyedik legnagyobb holdja elkáprázató világ. Az Európa néhányszor tíz km vastag kérge alatt folyékony óceán lehet. E 80-170 km vastag víréteg több vizet tartalmaz, mint a földi óceánok, s teret nyújthat az életnek is. Legbeljebb egy sziklás köpeny van, mely a fémes magot veszi körül. A felszín fiatal, jeges síkságokból, és töredezett alakzatokból áll. Hosszú, sötét színű, akár több ezer km-es vonalak húzódnak rajta. A kialakulásukra vonatkozó egyik elmélet az, hogy a mélyből feláramló meleg víz megolvasztja a felszín jegét, majd az összetörik és elmozdul. A víz a felszínre kerül, de azonnal meg is fagy.

## GANYMEDES

Távolsága a Jupitertől 1,07 millió km, átmérője 5267 km. A Naprendszer legnagyobb holdja, nagyobb, mint a Plútó vagy a Merkúr bolygó. A Ganymedes szikla és jég 60:40 arányú keverékéből alakult ki. Ez későbbiekben differenciálódott, és ma van egy szilikátokból álló mag és egy jégből álló felső köpeny.

## CALLISTO

Távolsága a Jupitertől 1,88 millió km, átmérője 4821 km. A Callisto a Galilei holdak közül a második legnagyobb, és a legsötétebb. Felszíne jeget is tartalmaz, az eredeti szikla és jég keveréke nem ment át differenciálódáson. Felszíne kráterektől tarkított. Nagy alakzata a

2600 km átmérőjű Valhalla medence, melyet egy becsapódás hozhatott létre.

## A JUPITER KUTATÁSA

A Jupiter kutatása a távcső feltalálásával egyidejűleg kezdődött. 1610-ben Galileo Galilei itáliai csillagász figyelte meg először távcsővel az óriásbolygót és felfedezte négy nagy holdját. A csillagászati műszerek fejlődése és az egyre nagyobb távcsövek mind pontosabb megfigyelési lehetőségeket adtak. Ennek köszönhetően 1878-ban felfedezték a Naprendszer legnagyobb viharát, a Nagy Vörös Foltot (bár volt olyan csillagász, aki már 1664-ben látni vélte). A fotólemez megjelenése után elkészülhettek az első fényképfelvételek. A spektroszkópia fejlődése és az első színképelemző készülékek megjelenése után megállapítható volt a Jupiter felhőinek összetétele (főleg metánból és ammóniából állnak). Azonban az űrkutatás korszakáig ennél sokkal többet nem lehetett kideríteni. Még a 20. század elején sem voltak megbízható elképzelések arról, hogy mi rejtőzik a vastag felhőtakaró alatt.

A rakéatechnika ugrásszerű fejlődése lehetővé tette különböző műholdaknak és űrszondáknak a bolygóközi térbe való juttatását. Ezzel rohamosan megnöttek a bolygókról, köztük a Jupiterről kapott ismereteink. Az első szonda, amely meglátogatta az óriásbolygót, a Pioneer-10 volt, így elkészültek az első közel-felvételek a holdrendszeréről és a bolygóról. A mérések alapján többet tudtunk meg a Jupiterről, mint előtte együttvéve. Az ezt követő űrszondák (Pioneer-11, Voyager-1, Voyager-2, Ulysses) pontosították a megfigyeléseket és számtalan új felfedezést tettek. Azonban a megfigyelések sokkal több kérdést vetettek fel, mint amennyit megválasztak. Így már csak idő kérdése volt, mikor indul az első olyan űrszonda, melynek elsődleges programja a Jupiter és rendszerének vizsgálata. A szondát Galileo Galilei tiszteletére Galileónak nevezték el. A Galileo rászolgált a nevére, a megfigyelései, mérési adatai legalább olyan jelentőséggel bírnak, mint az olasz csillagász első észlelései.

## A GALILEO MISSZIÓ

1995. december 7. A szondapáros megérkezett a Jupiterhez. A légköri egység ugyan ezen a napon megkezdte a belépést az óriásbolygó légkörébe. A felhőrétegtől kb. 50.000 km-re egy teljesen új, erős sugárzási övezetet talált. Eközben az anyaszonda 892 km-re elrepült az Io mellett, de fotók és színeképek nem készülhettek a háttértároló hibájából, ami veszélyeztette a légköri szonda adatainak tárolását is. A hibát később sikerült kijavítani. Az Io mellett történt gravitációs mérésekből kiderült, hogy vasmagja és jelentős mágneses tere van.

A légköri egység kinyitotta ejtőernyőjét és megkezdte a süllyedést. Eközben mérte a felhők kémiai összetételét, a nyomást, a hőmérsékletet, a sűrűséget, vizsgálta az energiaviszonyokat, a villámlásokat és a szelek erősségét. A leszállóegység 57 percig tudott működni, majd összeroppant. A szonda 130 km mélyre süllyedt az 1 bar-os szinthez képest. A hélium részaránya feleakkorának bizonyult, mint azt feltételezték, és nem találtak bonyolultabb szerves molekulákat sem. A műszerek nem találták a hárma tagozódású felhőszerkezetet. Eközben a Galileo 216.000 km-re közelítette meg a Jupitert (ez volt a legközelebbi elrepülés a Jupiter mellett az egész misszió alatt) és pályára állt a bolygó körül.

1996. június 25. Elkészítették az első Io-fotókat, több mint 2 millió km-ről. A felvételeken sok vulkán és friss lávató mutatkozott, a felszín jelentős változásokat mutatott a korábbi Voyager-képekhez képest.

1996. június 27. Az első Ganymedes-megközelítés. A 835 km-ről készült felvételek a viszonylag fiatal Uruk Sulusról és az öreg, barázdált Galileo-régióról készültek. Az elsőnél tektonikus mozgásokra utaló repedéseket találtak, míg a másodikat inkább a sok kráter jellemzi. A Galileo felfedezte a Ganymedes mágneses terét, mely részben olvadt vasmagra utal. Felfedezték a hold ionoszféráját és légkörét, amely oxigént is tartalmaz.

1996. szeptember 7. A második Ganymedes-elrepülés ezúttal közelebb, alig 262 km-re az északi pólus felett történt meg, és így páratlan lehetőség nyílt a mágneses tér vizsgálatára. A szonda jeleiből sikerült kiszűrni a hold rádiójeleit. A gravitációs mérések értel-

mezéséből arra lehetett következtetni, hogy a Ganymedes felszínét 800 km-es jégréteg borítja, és a hold belső szerkezete differenciálódott. A megközelítés előtt elkészült az első Amalthea-fotó is.

1996. november 4. A Galileo először repül el a Callisto mellett, 1104 km-re a felszín felett. Ionoszférát találtak e hold körül is, amelyből vékony légkörre lehetett következtetni. A belső szerkezet homogénnek mutatkozik, a fémes mag hiányzik.

