

A Kék Bolygó és útitársa - csillagászati alapok  
mindenkinek



Szerző: E. Kovács Zoltán

Cikkünkben néhány csillagászati alapfogalmat elevenítünk fel, különös tekintettel a Föld és Hold kapcsolatára. Egyúttal a fogyatkozások égimechanikájába is betekintést nyerhetünk.

**A Hold távolsága:** 30 Föld-átmérő. Megteszi a fény 1,28 sec alatt.

**A Nap mérete:** 100 Föld-átmérő. (Bőven beleférne a Holdnak a pályája!)

**Nap-Föld távolság:** 1 CsE = 100 Nap-átmérő = 10000 Föld-átmérő. Megteszi a fény 8,3 min alatt. (Ha lekicsinyítve a planetárium kupolája volna a "Nap", akkor a "Föld" egy alma, a "Hold" meg - tőle kb. 2,5 m-re - egy cseresznye lenne a városközpontban, majdnem 1 km-re a planitól.)

**Nap-Plútó átlagos távolság:** 40 CsE\*. Megteszi a fény 5,5 h alatt. (Ha a pláni kupolája volna a "Nap", akkor a "Plútó" még a "Hold" cseresznyéjétől is kisebb lenne, de több mint 30 km-re.)

**Szomszéd csillag (alfa Centauri) távolsága:** több mint 4 fényév\*\*: megteszi a fény több mint 4 év alatt. (3 csillag: 2 Nap-szerű és 1 vörös törpe. Ha a "Nap" mákszemnyi, akkor az "alfa Centauri" tőle 40 km-re 2 mákszem és 1 porszem lenne.)

**A Tejútrendszer mérete:** több mint 100000 fényév: befutná a fény több mint 100000 év alatt.

**Ma ismert legtávolabbi galaxis távolsága:** több mint 10 milliárd fényév: megteszi a fény/rádiósugárzás több mint 10 milliárd év alatt.

\* 1 CsE (1 CSILLAGÁSZATI EGYSEG): 149,6 millió km, a Föld-pálya fél nagytengelye. A Föld olyan "enyhe" ellipszis pályán kering a Nap körül, amely majdnem tökéletes kör! (Télen 5 millió km-rel közelebb vagyunk a Naphoz, mint nyáron, ám ez a különbség elenyésző a Föld-pálya majdnem 300 millió km átmérőjéhez képest!)

\*\* 1 fényév: távolság, amit a fény (299792,5 km/sec sebességgel) 1 év (= 31556925,9747 sec) alatt megtesz. (Mintegy 9,5 billió, kerekítve: 10000000000000 km.)

A **Hold nagysága** kb. 1/4-e, a **tömege** majdnem 1/80 része a Földének, ezért nem bírt légkört megtartani. **A Holdon a súlyunk 1/6-a lenne az itteninek.** Nappal fölmelegedhet 130 oC-ra, éjszaka le tud hűlni -100 oC alá, ugyanis 2 hétig van rajta nappal, s 2 hétig éjszaka. A csillagokhoz képest a forgásideje, ugyanannyi, mint a Föld körüli keringési ideje, azaz *kötött keringést* végez: mindig ugyanazt a felét fordítja a Föld felé, így a Hold felszínéről (a tőlünk látható oldaláról, egy adott helyről) a Föld mindig ugyanabban az irányban látszik a látóhatár (*horizont*) fölött.

**Holdfázisok** (félhold, telihold, stb.)

A Nap a Holdnak (is) mindig csak az egyik felét világítja meg. Ezt mi mindig más irányból nézzük: teliholdkor a napsütötte oldalát teljesen látjuk, de első negyed és utolsó negyed

idején oldalról világítja meg a Nap, újholdkor pedig az árnyékos oldalt nem látjuk.

### **Fogyatkozások**

A Föld és a Hold pályasíkja 50-os szöveget zárnak be egymással, ezért nem minden újholdkor és teliholdkor kerül a Nap meg ez a két égitest pontosan egy egyenesbe. Csak amikor a két sík metszéspontjában van a Nap - lényegében félévente -, következhet be, hogy újholdkor a Hold árnyéka rávetítődik a Föld felszínének egy kis részére (ahonnan napfogyatkozást látni), vagy teliholdkor a Hold "belemászik" a Föld árnyékába (holdfogyatkozás - mindenünnen megfigyelhető a Földről, ahonnan a Hold látszik).

