

Hubble
A kitáruló Univerzum

© Dr. Garzó László 2010.
Lektorálta: E. Kovács Zoltán

Előszó

Először a Hubble űrtávcső felbocsátásának 18. évfordulóján tartottam 3 részes előadássorozatot a Kecskeméti Planetáriumban nagy sikerrel, majd ezt 2 részre rövidítve megismétltem a 20. évforduló alkalmával. Most úgy döntöttem, hogy az eredeti tematikát követve írásban is közzé teszem ezt az értékes ismeretanyagot.

Már gyermekkoromban is érdekelt a csillagászat, az Univerzum keletkezése. Élvezettel forgattam a csillagászati témájú könyveket a Naprendszeréről. Megragadta fantáziámat a körülöttem lévő csillagvilág. Azután a Hubble korszak beköszöntével pedig lenyűgöztek a színes felvételek, melyeken gázködöket, planetáris ködöket, galaxisokat és csillagokat láthattam.

Ez a könyv úgy vélem sokak számára hasznos és érdekes ismeretekkel fog szolgálni. Fontosnak tartom, hogy az emberek megismerkedjenek a csillagászzal, ismerjék azt a tágabb világot, amely körbevesz bennünket. Ez egy csodálatos és különös világ. Engem egyből lenyűgözött. Amatőr csillagászkodva nagy élvezet volt saját távcsövemben megpillantani a Hold krátereit és medencéit, a Jupitert és holdjait, vagy éppen a Szaturnuszt.

A csillagászat nem csak szép, de hasznos tudomány is. Mindamellett, hogy tágítja ismereteinket, gyakorlati haszna is van, számos olyan felfedezés, fizikai probléma megoldása szivárgott át a mindennapokba, melyekről nem is gondolnánk, hogy köze van ehhez a tudományhoz. Sokan tehát tévesen gondolják, hogy ez egy „haszontalan” tudomány. Az emberiség Holdra lépésével megkezdődött egy olyan folyamat, melynek végcélja, hogy egy napon az emberiség nemcsak a Földet lakja majd, hanem telepek lesznek a Holdon, a Marson, vagy a Naprendszer távolabbi régióiban, s egyszer csak minden bizonnyal eljön az az idő, amikor esetleg terraformáljuk a Marsot, és majd az a pillanat is, amikor elindul az első csillagközi űrhajó valamelyik közelebbi, bolygókkal rendelkező csillag felé.

Ha a fentiekre figyelemmel vagyunk, máris felcsillan előttünk a mostanság olyan divatos exobolygó-kutatás értelme. Az emberiség nagyra törő vágyai ezek. A SETI-kutatás is hasonló elvek mentén gondolkodik. Eddigi történelmünk legnagyobb eseménye lenne egy idegen civilizáció felfedezése. Hogy mindezeket megvalósítsuk, elengedhetetlenül szükségünk van azokra a csillagászati ismeretekre, amelyeket mostanság szerzünk meg. Lassan megértjük a csillagvilág folyamatait, képet alkothatunk a csillagok életéről és halálukról, a galaxisok és az Univerzum szerkezetéről. Mind közelebb jutunk ahhoz, hogy megfejtsük az ősrobbanás titkát és feltárjuk az Univerzum természetét, hogy választ kapjunk születésének és pusztulásának titkára.

Ez a könyv az előadás tematikáját követve az általános bevezetón túl egy meghatározott logika mentén halad. Először szűkebb hazánkat, a Naprendszert vesszük górcső alá, majd kilépünk a csillagközi térbe, megismerkedünk a Tejútrendszerrel, azzal a galaxissal, melyben a Naprendszer is elhelyezkedik. Végül elhagyjuk galaxisunkat és a galaxisok közötti térrel ismert meg a könyv. E kalandos utazás során megismerjük a belátható Univerzum általunk ma ismert világát.

-Dr. Garzó László-

Bevezetés

A Hubble űrtávcső

Edwin Hubble, akiről az űrtávcsövet elnevezték, beírta nevét a 20. századi csillagászatba. Lehetett volna bokszoló vagy ügyvéd, de ő a csillagászatot választotta. 1917-ben a halvány ködöket vizsgálta, ezzel szerezte meg doktoriját. Már ekkor felvetette, hogy azok a Tejútrendszerünkön kívüli objektumok. Később Hubble a Wilson hegyi obszervatóriumában kezdett dolgozni. Az áttörés 1923-ban történt, amikor az Androméda ködben egy Cefeida típusú változócsillagot azonosított. Ennek segítségével megbecsülhette távolságát, s kiderült, hogy a Tejútrendszerünkön kívül helyezkedik el. Korábban ugyanis az ilyen halvány ködökről azt hitték, hogy a Tejútrendszerhez tartoznak. Innen származott a „köd” elnevezés is. Számos ilyen objektum van, melynek közismert nevében még ez szerepel, például az Örvény-köd a Vadászebek csillagképben, vagy a Magellán-felhők a déli égbolton. Hubble kidolgozta a galaxisok osztályozásának rendszerét is. Szintén az ő nevéhez fűződik a galaxisok egymástól való távolodásának felismerése. Ezt a tényt 1929-ben jelentette be. Ezzel utat nyitott az ősrobbanás gondolatának. A róla elnevezett Hubble-törvény segítségével számolhatjuk a galaxisok távolodási sebességét. Ugyanis egyértelművé vált, hogy a galaxisok, néhány kivételtől eltekintve, távolodnak egymástól. A távolodás mértéke pedig arányos a távolsággal.

Felvetődik a kérdés, hogy miért van szükség egyáltalán a 2,4 m átmérőjű főtükörrel rendelkező Hubble űrtávcsőre, amikor a földi teleszkópok között 10m főtükör-átmérőjű is akad? A Földi atmoszféra korántsem teljesen átlátszó és tiszta. A távoli csillagokról érkező fény megtörik és szóródik a légkörben. Ezért a képek homályosak és elmosódottak lesznek. A légköri események pedig sokszor zavarják a vizsgálódást. Magasan a légkör felett, ahol a Hubble kering, azonban már nincs ilyen zavaró tényező. A képek rendkívül élesek és részletgazdagok.

Az 1986-ban elkészült távcsövet csak 1990-ben tudták fellőni. Április 24-én emelkedett a magasba. A Hubble Űrteleszkóp, röviden HST, az Európai Űrügynökség, az ESA és az Amerikai Űrügynökség, a NASA közös vállalkozása volt. Sajnos hamar kiderült, hogy az űrteleszkóp hibás. A főtükör csiszolása ugyanis (emberi hiba miatt) nem volt tökéletes, életlen képeket közvetített. Semmivel sem jobbat, mint a földi távcsövek. Ezért a Discovery űrrepülőgép segítségével egy korrekciós műszert kellett behelyezni. Ezt követően az űrteleszkóp éles képeket továbbított.



1. ábra (a Hubble-t meglátogatja a Discovery űrrepülő)

Az űrtávcső e kiadvány lezárásakor, 2010.-ben 20 éves. A Nasa hosszútávú tervei között a HST nyugdíjazása szerepel. Egy rakéta modul segítségével a légkörbe fogják vezérelni, ahol elég. Hamarosan új távcsövek váltják majd fel. A Chandra röntgenobszervatórium már üzemel. A Spitzer-űrtávcső is. Később pedig a Kepler és a James Webb veszi át a szerepét.

A Hubble néhány adata: 600km magasan kering, főtükre 2,4 méter átmérőjű, 13 méter hosszú 4,3 méter átmérőjű, 12,5 tonna.

2. ábra. (a Hubble főtükre)



A kutatók eltörpülnek az űrtávcső mellett, egyébként nálánál jóval nagyobb, 10 méter átmérőjű földi teleszkópok is vannak. A Hubble műszereit többször felújították illetve cserélték már modernebbre. Néhány közülük elromlott, így azokat pótolni kellett. Összességében azonban elmondható, hogy a maga nemében egy páratlan műszer. A 20 év alatt forradalmasította a csillagászat számos területét képeivel, melyek lenyűgözték a laikusokat is.

A Hubble sikerei

A Hubble segítségével számos keletkező naprendszert sikerült megfigyelni, így bepillantást nyerhetünk saját Naprendszerünk keletkezésének titkaiba is. Az Orion-köd egy részlete bámulatra méltó, melyről a Hubble készített részletgazdag felvételt. A globuláknak nevezett néhány fényév átmérőjű sűrűsödések is láthatók, melyek születőben lévő csillagok, csillagrendszerek. Ezeken a felvételeken némelyik globulában már maga a csillagkezdemény is megfigyelhető. Egyik leghíresebb felvétele volt a Sas-köd a Kígyó csillagképben, mely mintegy 6500 fényévnire van tőlünk. Ennek egy részlete volt a „Teremtés Oszlopai” néven elhíresült kép.

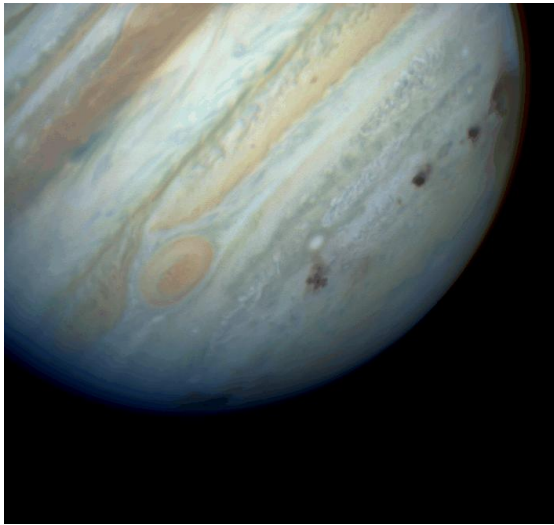
3. ábra (a „Teremtés Oszlopai”)

Itt az a folyamat látható, ahogy a csillagközi por és gáz összehúzódik és szétszakadozik, miközben a belsejében már megkezdődik a csillagképződés. Ezért a tornyok felületéről kifelé anyag áramlik, olyan mintha párologna. A Hubble lélegzetelállító felvétele volt a Carina-köd is a Hajógerinc csillagképben, körülbelül 7500 fényévnire. Maga az egész köd mintegy 100 fényév átmérőjű. Ebben az objektumban letek rá a tudósok a különös Éta Carinae nevű csillagra, mely a Napnál a tömegét tekintve mintegy 100-szor nagyobb, az átmérője pedig 150-szeres. Felületi hőmérséklete 30 ezer Celsius fokos. Hamarosan szupernóva robbanásnak lehetünk tanúi a déli féltekén, mivel a csillag élete végén jár. Súlyzó alakúra fúvódott fel, folyamatos anyagiáramlás történik, színekében pedig már megjelent a stroncium nevű anyag, ami a vég előjele.

A Hubble a Naprendszerrel is készített felvételeket. Így a gázóriásokról és holdjaikról is. Segítségével azonosították a Sedna-t, mely jóval a Plútó pályáján túl kering. A Sedna már a



Kuiper öv égitestje. Olyan messze van, hogy a Hubble is csak egy apró pontnak látja. Rajta állva a Nap csak akkora volna, mint egy távoli csillag, egy gombostű fejével is kitakarható lenne.



1994-ben a Hubble segítségével rendkívül ritka eseménynek lehettek tanúi a csillagászok. A Shomaker Levy-9 üstökös darabokra szakadt és becsapódott a Jupiterbe. A becsapódások egyenként több millió megatonna energiájúak voltak, a Jupiter csíkos felhőzetében fekete foltok mutatkoztak, melyek közül némelyik átmérője megfelelt a Föld átmérőjének.

4. ábra (a Shomaker Levy-9 becsapódása)

A Hubble segítségével sikerült először a sarki fényt lefényképezni a Szaturnuszon. Ez a jelenség a napszélből érkező elektromosan töltött részecskék és a bolygó mágneses mezejének

kölcsönhatásaként jön létre. A hamis színes felvételeken jól kirajzolódik a Szaturnusz pólusainál a sarki fény.

A Hubble segítségével néhány exobolygót is felfedeztek. Ezek a forró Jupiter típusú exobolygók, azaz Naprendszeren kívüli bolygók, oly közel keringenek csillagukhoz, hogy szinte elpárolognak.

I. Fejezet A Naprendszer

Már-már azt gondoljuk, hogy ismerjük a Naprendszert, pedig ez nem igaz. Bár az elmúlt 30 évben, s kiváltképpen az utóbbi 10 évben rengeteget megtudtunk, még mindig vannak ismeretlen régiók. A legújabb űrszondákkal sokat megtudtunk a belső Naprendszerről, így a Merkúrról, Vénuszról, Marsról, és a külső Naprendszerről is, az óriásbolygókról, s ezek összetett hold- és gyűrűrendszeréről. Természetesen ebben a Hubble-nak is jutott szerep, bár a HST-t elsősorban a távoli ködök és galaxisok megfigyelésére tervezték.

Mi is a Naprendszer? A Naprendszer az a körülbelül 1 fényév átmérőjű tértartomány, ahol a Nap tömegvonzása erősebb a környező csillagokénál. Gyakorlatban, amit jól ismerünk belőle, 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 150 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.

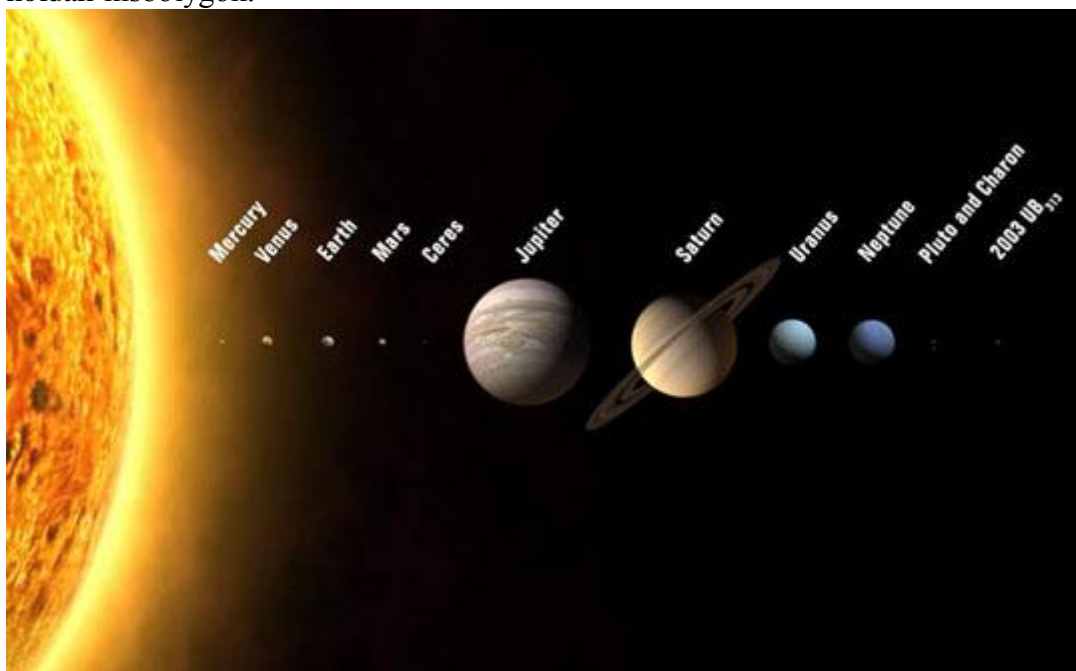


A Naprendszerben nagyok a sűrűségkülönbségek. A belső övezetében a nagy sűrűségű kőzetbolygók találhatók. Ezek között is vannak eltérések. A Föld, Vénusz és a Merkúr nagyobb sűrűségű, a Mars kisebb sűrűségű. Szintúgy a főként szilikátokból fölépülő Hold, mely méretét tekintve a Földdel szinte kettősbolygónak 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. Ezek közül is a Földé egymaga 50%. A külön típusba tartozó Plútónak a tömege elenyésző. A Jupiter a gázóriások közül a legnagyobb. Tömege össztömegüknek több mint a fele, a Föld tömegének pedig 318-szorosa.

.	Merkúr	Vénusz	Föld	Mars	Jupiter	Szaturnusz	Uránusz	Neptunusz
méret (sugár)	2439,7 km	6051,8 km	6378,14 km	3402,5 km	71492 km	60268 km	25559 km	24764 km
távolság	0,39 CsE	0,72 CsE	1 CsE	1,52 CsE	5,2 CsE	9,54 CsE	19,19 CsE	30,07 CsE
holdak száma	0	0	1	2	63	61	27	13

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 üstökösmagok alkotta Oort felhő, 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.



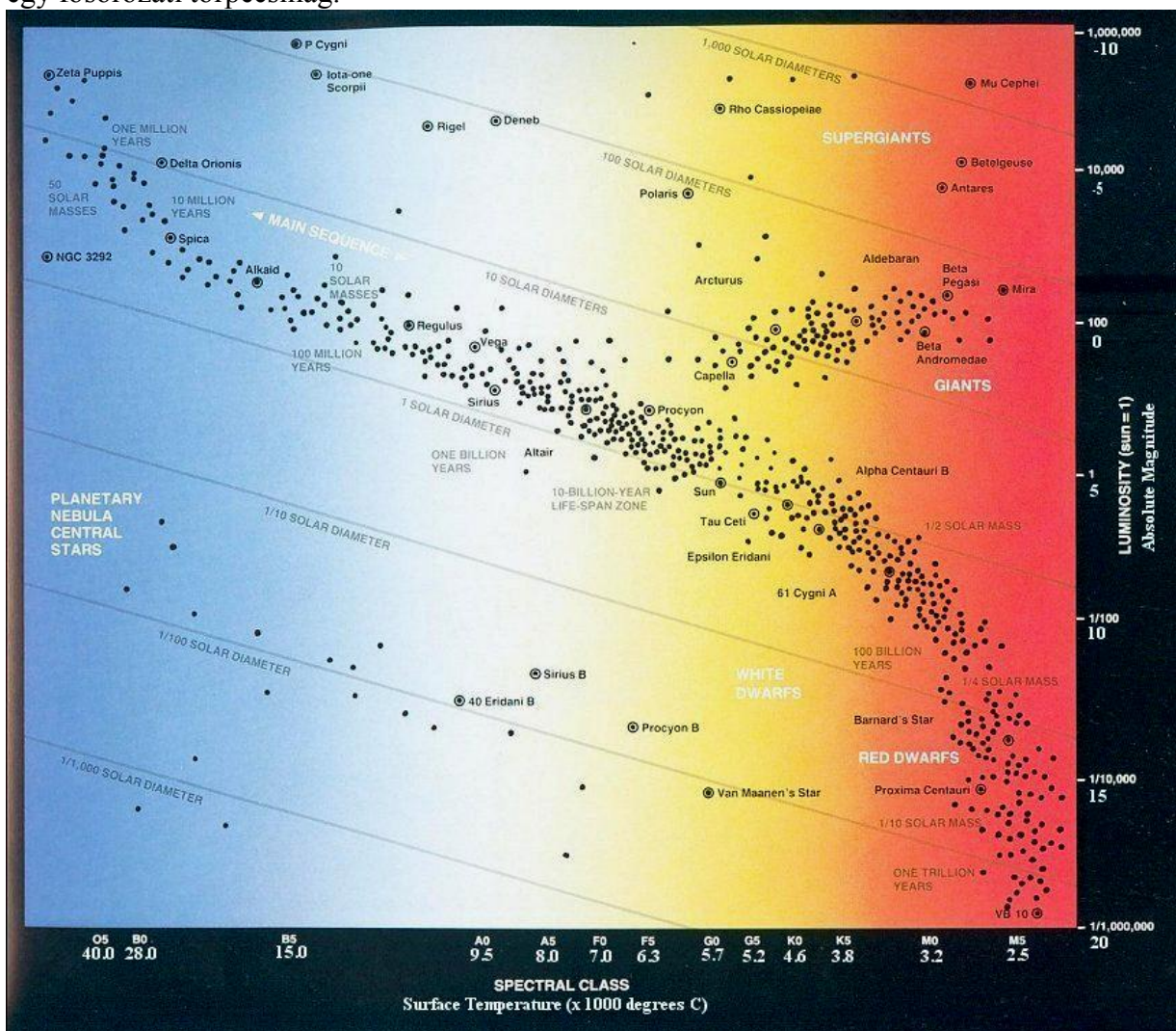
5. ábra (a Naprendszer övezetei)

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 összehúzódní 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 sűrűsödése 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 fűjt 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 Nap megértéséhez szükséges a Hertzsprung–Russell Diagram ismerete. A Hertzsprung-ról és Russel-ről elnevezett diagram a csillagokat színeképosztályokba sorolja. Minden csillaghoz két adat kapcsolható, a felületi hőmérséklet és a fényesség. A diagram vízszintes tengelyén a színeképosztályokat jelezzük O-tól M-ig, ezek megfeleltethetők a felszíni hőmérsékleteknek. A függőleges tengelyen a tényleges fényesség szerepel magnitudóban. 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.