1996. december 19. Az első Európa-megközelítésnél a szonda alig 692 km-re suhant el a hold mellett, de még előtte mérte a Vörös Folt hőmérsékletét, melyből később előállították a folt teljes hőtérképét. Eszerint hidegebb, mint környezete, és a közepe magasabb van, mint a széle. Az Európáról készült felvételek a korábban gondoltnál erősebben szabdaltságot mutattak, kevés a kráter, viszont annál több a rianás és a repedés. A rianások mentén sötétebb anyag található, mely a jég repedésénél felszínre törő szilikátos víztől eredhet. Ezen felvételek alapján egyre valószínűbbé vált az a feltevés, hogy az Európa felszíne alatt folyékony óceán vagy képlékeny jég található. Mágneses teret észleltek e hold körül is, amelynek térerőssége kb. negyede a Ganymedesének.

1997. február 20. Az elrepülés előtt elkészült az első fotó a Thebe nevű holdról és tovább folytatódott az Amalthea kutatása. A második szoros Európa-megközelítés 587 km-re a felszín felett történt. Elkészültek az első felvételek, amelyeken töredezett, óriási jégtáblák látszanak, befagyva a felszínbe. Ebből már egyértelműen következett, hogy a felszíni jégréteg nem lehet valami vastag. A jégtáblák mintegy 50-150 méter magasra emelkednek ki a környező szint fölé. A színeképelemzés kimutatta, hogy a vékony légkör főleg oxigénből áll, ezzel megerősítve a korábbi Hubble-méréseket.

1997. április 5. Mint minden hold-elrepülésnél, most is születtek megfigyelések a Jupiterről és más holdjairól. A Jupiteren forró foltokat figyeltek meg, és fotózták a Thebe, Metis és Amalthea holdakat is. A harmadik Ganymedes-megközelítés kicsit távolabb, 3102 km-re a holdtól történt. Sikerült feltérképezni a hold felszíni kémiai összetételét, és vizsgál-

ták a Jupiter és a Ganymedes magnetoszférájának kölcsönhatását.

1997. május 7. A Galileo felvételeket készített a légköri egység leszállási helyéről és felfedezte a száraz foltokat, ahová a légköri egység is bejuthatott. Ezek a helyeken a szélirány összetartó és lefelé irányuló, ezért víz- és ammóniamentes. A későbbi megfigyelések megerősítették a felhőréteg hármastagozódását. A Galileo először figyelte meg a Jupiter sarki fényeit a látható tartományban. Rádióokkultációs mérésekkel vizsgálták a Ganymedes roppant ritka légkörének szerkezetét, és felvételek készültek az Osiris boltozatos szerkezetéről és különböző krátermezőkről. Az alapprogram során ez volt az utolsó Ganymedes-közéltetés, 1600 km-re a holdtól.

1997. június 25. A Callisto második megközelítése 415 km magasan a felszín felett. A megfigyelések főleg a Valhalla többszörös gyűrűs szerkezetének vizsgálatára irányultak. Sikeres rádióokkultációs kísérletekkel kimutatták a légkört, amely hidrogénből és széndioxidból áll, de találtak benne oxigént is.

1997. szeptember 17. Ezúttal 538 km-re suhant el a Galileo a Callisto mellett. Tovább vizsgálták a légkört és a krátermezőket. A felvételek alapján valószínűsíthető egy, kb. 200 km-re a felszín alatt húzódó óceán létezése.

1997. november 6. Az alapprogram utolsó hold-közéltetése az Europa mellett 2043 km-re történt meg. A megfigyelések elsősorban a Pwyll- és a Mannannan-kráterről készültek. Formálisan december 8-án kezdődött meg a Galileo űrszonda meghosszabbított programja, a Galileo Europa Misszió (GEM), mely 8 Europa, 4 Callisto és egy vagy kettő (akkor még nem tudták biztosan) Io elrepülést tartalmazott.

1997. december 16. Elkészültek az Európáról a legjobb, majdnem 1 méter felbontású képek, alig 200 km messzeségből. Újrafényképezték a Pwyll-krátert, a képek alapján elkészíthetővé vált a pontosabb modellje. Fotózták a káoszterületeket és ún. „forró foltokat” kerestek a felszínen. Ezek a „forró foltok” egyértelműen bizonyítanak a felszín alatti melegebb áramlatok létezését és a belső aktivitást. A felvételeken háznagyságú jégtömböket és köztük csúszásnyomokat találtak, ami mind arra utal, hogy a jégréteg időnként megreped vagy elmozdul.

1998. február 10. Újabb Europa-megközelítés, ezúttal távolabb, 3552 km-re a holdtól. Az elrepülés során csak Doppler-effekción alapuló méréseket végeztek, amelyekből a hold belső tömegeloszlására lehetett következtetni. Szintén februárban figyelték meg először, hogy a Jupiter két fehér oválisa összeolvadt, létrehozva a Nagy Vörös Folt utáni legnagyobb vihart a Jupiteren.

1998. március 29. Harmadjára 1645 km-re suhant el a Galileo e hold mellett. Tovább folytatódott a két magnetoszféra vizsgálata és az Europa hőterképének összeállítása. Vizsgálták a hold légkörének változásait, jégvulkánok gőzei után kutatva; egy újabb terület kémiai összetételét térképezték fel.

1998. április 3. Bejelentették, hogy egy teljesen új porgyűrűt találtak a Jupiter körül a Galileo pordetektorának mérései alapján. A gyűrű közel 1 millió km átmérőjű, részecskéi retrográd irányban keringenek. A gyűrű anyaga valószínűleg bolygóközi eredetű.

1998. május 31. A negyedik megközelítésnél a legjobb felbontású képek 2521 km-ről készültek. A felvételek segítenek jobban feltérképezni az Europa ásványi összetételét és geológiáját. Újrafotózták a többi nagy Galileiholdat is. Vizsgálták a légkör változásait, geológiai aktivitás után kutatva. A közeli felvételek főleg a Cilix-kráterről készültek. Időközben az Io belépett a Jupiter árnyékába, így jobban feltérképezhetővé vált a kén-dioxid vulkánok hőmérsékletkülönbsége. Ezen mérések alapján fedezték fel az Io szilikát-vulkanizmusát. E vulkánok kb. 500 K-nel forróbbak földi társaiknál.

1998. július 19. Az ötödik Europa-megközelítés során az űrszonda hibát észlelt és biztonsági üzemmódba kapcsol, így sajnos az adatok jelentős része elveszett. Szintén július folyamán készültek azok a felvételek a Ganymedesről, amelyeken egy lebenyes, folyásos alakzat látható, annak bizonyítékeként, hogy a holdon valaha létezett jégvulkanizmus.