### **Árapály**

A Holddal ellentétes oldalon is van dagály (sőt még a szárazföld is naponta kétszer megemelkedik és visszasüllyed 3 dm-nyit!). A Föld-Hold rendszer közös tömegközéppontja 2/3 Föld-sugárra van a bolygó közepétől, ami körül a Föld is "ringlispilezik".

### **A Föld forgása**

Az Északi Sarkon függőleges tengely körül vízszintesen forgunk balra: az égitestek lemaradnak jobbra, mint a buszból nézve a fák az út szélén. (A távolabbiak lassabban maradnak le, sőt "jön velünk a Hold": olyan messze van, hogy észre sem vesszük a lemaradását.) Az Egyenlítő síkja itt vízszintes. Csak 1 csillag kel/nyugszik: a Nap, a többiek vagy mindig a horizont fölött maradnak, vagy mindig alatta.

Az Egyenlítőn vízszintes észak-déli irányú tengely körül forog a Föld nyugatról keletre, s ahogy hátrafelé lemarad a környező világ, keleten függőlegesen kel föl minden, s nyugaton függőlegesen nyugszik le. Az Egyenlítő síkja függőleges. Minden csillag kel/nyugszik. Hazánk az Északi Sark és az Egyenlítő között nagyjából a felénél helyezkedik el a Földön, tehát tőlünk nézve a Föld forgástengelye és az Egyenlítő síkja is ferdén áll, s így ferdén kelnek föl és ferdén nyugszanak le az égitestek. A forgástengely irányának a horizont fölötti magassága (minden északi földrajzi szélességen) egyenlő az adott *phi* földrajzi szélességgel. A Sarkcsillag körüli *phi* szögön belül lévő - ún. *cirkumpoláris* - csillagok (pl. Nagygyöncöl, Kisgyöncöl, Cassiopeia csillagai) soha nem mennek a horizont alá, ezért minden derült éjjel megfigyelhetők (csak mindig más felé).

### **A Föld keringése**

A Nap irányában - a nappali égen - nem látszanak szabad szemmel más csillagok - mindig ellentétes irányban - az éjszakai égbolton -, s ez az irány egy év alatt "körbemászik" az égen (a Föld pályasíkjában: az *ekliptikán*).

Ahogy a forgás miatt (minthogy "utazunk" a Földdel kelet felé, s minden lemarad hátra) 1 nap alatt körbefordulni látszik az égbolt, ugyanígy a keringés miatt is (minthogy "utazunk" a Földdel a Nap körül - ugyanabba az irányba amerre forgunk - és emmiatt is hátrafelé, azaz:) nyugat felé szintén lemaradni látszanak a csillagok, persze lassabban: 1 év alatt "fordul körbe" a csillagos ég. (Ha minden este ugyanakkor figyeljük, tapasztalhatjuk ezt a lassú lemaradást, vagyis a Föld keringését.)

Ezért különböző évszakokban más-más jellegzetes csillagképek figyelhetők meg.

**Tengelyferdeség:** a forgástengely mostanában majdnem a Sarkcsillag felé mutat, nem merőleges az ekliptikára (66,5 o), ezért azzal a Föld egyenlítőjének a síkja (*Égi Egyenlítő*) is szöveget (23,5 o) zár be. (Az irány 26000 évenként - bűgöcsigaszerűen, kúp alkotójaként - köröz az égen: precesszió.)

A Föld megtartja a tengelyferdeségét egy kerítés során. Közben a forgástengely - és (mivel a csillagok irtózatosan messze vannak, ezért) a Sarkcsillag iránya is - önmagával párhuzamosan

tolódik el.

Amikor az északi félteke fordul jobban a Nap felé, vagyis hazánk a Nap felé "hajol", tőlünk a Nap magasan látszik délben: jól tud melegíteni - nyár van.

Amikor - fél évvel később, midőn a Föld a Nap túloldalán van -, a déli félteke fordul jobban a Nap felé, vagyis hazánk "elhajol" a Naptól, tőlünk a Nap alacsonyan látszik délben: nem tud jól melegíteni - tél van. Argentínában viszont nyár! (Az északi és a déli féltekén pont fordítva váltakoznak az évszakok.)

Az Északi Sarkon a tavaszi napéjegyenlőség idején az *Égi Egyenlítőn* (a *tavaszpont* irányában) lévő Nap lassan fölkel, miközben - a forgás miatt - jócskán lemarad jobbra.