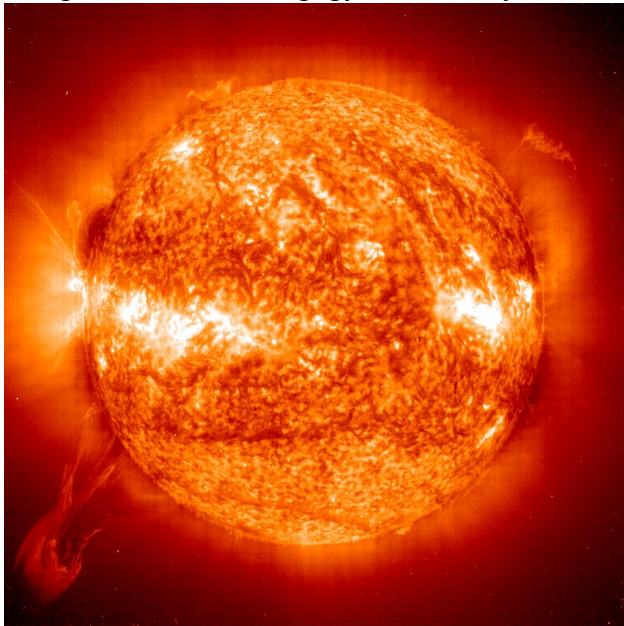


6. ábra (HR-diagram)

A Nap

Átmérője: 1 392 000km. A Nap átlagos csillag, úgynevezett G2 színeképű 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

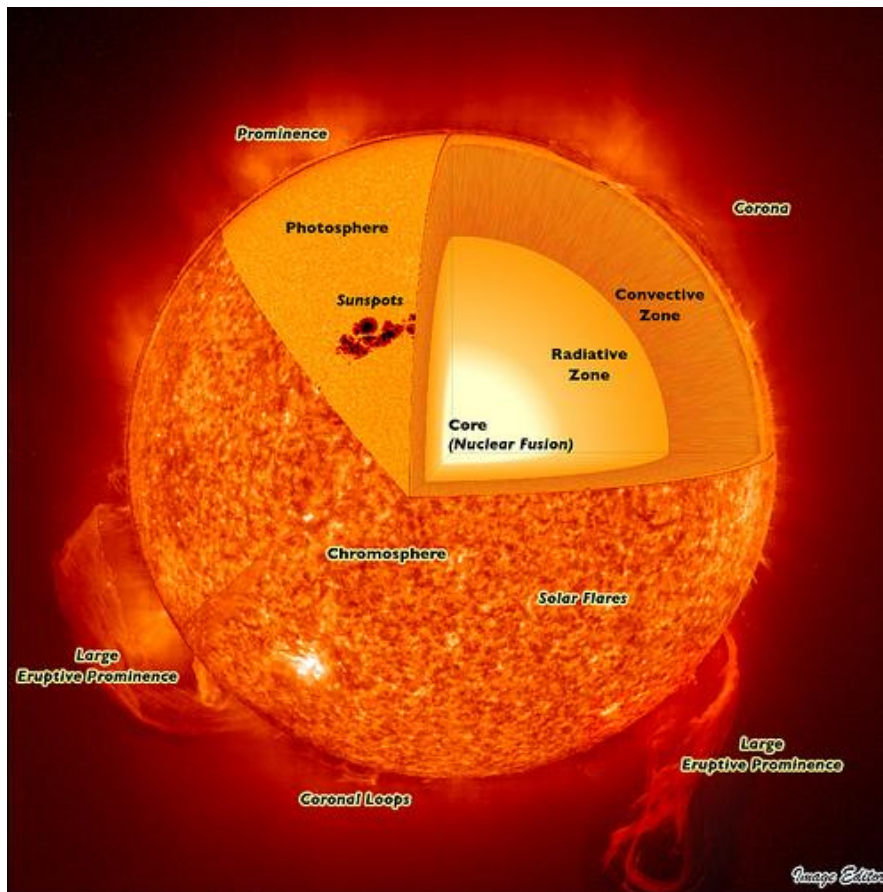
maghőmérséklete 15 millió fok, felületi hőmérséklete 5-6000 Celsius fok. Központjában magfúzió zajlik, a H-He, vagy más néven proton-proton ciklus. Ez a csillagok energiatermelésének legegyszerűbb folyamata.



7. ábra (a Nap)

80% hidrogén és 19 % hélium alkotja, ezen kívül 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 tömegének 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).

8. ábra (a Nap felépítése)

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 napszélnek.

A belső bolygók

A Merkúr, Vénusz, Föld, Mars és méretét tekintve a Hold tartozik vizsgáldásunk tárgykörébe. Közös jellemzőik, így sűrűség és tömeg, valamint kémiai összetételük és keletkezésük alapján tartoznak egy csoportba. A három bolygó hőtörténete, és a kémiai elemek differenciálódása eltérően zajlott. Ez lényegét tekintve tömegük függvénye volt. A kisebb tömegű Mars és Merkúr gyorsan lehűlt, kevésbé differenciálódott. A Vénusz és a Föld differenciált. Mai tudásunk szerint lemeztectonika csak a Földön van. Vulkánosság korábban a Marson és a Vénuszon is volt.

A Merkúr

A Naprendszernek a Naphoz legközelebb keringő, és legkisebb bolygója. Átmérője a Földének 40%-át sem éri el, így néhány, az óriásbolygók körül keringő hold is nagyobb nála, tömege a Föld tömegének 5,5%-át teszi ki. Elliptikus pályájának perihéliuma (napközelpontja) 46 millió km, aphéliuma közel 70 millió km, ezzel a legexcentrikusabb

pályát tudhatja magáénak az összes bolygó között. Átlagos naptávolsága 0,39 CsE, egy Nap körüli fordulatot 88 földi nap alatt tesz meg. A Merkúr pályája nem pontosan a Nap egyenlítői síkjába esik, attól 7°-kal elhajlik, ezért a bolygó áthaladása a napkorong előtt ritka természeti jelenség, évszázadonként csak 13 alkalommal figyelhető meg. Tengelyforgása rendkívül lassú. A Merkúrt a Messenger űrszonda vizsgálta legutóbb. A szonda 2008-ban érkezett a Merkúrhoz és páratlan képeket készített. A Hubble sosem vizsgálta a Merkúrt, mivel az nem távolodik el kellően a Naptól. Egyetlen szonda kereste fel korábban, a Mariner-10. Földi távcsővel még nem figyeltük meg a felszínének részleteit.



9. ábra (a Merkúr)

Általánosan megállapítható, hogy Holdhoz hasonló medencék és kráterek borítják. Holdszerű felszínének mindössze kevesebb mint 30%-a volt ismert ezidáig. Felületén a hőingadozás jelentős, mivel számottevő légköre nincs. Nagyon ritka másodlagos légkörrel rendelkezik, ami főként napszélből befogott részecskéket tartalmaz. Nappali oldalán 300-400 Celsius fok, sötét felén -120 Celsius fok a hőmérséklet. Jelentős vasmagja van, a bolygó átmérőjéhez viszonyított nagysága 75-80% is lehet. Ennek oka valószínűleg az lehetett, hogy fejlődésének korai szakaszában felső szilikátos rétegét elvesztette. Ez a feltételezések szerint történhetett egy másik bolygócsírával való ütközés során, vagy a heves naptevékenység folyamán elpárologott a szilikátos anyag. Az űrszondák mágneses mezőt észleltek a közelében.

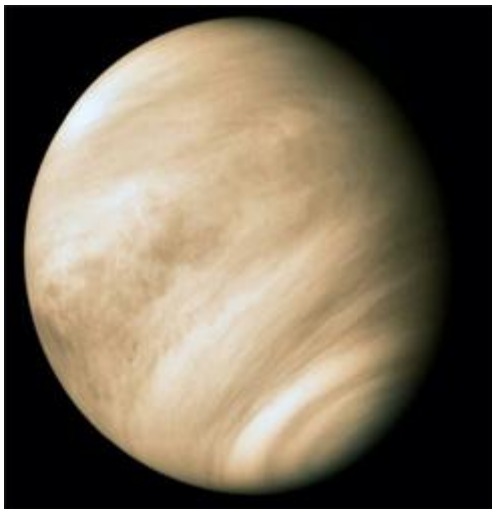
Felszíni alakzatai közül az egyik legjelentősebb a Caloris medence. A Merkúr legnagyobb medencéje, átmérője 1300 km. Számos kráter borítja, még a nagy kozmikus bombázások idejéből, amikor sok törmelékanyag keringett a Nap körül.

Nemrégiben sikerült felfedezni a Messenger-szonda segítségével, hogy a Merkúr közeteiből a magas hőmérséklet miatt gáz áramlik ki. Ez összefügg a Naptevékenységgel. Ilyenkor a bolygó a Nappal ellentétes irányú csóvát húz maga után.

Vénusz

A Naptól a második bolygó, keringési ideje 224,7 földi nap. Tömege, összetétele és mérete a Földéhez hasonló, emiatt sokszor nevezik bolygónk ikertestvérének. Pályája nem sokban tér el a körtől, perihéliuma 107,5, aphéliuma 109 millió km, ebből adódóan átlagos naptávolsága 108,2 millió kilométer (0,72 CsE), ezzel a Földhöz legközelebbi bolygó. Egy vénuszi év 224,65 földi napig tart. A bolygó saját tengelye körül 243 nap alatt tesz meg egy fordulatot, ráadásul retrográd irányban, a többi bolygóhoz képest ellentétes forgással. A rendkívül lassú, ellentétes forgás valószínűleg egy kozmikus ütközés eredménye, amely „feje tetejére állította” a bolygót. A tengelyferdeség 177,1°. A Merkúrénál jóval ritkábban, de a Vénusznál is megfigyelhető a Nap előtti átvonulás jelensége. 120 évenként egy páros átvonulás figyelhető meg, ahol a két átvonulás között 8 év telik el.

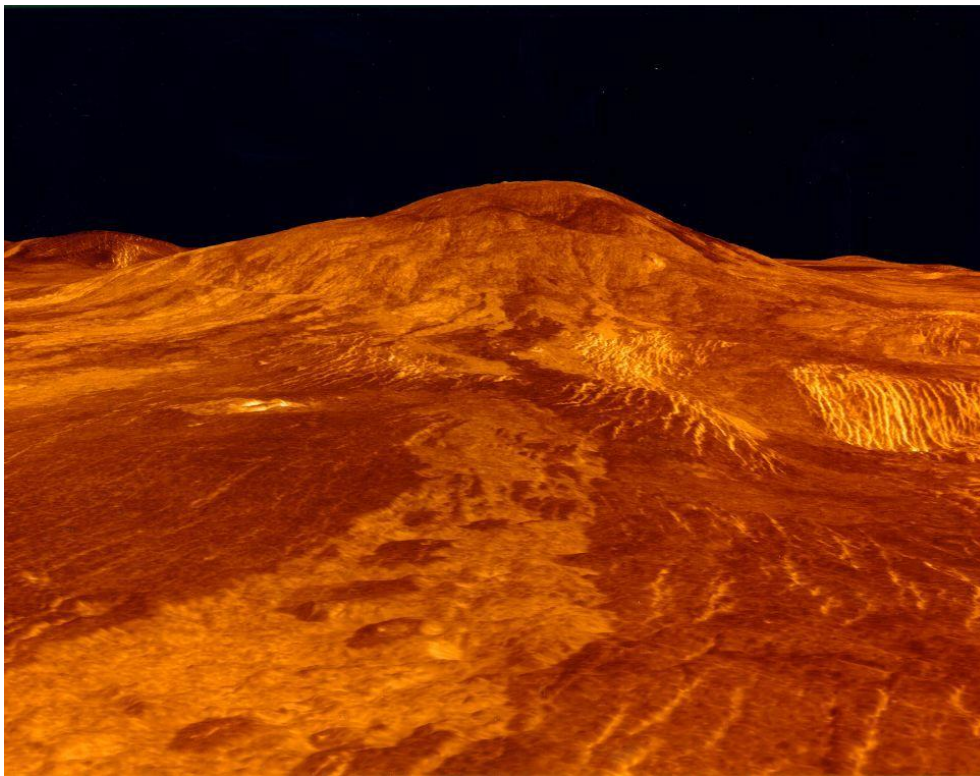
A Vénuszt vastag széndioxidból álló légkör veszi körül, melyben kénsavcseppekből álló felhőzet található. Ezért közvetlenül nem figyelhető meg a felszíne. Légkörében a kénsav végez körforgást. Extrémsűrű légköre miatt a nyomás a felszínen a földi légnyomás 93-szorosa. A széndioxid üvegházhatása mindemellett felfűti a bolygó felszíni hőmérsékletét. A felszínen a 470 Celsius fokos hőség uralkodik, mely a sarkoknál sem csökken. A légkör szuperrotációjának nevezett jelensége, hogy a felhőzet és a légkör gyorsabban forog, mint maga a bolygó.



10. ábra (a Vénusz)

Felszíni alakzatai igen változatosak, a bolygó differenciált. Vulkánosság jellemzi. Ma is geológiaiilag aktív.

Elkészült a Vénusz térképe A Magellan szonda radarméréseinek alapján, az adatok szerint felszínének kb. 60%-a igen lapos, a magasságkülönbség nem éri el az 1 km-t. 16%-a a felszínnek medence, 24%-a hegyvidék, 8%-a fennsík, amolyan kontinens, a legnagyobb közülük az Aphrodite Terra. Kisebb a Terra Ishtar (nevét sumer szerelem istennőről kapta) rajta nagy hegységek emelkednek, közöttük is a 9 km magas Maxwell Mons. Még említésre méltó a Maat Mons, amit egyiptomi szerelem és igazság istennőjéről neveztek el. Nagy vulkánok is vannak rajta: A Rheia Mons magassága 4km. Továbbá szakadékokat is találunk a Vénuszon, melyek a földi törésvonalaknak felelhetnek meg.

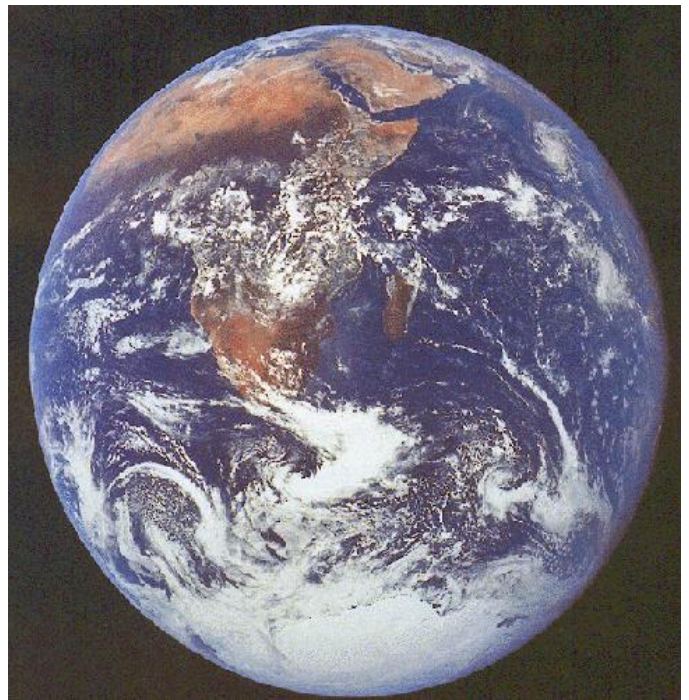


11. ábra (Maxwell mons)

A Föld

Külön tudományág foglalkozik vele, ezért csak néhány gondolatot kiemelve:

Pályája csaknem kör, azonban 92 ezer éves periódussal a Naptól való távolság 0-21 millió kilométerrel változik. A forgástengely a pályasíkkal 23,5 fokot zár be, ez okozza az évszakok váltakozását. Forgástengelyének keringési síkjával bezárt szöge sem állandó, a precessziónak nevezett jelenség következtében 26 ezer évenkénti periódussal más csillag kerül a Sarkcsillag helyére. Belső szerkezete differenciált, nagy vasmagja van, így erős mágneses mező veszi körül. Olvadt köpenyének áramlásai a lemeztectonika jelenségét okozzák. A kéregben a könnyű, szilikát elemek vannak túlsúlyban. Sűrű légköre főként nitrogénből és oxigénből áll. Felszínének 2/3-át víz borítja, ez a jeges magú üstökösök becsapódásaként került az ősföldre.



12. ábra (a Föld)

A Hold

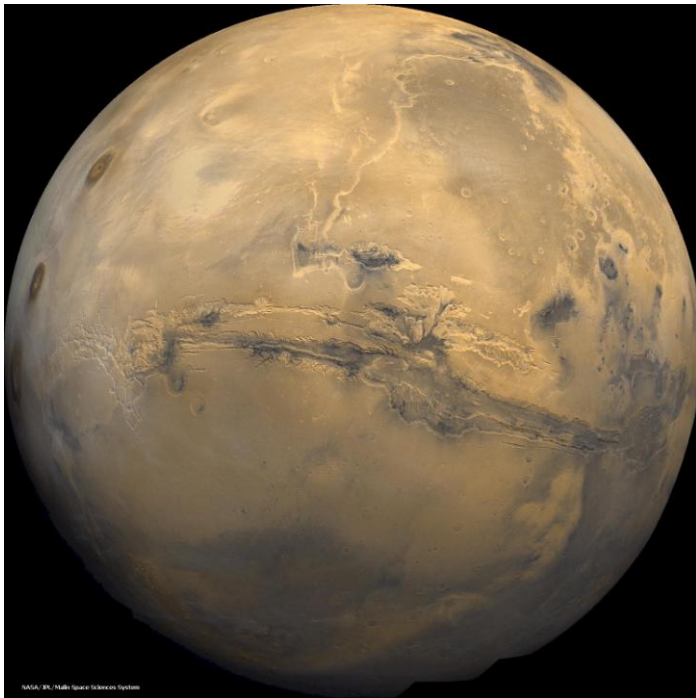
13. ábra (a Hold)



A Hozzánk legközelebbi égitest, s egyben az egyetlen, melyet az ember meglátogatott. Keletkezésével kapcsolatban többféle hipotézis létezik, ma a legelfogadottabb, hogy egy Mars méretű objektum ütközött a Földdel és a kirepülő törmelékből állt össze a Hold. Ez magyarázza szilikátos összetételét. Átmérője 3476 km, ami a Földének körülbelül negyede. A Naprendszerben csak a Plútó és a Charon arányai hasonlóak. Emiatt szokásos a Föld-Hold rendszert kettős bolygónak tekinteni. A Földtől való közepes távolsága: 384400 km. Sűrűsége: 3,34g/cm³, amiből arra lehet következtetni, hogy a Földből származnak az alkotói.

A Holdról megállapíthatjuk, hogy geológiailag inaktív, kicsi a sűrűsége, feltehető, hogy esetleg nincs vasmagja, légköre sincs. Szélsőséges hőmérsékletingadozás jellemzi nappali és éjszakai oldal között többek között a légkör hiánya miatt. Számos kráter borítja, medencék és hegységek, valamint felföldek alkotják a felszínt. A Hold déli féltekéjén nagy kráterek és szakadékok találhatók, felételezik, hogy ezekben némi vízjég megmaradhatott az egyébként teljesen száraz égitesten.