1998. szeptember 26. Tovább folytatódott az Europa-felszín ásványi anyag tartalmának feltérképezése, a „forró foltok” keresése, az Io vulkánjainak és a Jupiter felhőinek, öveinek hőmérsékletmérése. Az Europa felszíne felett 3582 km-re repült el a Galileo, programjában szerepelt az Agenor Linea nevű régió fényképezése, mely egy nagy felületi fényessé-

gú terület. A megközelítés előtt újra megvizsgálták a két összeolvadt fehér oválist, és mérések készültek a Jupiter magnetoszférájáról is. Az Io légkörében a pólusokhoz közel izzó hidrogéngázfelhőket találtak, melyeknek eredete kétséges.

1998. november 22. Az utolsó előtti Europa-megközelítés sajnos nem sikerült, mert a Galileót ért erős sugárzás miatt megint biztonsági üzemmódba állt át.

1999. január 31. A GEM utolsó Europa-megközelítése a felszín felett 1439 km-re történt meg. A felvételek a Pwyll-kráterről, az északi pólus környékén lévő egykori jégvulkánokról és egy „foltos” területéről készültek.

1999. május 5. A GEM első Callisto megközelítése a négyből, melynek során rendszeresen vizsgálták a Jupiter felhőrendszerének apró változásait, hőmérsékletét, magnetoszféráját és annak kölcsönhatását az Io pályája mentén elterülő tóruszal. A felvételek főleg különböző krátermezőkről készültek. A kráterek morfológiájából és számából meg lehet állapítani a Callisto felszínének korát. A felvételeken a kráterek tövében törmelékanyag található, mely a magasabb területekről csúszott le.

1999. június 30. A Galileo most 1048 km-re közelítette meg a Callistót. Folytatódott a felszíni összetevők meghatározása és a ropant ritka légkör vizsgálata. Részletes méréseket közvetített az Io tóruszáról, a felszín hőmérsékletéről és a vulkánok változásairól. A tóruszban klórt találtak, ami felszíni sólerakódásra, vagy a magmában lévő oldott sóra utal.

1999. augusztus 14. Az utolsó két Callisto-megközelítésnél (az utolsó szeptember 16-án 1052 km-re volt) elsősorban rádió-okkultációs mérésekkel vizsgálták a hold légkörét.

1999. október 11. A Galileo először vette közelebről (617 km-ről) is szemügyre az Iot. A felvételeken hihetetlen részletességgel figyelhetők meg a lávafolyások, a vulkánok és a meredek falú lávaképződmények részletei. A közeli megfigyelések a Pele, a Prometheus és a Pillan vulkánokról készültek, amelyek alapján pontosabban meg lehetett állapítani a láva anyagát és hőmérsékletét.

1999. november 26. A második Io-megközelítés során 300 km-re merészkedett a holdhoz, és tovább vizsgálták az Io és a Jupiter

magnetoszférájának kölcsönhatását és a tórusz alakját. Elkészültek a legjobb, 3,7 km-es felbontású Amalthea-felvételek is. Lefotózták az Europa éjszakai oldalát, így fel lehetett térképezni a holdfelszín hőeloszlását, melegebb területek után kutatva.

A GEM ezzel véget ért és megkezdődött a Galileo Millenniumi Misszió, melyet először csak január végéig engedélyeztek, később viszont meghosszabbították.

2000. január 3. Az új év rögtön egy Europa-megközelítéssel kezdődött, 343 km-re a felszín felett. A megfigyelések elsősorban a gyenge magnetoszférára és a Callanish-kráter topográfiájának meghatározására irányultak. A korábbiaknál nagyobb felbontással vizsgálták az Amalthea, a Metis és a Thebe holdakat.

2000. február 22. Az egész misszió legközelebbi elrepülése 198 km-re történt az Io felszíne felett. A legjobb felbontás 5 méteres volt. Folytatódott a Jupiter felhőrendszerének és magnetoszférájának kutatása. Az Io felszínén továbbra is megfigyeltek aktív vulkánokat (elsősorban a Lokit), melyeknek hőtérképét és kémiai anyagvizsgálatát is elvégezték. Elkészítették a Tohil Mons és a Camaxtli Patera háromdimenziós képét.

2000. május 20. Az eddigi legutolsó hold, amelyet a Galileo megközelített, a Ganymedes. A holdat 808 km-ről vizsgálta. Rádió-okkultációs mérésekkel vizsgálták a Jupiter és a Ganymedes légkörének szerkezetét. Feltérképezték a hold mágneses terének szerkezetét. Fotózták a Ganymedes legrégebbinek vélt alakzatait, a világos és sötét területek határait. Elkészültek az első olyan felvételek, amelyeken az Europa alakzataihoz nagyon hasonló felszíni részeket lehetett megfigyelni. Ez alapján feltételezhető egy, a Ganymedes kérgé alatti óceán léte.

2000. december 28. A 2326 km-ről történő megfigyelések során a Ganymedes a Jupiter árnyékában tartózkodott, mely jó alkalom volt a hold hőmérsékleti térképének elkészítésére. Vizsgálták a két magnetoszféra kölcsönhatását is.

# A Szaturnusz

Átlagos távolság a Naptól 1,43 milliárd km.  
Hőmérséklet a felhők tetején -140 Celsius fok.  
Átmérője: 120.536 km.  
Térfogat (Föld=1): 763.  
Holdak száma: 54.  
Forgási periódusa: 10,66 óra.  
Keringési periódusa: 29,46 év.  
Tömege (Föld=1): 95.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Szabad szemmel még látható, a Naptól számított hatodik bolygó. Szaturnuszt az ókorban Kronosszal azonosították, öregemberként képelték el, legismertebb jelképei a kasza és a halál. A görög mitológiában a titánok egyike, Uranosz és Gaia gyermeke. Ő volt a legfiatalabb a tizenkét testvér közül. Anyja biztatására fellázad apja ellen, a Gaiától kapott sarlóval levágja apja férfiasságát, és letaszítja az égből, magát nyilvánítja a mindenség urának. Később azonban fia, Zeusz elűzi, és megfosztja hatalmától. Egyes mítoszok szerint Itáliában telepedik le, ahol Szaturnusz néven birodalmat alapít. Uralma jó emléket hagy az emberekben. Kevés ókori ábrázolás maradt fenn róla, az újkorban Goya festett képet arról, amint felfalja gyermekeit. A témát rajta kívül Vasari és Rubens is megfestette.

A Szaturnusz bolygó számtalan kisebb-nagyobb holddal rendelkezik. Ezek közül néhányat kiemelve: Prométheusz, Pandora, Enceladus, Rheia, Iapetus, Hüperion.

Itt említhetjük még a sokak által ismert Prométheusz-történetet. Az emberek pártját fogja az istenekkel szemben. Ellopja számukra a tüzet. Zeusz bosszúból a Kaukázus sziklához láncolja, ahol újra és újra kinövő májából egy keselyű lakmározik, amíg Héraklész meg nem szabadítja.

A szaturnuszi történetek a művészet minden ágát gazdagon gyarapították alkotásaikkal.

Talán legfrissebb a romantikus kor költői közül Keats, aki egy Hyperion c. monumentális eposz töredékét hagyta az utókorra.