Naponta "körbejár" a horizont mentén. Egyidejűleg - a keringés folytán - arrébb "mászik" az *ekliptikán* és így a nyári napfordulóig egyre magasabbra spirálozik. Az őszi napéjegyenlőség idejére visszakerül az *Égi Egyenlítőre* (*őszpont*), s megint a horizonton "megy" körbe, mialatt lenyugszik. Megkezdődik a féléves éjszaka. Ám addig is hiába süt a Nap fél éven át egyfolytában: mindig alacsonyan van (max. 23,5 o) - nem tud jól melegíteni.

Ezzel szemben az Egyenlítőn délben mindig (ha nálunk tél van, ott akkor is) magasról tűz a Nap!

Hazánkból a téli napforduló idején még délben is olyan alacsonyan van a Nap, mint ahogyan az Északi Sarkon is szokott lenni, a nyári napforduló idején pedig olyan magasan, mint ahogyan az Egyenlítőn is szokott lenni. Ekkor a keleti/nyugati iránytól jóval délebbre, ill. északabbra kel/nyugszik (s ezért a nappalok kb. kétszerre rövidebbek, ill. hosszabbak, mint az éjszakák), csak a napéjegyenlőségek idején teszi azt pontosan keleten/nyugaton (amikor 12-12 órát tartózkodik a látóhatár fölött-alatt).

Tökéletes naptár nem készíthető, így e jelenségek dátumai sem esnek mindig ugyanarra a napra!

## Üstökösök születése

A gyorsan mozgó gázcseppcskék megszöknek a bolygókról és a holdakról. Az őscsillag közelében ebbe besegít a róla leáramló ún. napszél is, ami főként plazma részecskékből áll (protonok, elektronok, hélium atommagok). A kialakuló naprendszer központi tartományából a napszél gáz és por anyagot képes kisöpörni a távolabbi vidékekre, ahol az össze tud fagyni üstökös-magokká .

Az üstökös-magoknak az egymásra gyakorolt gravitációs zavaró hatása , meg a környező csillagoké, a későbbiekben azt eredményezheti, hogy időnként egy-egy mag bezuhan akár a központi csillag közvetlen közelébe is. Ilyenkor kómája és csóvája is lesz neki, de az leginkább csak a szemet gyönyörködtető látszat, a lényeg mindig az üstökös-mag, ami olyan, mint egy piszkos hógolyó: jégbe ágyazva kő-, fémdarabkák, azaz meteorok.

Egy üstökösnek a feje időnként nagyobb, mint a Föld: akár százezer kilométeres is lehet. A Naptól jövő anyagrészecskék erről söprik le az esetenként több tízmillió kilométer hosszú csóvát . A szilárd üstökös-mag pedig, amelyből a napsugárzás hatására a gáz elötör, mindössze tízegynéhány, legfeljebb néhány tíz kilométer nagyságú lehet. Ebből is látható, hogy a kóma, de főleg a csóva anyagának nagy része - amely e meglehetősen kicsi üstökös-magból származik -, rendkívül ritka gáz . Persze gázfejlődés csak a Nap közelében lehet, ezért nincs az üstökösnek se csóvája, se kómája, amikor messze van a Naptól (mindössze a csupasz - mondhatnánk: meztelen, jeges, fagyott - üstökös-mag).

Míthogy az üstökösök a Naprendszer ősi anyagát tartalmazzák, lényegében hasonló gázokból álltak össze, mint amilyeneket a csillagközi gáz- és porfelhők is tartalmaznak. (Hiszen ugyanilyen gázokból sűrűsödött össze az éppen kialakuló Ósnap, mintegy hat milliárd évvel ezelőtt, valamint a körülötte ugyanezen anyagból megszülető bolygók is.) Ezekben a kozmikus anyagfelhőkben szerves molekulák is létrejöttek . A bolygókeletkezés folyamatában

fölforrósodott anyagban azonban szétroncsolódhatnak ezek a bonyolult és érzékeny kis képződmények. Csakhogy az üstökösök, mint afféle "szerves-anyag konzervek", képesek rá, hogy megőrizték jobb időkre ezeket a molekulákat, s százmillió évekkel később, amikor becsapódnak valamely bolygó felszínére, visszainjekciózzák azokat. Így - szerencsés körülmények között -, ha az ütközést túlélő szerves molekulák tovább bonyolódhatnak, megindulhat az életté szerveződés is.