A Mars



A Mars a Naprendszer negyedik bolygója, a Naptól legtávolabb keringő kőzetbolygó. Méretét tekintve feleakkora átmérőjű, mint a Föld, és kisebb sűrűsége miatt a Föld tömegének mindössze 11%-át képviseli. Teljes felülete is kisebb területű, mint a földi szárazföldek összesített területe. Ellipszis pályája elnyújtottabb, mint a Földé. Bolygónk pályájának napközeli és naptávolpontja között 5 millió kilométer a különbség, a Mars esetében pedig 42 millió kilométer a pálya Naptól legtávolabbi és legközelebbi pontja között. Az átlagos távolság pedig 230 millió kilométer (1,5 CsE). A kőzetbolygók közül csak a Merkúr pályájának

14. ábra (a Mars)

nagyobb az excentricitása. A bolygó tengely körüli forgása, a marsi nap, azaz 1 sol hossza nagyon hasonló a Földéhez: 24 óra 39 perc 35 másodperc. A Mars tengelye a Földéhez hasonló dőlést mutat, $25,19^\circ$ -ot zár be az ekliptika síkjával, emiatt a bolygó időjárásában ugyanúgy évszakok alakultak ki, mint bolygónkon.

Az érdeklődés középpontjában álló bolygó. Számos amerikai és szovjet szonda kereste fel, napjainkban is több szonda működik a bolygón, az egyik legjobban ismert égitest. Legkorábban 2020 és 30 között tervezik az ember Marsra szállását.

Sarki jégsapkák találhatók a pólusokon, melyeknek mérete évszakos változást mutat. Vízjégből és szárazjégből állnak. Légkörének, mely ritka, legfőbb összetevője a széndioxid. Azonban ennek ellenére sem elegendő az üvegházhatás a bolygón, hogy kellően fölmelegedjen. Nyáron az egyenlítőjén nappal $+14$ Celsius fok, míg éjjel -70 Celsius fok lehet. Az alacsony nyomás miatt így még az esetlegesen megolvadó víz azonnal elpárolog. Légkörében időjárási jelenségek figyelhetők meg, ezek közül is említésre méltók a nagy porviharok, melyek olykor hónapokra eltakarják a felszínt.

A vasoxid miatt a kőzetek vöröses színűek. Emellett találhatók olyan üledékes kőzetek is, amelyek csak víz jelenlétében képződhetnek. Az újabb szondás vizsgálatok hematitot is kimutattak. A vastag porréteg alatt gleccserek vannak eltemetve az alacsonyabb szélességek mentén.

Változatos felszíni alakzatok találhatók rajta. Medencék, fennsíkok és hegységek, emellett néhány nagyobb kráter. A Tharsis-fennsík nagy vulkáni régió, mindegyik pajzsvulkán magassága meghaladja a 20 km-t. Az Olympus hegy nagy pajzsvulkán a Marson, több mint 24 km magas, ezzel Naprendszerünk legmagasabb képződménye, átmérője az 500 km-t is meghaladja. A Mars déli félgömbjén a Hellas medence nagy becsapódásos alakzat. Az egyenlítővel párhuzamosan húzódó Valles Marineris nagy hasadékrendszer, a Mariner-9 űrszonda fedezte fel. A Földre helyezve átszelné az USA-t, helyenként 8 kilométer mély.



15. ábra (az Olympus hegy)

Az újabb kutatások a felszín közelében fagyott víz jelenlétét mutatták ki. Ezen kívül olyan geológiai alakzatok tárultak fel, amelyek kizárólag tóra, tengerpartra, és folyóvölgyekre utalnak. Továbbá olyan kőzeteket sikerült találni, amelyek csak víz jelenlétében képződnek.

Az élet jelét eddig nem sikerült bizonyítani, bár számtalan elméletet dolgoztak ki. Ezek egyike, hogy a fagyott talajban és jégben mikroorganizmusok élnek, és évszakos aktivitást mutatnak.

Illetve egykori életre utal az

egyik marsi meteorit, melyet az Antarktiszon találtak, benne mikroorganizmusra hasonló kövülettel. Többen is egyöntetűen feltételezik, hogy a múltban, amikor a légkör sűrűbb

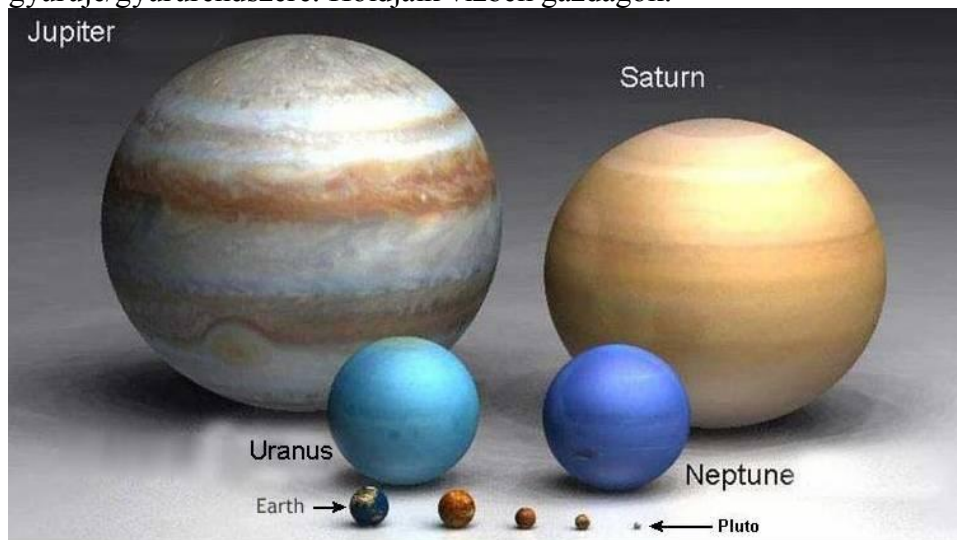
lehetett, folyékony víz is jelen volt tavak, sőt tengerek formájában. Olykor pedig igen heves áradások zajlottak le.

Kisbolygók övezete

Létrejöttére többféle elmélet létezik. Ma már kevésbé elfogadott, miszerint a kisbolygók egy nagybolygó, a Paethon szétrobbant darabjai. Inkább úgy véljük, hogy a Jupiter zavaró gravitációs hatása miatt egy soha ki nem formálódott bolygó építőkövei. A legnagyobbak: Ceres, Pallas, Juno, Vesta.

Külső bolygók

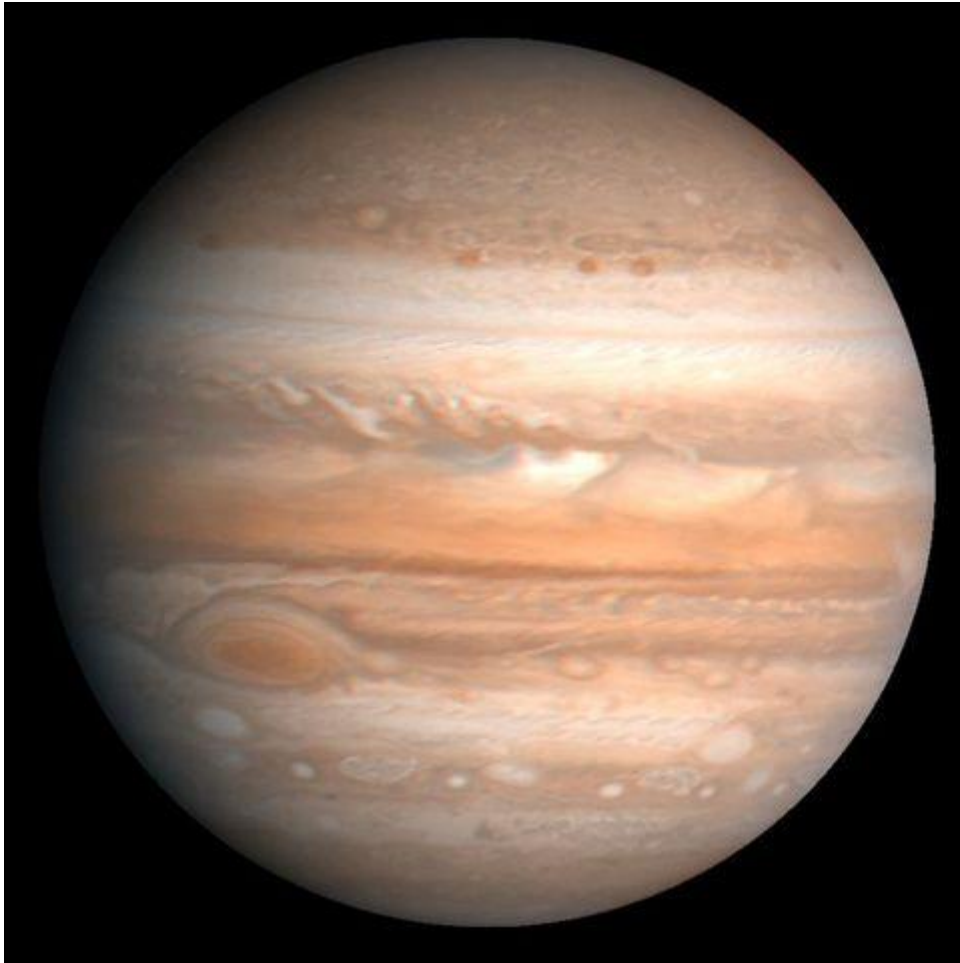
A gázbolygók, a másik bolygótípus gyűjtőneve. Azoké a bolygóké, amelyek elsősorban gázokból épülnek fel és egyáltalán nem, vagy csak kis mennyiségben tartalmaznak anyagukban kőzeteket, fémeket vagy más nehezebb anyagokat. A gázbolygók négyese két jól elkülöníthető alcsoportra osztható, a gázóriásokra és a jégóriásokra. Előbbi csoportba a *Jupiter* és a *Szaturusz* tartozik, amelyek belsejében az egyes zónák között folyamatos az átmenet a halmazállapotok között, nincsenek éles határok, a belsejükben uralkodó nyomás magasabb, mint a kritikus nyomás, a gázlégkör alatt folyékony réteg van, mely alatt szilárd mag található. Utóbbiakban (Uránusz, Neptunusz) viszont ezt a szintet nem éri el a nyomás, valamint a légkör és a szilárd – főként jégből álló – mag között éles az átmenet. Az óriásbolygók közös jellemzője még, hogy mindegyikük a naprendszer külső részein kering és mindegyikük körül jó néhány hold található valamint mindegyiknek van gyűrűje/gyűrűrendszere. Holdjaik vízben gazdagok.



A Jupiter

A Jupiter a Naptól számított ötödik bolygó, egyben a Naprendszer – tömegében és méretében egyaránt – legnagyobb bolygója. Habár tömege jelentéktelen a Nap tömegéhez képest – a Napénak ezredrésze –, a többi bolygóhoz képest jelentősnek számít, a többi bolygó együttes tömegének két és félszeresét képviseli. A bolygó központi csillaghoz képest jelentéktelen tömege mégis elegendő ahhoz, hogy a rendszer tömegközéppontját a Nap geometriai középpontján kívülre helyezze és „billegetse” készítse a központi objektumot. A bolygó - besorolása szerint- gázóriás, tömegének (és térfogatának) jelentős része, mintegy 75–76%-a

hidrogén, amelyet 9–10%-nyi hélium egészít ki. A gáz a Jupiter tömegének legnagyobb, 85–90%-át jelentő részét alkotja, de van egy kisebb szilárd magja is, amelynek nagysága, tömege pillanatnyilag még ismeretlen, nagyjából a mag 12–45 földtömeg közé tehető. A légkörben az űrszondás megfigyelések a két fő gázkomponens mellett metán, ammónia, vízpára jelenlétét is kimutatták.



16. ábra (a Jupiter)

A bolygó belső szerkezete még nem teljesen ismert. A legvalószínűbb elmélet szerint a bolygó közepén egy szilárd, kőzetekből vagy vízjégből álló mag található, melynek jelenlétét gravitációs mérések erősítik meg. A szilárd magot fémes hidrogén – az óriási nyomás miatt elfajult állapotú anyag – veszi körül, majd fölötté folyékony, végül gázos hidrogén átlátszó rétege következik. A hidrogénrétegek között az átmenet folyamatos, a gázzéteg a felső felhősávtól legalább 1000 km mélységig terjed.

A Jupiter látványos légköre tetején ammóniakristályokból és ammónium-hidroszulfidokból álló felhők úsznak. A teljes bolygót lefedő felhőzet a szélesség szerint elkülönülő sávokra bomlik, amelyekben különböző sebességgel mozog az anyag, ráadásul az egyes sávokban ellentétes irányban. A sávok határán turbulenciák, viharok keletkeznek, egyik leglátványosabb a Nagy Vörös Folt, egy vihar, mely évszázadok óta működik, 1778-ban fedezték fel. A Voyager képek alapján 40 ezer km hosszú és 10 ezer km széles.



17. ábra (a Nagy Vörös Folt)

A bolygók közül a Jupiternek leggyorsabb a forgása, 10 óra a forgási ideje. A hatalmas gázlégkör miatt az egyenlítői régió 5 perccel gyorsabban tesz meg egy fordulatot, mint a sarki régiók. A gyors forgás miatt a bolygó alakja nem gömb, hanem forgási ellipszoid. A bolygó a Naptól 5,2 CsE távolságra kering és 11,86 év alatt kerüli meg a Napot.

A Szaturnuszhoz hasonlóan a Jupiter erős mágneses terében a Napból érkező elektromosan töltött részecskék hatására sarki fény keletkezik, ami jól látható a Hubble felvételein.

A belső régiókban, ahol a mag és a fémes hidrogén található, amely vezeti az elektromosságot, egy dinamóhoz hasonlóan mágneses tér keletkezik. A Jupiternek igen erős mágneses tere és rádiósugárzása van.

Galilei –féle holdak

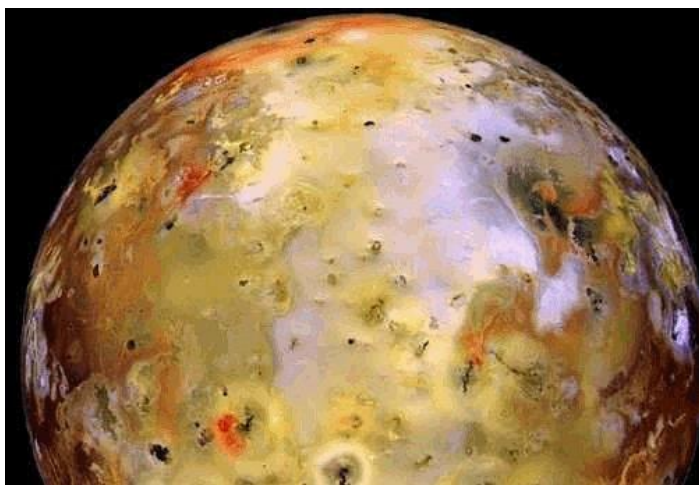
Galilei fedezte fel őket, a Jupiter 4 legnagyobb holdja. A Jupitertől mért távolság sorrendjében: Io, Európa, Ganymedes, Callisto.

Io

Átmérő: 3640 km

Távolság: 421 ezer km

Keringési idő: 1,77 nap



Nagyobb égitest mint a Hold. A Jupiter egyik érdekes holdja, jellegzetes vörössárga színe van, amit olvadt kénvegyületek okoznak. Bolygórendszerünkben a legaktívabb égitest. A Jupiter ár-apály hatása fűti fel. 6 nap alatt a Voyager-2 8 nagy vulkánkitörést figyelt meg. nincsenek rajta magas vulkáni kúpok, a kitörések gejzírszerűek. A kidobott anyag 200-250km magasra jut fel.

18. ábra (az Io)

Európa

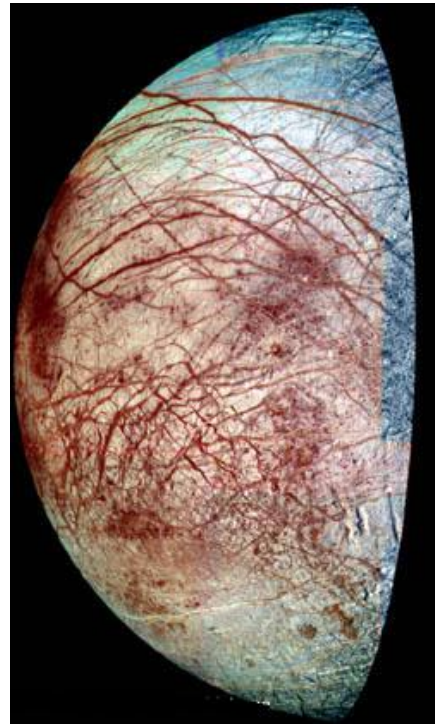
Átmérő: 3130 km

Távolság: 670 ezer km

Keringési idő: 3,55 nap

Nem sokkal kisebb a Holdnál. Felszínét vastag fagyott jég borítja. E kéreg alatt jelentős mennyiségű víz található, ami valószínűleg 100 km vastag is lehet. A víz itt folyékony és esetleg sós. Felszínén rianások és repedésvölgyek találhatók. A Jupiter ár-apály ereje felfűtheti a magot, és a földi mélytengeri kénes füstölőkhöz hasonló alakzatok lehetnek a mélyben. Nem elképzelhetetlen, hogy kemoszintézisen alapuló élet alakulhatott ki a jégkéreg alatti óceánban.

19. ábra (az Európa)



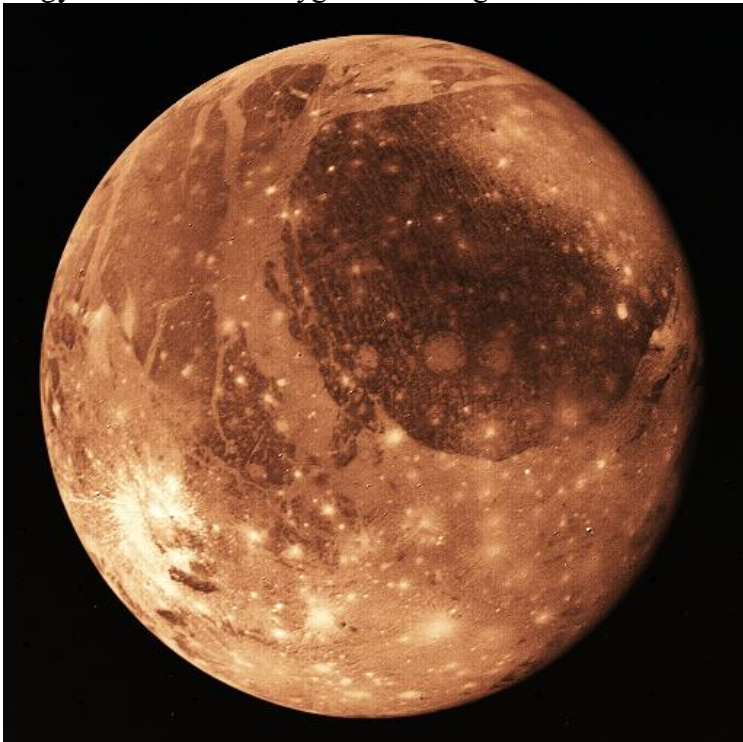
Ganymedes

Átmérő: 5280 km

Távolság: 1070 ezer km

Keringési idő: 7,15 nap

Nagyobb a Merkúr bolygónál. Tömegének körülbelül fele jég-víz. Felszínét vízjég borítja.



20. ábra (a Ganymedes)

Kalliszo

Átmérő: 4821 km

Távolság: 1882 ezer km
Keringési idő: 16,6 nap

A Szaturnusz

A Szaturnusz a Naptól a sorrendben hatodik bolygó, a Jupiterhez hasonló óriásbolygó, a második legnagyobb a bolygók között, besorolása szerint a Jupiterrel, az Uránusszal és a Neptunusszal együtt óriásbolygó. Tömegét tekintve sokkal kisebb, mint a Jupiter – 95 földtömegű, a legnagyobb bolygó 318 földtömegével szemben – ám térfogata csak 20%-kal kisebb, ebből eredően sokkal kisebb sűrűségű is, az egyetlen bolygó, amelynek átlagsűrűsége kisebb, mint a vízé. Felépítését tekintve kissé különbözik a nagyobb testvérétől, bár ugyanúgy a hidrogén és a hélium a fő alkotóeleme, a hidrogén sokkal nagyobb részarányt képvisel. A Szaturnusz esetében is feltételezhető mag létezése. A légkör ennél a bolygónál is tartalmaz metánt, ammóniát valamint etánt.