## PÁLYÁJA

A Szaturnusz 29,46 földi év alatt kerüli meg egyszer a Napot. Tengelye 63,3 fokkal hajlik a pályasíkhhoz, ez azt jelenti, hogy hol egyik, hol másik pólusa dől valamennyire a Nap felé. A Szaturnusznak ez a Naphoz viszonyított helyzete a földről is észrevehető, a gyűrűrendszerre való rálátás mértékéből. A napsugárzás a Szaturnusznál csak 1%-a annak, amennyi a Földet éri, de ez is elég ahhoz, hogy évszakos váltakozást idézzen elő. A Szaturnusz akkor van Napközelben, amikor déli pólusa billen a Nap felé.



## SZERKEZETE

A Szaturnusz tömege a Földének 95-szöröse, ennek ellenére kicsi a sűrűsége. A Szaturnusz főleg a legkönnyebb elemekből, hidrogénből és héliumból áll, s ezek légnemű és folyékony halmazállapotban egyaránt jelen vannak. A Szaturnusz sűrűsége az összes bolygóé közül a legkisebb. A bolygónak nincs megfigyelhető felszíne, külső rétege a légkör. Belsejében a nyomás és a hőmérséklet növekszik, a mélységgel arányosan, és a hidrogén-hélium folyadékká alakul. Mélyebben az atomok elvesztik elektronjukat és fémként viselkednek. Ebben a régióban keletkezik a mágneses tér, mely a földinek 71%-a. A központi mag a Föld tömegének 10-20-szorosa.

## LÉGKÖR

A Szaturnusz légköre alkotja a bolygó látható felszínét, úgy néz ki, mint egy halvány-sárga felhőtakaró, melyen a bolygó egyenlítőjével párhuzamosan elhelyezkedő halvány sávok vannak. Nincsenek olyan látványos alakzatok, mint a Jupiter esetében. A légkör alkotói: 96,3% hidrogén, 3,7% hélium és egyéb gáz. A légköri hőmérséklet a magassággal együtt csökken, s eltérő magasságban eltérő felhők alakulnak ki. A Szaturnusz légkörében három felhőréteg van. Legmagasabban az ammóniajég-kristályok, alatta ammóniumhidroszulfát, a legalsó rétegben vízjég. Időnként szmog keletkezik, mely azon a féltekén alakul ki, amelyik a Nap felé dől. A Szaturnusz csaknem kétszer annyi energiát sugároz ki, mint amennyit a Naptól kap.

## IDŐJÁRÁS

A fehér ammóniajégből álló, hatalmas felsőlégköri viharok a Földről nézve akkor láthatók, amikor kiemelkednek a ködből. Ilyen viharok mintegy 30 évente egyszer fordulnak elő, mégpedig az északi félteke nyarának közepén. 2004-ben a Cassini-űrszonda felfedezett egy régiót, amelyen éppen akkor viharok domináltak, és viharsikátornak nevezték el. A bolygón támadó szél sebességét és irányát a viharok és a felhők megfigyeléséből állapítják

meg. A Szaturnusz uralkodó szelei kelet felé fújnak, sebességük 1800 km/h.

## GYŰRŰK

A Szaturnusz gyűrűi a Naprendszer egyik leglátványosabb alakzatai. Először Galilei észlelte őket, de nem tudta azonosítani, majd C. Huygens mutatta ki, hogy anyaggyűrűkről van szó. A gyűrűk vízjégből és törmelékből, por-szemcsékből állnak. A részecskék mérete a porszemtől a több méteres szikláig terjed. A gyűrűket C, B, A, F, G, E betűkkel jelölik. Ezeken kívül még létezik egy D gyűrű is. A fő gyűrűk maguk is több ezer algyűrűkre oszlanak. A gyűrűk között holdacskák is vannak, melyek fenntartják azokat, illetve kialakítják a réseket. Ilyen a Cassini-rés és az Encke-rés.

## A SZATURNUSZ KÉT NEVEZETES HOLDJA

### ENCELADUS

Távolsága a Szaturnusztól 238.020 km, átmérője 512 km. Az Enceladus a Szaturnusztól számított tizedik hold, és a széles E gyűrűben található. A gyűrűt anyaggal is el látja. Felszíne jeges, így az egyik leglátványosabb hold. Megerősítést nyert, hogy a jégfelszín alatt sós óceán létezik, mely a déli póluson gejzíryszerűen kitör. A mélyben egy egycellás áramlás lehet. Az áramlás működtetéséhez szükséges hőt az ár-apály erők biztosítják.

### TITAN

Távolsága a Szaturnusztól 1,22 millió km, átmérője 5130 km. A Naprendszer második legnagyobb holdja, nagyobb, mint a Merkúr bolygó. Vastag nitrogén légkör és szmogszerű fátyol takarja el a felszínét. Annak az esélye, hogy megpillantsuk a felszínét, 2005-ben jött el, amikor a Huygens leszálló egység a Titánon landolt. A nitrogénben gazdag légkör több száz km-rel emelkedik a Titan fölé. Felszínét a földihez hasonló folyamatok alakítják, a metán és etán felhőkből eső hull alá, mely folyókat alkotva tavakba gyűlik a pólusok környékén. Az egyenlítőn nagy sivatagok találhatóak.

Felszíni hőmérséklete mínusz 180 Celsius fok, fele-fele arányban kőzetek és vízjég keverékéből áll.

## A CASSINI ŪRSZONDA EREDMÉNYEI

A Cassini űrszonda, pontosabban a Cassini-Huygens szondapáros a NASA, az Európai Űrügynökség (ESA) és az Olasz Űrügynökség közös küldetése. 1997. október 15-én indították, 2004. július 1-jén érkezett meg és állt Szaturnusz körüli pályára. Az ESA Huygens szondája 2005 januárjában sikeresen leszállt a Szaturnusz legnagyobb holdjára, a Titánra. A Cassini azóta folyamatosan vizsgálja a Szaturnuszt, kozmikus környezetét, gyűrűit és holdjait. 2005 november közepén a Cassini már 87. alkalommal repül el a Titán közelében. Az űrszonda két műszerének elkészítésébe a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (ma: MTA Wigner Kutatóközpont) fizikusai és mérnökei is bekapcsolódtak.

Egy nagy kiterjedésű vihar még 2010-2011-ben kavarta fel a Szaturnusz északi félgömbjének felhőzetét. Annak idején a vihar látható fényben is megfigyelhető volt, később fokozatosan elhalványodott, a Cassini felvétel infravörösben készült, a felhők vörös, narancs és zöld színezése a láthatatlan infravörös sugárzást hivatott megjeleníteni. A hősugarak tartományában végzett megfigyelések tanúsága szerint a légkörben még a vihar elmúltával is nagy erők tomboltak. Arra is következtetni engednek, hogy a vihar erősebb lehetett, mint amilyenek a látható tartományban készült felvételek alapján számították.