## Élet lehetősége a Földön kívül

Az előzőekből kitűnik, hogy a kozmoszban másutt is ugyanolyan anyagból jöttek létre csillagok - és egyesek körül még bolygók is -, mint amiből a Naprendszer kialakult. Továbbá az is fontos tény, hogy a biológiai evolúciót megelőző kémiai bonyolódás is megkezdődik az ilyen gáz- és porfelhőkben. Ha másutt is képesek voltak üstökösök visszainjekciózni a bolygókra az ott (a bolygó kialakulásakor) tönkrement szerves molekulákat, megfelelő körülmények között más naprendszerekben is kifejlődhetett az élet.

Messze, más csillagok körül keringő bolygókon akár nálunk fejlettebb civilizációk is lehetnek.

Az viszont, hogy jártak/járnak-e itt földönkívüliek, ma még hit kérdése...

Életadó Napunk is egy csillag a sok milliárdból



Szerző: E. Kovács Zoltán

Kémiai folyamatok a kozmoszban - Bolygók születése - Holdak születése

A Nap (távolsága 11000 Föld-átmérő – megteszi a fény alig több mint 8 perc alatt – kb. 150 millió km):

- egy közönséges csillag (vannak kisebbek, de ezerszer nagyobbak is),

- csupán egyetlen, a Tejútrendszer több száz milliárd csillaga közül!

(A Tejútrendszer is csak egy galaxis a ma ismert száz milliárd galaxis közül.)

A Nap mérete: 100 Föld-átmérő: 1 millió 400 ezer km. (Bőven beleférne a Holdnak a pályájára!)

A Nap tömege majdnem 333 ezerszerese a Földének – ezért csillag, mert ilyen nagy. Igen nagy tehát a gravitációja is, vagyis a sűrűség a belsejében.

Kb. 6 milliárd éve, amikor a Nap megszületett, ez a sok anyag nagyon összesűrűsödött, legalábbis középpütt, ezért ott igen nagy lett a nyomás és a hőmérséklet. Ilyen körülmények között – mint más csillagok esetében –, a protonok (H atommagok) He atommagokká, más néven alfa-részecskékké tudnak átalakulni, miközben gigantikus energia szabadul föl, s elektromágneses sugárzások (rádió-, hő/infravörös-, látható fény-, ultraibolya-, Röntgen-, alfa-sugárzás) formájában kijön a csillagból – különböző sugárzások különböző rétegekből, a látható fény pl. a Nap felületéről, az ún. fotoszférából (a fotonok, vagyis a fény gömbhéja) jön, ami mindössze 400 km vastag (vö.: az átmérő majdnem 1,5 millió km). Másodpercenként 600 millió tonna hidrogén alakul át 4 millió tonnával kevesebb héliummá, ugyanis a különbség sugárzássá alakul, s jónéhány év alatt ez az energia felszínre tör .

A csillag belsejében kb. 15 millió fok van, a felületén "csak" 5800 fok, de a napfoltok még ennél is "hidegebbek" 1000-1500 fokkal. Ott jönnek létre sötétebb foltok, ahol a mágneses mező "gubancolódik". Ez látszik is fölöttük, a protuberanciákban (felhők a Napon), ahol a

mágneses erővonalak mentén áramlik a plazma (ionizált, vagyis elektromosan töltött részecskék), és itt fordulnak elő a napkitörések (fler) is. 11 évenként mágneses polaritásváltás zajlik a Napon. Ezek a mágneses változások határozzák meg a légköri jelenségeket nemcsak az alsó légkörben, a fotoszférában, hanem a kromoszférában (szín gömbhéja: középső légköri tartomány, néhányszor 10 000 km vastagságban) és az egyes helyeken a "mágneses fűtés" miatt több millió fokos napkoronában, vagyis a külső légkörben is.

A naptevékenységnek a Föld magaslégkörére (esetenként 500 fokos hőmérsékletváltozás, akár százszoros nyomásváltozás), sőt - főként az időjárási frontokon keresztül - a mindennapi életünkre is jelentős hatása lehet (ld. halálozási és baleseti statisztikák). Az asztrológia (csillagjóslás) butaság, de van egy csillag, amelyik tényleg hatással van ránk: a legközelebbi, a Nap nevű csillag.

## **Kémiai folyamatok a kozmoszban**

A csillagközi gázfelhők kémiai összetétele lényegében az, ami az Ősrobbanásakor kialakult. Viszont: mégha csak 1 %-nyi egyéb anyag van is benne, az rendkívül izgalmas.