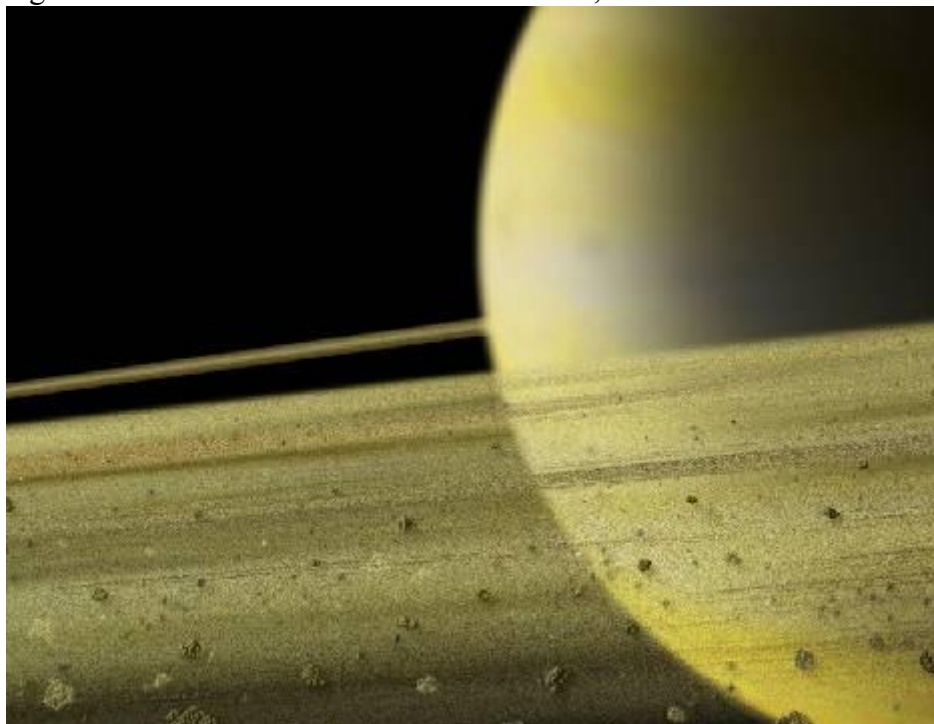
A Szaturnusz átlagos távolsága a Naptól eléri az 1,4 milliárd kilométert – 9 CsE-t –, ezzel a bolygó 29 és $\frac{1}{2}$ év alatt tesz meg egy kört a Nap körül. A pálya napközeli és naptávolpontja között 155 millió km a különbség van, azaz a Föld pályájának méretével szinte megegyező. A tengely körüli forgása is hasonló a Jupiteréhez, 10 óra 32 és 10 óra 47 perc között tesz meg egy tengely körüli fordulatot, előbbit a légkör egyenlítői zónája, utóbbit sarki régiók. A kisebb sűrűség és a gyorsabb forgás miatt a Szaturnusz a Jupiternél is lapultabb, a sarki átmérője az egyenlítőinél 10%-kal kisebb.



21. ábra (a Szaturnusz)

A Szaturnusz bolygó felépítését a Jupiteréhez hasonlóan gondolják. A bolygó belseje igen forró, a magjában a 11 700 °C-t is eléri a hőmérséklet. A bolygó 2,5-szer több hőt bocsát ki környezetébe, mint amennyit a Naptól befogad (megjegyzendő, hogy a Jupiter is). A Szaturnusz légköre is nagyban hasonlít a Jupiteréhez, legfeljebb az összetétele más: 96,3% hidrogén, 3,25% hélium alkotja, amelyet nyomokban ammónia, acetilén, etán, foszfin és metán dúsít. A felhők is hasonlóak, ammónia kristályokból, ammónium-hidroszulfidból és vízből állnak. A légkör ennél a bolygónál is sávokra osztozik, itt is különböző sebességgel és esetenként ellentétes irányban keringenek a felhők a légkör tetején és itt is turbulenciák, viharok keletkeznek a sávok határvonalán. Viszont a Szaturnusz légköri sávjai sokkal halványabbak és a sávok szélességi arányai is eltérőek, itt az egyenlítői sávok a dominánsak. A Szaturnusz felső légköre rendkívül turbulens, a Naprendszer legnagyobb sebességű szeleit itt mérték, a Voyager űrszondák 1800 km/h-ás sebességet is rögzítettek.

A Szaturnusz legegységibb jellegzetessége a hatalmas, látványos gyűrűrendszere. A bolygó egyenlítői síkjában, a felszíntől számított 66300 és 120700 kilométer között helyezkedik el egy mindössze 20 méteres átlagvastagságú sávban. Főként vízjégből álló, apró kövek alkotta, hét fő – azon belül viszont több ezer egyedi – gyűrűt formázó gyűrűrendszer kering. A legnevezetesebb sötétebb részek a Cassini-rés, és az Encke-rés.



22. ábra (a Szaturnusz gyűrűi)

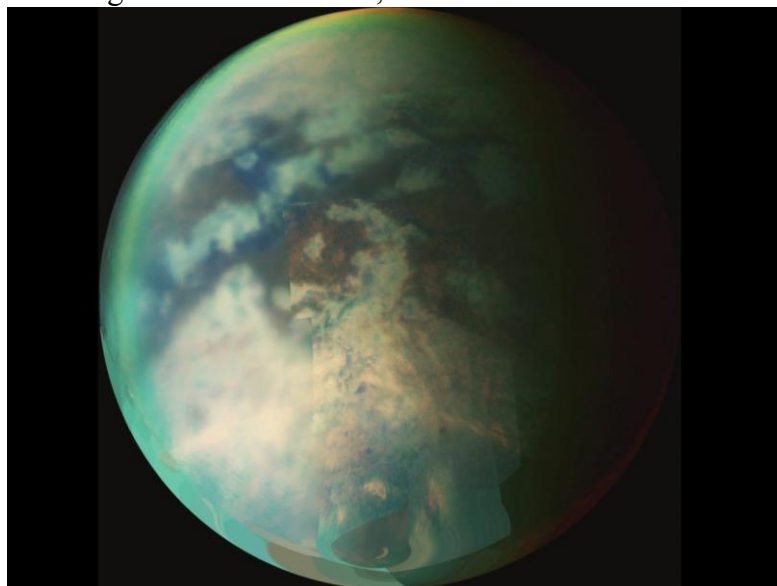
A Szaturnusz elnevezett holdjai: Pán, Prométeusz, Pandora, Japetus, Epimétheus, Mimas, Enceladus, Thétis, Dione, Rheia, Titan, Hüperion.

Titan

Átmérő: 5120 km

Keringési idő: 15,9 nap

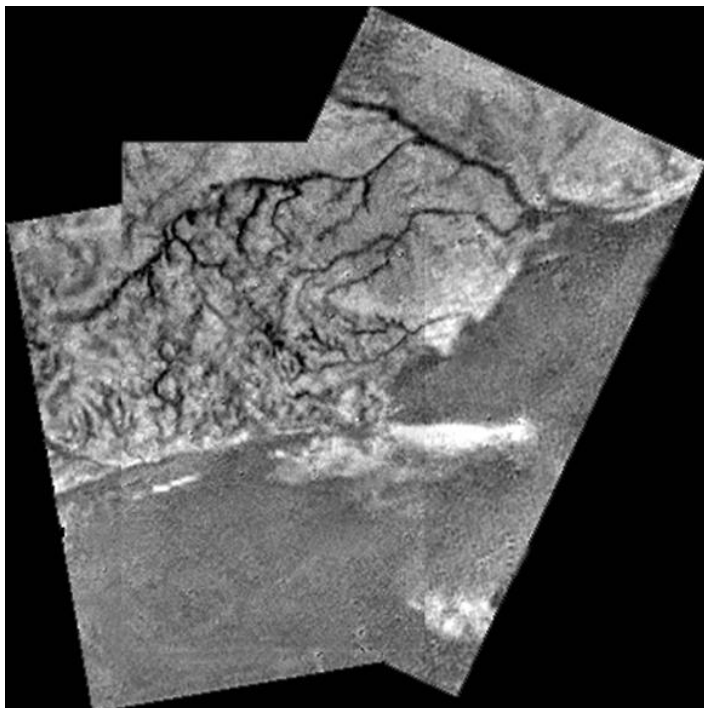
Távolsága a Szaturnusztól: 1,22 millió km



23. ábra (a Titan)

Számottevő léggörrel rendelkező nagy hold, légkörre főként nitrogénből áll, így a Föld után a második ilyen égitest. Szénhidrogén és szerves vegyületek a felszínen és a légkörben egyaránt megtalálhatók. Átlagos hőmérséklete -200 és -190 Celsius fok. Szerves szénhidrogén szmog gomolyog a légkörben, így a felszíne

láthatatlan. A Cassini szondáról levált Huygens szonda készített róla felszíni felvételeket, a leszállóegység kamerája egy sivatagot örökített meg. A Titan sarkvidékén az észak amerikai Nagy Tavak méretű szénhidrogéntavakat találtak. Folyékony metán táplálja őket, mely eső formájában hull alá. A légkörében az anyag körforgása a földi víz körforgásához hasonló, folyók is találhatók rajta, melyekben szerves szénhidrogének vannak cseppfolyós állapotban.

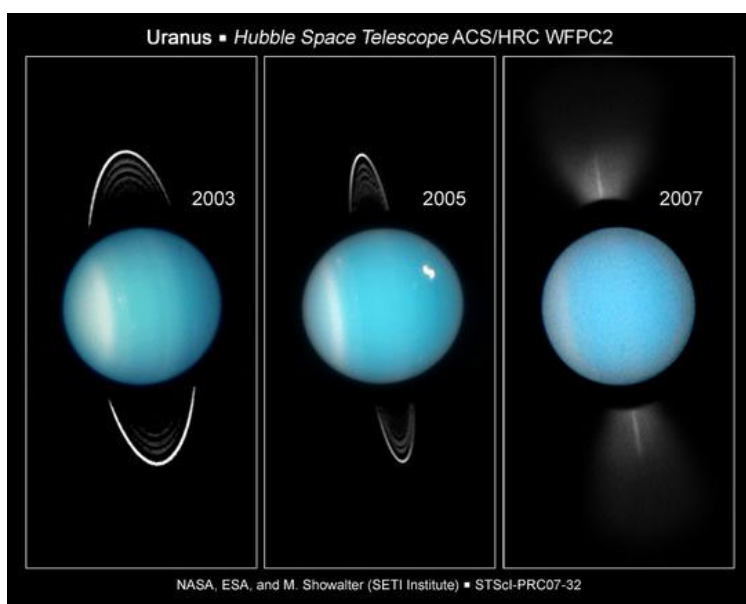


24. ábra (szénhidrogéntavak a Titanon)

Az Uránusz

Az Uránusz a Naprendszer hetedik bolygója, a gázóriások közül a harmadik legnagyobb átmérőjű, de a legkisebb tömegű. A bolygó nem illeszkedik a Jupiter és a Szaturnusz kezdte sorba, összetétele és szerkezete is eltér a két legnagyobb bolygótól és inkább a Neptunusszal alkot párt. A kicsit több mint 14 földtömegű óriás is rendelkezik egy kicsi, nagyjából 0,5 földtömegű szilárd, sziklás maggal. A bolygómagot egy vastag, különböző anyagokból kifagyott jégből álló

köpeny burkolja be, ez a réteg képviseli a legnagyobb tömegrészét, 9,3–13,5 földtömegnyit. Míg a Jupiternél és a Szaturnusznál a légkör alkotja a tömeg túlnyomó részét, az Uránusz légköre szinte jelentéktelen a 0,5–3,7 földtömeg közé eső tömeggel. Elterést jelent még az Uránusz összetétele, főként a légköré. A fém és folyékony hidrogén helyett ennél a bolygónál vízjég, metánjég és ammóniajég alkotja a köpenyt és a légkörben a hidrogén és a hélium mellett jelentős mennyiségű (több mint 2%-nyi) metán is jelen van, ez okozza az Uránusz kék színét.



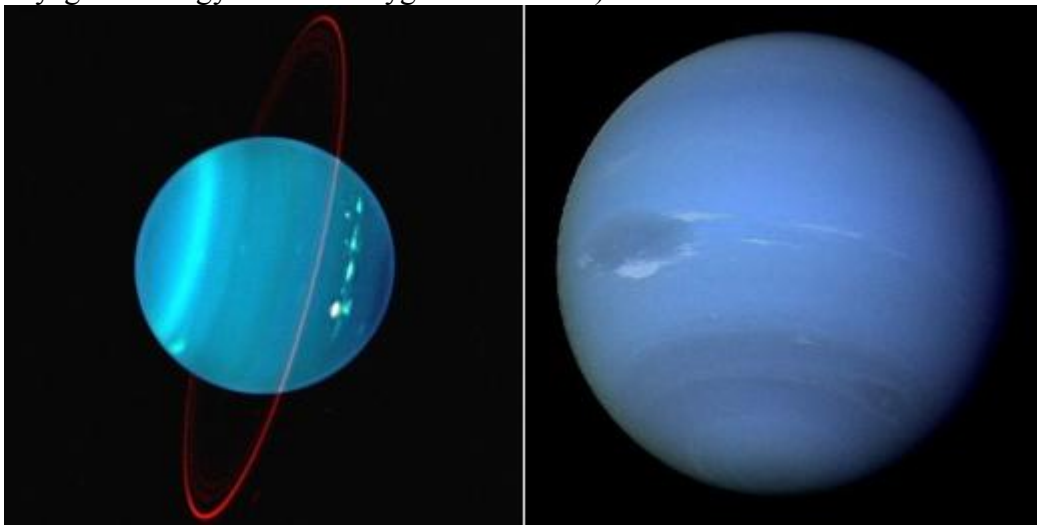
25. ábra (az Uranusz)

A Naprendszerben egyedülálló forgástengelyének a keringési síkkal bezárt szöge: 97 fok, így a forgástengelye mindig a keringési sík közelében marad. Naptávolsága miatt kb 400-szor kevesebb hőt kap, mint a Föld. Így felszíni hőmérséklete a napsütötte oldalon –170 Celsius. Az első olyan bolygó, amelyet távcsővel fedeztek fel. (A felfedező William Herschel.) Holdjai az egyenlítői síkban keringenek, továbbá halvány

gyűrűje is van. A gyűrűk a bolygó centrumától 30000-64100 km távolságok között helyezkednek el. Utoljára a Voyager-2 űrszonda látogatta meg 1986 januárjában.

A Neptunusz

A Neptunusz a Naptól számítva a nyolcadik, legkülső ma ismert bolygó a Naprendszerben. A negyedik legnagyobb átmérőjű, és a harmadik legnagyobb tömegű óriásbolygó, összetételét, felépítését tekintve az Uránusz ikertestvére. A hozzávetőleg 17 földtömegű bolygó 20 százalékkal nagyobb tömegű, mint az Uránusz, az átmérője viszont 5 százalékkal kisebb, és ennek is szilárd, jégből álló magja van. A légköre is nagyon hasonló az Uránuszéhoz – és kissé eltérő a Jupiterétől és a Szaturnuszétól –, fő alkotóelemei a hidrogén és a hélium. Kevesebbet metánt tartalmaz, mint az Uránusz, de még mindig jelentős mennyiségben (ez az anyag felelős egyébként a bolygó kék színéért).



26. ábra (a Neptunusz)

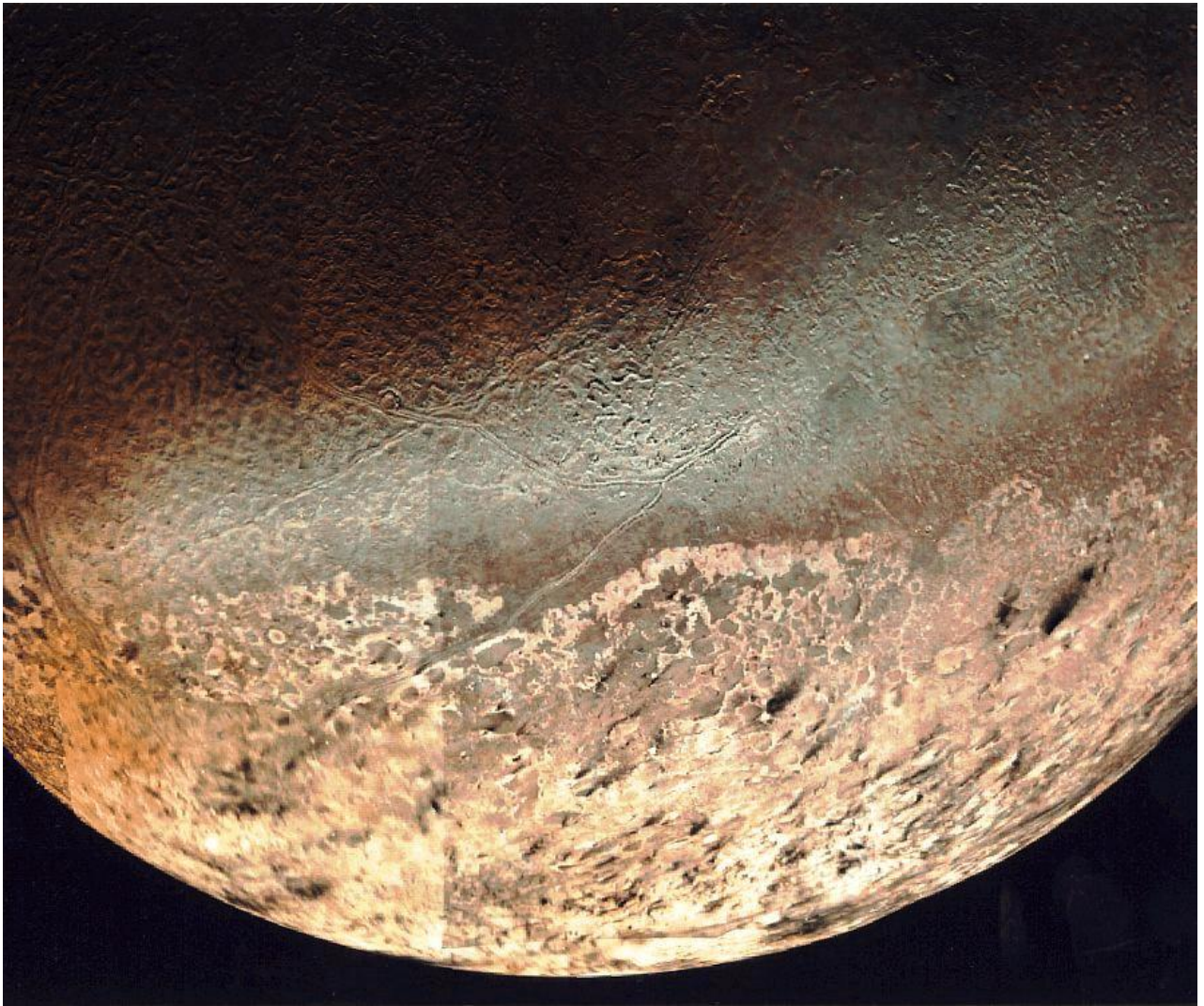
A Neptunusz és a Nap közötti átlagos távolság 4,55 milliárd kilométer (30,1 CsE), egy neptunuszi év így 164,79 földi évig tart (érdekesség, hogy a felfedezése óta még nem tett meg egy teljes keringést, erre 2011. július 12-én fog sor kerülni). A Nap körüli pályája a Földéhez hasonlóan nagyon közelít a körhöz. A neptunuszi nap hossza 16,11 óra, bár mivel gázbolygóról van szó, az atmoszféra egyes sávjainak különböző a forgási ideje, így a sarki régiók 12, az egyenlítői zóna pedig 18 óra alatt tesz meg egy fordulatot

900-szor kevesebb hőt kap a Naptól, mint a Föld. A légkör teteje -200 Celsius fokos hőmérsékletű igen tiszta légkörébe mélyen behatol a napfény, lentebb forró víz, metán ammónia keveréke forr. Még mélyebben szén található, melynek mennyisége a bolygó tömegének 17% is lehet. A Jupiter nagy vörös foltjához hasonló foltok voltak láthatóak a Voyager-2 felvételein, de később eltűntek. Manapság azonban már nem sikerült megfigyelni őket.