A vörös és a narancs színek a mélyebb rétegekben elhelyezkedő felhőket mutatják. A sárga és zöldes árnyalat a közepes magasságú felhőket mutatja. A fehér és a kékes árnyalat a legnagyobb magasságban lévő felhőket és párákat jelzi. A Szaturnusz gyűrűi csak vékony, fényes, világoskék csíkként látszanak, mert ezek jóval a légkörön kívül helyezkednek el, így nincs hatással rájuk a metán abszorpciója. Szépen kirajzolódik viszont a gyűrűknek a felhőtakaró tetejére vetülő, sötét árnyéka.

A bolygó északi félgömbjén a szélességi körökkel párhuzamosan, hosszan elnyúló viharos felhőörvény valójában mély lyuk a felhőzetben, kékes árnyalatát a fölötte elhelyezke-

dő párának köszönheti. Az apró fekete pont a déli félgömbön az Enceladus nevű hold árnyéka.

A Cassini infravörös spektrométerével kimutatták, hogy a vihar idején és helyén a Szaturnusz sztratoszférájának hőmérséklete 83 fokkal melegebb volt a szokásosnál. A Szaturnusz nagyon stabil légkörében egy ekkora hőmérsékletnövekedés szinte hihetetlenül nagy számítás. Ugyanakkor a NASA kutatói a Szaturnusz légkörére egyébként nem jellemző, korábban soha meg nem figyelt etilén gáz mennyiségének ugrásszerű, mintegy 100-szoros növekedését tapasztalták. A jelenségre eddig még nem sikerült magyarázatot adni.

A hőmérsékletmérésekkel azt is kimutatták, hogy a bolygó sztratoszférájában két, fényesen ragyogó, szokatlanul meleg gáznyaláb jelent meg, vagyis nagy mennyiségű energia jutott a légkörbe. Amikor a látható fény tartományában a vihar kezdett elhalványulni, akkor a két nyaláb egybeolvadt. Ekkor hőmérséklete 220 K (mínusz 53 Celsius-fok) fölé emelkedett. A két nyaláb egyesülésével létrejött a Naprendszer eddig megfigyelt legnagyobb örvénye, mérete még a Jupiter nagy vörös foltját is meghaladta. Ellentétben a Jupiter évszázadok óta stabil, hasonló képződményével, a kutatók véleménye szerint a fokozatosan zsugorodó szaturnuszi óriás örvény 2013 végére teljesen eltűnik.

A vihar több hónap alatt bekövetkezett fejlődése a látható fényben követhető. A viharról 2010 decemberében készítette a Cassini az első felvételt, ezen még csak apró fehér pontként látszik a terminátor (a fény és az árnyék határvonala) közelében. A teljesen kifejlődött vihar sávja olyan széles, mint Észak-Amerika észak-déli irányú kiterjedése, a vihar hossza pedig többször körbeérné a Földet. Az ilyen méretű viharok átlagosan szaturnuszi évenként egyszer (azaz 30 földi évenként) figyelhető meg.

A Cassini űrszonda a hatalmas, ismeretlen eredetű hatszöget most igen részletesen fotózta a Szaturnuszon. Ehhez hasonló formát sehol másutt nem ismernek a Naprendszerben.

A Szaturnusz északi pólusa körül egy 25 ezer kilométer széles, közel szabályos hatszög alakú légköri képződmény helyezkedik el, amelyet még az 1980-as években fedeztek fel. A bolygó körül keringő Cassini űrszonda egyre

jobb felvételeket készít róla (2009 előtt téli sötétség volt ezen a területen.)

A felfedezése óta stabilan létező hatszög kialakulására egyelőre nincs pontos magyarázat. Ehhez hasonló alakzatot a Naprendszer más égitestjein nem ismernek. A Földön időnként megjelennek hatszögletes felhők, de a Szaturnusz hatszöge szinte teljesen szabályos, és együtt forog a bolygóval.

A korábbi képeken is megfigyelhető, hogy a hatszög peremén nagy sebességű futóáramlás (jet stream) halad, amely a hatszög csúcsainál enyhe hullámszerűségbe, fodrozódásba kezd. Észrevehető továbbá, hogy a hatszög területén belül sötétebb a légkör.

Az eddigi megfigyelések alapján a hatszög egy hatalmas hullámalakzat lehet, amely a légköri áramlások összjátékaként jön létre, és az atmoszféra mélyebb rétegeibe is lenyúlik – igaz, pontos kiterjedése egyelőre nem ismert.

A Cassini megfigyelései alapján hazánk-nál ötször nagyobb területen zuhogott nemrég a metáneső a Titan holdon. A metánmonszunnak is nevezett jelenség alkalmanként hatalmas esőzéseket okoz a távoli égitesten, még hozzá annak sivatagos vidékein, ahol korábban folyadék nem mutatkozott.

A Titan nevű Szaturnusz-holdon vannak a legfurcsább sivatagok a Naprendszerben. Bár a víz itt bőségben megtalálható, a -180 Celsius-fokos hidegben az sziklaszilárd jeget alkot. A felszíni „kőzetek” ezért vízjégből állnak. A folyadék a holdon a felhőkből hullik, és a metán, valamint az egyéb szénhidrogének keveréke tavakban gyűlik össze.

A Titanon eddig a sarkvidéki térségekben sikerült csak metánesőket megfigyelni, ahol a lehulló csapadék folyókban áramlik a felszínen, és a mélyedésekben tavakat alkot. Ugyanakkor a bolygó alacsony szélességű területein szárazság jellemző. Az egyenlítői térségben üresek a folyóvölgyek és tómedrek, a sivatagos tájat homokdűnék borítják. Ezek a dűnék azonban eltérnek a földiektől, ugyanis jégzemcsékből, jég-homokból állnak.

A Szaturnusz körül keringő Cassini-űrszonda megfigyelései révén első alkalommal sikerült esőzést azonosítani ebben az egyenlítő környéki, egyébként száraznak tekintett vidéken. Elizabeth Turtle (Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory) és kollégái egy aktív felhőzóna elhaladása után a

felszín színárnyalatában azonosítottak változást. A sötétedés legegyszerűbben azzal magyarázható, hogy csapadék hullott a Titan felszínére. Egy trópusi helyzetű, kiterjedt vihar-komplexum vonulhatott el a térségben, s a metánesők révén mintegy 500 ezer négyzetkilométernyi terület (tehát Magyarországnál ötször nagyobb vidék) ázott.

A megfigyelés arra utal, hogy a földi sivatagokhoz hasonlóan, alkalmanként a Titan száraz vidékein is történnek heves esőzések. A most azonosított jelenség igazolja a korábbi feltevést, amely szerint az úgynevezett metánmonszun révén időnként hatalmas esőzések történnek a holdon. Az ekkor lehullott folyékony metán pedig völgyeket váj a felszíni anyagba, és erősen pusztítja, alakítja azt.