A kozmikus pornak – ami elsősorban szén (grafit szemcsék), ill. szilícium – afféle katalizátor szerep jut. A por szemcsék a nagyobb gravitációjuk folytán a felületükre vonzzák a gáz atomokat, de főként plazma részecskéket (atommagok, elektronok, ionok), amelyek úgy is mondhatnánk, hogy ott adnak randevút egymásnak. Sőt: ez ám a „szerelem az első pillantásra”! Az egymás „karjaiba omló” atomok rögvest „összecsókolóznak”. Aztán minden eljegyzés, vagy esküvő nélkül úgy is maradnak: összeállnak molekulákká. Létrejönnek például szén-monoxid, széndioxid, metán, ammónia, cián, formaldehid, hangyasav, etil-alkohol, metil-alkohol és egyéb gázok, sőt még víz molekulák is (szintén gáz alakban). Ez azt jelenti, hogy a biológiai evolúciót megelőző kémiai bonyolódás már a kozmoszban megkezdődik; azokban a csillagközi gáz- és porfelhőkben, amelyekből csillagok és egyes csillagok körül bolygók is összesűrűsödnek.

## **Bolygók születése**

Nem minden csillag körül vannak bolygók. Sok esetben egy összesűrűsödő "gázgombócból" csupán egyetlen csillag jön létre. Vagy kettőscsillag (ahol két csillag kering egymás körül), ill. hármas, négyes, ötös rendszer, vagy még több csillag együtt. Ám ha az összetömörült őscsillag körül megmarad egy kevés anyag, abból bolygók is kialakulhatnak.

A kozmikus anyagfelhő részecskéinek nemcsak rendezetlen mozgása lehet. A gázban másutt is gyakoriak az örvénylő, kavargó mozgások, áramlások.

Egy ősnapi rendszer anyaga is eleve forgásban van. Ahol egy naprendszer születik, a (gáz nagy részét alkotó) kis sebességű részecskék középre zuhannak. Ezekből csillag jön létre, és az elegendően nagy sebességűekből – amelyek továbbra is keringeni képesek – lesznek a bolygók. A forgás közben összesűrűsödő anyag éppúgy ellaposodik, mint ahogyan a Tejútrendszer síkja mentén összpontosult galaxisunk nagy része.

Ahogy ez a gáz- és porkorong fokozatosan összefűződik, egyre gyorsabban forog.

Emiatt a szélén leválhat róla egy anyaggyűrű, majd a tovább sűrűsödő és még gyorsabban forgó megmaradt korongról egy újabb gyűrű, és így tovább: az ezek után vissza-visszamaradó, még jobban összehúzódó, s így forgásában méginkább begyorsuló belső anyagrészekről újabb gyűrűk szakadhatnak le, egyre közelebb a csillaghoz.

Előfordulhat, hogy van olyan gyűrű, amely nem tud összeállni egységes nagybolygóvá, legfeljebb kisbolygókká, de az anyaggyűrűk zöméből bolygók lesznek.

Az őscsillag körül forgó gyűrűk pedig szét tudnak szakadni, ahol a legritkébbak, és összesűrűsödnek oda, ahol a legsűrűbbek. Ily módon a gravitációs kölcsönhatás

bolygókezdeményeket tud létrehozni. Közben kisebb anyagsűrűsödések jönnek létre, amelyek összeütközéséből egyre nagyobbak születnek. A növekvő tömegű égitesteknek egyre nagyobb a gravitációja (egyre inkább megnövekszik a gravitációs vonzása), így már nemcsak az éppen arra kószáló kisebb testek ütközhetnek belé, hanem azok is, amelyek elhaladnának ugyan a közelében, viszont a gravitációs kölcsönhatás annyira begömbíti a pályájukat, hogy az – ezáltal még nagyobbra növekvő – ősbolygóra zuhannak.

A közepén sűrűbb, nagy tömegűre földuzzadt égitest (a gravitációjánál fogva) gázokat is megtart maga körül. Kezdetben a Föld is „gázgombóc” volt, legalábbis jóval több gáz volt körülötte, mint most. A nagyobb tömegű bolygók tetemes légkört megtartanak (a gravitációs kölcsönhatásnak köszönhetően), a kisebbek viszont keveset, vagy semmit. Az igazán nagyokat (óriásbolygókat) éppen ezért gázbolygóknak is nevezhetjük, noha nemcsak gázból állnak. Középen azoknak a sűrűsége is nagy, de kívülről befelé fokozatosan sűrűsödnek. Ezzel szemben a kisebbeknél a későbbiekben elkülönül a szilárd kéreggel rendelkező ún. kőbolygó az esetleges légkörétől.