A Triton

Átmérője 4000 km, a plutó-szerű objektumok sorába tartozik. Jelentős jeget és fagyott gázt tartalmaz. Jellemzője a kriovulkanizmus, mely során a hold mélyebb rétegeiből folyékony metán, etán és víz keveréke lövell ki és latyakszerűen szétterül a felszínén. Pályája nem stabil, így a számítások szerint kb. 100 millió év alatt a Neptunuszba zuhan. Egyes

modellszámítások szerint a Neptunusznak már volt egy hasonló méretű kísérője, amely belezuhant.



27. ábra (a Triton)

A Plútószerű objektumok

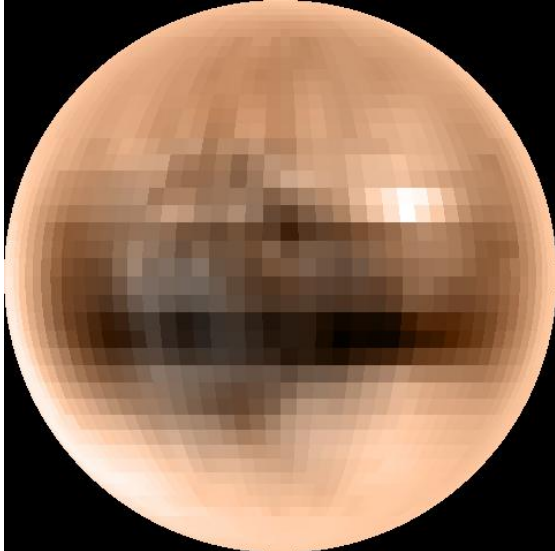
Az összes olyan égitestet, amely a Neptunusz pályáján túl kering a Nap körül, de az Oort-felhőn belül, Kuiper égitestnek nevezzük. A legelsőként felfedezett ilyen objektum az 1930-ban felfedezett, sokáig a kilencedik bolygóként ismert Plútó volt. A következő Neptunuszon túli égitest felfedezésére 62 évet kellett várni az (15760) 1992 QB1 jelű objektum 1992-es felfedezéséig, annak ellenére, hogy már a Plútó felfedezésekor megsejtették, hogy több ilyen aszteroidának is kell lennie az adott térségben. Az ezt követő szisztematikus kutatásban ezres nagyságrendben találtak 50 és 2500 kilométer közötti méretű égitesteket a csillagászok a Neptunuszon túli pályán. Ma az Eris az égitesttípus legnagyobb ismert tagja, amely egyben a legtávolabbi, közvetlenül megfigyelt, naprendszerbeli objektum is.

A Plútó és a Charon

Fagyott jégből és gázból állnak, önálló kategóriát képeznek, a Kuiper öv objektumai. Elnyúltabb pályán keringenek a Nap körül, mint a nagybolygók

Kötött rendszer, vagyis a Charon mindig ugyanazt a felét fordítja a Plútó felé. Nemrégiben két újabb holdat fedeztek fel körülötte

Űrszonda még nem látogatta meg, csupán a Hubble űrteleszkóp készített róla többször felvételeket, melyek azonban elmosódottak voltak, ennek ellenére világosabb és sötétebb felszíni régiók különböztethetők meg rajta.



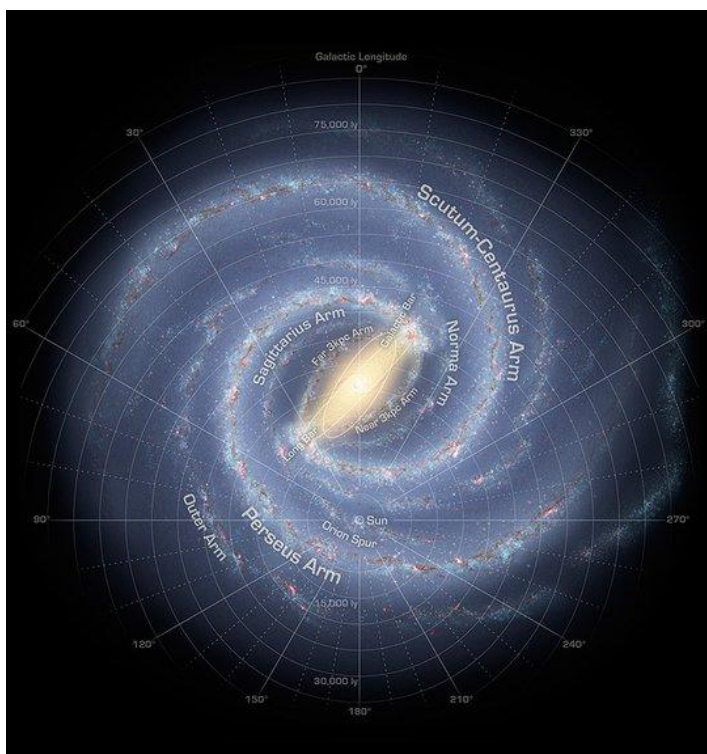
28. ábra (a Plútó)

Az Oort –felhő

A Naprendszert gömbszimmetrikusan határoló régió, melynek belső része a Kuiper öv. Kifelé 1 fényévig is terjedhet. Űstökősmagok alkotják, melyek jégből és porból állnak. Anyaga a feltételezések szerint a Naprendszer szülőanyagának ősi, szinte érintetlen maradványa. Az égitestek építőanyaga elsősorban fagyott víz, ammónia és metán lehet. A felhő a szomszédos csillagokkal is kölcsönhatásba lép időnként, aminek hatására kifelé távozhat az anyaga a Naprendszerből, de befelé is lökődhet. Ezek a befelé induló objektumok számítanak a hosszú periódusú űstökösök legvalószínűbb fő forrásának.

Legnevezetesebb a Halley–űstökös, melynek keringési periódusa 76 év. Az űstökösök a gravitációs kölcsönhatások miatt időnként a belső Naprendszerbe kerülnek, ekkor a nap melege miatt párologni kezdenek, s néha több millió km hosszú csóvát húznak maguk után.

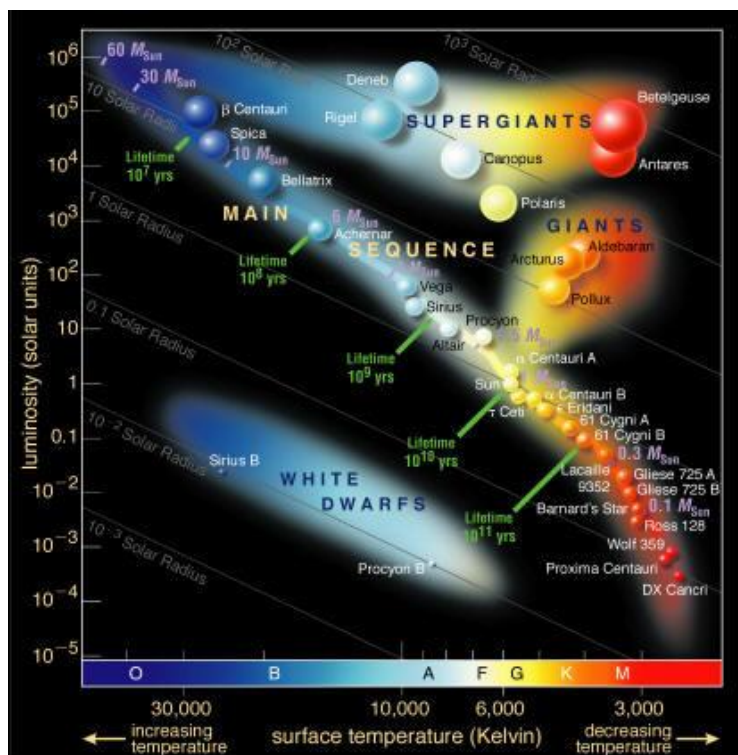
II. Fejezet Galaktikus útikalauz



29. ábra (a Tejútrendszer)
csillaghoz közeli pont felé halad.

Elhagyva a Naprendszer kijutunk a csillagközi térbe. A Naprendszer a Tejútrendszer 150-200 milliárd csillagrendszerének egyike, amely a spirálgalaxis Orion spirálkarjában helyezkedik el. A Nap (és vele az egész bolygórendszer) a 100 000 fényév átmérőjű küllös spirálgalaxis központjától mintegy 25 000–28 000 fényév távolságra kering és nagyjából 225–250 millió év alatt tesz meg egy teljes fordulatot. A Centruma csillagokban sűrű, 20 ezer fényév átmérőjű és kb 6000 fényév vastag régió. A spirálkarok porban és gázban gazdagok, s ennél vékonyabbak. A Napnak, mint minden csillagnak megfigyelhető a keringés közbeni saját mozgása, amelynek meghatározható a látszólagos iránya is: a Nap a Lant és a Herkules csillagkép közötti, a Vega

A HR-diagram részletes megismerése



30. ábra (a HRD)

A Csillagok igen sokfélék, osztályozásukat azonban megkönnyíti a Hertzsprung-Russell Diagram. Ez a csillagokat színképosztályokba sorolja O-tól M-ig. Minden csillagállapothoz rendelhető egy pont a diagramon, ami egy adott felületi hőmérsékletet és egy adott fényességet jelöl. A vízszintes tengelyen a felületi hőmérséklet, a függőleges tengelyen pedig fényesség található. Ezek alapján megállapítható, hogy például a Nap egy közönséges G2 színképű sárga csillag. A diagram közepén lévő S alakú görbe az úgynevezett fősorozat. Külön osztályt alkotnak a fehér törpék, az óriások és a szuperóriások. A fősorozati állapotú csillagokban H-He fúzió

zajlik, ellenben az óriás ág és a szuperóriás ág csillagai között vannak csillagok, amelyekre már He-C ciklus jellemző. A fehér törpék elpusztult csillagok maradványai.

A csillagok mérete nem egyforma. A főszorozati csillagok közül a Nap közepméretű, és hozzá viszonyítva az ág alsó részén vörös törpecsillagok állapota van feltüntetve. Például főszorozati a vörös törpe állapotú Proxima Centauri. A főszorozati vörös törpék eleve kis tömegűek (0,3-0,1 Naptömeg). A főszorozat bal sarkában a Napnál nagyobb csillagok állapotát látjuk, ilyen a Szíriusz, amely körülbelül 2-2,5 Naptömegnyi, a 10 naptömegnyi Spica (Szűz csillagkép). A HR-diagram jobb oldalán felül az óriás és szuperóriás csillagok állapota található. Az Arcturus az Örkohajcsárban, vagy az Antares a Skorpíóban jóval nagyobbak Napunknál, ezek azonban a főszorozatról letért állapotú csillagok, életük vége felé járnak. Ellenben a Rigel az Orionban egy kék óriás. Ez a csillag eleve jóval nagyobb tömegű a Napnál, s benne a vörös óriásoktól eltérően H-He ciklus zajlik.

Tömegarányok

A csillagok tömege igen változatos, mint láttuk. Mindig a kezdeti tömeg számít, ez szabja meg a csillag életútját. A vörös törpék minimum egytized naptömegűek, míg az óriások, mint például Rigel, akár 8 Naptömeg felettiek is lehetnek. Minél nagyobb tömegű a csillag, annál rövidebb ideig él. Tömegének köbével fordítottan arányos a csillag élettartama.

Amint a csillagban beindul a hidrogénnek héliummá fúzionálása, főszorozati csillagról beszélünk. Ez lehet egyaránt vörös törpe, mint a Proxima Centauri, illetve olyan mint a Regulus az Oroszlánban, mely kékesfehér óriáscsillag. A Napszerű csillagok 10 milliárd évet töltenek a főszorozati állapothoz, a vörös törpék még ennél is többet, ellenben egy 8 naptömegnyi csillag csak kb. 10 millió évet.

A kék színű óriáscsillagokban H-He fúzió folyik. Ezek a Napnál jóval nagyobb csillagok. Ilyen pl. a Rigel. Ellenben a vörös óriáscsillagok, mint az Antares, vagy a Betelgeuse, életük végén járnak, bennük He-C magreakció folyik. Azért óriások, mert felfúvódtak.

A Csillagok keletkezése, élete

A csillagok por és gázfelhők egyes részeinek összehúzódása révén jönnek létre. Ezek a több fényév átmérőjű gázfelhők kezdetben hidegek, kb. -260 Celsius fokosak, azután valamilyen hatás következtében megkezdődik az összeomlásuk. A Lófej-köd az Orionban 1200 fényévnnyire található hideg köd. Mögötte világító gázköd van, melyet a Dzéta Orionis gerjeszt, s ezt eltakarja a Lófejköd. Ilyen hideg gázköd még a Szeneszsák, vagy a Cygnus hasadék. Ha egy por és gázfelhőben már vannak csillagok, azok sugárzása következtében a köd izzani kezd, s világító gázköd lesz belőle. A fokozatosan sűrűsödő felhőkben protocsillagok alakulnak ki, melyekben a nyomás és hőmérséklet emelkedése miatt megindul



a hidrogén fúziója, és az előzőekben ismertetett diagram főszorozatának csillagai közé illenek be.

31. ábra (a Lófej köd)

Amikor a csillag magjában elfogy az összes hidrogén, a csillag állapotában bekövetkező változások miatt leáll a fősorozati H-He ciklus. A héliumfelvillanásnak nevezett folyamat során megindul a hélium fúziója végső soron széné. Ez a Nap esetében még kb. 2 milliárd évig tart. Az ilyen csillagok vörös óriássá fúvódnak fel. Ezt követően a Napszerű csillagokban leáll a fúzió, elpusztulnak. Magjuk fehér törpévé omlik össze, külső gázhéjakat pedig ledobják. Planetáris köd keletkezik. A Napnál nagyobb tömegű csillagokban a fúzió a vasig tart, majd leáll. Ekkor szupernóva robbanással elpusztulnak.

Mint mondtam, a vörös szuperóriásban megindul a hélium fúziója. Tömege miatt azonban övezetes felépítésű lesz. A különböző gömbhéjakban más és más magreakció zajlik, végül Fe épül fel. A szén átalakulása 1000év, az Oxigéné 1év, a Szilícium néhány nap alatt alakul vassá. Jellegzetes Vörös óriás változócsillag az Omikron Ceti, melyet Mirának is neveznek. Mira, azt jelenti, hogy csodálatos. A felszínén kondenzálódó szén miatt hol kifényesedik, hol elsötétül.

A Napszerű csillagok magjából kicsi fehér törpe marad vissza, mely degenerált anyagból áll. Ezek elpusztult csillagok. felületi hőmérsékletük a 100 ezer Celsius fokot is elérheti. A vörös törpék csöndesen halnak meg, sosem lesz belőlük vörös óriás. Mint arról szó volt, a Napszerű csillagok életük végén ledobják külső gázhéjukat, és planetáris köd keletkezik. Ilyen ködök sokaságát fényképezte a Hubble.

A nagytömegű csillagok életüket magösszeomlásos szupernóva robbanással fejezik be. Ennek végtermékeként fekete lyuk, vagy neutroncsillag keletkezik. A galaxisban 2-300 évente esedékes egy-egy szupernóva fellobbanása. Ia-típusú szupernóvák a magösszeomlásos szupernóvák, ezektől megkülönböztetjük, azokat, amelyek úgy jönnek létre, hogy egy fehér törpecsillag anyagot szippant el kísérőcsillagáról, s ez a felszínén összegyűlik, végül a kritikus értéket elérve hidrogénbombához hasonlóan felrobban.

A neutroncsillagok olyan csillagokból jönnek létre, amelyeknek magja a Chandrasekhar-határ, azaz 1,44 naptömeg feletti tömegű. A magösszeomlás után neutroncsillag keletkezik.

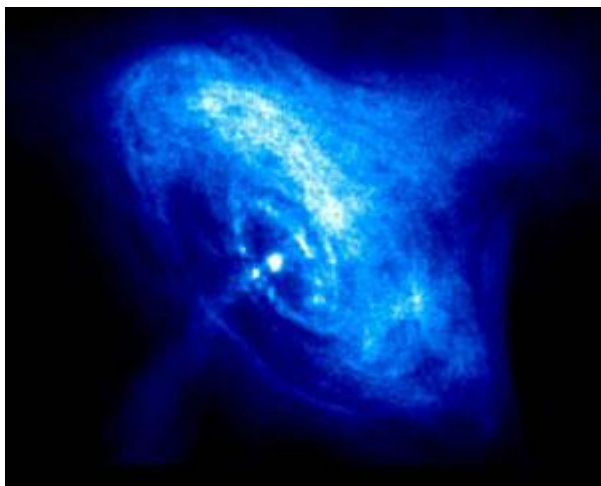
Átmérőjük átlagosan 16 km. Szerkezetük:

- Mag: kizárólag neutronok,

- Köpeny: atommagok,

- Kéreg: atomok és elektronok. 1,5-2km vastag.

A pulzárok voltaképpen forgó neutroncsillagok. A pulzálás olyan neutroncsillagoknál lép fel, amelyeknél a mágneses tengely nem esik egybe a forgási tengellyel. Ahogy az anyag a mágneses pólusoknál zuhan a csillag felé, sugárzás formájában nagy mennyiségű energia szabadul fel kúp alakú térrészben. A mágneses pólusokról érkező sugarak a tengelyforgás miatt egy távoli megfigyelő számára periodikus pulzálásként látszanak. Vannak milliszekundumos pulzárok is. Ezek relativisztikus sebességgel forognak.



32. ábra (neutroncsillag)

A 3 naptömegnél nagyobb csillagok összeomlásából fekete lyuk keletkezik. A fekete lyuk átlagosan néhány kilométer átmérőjű, s a közvetlen közelében olyan erős a gravitáció, hogy még a fény sem szökhet el a felszínéről. A fekete lyuk körül akréciós korong alakul ki, mely a környező gázt, port tartalmazza. A pólusoknál találhatóak a JET-ek, azaz anyagkiáramlások, melyekben a

részecskék közel fénysebességre gyorsultak. Az eseményhorizont határán van a Hawking sugárzást kibocsátó légkör, ettől bentebb az eseményhorizont található, mely mögött rejtetik az a néhány kilométer átmérőjűre zsugorodott objektum, mely a csillagból marad a gravitációs összeomlás után. A fekete lyuk esetében a szökési sebesség egyenlő a fény sebességével, ezért fekete. A fénysugár körpályára áll a fekete lyuk eseményhorizontján. A fekete lyukból semmi sem szökhet el, ami belehullik. Egyes elméletek szerint a fekete lyukban az idő megáll. A tér megfordulhatatlanul (irreverzibilisen) összeroskad. Az elméletek lehetőséget kínálnak a fekete lyukak és feregjáratok rokonítása által tér és időutazásokra is. Ezek az elméletek azonban még nem bizonyítottak.