Korábban 2008. március 12-én már áthaladt a Cassini szonda az Enceladusi anyagkilövelléseken, ekkor vízgőzt, nátriumot, széndioxidot és valamilyen szerves anyagot mutattak ki a műszerek. Ezek az összetevők a feltételezett felszín alatti óceán anyagából származhatnak. A mostani közelítés során hasonló méréseket végeztek az érzékelőkkel, emellett a kidobott részecskék méretét, tömegét, töltését is tanulmányozták.

Látványos fotó is született a randevú során. A Cassini hátsó megvilágításból rögzítette a gejzírszerű kilövelléseket. Ez az első alkalom, hogy egyértelműen látszik: az anyag-sugarak nem pontszerű, inkább hosszban elnyúló forrásból indulnak. Ezek a déli sarkvidéken lévő, Tigriskarmolásoknak nevezett törésvonalak.

# Az Uránusz

Átlagos távolság a Naptól: 2,87 milliárd km.  
Hőmérséklet a felhők tetején: -214 Celsius fok.  
Átmérője: 51.118 km.  
Térfogat (Föld=1): 63,1.  
Holdak száma: 27.  
Forgási periódusa: 17,24 óra.  
Keringési periódusa: 84 év.  
Tömege (Föld=1): 14,5.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Szabad szemmel már nem látható bolygó, csak 1781-ben fedezte fel távcsövével William Herschel. Uranosz a görög mitológiában az ég istene. Gaia, a Föld, apa nélkül foganta és szülte, majd később a felesége lett. Számos gyermekük született, a legfiatalabb Kronosz, aki anyja felbujtására fellázad apja ellen. A Gaiától kapott sarlóval levágja apja férfiasságát, majd megfosztja őt hatalmától. Földre hulló véréből fogannak a gigászok, és egyes mondaváltozatok szerint az erinnüszök is. Az erinnüszök (Aléktó, Tisziphoné és Megaira) Hadész szolgálói, az alvilágból járnak fel a földre, és a rokongyilkosságot, a vérontást, a jogtalanságot és az erőszakot büntetik. Áldozatukat kérlelhetetlenül üldözik és az örületbe kergetik. Mai fogalmaink szerint a lelkifurdalás megtestesítői. A rómaiak fúriáknak nevezték őket. Az antik ábrázolások kezdetben tiszteletteljes nőkként jelenítették meg, később azonban ez eltorzult. Egyes mondaváltozatok szerint Uranosz levágott és tengerbe esett hímtagjából születik Aphrodité.

Az Uránusz bolygó számtalan holddal és gyűrűvel rendelkezik, ezek azonban méretükben nem jelentősek, gyűrűje pedig halvány. Néhány elnevezett holdja: Titania és Oberon. Holdjait Shakespeare drámáinak hőseiről nevezték el.

## PÁLYÁJA

Az Uránusz 84 földi év alatt kerüli meg egyszer a Napot. Forgástengelye 8 fokos szöget zár be a pályasíkjával, így oldalára dőlve rója a pályáját. Az Uránusz forgása retrográd, azaz a legtöbb bolygóval ellentétes irányú. E két dolog oka valószínűleg egy bolygó méretű testtel történt ütközés eredménye. Mindkét pólusa felváltva 21 éves időtartammal fordul a Nap felé. Ez azt jelenti, hogy amikor egyik pólusát hosszú időn át süti a Nap, a másik teljes sötétségbe borul. A napsugárzásnak már csak 0,25%-a jut el oda.

## SZERKEZETE

Az Uránusz négyszer akkora, mint a Föld. Tömege és térfogatának aránya miatt kisebb sűrűségű, azonban ez a tömeg nem teszi

lehetővé, hogy fő alkotórésze a hidrogén legyen, mint a többi nagybolygó: a Jupiter és a Szaturnusz esetében. Fő alkotója a víz-, metán- és ammóniajég, melyeket egy légnemű réteg vesz körül. Ezért az Uránuszt a Neptunusszal együtt a jégóriások csoportjába sorolják. A jeges rétegben keringő áramok gerjesztik a bolygó mágneses terét. Legbelül egy kicsiny, kőzetekből és jégből álló mag foglal helyet.

## LÉGKÖRE

Az Uránusz kék színét az okozza, hogy a bolygó alacsony hőmérséklete mellett képződött metánjég a napsugárzás vörös hullámhosszát elnyeli. A Voyager-2 a felhők hőmérsékletét mínusz 214 Celsius fokosnak mérte. A Nap ultraibolya sugárzásának hatására a metánból ködrészecskék képződnek és ezek elrejtik az alsóbb rétegeket, s ez az Uránusznak egy nyugodt képet kölcsönöz. Pedig az alsóbb rétegekben folyamatos változások történnek. A Voyager-2 adataiból kiderült, hogy légkörében ammónia- és vízjégfelhők mozognak. Körülbelül ugyanannyi energiát sugároz ki, mint amennyit a Naptól kap, így nincs jelentős belső hője, mely nagy és heves időjárású rendszereket tartana fenn. A légkörnek 82,5%-a hidrogén, 15,2%-a hélium és 2,3%-a metán.

## GYŰRŰK ÉS HOLDAK

Az Uránusztól 12.400 km-re kezdődik és 25.600 km-ig tart a 11 gyűrű. A gyűrűk messze vannak egymástól, keskenyek, és több a rés, mint a gyűrű. Porrészecskékből és szénzsemcsékből állnak, melyek mérete néhány centimétertől néhány méterig terjed. A gyűrűk nem pontosan az egyenlítői síkban vannak és nem pontosan köralakúak, szélességük is eltérő. A bolygó gyűrűit egy csillagfedés alkalmával fedezték fel.

Az Uránusznak 27 holdja ismert. Az 5 nagyobb holdat földi távcsövekkel fedezték fel. Ezek: Ariel, Umbriel, Titania, Oberon és Caliban. Megfigyelésüket a Voyager-2 végezte az 1985-86 évi közelrepüléskor.

# A Neptunusz

Átlagos távolság a Naptól: 4,5 milliárd km.  
Hőmérséklet a felhők tetején: -200 Celsius fok.  
Átmérője: 49.532 km.  
Térfogat (Föld=1): 57,74.  
Holdak száma: 13.  
Forgási periódusa: 16,11 óra.  
Keringési periódusa: 164,9 év.  
Tömege (Föld=1): 17,1.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Szabad szemmel nem, csak távcsővel látható a Naprendszer nyolcadik bolygója. Az Uránusz bolygó mozgásainak szabálytalanságaiból elméleti helyét U.J. Leverrier adta meg, majd az általa megadott helyen Galle német csillagász találta meg 1846-ban.