Miközben a bolygó összetömörül - mint általában az összesűrűsödő gázok -, a hőmérséklete is megnövekszik. Amikor a felületére becsapódó kisebb égitestek a súrlódástól lefékeződnek, ott még jobban fölforrósodik az anyag. Mindezt tetézi a radioaktív hőtermelés.

Így tehát az újszülött bolygók eleve magas hőmérsékletűek. Ez többek között azzal jár, hogy azok, amelyeknek nem elég nagy a tömege, könnyen elveszíthetik a nagy sebességekre fölgyorsuló könnyebb gázrészecskéket, a külső gázburkot. Földünk is kb. 5 milliárd évvel ezelőtt még kívülről befelé fokozatosan sűrűsödött, de később megszöktek róla a külső, könnyebb gázok.

Ha viszont nem tud elég sok gáz megmaradni a bolygó körül – ami a hőenergiát megtarthatná, visszasugározhatná –, akkor a felszíne lehűl, megdermed, megfagy. Így jött létre a szilárd földkéreg is, ami alatt mind a mai napig egy forró, képlékeny, ún. magma réteget találunk (ez „fröccsen” ki vulkánkitörések alkalmával).

## Holdak születése

Ahogy a bolygók létrejönnek a csillagok körül megmaradt anyagból, hasonlóképpen: ha egy bolygó körül vannak még gáz-, ill. porrészecskék, amelyek nem zuhantak bele – minthogy elég nagy volt a sebességük oldalirányba –, akkor ezekből még holdak is összesűrűsödhetnek. Rendes, nagy holdak is, ill. gyűrűt alkotó picike porholdak. Ezek előbb-utóbb mind lehűlnek, legalábbis a felszíne mindnek megdermed, megfagy (szilárd kéreg jön létre), hasonlatosak a kőbolygókhoz.

Hold (azaz bolygó körül keringő kisebb égitest) persze úgy is válhat bolygóból, ill. kisbolygóból, valamint meteorból, hogy véletlenül olyan közel kerül a leendő „mostohaanya” bolygóhoz, hogy az képes lesz befogni; addig a Nap körül keringett, most már ezen bolygó körül fog körbe-körbe járni, nem távolodhat el tőle túlságosan messzire.

Egyes holdak – ha elég nagy a tömegük, és nem túl magas hőmérsékletűek –, némi gyér légkört is meg bírnak tartani, a legtöbbjükéről azonban megszöknék a gázok.

Amit ma a világból ismerünk



Szerző: E. Kovács Zoltán

Égitestek - Ősrobbanás - Galaxisok születése - Csillagok születése - A csillagok

energiatermelése - Janus arcú anyag - Mit történik egy csillagon? - Csillagok életútja

## **Előzetes**

A Hold távolsága: majdnem 30 Föld-átmérő. Megteszi a fény 1,28 sec alatt.

A Nap mérete: 109 Föld-átmérő. (Bőven beleférne a Holdnak a pályája!)

Nap-Föld távolság: 1 CsE = 107 Nap-átmérő (több mint 11000 Föld-átmérő). Megteszi a fény 8,3 perc alatt. (Ha lekicsinyítve a "Nap" 40 cm átmérőjű volna, akkor 430 m-re tőle a "Föld" majdnem 4 mm-es, a "Hold" meg – attól mintegy 11 cm-re – kb. 1 mm-es lenne.)

Nap-Plútó átlagos távolság: 40 CsE . Megteszi a fény 5,5 h alatt. (Ha a "Nap" 40 cm-es volna, akkor az 1 mm-es "Plútó" még a "Hold" cseresznyéjétől is kisebb lenne, de több mint 30 km-re.)

Szomszéd csillag (alfa Centauri) távolsága: több mint 4 fényév : megteszi a fény több mint 4 év alatt. (3 csillag: 2 Nap-szerű és 1 vörös törpe. Ha a "Nap" mákszemnyi, akkor az "alfa Centauri" tőle 40 km-re 2 mákszem és 1 porszem lenne.)

A Tejútrendszer mérete: több mint 100000 fényév: befutná a fény több mint 100000 év alatt.