A Naprendszer közvetlen környezete

A Csillagok életútját áttekintve szemügyre vesszük szűkebb és távolabbi környezetünk égitestjeit. A Naphoz legközelebbi csillag egy hármas rendszer. A Proxima Centauri vörös törpe, 4,2 fényévnire van. Az Alfa Centauri A és B 4,3 fényévnire. A Naprendszer környezetében sok törpecsillag van. Csak néhány olyan csillag akad, melynek sugárzása a Nappal összemérhető. Ezek: a Sirius a Nagy kutyában, az Altair a Sasban, és a Procyon a Kis Kutyában

Elnevezés						
Rendszer	Csillag	Színképosztály	m	M	Parallaxis (ívmásodperc)	Földtől mért távolság (fé)
Nap		G2V	− 26,7	4,85	180°	0,000 016 (8,3 fm)
α Centauri	Proxima Centauri (V645 Centauri)	M5.5Ve	11,01	15,53	0,772"	4,22
	α Centauri A (Rigel Centaurus; Toliman)	G2V	− 0,01	4,38	0,747"	4,36
	α Centauri B (HD 128621)	K0V	1,35	5,71		
Barnard csillag (BD+04°3561a)		M4.0Ve	9,53	13,22	0,547"	5,96
Wolf 359 (CN Leonis)		M6.0V	13,44	16,55	0,419"	7,78
Lalande 21185 (BD+36°2147)		M2.0V	7,47	10,44	0,393"	8,29
Szíriusz	Szíriusz A (α Canis Majoris)	A1 V	− 1,43	1,47	0,380"	8,58

	Szűrűsz B	DA2	8,44	11,34		
Luyten 726-8	UV Ceti (L 726-8 B)	M5.5Ve	12,54	15,40	0,374"	8,72
	BL Ceti (L 726-8 A)	M6.0Ve	12,99	15,85		
Ross 154 (V1216 Sagittarii)		M3.5Ve	10,43	13,07	0,337"	9,68
Ross 248 (HH Andromedae)		M5.5Ve	12,29	14,79	0,316"	10,32
ε Eridani (BD-09°697)		K2V	3,73	6,19	0,310"	10,52
Lacaille 9352 (CD-36°15693)		M1.5Ve	7,34	9,75	0,304"	10,74
Ross 128 (FI Virginis)		M4.0Vn	11,13	13,51	0,299"	10,91
EZ Aquarii csillagrendszer	EZ Aquarii (L 0789-006)	M5.0Ve	13,33	15,64	0,290"	11,26
	Gl 866 B	M (?)	13,27	15,58		
	Gl 866 C	M (?)	14,03	16,34		
Procyon (α Canis Minoris)	Procyon A	F5V-IV	0,38	2,66	0,286"	11,40
	Procyon B	DA	10,7	12,98		
61 Cygni	61 Cygni A (BD+38°4343)	K5.0V	5,21	7,49	0,286"	11,40
	61 Cygni B (BD+38°4344)	K7.0V	6,03	8,31		
Struve 2398 csillagrendszer	Struve 2398 A (Gl 725, BD+59°1915)	M3.0V	8,90	11,16	0,283"	11,52
	Struve 2398 B (HD 173740)	M3.5V	9,69	11,95		

Groombridge 34	Gl 15 A (GX Andromedae)	M1.5V	8,08	10,32	0,281"	11,62
	Gl 15 B (GQ Andromedae)	M3.5V	11,06	13,30		
ε Indi (CP-57°10015)		K5Ve	4,69	6,89	0,276"	11,82
DX Cancri (G051-015)		M6.5Ve	14,78	16,98	0,276"	11,82
τ Ceti (BD-16°295)		G8Vp	3,49	5,68	0,274"	11,88
GJ 1061 (LHS 1565)		M5.5V	13,03	15,19	0,271"	11,92
YZ Ceti (LHS 138)		M4.5V	12,02	14,17	0,269"	12,13
Luyten csillag (BD+05°1668)		M3.5Vn	9,86	11,97	0,264"	12,36
Teegarden csillag (SO025300.5+165258)		M6.5V	15,40	18,50	0,260"	12,46
SCR 1845-6357		M8.5V	17,39	19,41	0,259"	12,57
Kapteyn csillag (CD-45°1841)		M1.5V	8,84	10,87	0,255"	12,77
Lacaille 8760 (AX Microscopium)		M0.0V	6,67	8,69	0,253"	12,86
Kruger 60 csillagrendszer	Kruger 60 A (BD+56°2783)	M3.0V	9,79	11,76	0,248"	13,14
	Kruger 60 B (DO Cephei)	M4.0V	11,41	13,38		
Ross 614 csillagrendszer	Ross 614 (LHS 1849)	M4.5V	11,15	13,09	0,244"	13,34
	Gl 234 B (V577 Monocerotis)	M5.5V	14,23	16,17		
Gl 628 (Wolf 1061, BD-12°4523)		M3.0V	10,07	11,93	0,236"	13,81

Van Maanen csillag (Gl 35, LHS 7)		DZ7	12,38	14,21	0,232"	14,06
Gl 1 (CD-37°15492)		M3.0V	8,55	10,35	0,229"	14,22
Wolf 424	Wolf 424 A (LHS 333)	M5.5Ve	13,18	14,97	0,228"	14,30
	Gl 473 B (FL Virginis)	M7Ve	13,17	14,96		
TZ Arietis (GJ 83.1, Luyten 1159-16)		M4.5V	12,27	14,03	0,225"	14,51
Gl 687 (LHS 450, BD+68°946)		M3.0V	9,17	10,89	0,220"	14,79
LHS 292 (LP 731-58)		M6.5V	15,60	17,32	0,220"	14,81
Gl 674 (LHS 449)		M3.0V	9,38	11,09	0,220"	14,81
GJ 1245 (V1581 Cygni)	GJ 1245 A	M5.5V	13,46	15,17	0,220"	14,81
	GJ 1245 B	M6.0V	14,01	15,72		
	GJ 1245 C	M (?)	16,75	18,46		
GJ 440 (WD 1142-645)		DQ6	11,50	13,18	0,217"	15,06
GJ 1002		M5.5V	13,76	15,40	0,213"	15,31
Ross 780 (GJ 876)		M3.5V	10,17	11,81	0,213"	15,34
GJ 412	GJ 412 A	M1.0V	8,77	10,34	0,206"	15,83
	WX Ursae Majoris	M5.5V	14,48	16,05		
GJ 380		K7.0V	6,59	8,16	0,206"	15,85
GJ 388		M3.0V	9,32	10,87	0,206"	15,94

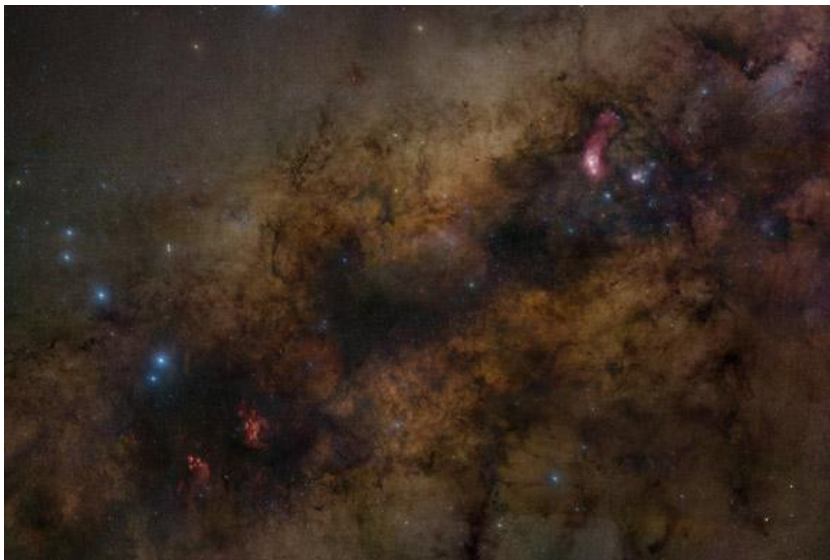
LHS 288 (Luyten 143-23)	M5.5V	13,92	15,66	0,206"	15,94
GJ 832	M3.0V	8,66	10,20	0,205"	16,08
LP 944-020	M9.0V	18,50	20,02	0,201"	16,19

A Tejútrendszer centruma

A gömbszerű, pontosabban ellipszoid alakú központ, mely 3300 fényév vastag és 20 000 fényév átmérőjű, öreg csillagokban gazdag vidék, porban és gázban szegény, nehéz megfigyelni optikai tartományban.

Galaxisunk középső vidéke a Nyilas csillagkép irányában van. A központban egy néhány millió naptömegnyi fekete lyukat sikerült azonosítani. Ez a fekete lyuk röntgen és gamma tartományban aktív. A központi fekete lyuk erősen sugároz, a felvételek a röntgen és gamma sugárzás más-más erősségét különböző színekkel érzékeltetik a galaktikus koordináták szerint, egyre nagyobb felbontásban a speciális szűrőkkel készült felvételeken.

Fekete lyukat talált a Hubble más galaxisok központjában is. Antianyag felhőt is azonosítottak a galaxis központjában. A Sagittarius –A jelenlegi elméleteink szerint erős gravitációjának ár-ápály erejével a vákuumból egy részecskepárt kelt, ezek közül az anyag részecskét elnyeli, míg az antianyag részecske elszökik, s idővel felhőt alkot a középpont körül.



33. ábra (Tejútrendszer centruma)

Galaxisunkban a központ környékén gömbhalmazok találhatók. Ezek, mint például az Omega Centauri is idős csillagokból állnak.

Az Orion kar

A centrumtól mintegy 30 ezer fényévnire található 6000 fényév átmérőjű tartomány. Az Ismert csillagképek csillagainak legtöbbje itt van. Az Orion csillagkép jellegzetes csillaga a Vörös óriás Betelgeuse, mely 100-szor nagyobb átmérőjű a Napnál. Az élete vége felé járó csillag felszínén foltok figyelhetők meg, melyek eltérő hőmérsékletű területek.

Az Orion csillagkép övét alkotó 3 csillag mintegy 1300 fényév távolságban van. Az Orion övénel található nagy kiterjedésű gázköd, mintegy 1600 fényév távolságban, ahol csillagok és naprendszerek keletkeznek. Számos többes rendszer található benne. Fiatal és forró csillagok hevítik.



34. ábra (Orion köd)

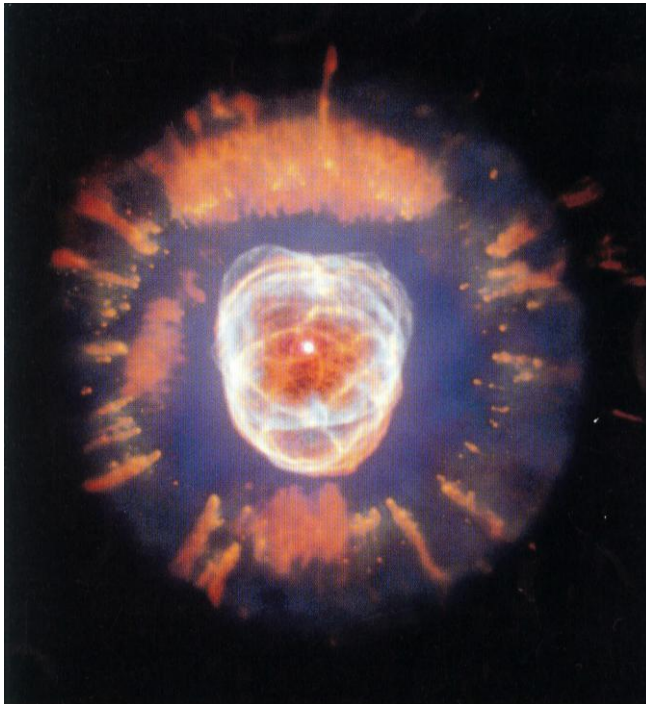
Planetáris Ködök

Mint korábban szó volt róla a Napszerű csillagok életük végén a hélium szénre fuzionálása során kitágulnak, mivel a gravitációs és sugárnyomás egyensúly megváltozik. Vörös óriássá válnak. Amikor ez a folyamat végbemegy és szénre alakul a hélium, a fúzió leáll, a gravitáció hatására a csillag magja fehér törpévé omlik össze, míg külső rétegeit ledobja. Ezekből lesznek a planetáris ködök. A Hubble számos ilyen planetáris ködöt figyel meg, melyeknek részletgazdagsága és formavilága lenyűgözte a kutatókat.

Az Eszkimó köd

Az Ikrek csillagképben található, távolsága 5000 fényév. Elnevezését annak köszönheti, hogy egy földi telepítésű távcsővel szemlélve egy szörmes eszkimócsuklyára emlékeztet a köd. Az objektumot a középpontjában lévő csillagból sugárirányban kifelé mozgó anyagból álló gyűrűk övezik. Ezek a gyűrűk mindössze néhány ezer éve váltak le a vörös óriás fázisban lévő csillagról, amely mérete miatt nem tudta megtartani külső burkait. A köd különböző kémiai

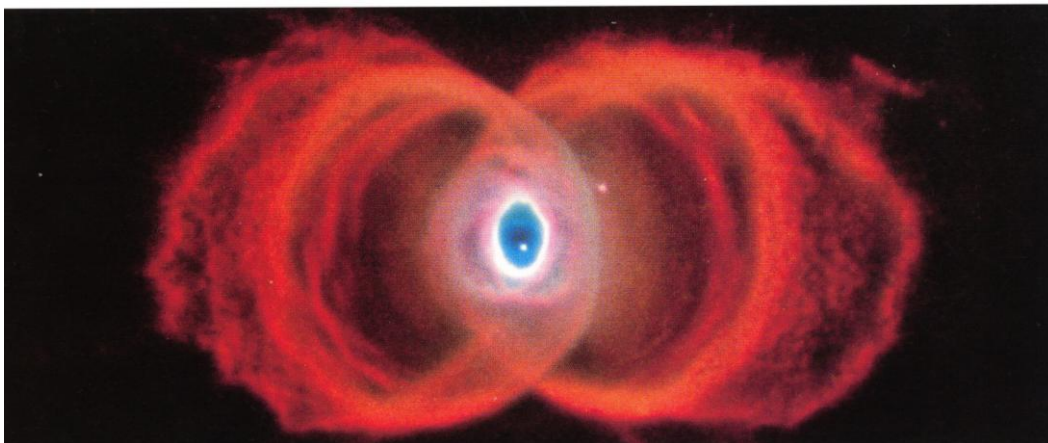
elemeit is meg tudjuk határozni: a vörös a nitrogénnek, a zöld a hidrogénnek, a kék az oxigénnek, a lila pedig a héliumnak felel meg. Buborékok és gázhéjak övezik. William Herschel fedezte fel



35. ábra (Eszkimó köd)

Homokóra köd

Egy 18 000 fényév távolságban lévő fehér törpe és a körülötte lévő gázörvény. A fehér törpecsillag nem a centrumban van, talán egy kísérője lehet, s ez okozta a bonyolult mintázatot, melyről a nevét kapta. A gáznyúlványok vörösek, a középponti vidék kék.



36. ábra (Homokóra köd)

Gyűrűsköd

A Lyra gyűrűsköd, távolsága 2000 fényév (Lant csillagkép). Központi fehér törpe csillagának a hőmérséklete 100 000 Celsius fok. Alakja valójában henger lehet, de felülnézetből látjuk.

Macskaszem köd

Egy csillag látványos halála a Sárkány csillagképben. A bonyolult mintázatok talán a gázhéjat ledobó égitest és kísérője forgásának köszönhetőek. A jelenleg ismert planetáris ködök közül ez az egyik legösszetettebb szerkezetű; a Hubble űrtávcsővel készített nagy felbontású

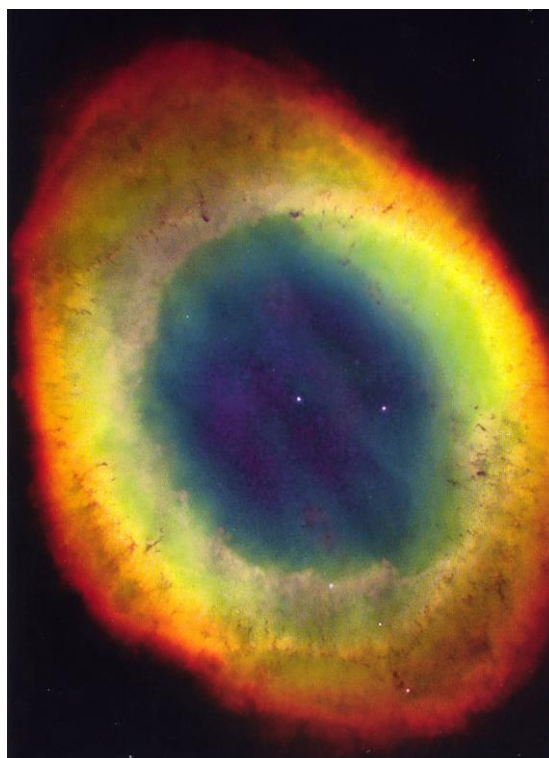
képeken különleges alakzatok, ívek, csomók és kilövellések láthatóak. Az objektummal kapcsolatban sok kérdés máig megválaszolatlan. A bonyolult szerkezetét az okozhatja, hogy a központi csillaga valójában kettőscsillag, és az általuk külön-külön ledobott gázburkok összekeveredtek. Azonban nincs rá bizonyíték, hogy a központi csillagának lenne kísérője. Az is felmerült, hogy az egyetlen csillag több – különböző kémiai összetételű, önálló – gázburkot dobott le, amelyek reakcióba léptek egymással. A köd kialakulásának pontos körülményei ismeretlenek.



37. ábra (Macskaszem köd)

Retina köd

Gáznyúlványok látványos izzása figyelhető meg a Hubble részletekben gazdag felvételén



38. ábra (Lyra gyűrűs köd)

Spirálvarázs köd

Különös hullámos szerkezet látható, mely lilás-vörös színben pompázik. A középpontban a visszamaradó fehér törpecsillag foglal helyet. A bonyolult mintázat egyelőre nem ismert, hogyan alakult ki.

A Rák köd

Mint arról szó volt, a Napnál lényegesen nagyobb tömegű csillagok magösszeomlásos szupernóvaként fejezik be életüket. A külső gázrétegeket a csillag egy nagy robbanás során ledobja magáról. A robbanáskor szétszóródnak a nehéz elemek, melyek közel 1 milliárd fokon keletkeztek. A mag összeomlása során neutroncsillag, vagy fekete lyuk keletkezik. Az 1054-ben észlelt, felrobbant szupernóva maradványa 6500 fényévnnyire a Rák csillagképben található.



39. ábra (Rák köd)

Exobolygók

A csillagközi por és gázfelhőkben nem csak magányos csillagok keletkeznek. Az anyagkorongokból, ha a feltételek kedvezőek, bolygók is létrejönnek. A kialakuló csillagokat övező anyagkorongok bolygóvá formálódása igen gyakori. Úgy sejtjük, hogy körülbelül minden ötödik csillagnak lehet bolygórendszere. Jelenlegi tudásunk szerint kettőscsillagok körül is kialakulnak bolygók. Több mint 400 exobolygót tartunk nyilván. A születő csillag körül már megjelennek a bolygócsírák. A Hubble az Orionban számtalan kialakuló csillag körül fedezett fel anyagkorongokat.

A Naprendszeren kívüli bolygók létezése sokáig csak elmélet volt. A Hubble segítségével azonban sikerült néhány exobolygót észlelni, bár nem erre tervezték. Ezek kivétel nélkül mind forró Jupiter típusú égitestek voltak. Ez azt jelenti, hogy központi csillagukhoz szokatlanul közel keringenek, néha csak néhány millió km-re, és egyben, mint nevük is mutatja gázóriások. Tömegük és összetételük a Jupiterhez hasonló, de több száz, néha 1000 Celsius fokra hevülnek fel.

PSR B1257+12 (1992.)

Az első felfedezett exobolygó-rendszer. Az 1990-ben felfedezett pulzár rádiójeleinek szabálytalanságai árulták el két bolygójának meglétét, a felfedezést 1992-ben publikálták. A kutatók számára szokatlan volt, hogy egy robbanásban elpusztult csillag maradványa körül bolygókat találtak. Valószínűleg a szupernóva robbanás után keletkeztek, azaz második generációsak.

51 Pegasi b (1995.)

Az első csillag körül felfedezett exobolygó. A főszorozati csillag körül a Merkúr pályájánál is közelebb kering forró jupiter típusú bolygója. A felfedezésre jellemző, hogy a bolygót vizsgáló amerikai csoport a Jupiterhez hasonló bolygókat keresett, 10 év körüli periódussal, és a felfedezett bolygó négy napos periódusát nem is vizsgálták, mert ezt elképzelhetetlennek tartották.

55 Cancri (1997.)

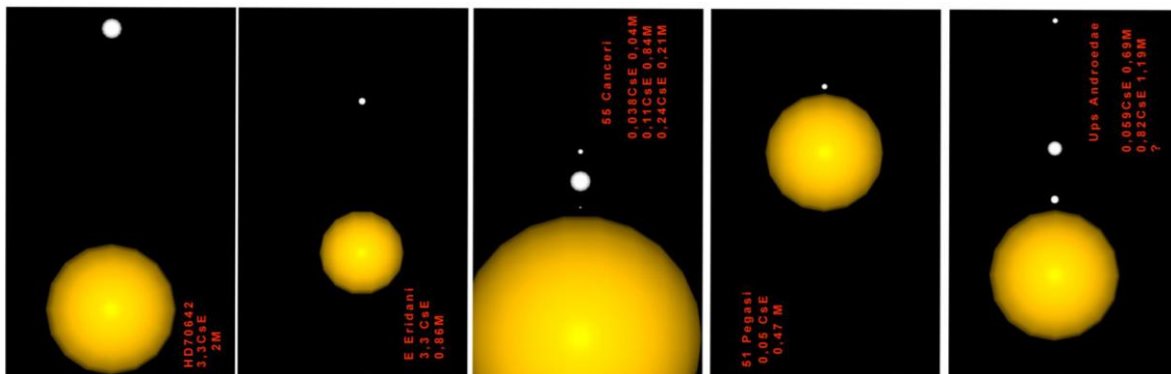
A kettőscsillag első bolygójának felfedezését számos újabb is követte, a rendszerben jelenleg öt bolygót ismerünk

HD 209458 b (1999.)