A görögök Poszeidonnal azonosították. Poszeidón a tengerek istene, Kronosz és Rheia fia. Zeusszal és Hadésszal, akik testvérei voltak, szövetkezve megdöntik apjuk uralmát. A világ feletti osztozkodásnál a tengereket kapja és Atlantisz szigetét. Minden tengeri istenség és vízi szörny az uralma alá tartozott. Tenger alatti palotájában élt, innen irányította királyságát. Jellegzetes eszköze a háromágú szigonya, mellyel viharokat támasztott és földrengéseket. Akik megsértették (Androméda, Hippolütosz), azok ellen tengeri szörnyeket küldött. Odüsszeusz is ádáz haraggal üldözte a küklopsz megvakítása miatt. Poszeidonnak is szép számmal születtek halandóktól gyermekei. (Néhányat említve: Pegaszosz, Thészeusz, Orión).

A Neptunusz legnagyobb holdja a Triton. Triton tengeri istenség, Poszeidon és Aphitrité fia. Legtöbbször halfarkú embernek képelték el és ábrázolták, aki delfineken lovagol. Csavaros kagyló a kürtje, annak zúgásával zajgó tengereket csitít le, vagy ellenségeit ijesztgeti. Az Argonauták mondájában is szerepel, mint egy tó istensége. Az újkorban Tritón alakja a díszkutak és egyéb, tengerrel kapcsolatos ábrázolások gyakori szereplője.

## PÁLYÁJA

A Neptunusz 164,8 földi év alatt kerüli meg a Napot, ami azt jelenti, hogy felfedezése óta ez még csak egyszer történt meg. A bolygó forgástengelye 61,7 fokos szögben hajlik a pályasíkhöz, északi és déli pólusa felváltva dől a Naphoz. A Nap 900-szor halványabbnak látszik, mint a Földről, mégis évszakos változásokat idéz elő. Földi teleszkópokkal és a Hubble űrtávcsővel végzett megfigyelések kimutatták, hogy a déli félteke fényessége 1980 óta növekedett. Azonban további megfigyelések szükségesek, mert az évszakok hosszúak, a változások pedig lassúak. A déli féltekén jelenleg nyárközép van.

## SZERKEZETE

A Neptunusz mérete és szerkezete nagyon hasonló az Uránuszhoz, egyiknek sincs szilárd felszíne. Méretéhez képes túl nagy tömegű ahhoz, hogy főleg hidrogénből álljon. A bolygó tömegének csak mintegy 15%-a lehet hidrogén. Fő alkotóeleme a víz, az ammónia és a metán, mely jég formájában lehet jelen a mélyebb rétegekben. A bolygó mágneses tere is e rétegben keletkezik. E jeges réteg felett van a bolygó légköre, ez egy sekély, hidrogénben gazdag réteg, mely héliumot és metánt is tartalmaz. A bolygó középpontjában egy kőzetből és jégből álló mag található.

## LÉGKÖRE

A Neptunusz esetében zavarba ejtő, hogy a Naptól ilyen távol mégis dinamikus légkör található. Hatalmas viharok jelennek meg, és igen nagy sebességű szelek fordulnak elő. A Naptól kapott hőmennyiség nem elegendő ehhez. A légkör az alsóbb rétegektől kaphat hőt, azaz egy belső hőforrás okozhat nagyléptékű légköri változásokat. A bolygót körülvevő fehér sávok olyan felhőtakarók, melyek akkor keletkeznek, amikor a felmelegített gáz felszál, majd felhőket alkotva lecsapódik. A szelek az egyenlítői régióban a legviharosabbak. Ott nyugati irányba fújnak, és sebességük eléri a 2160 km/h-t. Ezeket nagyméretű viharszerű alakzatok kísérik. Ilyen volt a Nagy Sötét Folt, melyet a Voyager-2 látott 1989-ben. A Neptunusz légköre főleg hidrogénből (79%), héliumból (18%) és metánból, valamint nyomokban más gázokból (3%) áll. A bolygó sötétkék színét a metán adja.

## GYŰRŰK ÉS HOLDAK

Az első utalás arra, hogy a Neptunusz-nak gyűrűi lehetnek, az 1980-as évekből származik, amikor csillagfedések alkalmával azok a bolygókorong közelében felvillantak és elsötétültek. A gyűrűrendszert végül a Voyager-2 fedezte fel. A Neptunusznak gyűrűrendszere van, de külső gyűrűje olyan ritka, hogy nemigen halványítja el a csillagfényt, de van három teljes gyűrűje is. A gyűrűk ismeretlen össze-

tételű, apró darabokból állnak, anyaguk feltehetőleg a közeli holdakról származik.

A Neptunusz 13 holdja közül négy a gyűrűrendszerben van, közülük csak a Triton jelentősebb méretű.

## TRITON

Távolsága a Neptunusztól 354.760 km, átmérője 2707 km. A Neptunusz holdjai közül a Triton volt az első, melyet felfedeztek. William Lassale találta meg a bolygó legnagyobb holdját. A Voyager-2 Triton melletti elrepülésének köszönhető mindaz, amit tudunk. Körpályán kering, és keringése kötött. Mozgása retrográd, vagyis ellentétes irányban kering. Ez arra enged következtetni, hogy valahol máshol keletkezett, s a Neptunusz esetleg befogta. A hold két rész kőzet és egy rész jég keverékéből áll, belsejében egy kőzetből álló mag lehet, s esetleg egy folyékony köpeny. Felszíne geológiai szempontból fiatal, egy sor különféle alakzat található rajta.

# A Plútó és a Kuiper-öv

Átlagos távolság a Naptól: 5,9 milliárd km.

Hőmérséklet a felszínen: -230 Celsius fok.

Átmérője: 2304 km.

Térfogat (Föld=1): 0,006.

Holdak száma: 5.

Forgási periódusa: 6,38 nap.

Keringési periódusa: 248,6 év.

Tömege (Föld=1): 0,002.

## KULTÚRTÖRTÉNETE

A törpebolygók kategóriájába tartozik. Felfedezésére 1930-ig kellett várni. 2006-ig bolygóként tartották számon. Plútó a görög mitológiában Hadész, az alvilág istene, testvérei Zeusz és Poszeidón. A hatalom megosztásakor a holtak birodalma jutott neki.

Sötét királyságát a Sztüx és négy más folyó határolta, bejáratát Kerberosz, a három fejű kutya őrizte. Az ide kerültek sorsát az alvilág bírái, Minósz, Rhadamanthüsz és Aiakosz döntötték el. Az alvilág isteni lényei voltak az erinnüszök: Thantalosz, Hüpnosz, Hekaté és Lamia. Hadész erőszakkal szerezte meg feleségét: Perszephonét, Demeter lányát. A döntés szerint az év felét az alvilágban, másik felét a felszínen tölti. Ez jeleníti meg a természet körforgását, a tavaszt és a telet. Hadész alakját számos szép vázakép őrzi az ókorból. Legnevesebb újkori szobra Berninié, mely Perszephone elrablását ábrázolja. Ezt a mozzanatot Rembrandt is megfestette.

Egy nagy holdja van: a Charon. A görög mitológiában Kharon a révész, aki a holtakat az alvilágba szállítja.