A ma ismert legtávolabbi galaxis távolsága: több mint 10 milliárd fényév: megteszi a fény/rádiósugárzás több mint 10 milliárd év alatt.

Vázoljuk föl a ma ismert világ, az ún. Metagalaxis fejlődéstörténetének azokat a főbb epizódjait, amelyek már jól tanulmányozhatóak a tudományban. Minden egyes jelenség alapvető fizikai kölcsönhatásokon alapul.

Mindenekelőtt szögezzük le, hogy a természettudományok, így a fizika és a csillagászat is, csak arról nyilatkozhatnak, amit már ismerünk. Úgyhogy az Ősrobbanás, illetve mindaz, amiről most szó lesz, nem a Világmindenségre vonatkozik, csupán a Metagalaxisra, ami az ismert világ .

A Metagalaxis téridőbeli szerkezetének a vizsgálatával a csillagászaton belül a kozmológia, az egyes égitestek, ill. azok nagyobb rendszerei konkrét kialakulásának a kutatásával a kozmogónia, s az eközben zajló fizikai folyamatok elemzésével pedig az asztrofizika foglalkozik. (Ezek külön tudományágak, de fölhasználják a relativitáselmélet, a kvantumelmélet, a magfizika, az atomfizika, az elektrodinamika, külön a magnetohidrodinamika és más fizikai tudományágak eredményeit is.)

A csillagászat némileg egy állatkerthez hasonlítható. A kozmosznak is megvannak a maga „állatkái”: csillagok, bolygók, holdak, üstökösök, stb. Első ránézésre ez a szembeötlő: hogyan is néznek ki ezek. Aztán megvizsgálhatjuk az állatkerthez a ketrecek szerepét – valami ilyesmit tesz a csillagászatban a kozmológia. Beszélhetünk az állatok születéséről is –, mint ahogyan a csillagászaton belül a kozmogóniában az égitestek kialakulásáról. Fontos ismernünk az állatok fiziológiai, biológiai jelenségeit is - az égitestek „fiziológiáját” taglalja az asztrofizika.

## **Égitestek**

Hogy valamelyest fogalmat alkothassunk a Metagalaxisról, először szóljunk néhány szót az égitestekről, s azok ismert rendszereiről, legalább a fontosabb arányokat fölvezetve!

A legközelebbi égitest a Hold, alig 384 ezer kilométerre, ami – mint az előzetesből tudjuk – a Föld átmérőjének mindössze 30-szorosa, s ezt a távolságot a fény röpké 1,28 másodperc alatt megteszi. Ez nagyon kicsinek számít a csillagászatban. Még a Nap is nagyobb, pedig az egy közönséges csillag. A Nap átmérőjének a nagysága 1 millió 400 ezer kilométer, durván 100 földátmérő, tehát a holdpálya is bőven beleférne.

Bolygónk 149,6 millió km-re, azaz (kerekítve) 100 napátmérőnyi messzeségben kering a Nap körül. Ezt a távolságot már több mint 8 perc alatt teszi meg a fény, de a ma ismert legtávolabbi bolygóig, a Plútóig 40-szer ennyi időre, mintegy 5 órára van szüksége. S ez még csak a ma ismert bolygórendszer határa, a teljes Naprendszer széléig nagyjából 2 éven át száguld a fénysugár. (Tudniillik a Naprendszer mindaddig tart, ameddig a Nap vonzó hatása érvényesül, márpedig a legközelebbi szomszédos csillagról több mint 4 évig jön a fény!)

A Tejútrendszer egy nagy galaxis, több száz milliárd (azaz több száz ezer millió) csillagot tartalmaz; közülük csupán egy a mi Napunk. Az ilyen galaxisok egyik szélétől a másikig több mint százezer évig menne a fény, ha közben nem nyelődne el a csillagközi anyagban. Vannak kis galaxisok is, többségük csak néhány milliárd csillagból áll. A nagy galaxisok közül a szomszédos legközelebbi az Androméda-galaxis. Ennek a középső része – ahol sűrűbben vannak benne a csillagok – szabad szemmel is látszik például ősszel este a csillagos égen. Holott az a fény, ami ma eljut róla a szemünkbe, onnét mintegy hárommillió évvel ezelőtt indult el! Ismerünk ma olyan galaxisokat is, amelyeknek a rádiósugárzása több mint tízmilliárd évig száguldott a világűrben, mígnem ide érkezett a Földre. Ma kb. százmilliárd galaxist ismerünk – ezek (és tartozékaik) alkotják a Metagalaxist.