Az első fedési exobolygó, bár eredetileg a radiális sebesség-módszerrel találták meg. A fedések felfedezése erősítette meg, hogy a radiális sebesség változásáért bolygók felelősek. (A fedési módszerrel meg lehet határozni a bolygó átmérőjét, így a tömegéből átlagos sűrűségét is.) A csillagához közel lévő, mindössze 3,5 nap keringési periódusú forró jupiter a csillag erős sugárzásának hatására folyamatosan veszíti el légkörét, hidrogénburok veszi körül, emellett többek között nátriumot, elemi szenet és oxigént is kimutattak a bolygó környezetében.

υ Andromedae (1999.)

Az elsőnek felfedezett többszörös exobolygó-rendszer. Az első bolygót (υ And b) még 1996-ban, a másodikat (υ And c) és a harmadikat (υ And d) 1999-ben találták. Tömegük rendre 0,687, 1,97 és 6,83 jupitertömeg, pályájuk sugara 0,0595, 0,83 és 2,54 Csillagászati egység.



40. ábra (néhány exobolygó)

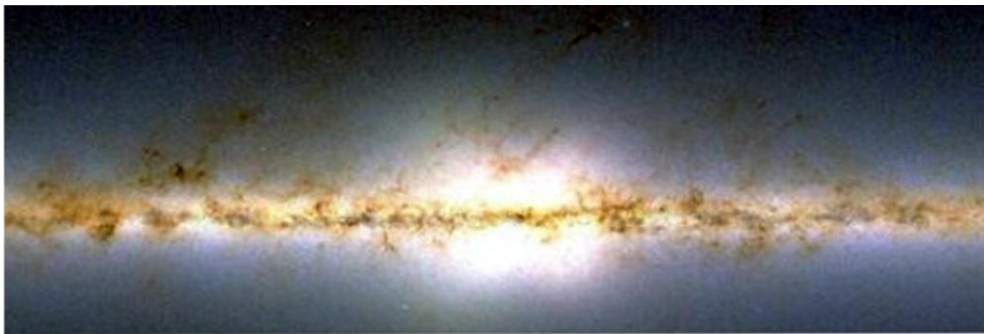
Szuperföldek

Új kategóriát alkottak a csillagászok, ez a szuperföld. Minderre azért volt szükség, mert számos olyan vélhetően kőzetekből felépülő bolygót találtak, melyek tömege és átmérője nagyobb a Földénél, de lényegesen kisebb a gázóriásokénál. Egy ilyen felfedezett bolygó például másfél földátmérőjű és 5 földtömegű.

Szilikátos és szénbolygók létezése sem kizárt. Egyes elméletek szerint, az olyan anyagkorongokban, ahol sok a szén, nem szilikátos, hanem szénbolygók keletkeznek. Ezeket metános légkör veszi körül. Belső felépítésük is lényegesen eltér a szilikátos bolygókétól.

III. Fejezet Irány a végtelen!

Egy közel fénysebességgel haladó űrhajó számára is mintegy 20 ezer év lenne szükséges, hogy elhagyja a Tejútrendszert. Visszanézve, a galaxis síkjában a gáz és porfelhők övezte központot látná. A mintegy 100 ezer fényév átmérőjű Tejútrendszer elhagyásával kilépünk az intergalaktikus térbe. Ettől kezdve a távolságok drasztikusan növekednek, a néhány ezer fényéves távolságok helyébe százezres, majd millió fényéves távolságok lépnek, míg végül 13 milliárd fényév távolságban az Univerzum általunk ismert határát rajzolják ki a legtávolabbi kvazárok.



41. ábra (a Tejútrendszer)

Az a szűkebb térrész, melybe jutunk a Tejút elhagyásával a Lokális csoportnak nevezett alakzat. Az apró törpegalaxisokat leszámítva a Lokális csoportot 3 fő galaxis alkotja: a Triangulum-galaxis, az Androméda-galaxis és a Tejútrendszer. A Lokális csoport 15 tagú, s körülbelül 4 millió fényév átmérőjű.

A legközelebbi galaxispár a mintegy 165 ezer fényévre lévő a Kis és Nagy Magellán-felhő. A Tejútrendszerhez hasonló nagy galaxisok közül a legközelebbi az Androméda-köd, valamivel több mint 2 millió fényévnire van. A Tejútrendszerrel másfélszer nagyobb spirálgalaxis. Jelenleg közeledik felénk, így feltehetőleg néhány milliárd év múlva a két galaxis bonyolult ütközése játszódik majd le. Mint említettük, néhány törpegalaxissal a Lokális csoportot alkotják. A galaxisok nem magányosak, azok csoportokba, a csoportok halmazokba, a halmazok szuperhalmazokba, a szuperhalmazok pedig falakba tömörülnek. A falak között hatalmas térségek vannak, ahol egyetlen galaxis sincs. A galaxisokban is minden bizonnyal megtalálható sötét anyag az intergalaktikus térben is megvan. Ez a rejtélyes sötét anyag igyekszik összefogni a halmazokat. A sötét anyag fényt nem nyel el és nem bocsát ki, de gravitációja van.

A Galaxisok távolságának mérése és osztályozása

A Cefeida típusú változócsillagok igen fontosak a kozmikus távolságmérésben. Maga Hubble is úgy jött rá, hogy a régebben ködöknek nevezett objektumok a galaxisunkon kívül esnek, hogy az Androméda-ködben egy cefeida változót azonosított. A cefeida változócsillagok fényességváltozásának periódusa arányban áll a tömegével és fényességével. A látszó fényesség és a tényleges (abszolút fényesség) közötti különbség alapján könnyen megbecsülhető a csillag távolsága.

Másik lehetőség a szupernóvák, mint kozmikus normálgyertyák (etalonok) használata a távolságok meghatározására. Ha egy galaxisban sikerül egy szupernóvát azonosítani, akkor az

is segít a távolságmérésben. A szupernóva fényessége ugyanis a tömeg függvénye. S így a látszó és az abszolút fényesség arányából megbecsülhető a távolsága. Az abszolút fényesség a csillagok tényleges fényességére jellemző adat távolságától függetlenül. Egy-egy szupernóva, felfénylésekor túlragyogja a galaxist, melyben található.



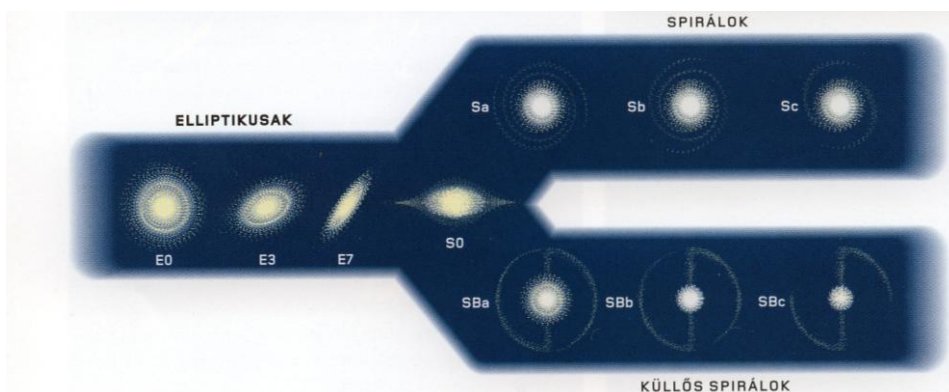
42. ábra (egy szupernóva egy galaxisban)

Ezek a távolságbecslési módszerek azonban korlátozott lehetőségek, nagyobb távolságokon már jelentős a hiba. A harmadik távolságbecslési módszer a vöröseltolódás. A galaxisok színeképét vizsgálva, mivel azok többsége távolodik, a vöröseltolódás mértékéből megmondható azok távolsága. A Távolodó galaxisok spektrumában ugyanis a Doppler-hatáshoz hasonlóan a színeképvonalak hullámhossza a vörös felé mozdul el.

Az 1920-as években Hubble felfedezte, hogy csaknem minden galaxis távolodik tőlünk. Ez a felfedezés lett az

ősröbbanás alapja. Hubble, vizsgálatai során arra is rájött, hogy minél messzebb van egy galaxis, annál nagyobb sebességgel távolodik tőlünk. Így fel lehet állítani egy összefüggést. A távolodás sebességét a $V=H \times R$ képlet segítségével számolhatjuk, ahol V a távolodási sebesség, H a Hubble-állandó, R a galaxis távolsága. A Hubble-állandó értékére nincs pontos számunk. 50-80 km/s/megaparsec (1 megaparsec 3,26 millió fényév) közötti érték. Így egy tőlünk 10 milliárd fényév távolságban lévő galaxis már majdnem fénysebességgel távolodik.

Ahhoz, hogy alakjuk alapján eligazodjunk a galaxisok sokasága között, meg kell ismerkednünk az Edwin Hubble által kidolgozott galaxisok osztályozási rendszerével. E szerint vannak elliptikus, spirális és horgas, vagy másként küllös spirál galaxisok. A szabálytalan galaxisokat, mint például a Magellán-felhők, nem osztályozzuk.



43. ábra (Hubble hangvillája)

A Lokális csoporton túlra tekintve

A Lokális csoport tagja a mintegy 6000 tagot számláló Virgo halmaznak, mely több más halmazzal együtt a Virgo-Coma szuperhalmazt alkotja. A Lokális csoport az ugyancsak a

Virgo halmazhoz tartozó M87 felé zuhan, aminek a központjában egy 3 milliárd naptömegnyi fekete lyuk van. A sötét anyag ilyen léptékben már jól kimutatható. Egy nagy mozgatonak nevezett sötét anyagfelhő igyekszik egyben tartani a Virgo-Coma szuperhalmazt. A tágulás azonban néhány százmillió fényéves távolságon túl már erősen érzékelhető. A halmaz központja mintegy 280 millió fényévnire van.

A nagy mozgatonak is nevezett sötét anyagkoncentráció hatása jól kirajzolódik a galaxisok eloszlásán. Senki sem tudja miből áll a sötét anyag, talán neutrínókból, vagy egy különleges, WIMP-eknek nevezett egzotikus részecskefajtából. Akármiből is áll, jelenlétére ilyen léptékben már jól következtethetünk, amint gravitációjával a galaxisokra hat



A Nagymedve csillagkép egy galaxisa, mely élével fordul felénk. Jól látható a sötét porsáv. A Hubble felvételein a felénk forduló galaxisokban szépen kirajzolódnak a spirálkarok.

44. ábra (galaxis a Nagy Medvében)



45. ábra (az Övény köd)

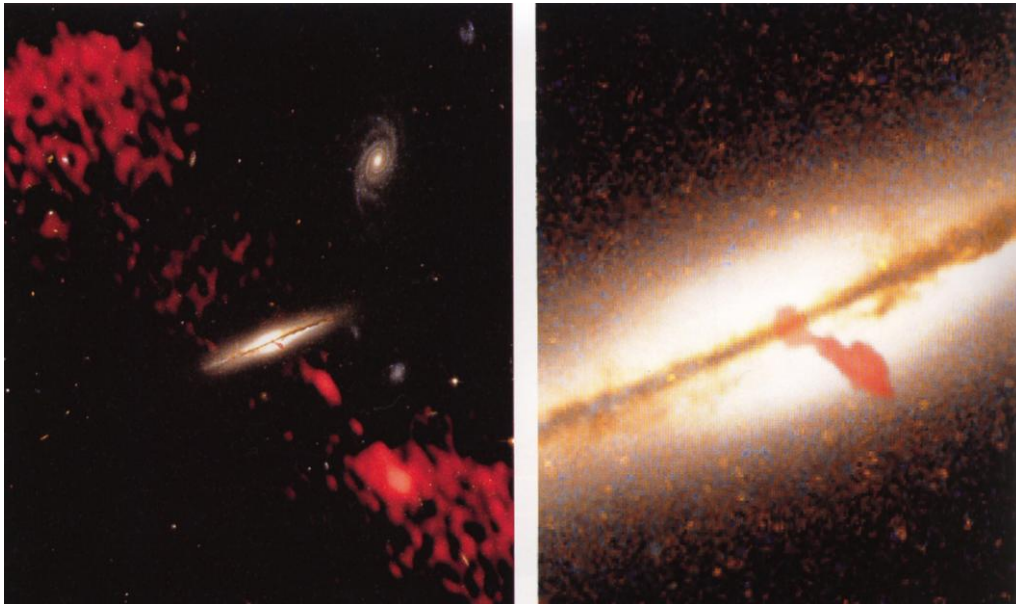
A Vadászebek csillagképben található Örvény ködöt felülről látjuk. Így rálátunk a spirálkarokra. Távolsága 37 millió fényév. Benne heves csillagkeletkezés zajlik. A sok vörös a hidrogénre utal.

A Hubble segítségével sikerült megörökíteni az egyébként nem ritka jelenséget, két galaxis ütközését. Ilyenkor a gravitáció dominál. A galaxisok központi fekete lyukai igyekeznek összeolvadni, míg a spirálkarok felkavarodnak, és néhány csillag akár ki is dobódhat. Néhány milliárd év múlva a Tejút Rendszer és az Androméda galaxis között is hasonló kölcsönhatás zajlik majd le.

Aktív galaxisok

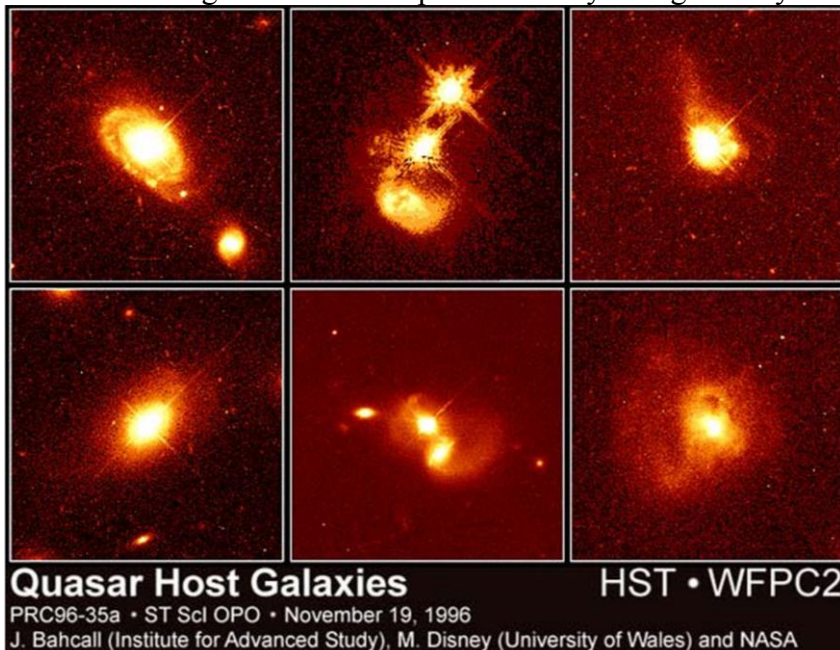
A Hubble számos aktív galaxist fényképezett le. A Centaurus-A nagyméretű rádiógalaxis kb. 15 millió fényévre. A galaxisról elsőként derítették ki erőteljes rádiósugárzását. A speciális

szűrővel készült felvételen jól látható, amint a Centaurus-A központjából anyagkilövellés történik. A központi fekete lyukak erős röntgen és gammakitöréseket produkálnak. Az ilyen galaxis központjában fekete lyuk van. Minél fiatalabb egy galaxis annál aktívabb. Márpedig távolra tekintve a galaxisokat fiatalkori állapotukban látjuk, hiszen a fénynek időre van szüksége, míg ide ér. A Szivar-galaxis egy spirális galaxis, melyben anyag kidobását sikerült megörökíteni. Jól látható a sűrű központi tartomány, a forrongó centrum, a heves kitörések a középpontban. Az erős vörös árnyalat a hidrogén.



46. ábra (a Szivar galaxis)

A legtávolabbi objektumok, az úgynevezett kvazárok, azaz kvázi sztelláris, csillagszerű objektumok. Mivel csak a fényes mag látszik, sokáig azt hitték, hogy csillagok, de amikor megmérték a vöröseltolódásukat, kiderült: több milliárd fényévyire vannak. Így tehát a kvazárok aktív galaxisok. A központi fekete lyuk sugároz olyan erősen.



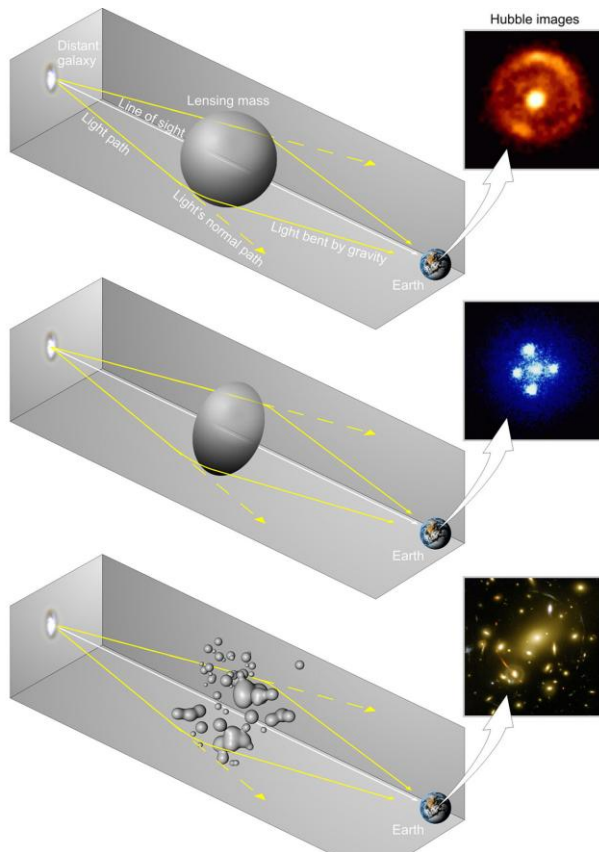
46. ábra (kvazárok)

A központi fekete lyuk sok táplálékot kap, mivel a galaxis még fiatal, így erősen sugároz a galaxis centruma. A Hubble felvételein látható, amint a centrumban lévő fekete lyuk maga köré akkréciós, azaz anyagbefogási korongot gyűjt. A fekete lyukba hulló anyag iszonyatosan

felhevül, miközben a pólusok mentén a mágneses erővonalak irányában Jet-ek lövellnek ki, majdnem fénysebességre gyorsítva az anyagot.

Kozmikus délibábok

A Hubble számos érdekes felvételt készített, melyeken tükörképek és eltorzult alakzatok találhatók. Ezek mind az ún. gravitációs lencsehatás következményei.



Többszörös tükörképek láthatók, melyek távoli galaxisoké. A gravitációs lencsehatásnak az oka az Einstein általános relativitás elméletében megjósolt fényelhajlás. Nagy tömegek, például galaxisok ugyanis eltérítik, elgömbítik a fényt. A gravitációs lencsehatás következtében eltorzul a távoli galaxisok képe, olyan mintha egy valódi lencse torzítaná azt el. Számos gravitációs lencsetípus létezik, s az ezek által okozott képek is mások. Vannak gömbszerű objektumok, amelyek gyűrűt alkotnak, lencseszerű objektumok, például galaxisok, amelyek négyszeres tükröződést, míg a szórt tömegek kozmikus délibábot eredményeznek. Egy különös jelenséget sikerült nemrégiben megfigyelni: az Einstein-gyűrűt, ami a gravitációs lencsehatás során létrejött délibáb.