## PÁLYÁJA

A Plútó pályája jócskán eltér a köralaktól. A Plútó 2:3 rezonanciával kapcsolódik a Neptunuszhoz, ami azt jelenti, hogy a Plútó a Napot kétszer kerüli meg, mialatt a Neptunusz ezt háromszor teszi. Keringési ideje alatt 20 éven át közelebb kerül a Naphoz, mint a Neptunusz. Azonban mivel a Plútó keringési idejének nagy része alatt jóval a Naprendszer síkja fölött, illetve alatt tartózkodik, a Neptunuszt nem tudja 2,5 milliárd km-nél jobban megközelíteni, viszont az Uránusz és közte a távolság 1,6 milliárd km-re is csökkenhet.

## SZERKEZETE

A Plútó szerkezete nagyban hasonlít az előző fejezetben tárgyalt Neptunusz hold, a Triton szerkezetéhez. A Plútó sűrűsége arra utal, hogy 70% kőzetekből és 30% jégből áll. A kőzet radioaktivitása lehetett az, mely bizonyos mértékben felmelegítette a belsejét. Ez



biztosította, hogy gömb alakot ölthetett, valamint differenciálódását. A kőzet lesüllyedt, a jég pedig köpenyt alkotott. A vízjég mellett található még nitrogén-, szén-monoxid- és metánjég is. A hőmérséklet a belsejében, a köpeny alján 0 Celsius fok lehet, a kőzetmag pedig ennél valamivel melegebb.

## LÉGKÖRE

A Plútó légkörének létezését 1988-ban erősítették meg egy csillagfedés alkalmával. A légköre nagyban hasonlíthat a Tritonéhoz. A felszínnél 50 Celsius fokkal melegebb. Az égitest kicsi tömege miatt a légkör fokozatosan elszökik, de a felszín párolgása pótolja. A légkörnek vannak évszakos váltakozásai, Naptávolban kifagy a felszínre. Légköre 99.7%-ban nitrogén.

## A CHARON

Az 1180 km átmérőjű Charon tömege a Plútó tömegének 15%-át teszi ki, ez messze a legnagyobb arány a Naprendszerben, ezért kettősnek is nevezhetjük őket. A Charon keringése kötött. Távolsága a Plútótól 19.600 km.

A Charonon túl még 4 kis holdat fedeztek fel a Plútó körül.

## A KUIPER-ÖV

A Naptól számított 6 és 12 milliárd km között terül el a Kuiper-öv. Létét csak az 1990-es években erősítették meg. 2002-ig több mint 600, Plútóhoz hasonló objektumot találtak.

## A SEDNA

A Sedna mintegy 13,5 milliárd km-re volt felfedezésekor a Naptól. Pályája rendkívül elnyúlt. Átmérője 1500 km. A Sedna a Mars után a második legvörösebb égitest, felszínén a hőmérséklet mínusz 240 Celsius fok.

# Az Oort-felhő

## KULTÚRTÖRTÉNETE

Az üstökösök és meteorok régóta foglalkoztatták az emberek képzeletvilágát. Valóságos hiedelemrendszer és mítoszok sokasága épült köréjük már az őskortól kezdve. Jól példázza ezt, hogy amikor 1888-ban Karl Steinen néprajzkutató a brazil őserdőben egy indián törzset tanulmányozott, éppen egy ilyen eseménynek lehetett szemtanúja. Az indiánokban rettenetes félelmet keltett az égen átszáguldó tűzgömb. Elképzelésük szerint a tűzgömbben egy varázsló rejtezik, aki meglepetésszerűen támad rájuk, hogy vadászhúst szerezzen tőlük, és közülük egyet vérhasban megbetegítsen. A törzsbéli varázslónak természetesen legfőbb feladata ezt a veszélyt elhárítani.

Természetesen a modern európai emberek számára indokolatlannak tűnik ma már ez a félelem, jóllehet, még mindig tartja magát az a szokás, hogy ha valaki hullócsillagot lát, kíván egyet és az teljesülni fog. Régebben azonban az európai kultúrkörben is félelemmel figyelték a hasonló jelenségeket. A csillagok, meteorok a régi népek számára nem halott testek, melyek meghatározott égi törvényeknek vannak alávetve, hanem élő hatalmak, melyek ártó vagy sértő módon befolyásolják az emberek életét. A köveket, melyek az égből pottyantak, gyakran a templomokba vitték és istenként tisztelték. A legjelentősebb iszlám szent hely: Mekka szent köve, a Kába is egy meteor. Az égből hullott kövek gyakran vas-nikkel meteorok voltak, melyekből bűvös kardot kovácsoltak. Az ilyen pengéket mágikus erővel ruházták fel.

Az Oort-felhő a hosszú periódusú üstökösöket tartalmazó gömb alakú tér, amely a Kuiper-öv külső szélétől kezdődik és akár egy fényév távolságig tart. A külső bolygók kialakulása után még igen sok üstökös megmaradt, és ezek később, főleg a Neptunusz által, olyan pályákra kerültek, melyek a csillagok felé vitték őket. Közülük néhány kirepült a galaktikus korongba, mások a Naprendszer belső térségeibe lökődtek. A maradék egy hatalmas, 1,6 fényév sugarú, gömbalakú felhőt alkotott. A felhőt időnként a közeli csillagok felkavarják. Becslések szerint a felhőben 1 milliárd üstökös van.

## AZ ÜSTÖKÖSÖK

### PÁLYÁIK

Az üstököspályákat két csoportba soroljuk: ezek a rövid periódusú és a hosszú periódusú üstökösök. A rövid periódusúak a bolygókkal megegyező irányban keringenek a Nap körül, Többségük periódusa 7 év, és nem távolodnak el messzebb, mint a Jupiter. A hosszú periódusú üstökösök keringési ideje több mint 20 év. Pályasíkjuk hajlásszöge az ekliptikához a véletlen szerint alakult. Többségük hatalmas távolságokat tesz meg.

### SZERKEZETÜK

Az üstökösök aktivitásának központja a mag, mely kis sűrűségű és szabálytalan. Piszkos hógolyóra emlékeztet. Vízjégből, szilikát-szemcsékből, finom porból, ammónia, metán és némi szerves molekulákból állnak. A felszínt borító porréteg csak néhány cm vastag, és sötét színű.

### ÉLETCIKLUSUK

Az üstökösök életük túlnyomó részét inaktívan töltik. Az aktivitást a hőmérséklet-emelkedés indítja el. Amikor egy üstökös a kisbolygó öv szélénél jobban megközelíti a Napot, a magjában lévő fagyott széndioxid és szénmonoxid szublimálni kezd. Ha a Mars pályáján belülre kerül, akkor a víz is szerephez jut. A magot igen gyorsan körülveszi egy felhő, melyet kómának neveznek. Az üstökös minden egyes Napközelségkor anyagot veszít. Amikor az üstökös a Naphoz közeledik, két csóvát fejleszt. A görbült csóva porból áll, melyet a Nap sugárzása kifelé hajt, az egyenes csóva gázokból áll, melyet a Napszél a kómáról fúj le.