47. ábra (gravitációs lencsetípusok)

Az Univerzum

A Hubble mélyég felvételein az űr mélye látható. A 100 milliárd galaxis halmazokat és szuperhalmazokat alkot, tehát úgy tűnik, nem egyenletesen tölti ki a teret. Mégis az a megfigyelés, amelyet a világegyetem homogenitásának és izotropiájának nevezünk, igaznak bizonyul, hiszen akármerre nézünk is, mindenütt galaxisokat látunk, mint egyenletesen és véletlenszerűen szerteszórt homokszemeket.

Az elmélet és a becslések szerint az általunk belátható világegyetem összetételének alig 1%-a csillagok, galaxisok (bár mostanában már azt mondják, hogy a 100 milliárd galaxis alulbecsült, ennek 10-szerese is lehet), valamint por és gáz. A Barionos anyag, mint például a proton, neutron alig 4%. A sötét anyag 20% feletti, míg a sötét energia, amiről semmit nem tudunk, körülbelül 75 %-át alkothatja a belátható univerzumnak.



48. ábra (az űr mélye)

A kozmológiai modellek már az ókori népeknél megjelentek. Mindenhol megvolt a világ és az Univerzum keletkezésének magyarázata. A tudományban sokáig az állandó állapot elve uralkodott, azaz az Univerzum öröktől fogva létezik, és változatlan. Hubble, amikor felfedezte a galaxisok távolodását, újabb bizonyíték szólt az ősrobbanás modellje mellett. Az ősrobbanás elmélete gyökeres fordulatot hozott. E szerint az univerzumot uraló állapotok, és az a 100 milliárd galaxis, amit látunk, mintegy 13,7 milliárd éve egy proton méretű objektum máig tartó tágulásával jött létre.

Amint egyre távolabbra tekintünk a Hubble segítségével, egyre régebbre nézünk vissza, hisz az a fény, amit most látunk, több milliárd évvel ezelőtt indult el. Az Univerzum kora 13,7 milliárd év. Visszatekintve, látjuk az első galaxisokat, csillagokat, amint véget ér a sötét korszak, még visszább tekintve a forró gázt, a Világegyetem sötét korszakát, míg végül elérkezünk az ősrobbanás utáni 300 ezredik évhez. Ennél régebbre nem láthatunk, mert korábban átlátszatlan volt az Univerzum. Csak a mikrohullámú háttérsugárzást figyelhetjük meg. Az ősrobbanást nem észlelhetjük közvetlenül. Gravitációs hullámok segítségével igyekszünk megpillantani.

Olbers Paradoxona

Az ősrobbanás modell előtt, de az extragalaxisok felfedezése után újra felvetették, ha az Univerzum végtelen térben és időben, akkor végtelen sok csillagnak kell lenni, bármerre nézünk is. Az éjszakai égboltnak éppen olyan fényesnek kellene lennie, mint nappal. Ellenben éjszaka mégis sötét van. Ma már úgy sejtjük, az Univerzum az infláció (hirtelen gyorsuló tágulás) elmélet szerint gigantikusan nagyra nőhetett, mégis ebből csak töredékét tudjuk megfigyelni. Azonban ebben a véges térrészben nincs annyi csillag, hogy éjszaka világos legyen. Másrészt az Univerzum fiatal kora miatt egy tőlünk nagyon messze lévő galaxis fénye még ide sem ért. Harmadrészt, 3 Kelvinen az égbolt ragyog, szinte izzik, ez az ősrobbanás „izzása”.



49. ábra (az égbolt 3K-en)

Penzias és Wilson fedezte fel a mikrohullámú háttérsugárzást, az ősrobbanás maradványát. Később a COBE és MAP műhold felvételein jól láthatók a sugárzás apró egyenetlenségei, melyek helyi anyagsűrűsödések a fiatal univerzumban. A mikrohullámú háttérsugárzás és Hubble törvénye a forró kezdet mellett érvelnek. A fenti műholdak felvételein a háttérsugárzás térbeli erősségének megoszlását látjuk. A háttérsugárzás akkor keletkezett, amikor a részecskék az antirészecskéjükkel ütközve sugárzássá alakultak át, az Univerzum tágulása miatt pedig a sugárzás hullámhossza megnyúlt, ezért ma már a mikrohullámú tartományba esik.

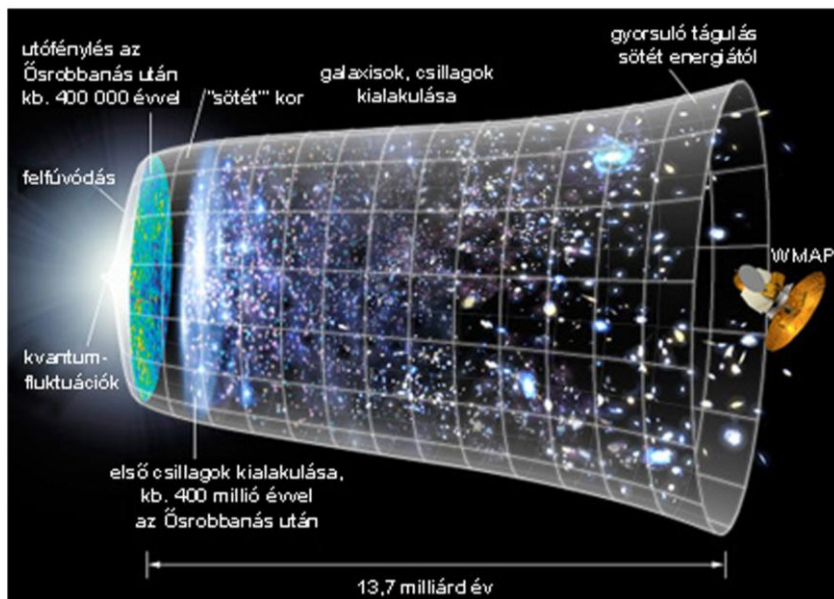
Az ősrobbanás

Ha gondolatban a távolodást megfordítjuk, az elméletből azt kapjuk, hogy minden ismert galaxis valamikor egy pontba volt összesűrűsödve. Ez a szingularitás, vagyis egy olyan egyedi pont, amely végtelenül sűrű és végtelenül forró - mondják a matematikai modellek. Valójában azonban ez lehetetlen, mert végtelen nagy sűrűség, nyomás, hőmérséklet eleve nem létezhet. Az ősrobbanás tulajdonképpen nem robbanás volt, hanem egy tágulási folyamat kezdete. A tér tágul. Ez ahhoz hasonlítható, amikor egy gumilepedőt nyújtunk. A tágulás eredményeként hűlni kezdett az eleinte forró univerzum. Nincs kitüntetett centrum, minden egyes galaxis távolodik a másiktól. Ezt csupán a halmazokon belül mérsékli, vagy ellensúlyozza a gravitáció, de százmillió fényéves nagyságrendben már egyértelmű a tágulás. Mértéke a távolsággal arányos, melyet Hubble fedezett fel.

Univerzum, illetve Világegyetem alatt értjük mindazt, amit ma ismerünk. Ennek kezdete a fizikai értelemben vett szingularitás. Amit ma ismerünk a világból, minden egy protonnyi méretű világegyetemig vezethető vissza.

Az elméletből kiszámolható matematikai szingularitás időpontja utáni időpontokban a következő események zajlottak le:

10^{-43} sec, megkezdődik a tágulás, 10^{32} Celsius fok a hőmérséklete. Ekkor egyetlen erő, egyetlen részecske volt. 10^{-35} sec és 10^{-12} sec között a 4 természeti erő, az erős, a gyenge, az elektromágneses, a gravitációs kölcsönhatás kialakulása. Rohamos tágulás jellemzi, 10^{90} -szeresére nő a térfogata, a kezdetben proton méretű Univerzumnak. A tágulás kisíttja és eloszlatja a kezdeti egyenetlenségeket, ezért ma homogénnek és izotrópnak érzékeljük a világegyetemet.



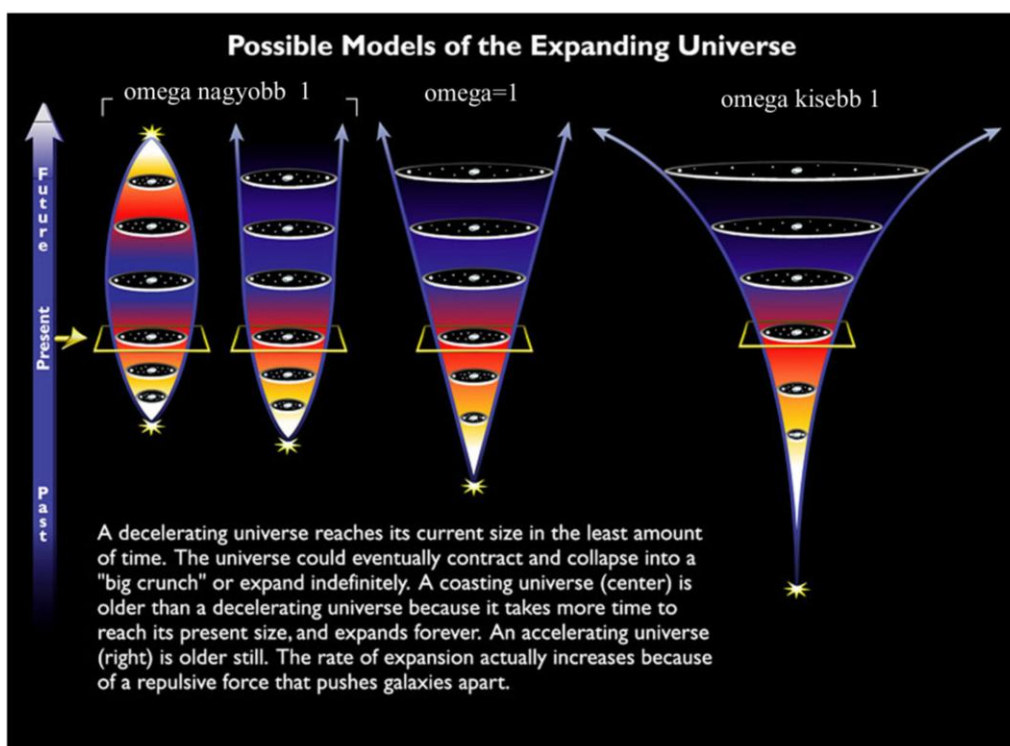
50. ábra (fejlődés)

A sugárzásból anyag és antianyag részecskék jöttek létre. Azonban világunkban több anyagrészecske keletkezett, mint antianyag, ezért az anyag egy része megmarad, a többi antirészecskéjével ütközve szétsugárzódott. A megmaradó anyag kvark-gluon plazma. A hűlés és a tágulás során protonokká és neutronokká állt össze. 300 ezredik év az

átlátszóság kezdete, az atomok létrejötte. Megkezdődik a galaxisok és csillagok kialakulása

Fejlődési modellek

Az Univerzum jövője, azaz további fejlődése a benne lévő anyagtól függ. Ennek a kritikus anyagsűrűségnek jellemzője az Omega. Ha az Omega nagyobb mint 1, akkor zárt Univerzumban élünk, azaz a tágulás megáll, és győz a gravitáció, megkezdődik az összehúzódás, hogy új Univerzum születhessen. Ha az Omega nem nagyobb mint 1, abban az esetben nyílt, azaz a tágulás sosem áll meg. Ha az $\Omega=1$ akkor euklideszi. $\Omega=2q_0+2/3\lambda c^2/H_0$ ahol q lassulási paraméter, λ a kozmológiai állandó, c pedig a fénysebesség, míg H a Hubble állandó. Tehát összegezve: ha az omega nagyobb mint 1, akkor a tágulást összehúzódás követi, végül minden egy fizikai pontban egyesül. Ha az $\Omega=1$, az univerzum tágul ugyan, de a tágulás lassul. Ha az Omega kisebb, mint 1 akkor gyorsulva tágul. Ma úgy tűnik, ezt tapasztaljuk. Ez utóbbi esetben a tér tágulása végül szétszakítja az Univerzumot, az elmélet szerint szétesnek az atommagok is.



51. ábra (fejlődési modellek)

Az Einstein–Rosen híd és minden egyéb

Már az ősrobbanás korai szakaszában kialakulhattak fekete lyukak a helyi sűrűsödésekből. Ezek a tágulás során megnyúlhattak és mára Kozmikus húrokat alkottak.

Az Univerzumban ma nem érzékelünk térgörbületet nagyléptékben, de ez adódhat abból, hogy a felfűvódás olyan hatalmasra növelte világunkat, hogy amit mi ebből belátunk, az töredéke csupán, s valójában az egész görbült, de azt a kis részt, amit ismerünk, ebből adódóan euklédészinek érzékeljük. Egyes modellszámítások szerint az egész Univerzum olyan roppant nagy, hogy úgy aránylik az általunk belátható rész a teljeshez, mint egy gombostűfej a Föld méretéhez. Ebből adódik, hogy nagyon keveset tudunk. Ha sikerülne eljutnunk az Univerzumunk horizontjára, akkor hirtelen újabb és újabb galaxisok tárulnának fel. Meglehet, ha Omega értéke megfelelő, hogy akkor egy görbült világban élünk, melyben egy fénysugár nagyon-nagyon hosszú idő elteltével visszaérkezne oda, ahonnan elindult, anélkül, hogy irányt váltana, azaz mindig egyenes vonalban haladna.

Felvetődik annak kérdése is, hogy miért volt ősrobbanás. Erre a legújabb elméletek adhatnak magyarázatot. Ezekben (húr és bránelmélet) a téridő valójában 4 rendes és további 6 extradimenzióból áll, melyek azonban fel vannak tekeredve, így érzékelhetetlenek jelenleg, csak nagyon kis méretekben (Planck hossz) és nagy nagyítással vennénk észre őket. E szerint az Univerzum egy brán világ, mely az extradimenziók összeomlása, vagy egy másik bránnal való ütközés miatt kezdett el tágulni. A legújabb elméletek egyenesen azt állítják (persze bizonyítva nincs), hogy Univerzumunk egy féregjárat vége, azaz egy fekete lyukban élünk. Az egyik szája egy másik univerzumban lévő fekete lyuk, a táguló rész, melyben élünk pedig egy fehér lyuk. Ez az elmélet sok mindent magyaráz, többek között a kölcsönhatások közötti ellentmondásokat. A Multiverzum elméletek egyenesen azt állítják, hogy számtalan különféle világegyetem létezik.

Bizonyos elméletek szerint léteznie kell negatív energiasűrűségű anyagnak. A normál anyag pozitív energiasűrűségű és gravitációja van. Ezzel szemben a negatív energiasűrűség antigravitációval párosulna. Az antigravitáció is magyarázatot adhat az Univerzum gyorsuló tágulására.

A féregjáratok olyan téridőgörbületek, melyek átjáróként szolgálhatnak a tér távoli pontjai között. Azonban aki térben utazik, időben is, hiszen téridőről van szó. Kip Thorne szerint a féregjárat alkalmas lehet egyfajta időutazásra is. Ő zárt időszerű görbékről beszél, ahol a foton olyan pályára áll a téridőben, mely önmagában záródik. A merészebb elméletek Hawking és Thorn munkásságára alapozva lehetségesnek tartják az időutazást is a múltba. Ekkor azonban paradoxonok lépnek fel, melyek a világvonalak megszakadásával is járhatnak. A józanabb tudósok körében elfogadott, hogy a világvonalak nem szakadhatnak meg. (az időben visszautazva nem változtathatunk a múltban) Egy kivétel van, ha a világvonalak pontosan az időutazás miatt önmagukba záródnak, azaz valami egyben oka és okozata is önmagának. Hogy világos legyen, álljon itt két példa: Valaki épít egy időgépet, mert meghal egy szerette balesetben, s ezt szeretné megakadályozni. Ha terve sikerülne, megváltozna a múlt, és sohasem építené meg az időgépet. A világvonal tehát megszakad. Képzeljük el viszont, hogy valaki talál egy régészeti ásatáson egy csontváz mellett egy videokamerát (!), ez arra inspirálja, hogy belépjen egy időutazással foglalkozó projektbe. Ő maga visszautazik a múltba, s magával visz egy kamerát is. Tehát ő az, akit megtalálnak, de akkor még ezt nem tudta. Mégis arra inspirálja, hogy belépjen a projektbe. Tehát ez az ok önmaga. Ok és okozat ugyanaz. A világvonalak nem sérülnek, hanem önmagukba záródnak, hurkot alkotnak, ahogy Thorn is mondja.

Természetesen mindezek elméletek, melyek nem bizonyítottak. Ha létezik is a matematikai egyenletekből következő és a fizika által megengedett időutazás, az nagyon hosszú ideig

elérhetetlen lesz számunkra. Csak rendkívül nagy energiák és nagy tértartományok világában működőképes. A féregjárat eredendően instabil, azon legfeljebb elemi részecskék jutnak át.

Kislexikon

Abszlút fényesség: az a fényesség, amilyenek a csillagot 10 parsec (32,6 fényév) távolságból látnánk.

Aktív galaxis: rengeteg energiát kibocsátó galaxis, az energia forrása feltételezések szerint a középpontban lévő fekete lyuk(lyukak) lehet(hetnek).

Antianyag: a közönséges elemi részecskék ellentétes töltésű párjából felépülő anyag.

Aphelium: bolygók, üstökösök pályájának Naptól való legnagyobb távolsága.

Bolygó: a Nap körül keringő nagy égitest. Más csillagoknak is vannak bolygóik, ezeket exobolygóknak hívjuk.

Cefeida: a változócsillagok egyik, fényességét rövid periódussal, szabályosan változtató típusa. Jól használható az extragalaxisok távolságának meghatározásához.

Elfajult anyag: az anyag rendkívüli mértékben összepréselt állapota, amely a fehér törpékben és a neutroncsillagokban fordul elő.

Excentricitás: a pálya kör alaktól való eltérésének mértéke.

Fényességetalon: mindazon égitestek, amelyeket a csillagászok fel tudnak használni a galaxisok távolságának becslésére.

Fényév: a fénysugár által egy év alatt megtett út, mintegy 9,5 billió km.

Fénysebesség: a fény és az összes többi elektromágneses sugárzás terjedési sebessége. Vákuumban csaknem 300 ezer km/sec.

Foton: az elektromágneses sugárzás részecskéje

Gammasugárzás: az elektromágneses sugárzás egyik fajtája, ennek legrövidebb hullámhossza és legnagyobb energiája.

Globula: kicsi, sötét, nagyrészt gömbölyű gáz és porfelhő.

Köd: csillagközi térben lévő gáz és porfelhő.

Luminozits: a sugárzó test által időegység alatt kibocsátott energia mennyisége. A csillagok luminozitásának összehasonlításakor általában a Nap luminozitását tekintik egy egységnyinek.

Magnitúdó: a fényesség mértékegysége a csillagászatban, minél halványabb az objektum, annál nagyobb a magnitúdó számértéke.

Mira változó: a Mira Cetihez hasonló típusú változócsillag, mely hosszú periódussal változtatja fényességét. Maga a Mira 11 hónapos periódusú fényváltozást mutat.

Napszél: elektromosan töltött részecskék állandó kiáramlása a Napból.

Parsec: a csillagászatban használatos távolságegység, egy parsec körülbelül 3,26 fényév.

Perihelium: egy üstökös, bolygó elliptikus pályájának Naphoz legközelebbi pontja.

Precesszió: a Föld tengelyének lassú, periodikus elmozdulása a Nap, Hold, és a bolygók tömegvonzása miatt.

Reflexiós köd: por és gáz alkotta köd, mely látható, mivel visszaveri a környező csillagok fényét.

Sötét anyag: az a láthatatlan anyag, mely a feltételezések szerint a Világegyetem tömegének kb. 25%-át alkotja.

Szingularitás: matematikai pont, ahol a fizika törvényei nem állnak fent.

Tömegbefogási (akkréciós) korong: az újszülött csillagokat és a fekete lyukakat körülvevő, gázból és porból álló anyagkorong.

WIMP: a sötét anyag egyik feltételezett fajtája, a gyengén kölcsönható, nagy tömegű részecskék angol elnevezéséből alkotott betűszó.

Képek jegyzéke:

Valamennyi kép az ESA és a NASA, valamint a Hubble űrtávcső hivatalos honlapjáról került letöltésre. A képek szabadon felhasználhatók.