A galaxisok rendszerint kisebb-nagyobb galaxishalmazokat alkotnak. A legújabb kutatások alapján viszont úgy tűnik, hogy a ma ismert legnagyobb struktúrákat tekintve cellás szerkezetű a Metagalaxis. Eszerint mi mindnyájan cellatársak vagyunk, ráadásul a cellák falába beépítve: ugyanis a cellák fala galaxisokból áll, a Tejútrendszer csak egy kis „tégla” a sok közül.

## Ősrobbanás

Ha megvizsgáljuk a galaxishalmazunkon túli galaxisokat - az elmélettel összhangban -, több észlelési adatból is arra következtethetünk, hogy azok kivétel nélkül távolodnak tőlünk, sőt minél messzebb van egy galaxis, annál nagyobb sebességgel.

Például az ún. vöröseltolódást – ami erre a távolodásra utal –, jól megfigyelhetjük. A távolodó égitestek színképvonalai eltolódnak a nagyobb hullámhosszak, vagyis a vörös szín felé. (Ebből a relativitáselmélet alapján kiszámolható az égitest távolsága és a távolodási sebessége.)

Megjegyzés: Ezt a jelenséget a hasonlóság alapján (de tévesen!) Doppler-effektusként is szokták emlegetni. Pedig ebben az esetben a hullámhossz megváltozásának más jellegű okot tulajdoníthatunk:

Képzeljünk el egy hatalmas gumilepedőt! Helyezzünk rá csigákat – azokkal modellezzük az egyes galaxishalmazokat, két térdimenzióban! Az Einstein-egyenletek szerint az idő múlásával megváltozik a téridő metrikája, ami a Metagalaxis tágulását ill. összehúzódását jelenti. A mi modellünkön ez úgy jelentkezik, hogy a gumilepedő nyúlik ill. összehúzódik. Ennek megfelelően bármelyik csigáról (galaxishalmazról) azt lehet látni, hogy az összes többi távolodik tőle (ill. közeledik felé). Eközben a térben mozgó fénysugár hullámhossza is ugyanúgy megnyúlik (legalábbis a Metagalaxis tágulásakor; összehúzódáskor pedig összezsugorodik), mintha csak a modellünk gumilepedőjének a nyúlását (ill. összehúzódáskor a zsugorodását) követné.

A Metagalaxis jelenlegi tágulása az ún. Ősrobbanásig vezethető vissza az időben.

Az Ősrobbanás folyamatában volt olyan időszak, amikor a Metagalaxisban sehol sem léteztek



atomok, mert annyira sűrű volt az anyag, hogy benne a gigantikus nyomáson és a rettenetesen magas hőmérsékleten az igen gyakran és szédületes sebességekkel egymásnak rohanó atomok úgylát szétestek volna elemi részecskékre. Sőt még az elemi részecskék sem maradhattak épségben, például az anyag és az antianyag szüntelenül szétsugárzódtak és visszaalakultak, majd ismét szétsugárzódtak, s megint visszaalakultak, és így tovább.

Amikor a részecske-antirészecske párok összeütköztek, elektromágneses sugárzáskvantumok lettek belőlük, amelyek folyamatosan vissza is alakultak részecske-antirészecske párokká.

Azok pedig – újra összeütközvén – ugyancsak szétsugárzódtak, és a sugárzás (amíg kellően nagy volt az anyagsűrűség) visszacsapódott anyag-antianyag részecske párokká.

Ezek a folyamatok mindaddig zajlottak, amíg elegendően nagy volt a sűrűség. Azonban gyors ütemben történt a Metagalaxis tágulása. Végül atomok is összeállhattak, de sugárzás is maradt meg, sőt az anyagnak a zöme szétsugárzódott: ezt hívjuk az Ősrobbanás maradványsugárzásának .

Az Ősrobbanás utáni anyag tehát kettévált:

1. Nagyobb részben elektromágneses sugárzás maradt vissza. Tele van vele a világ”űr” - ami ezek szerint egyáltalán nem üres . Ennek az anyagnak: a kvantumoknak, az energiáját tudjuk jól mérni .

2. Az anyag kisebb hányadát, de a feltűnőbb részét pedig a nyugalmi tömeggel rendelkező részecskékből álló anyag: galaxisok, azokon belül csillagok, nagybolygók, kisbolygók, holdak, üstökösök, meteorok, csillagközi ill. bolygókközi gáz és por alkotják, sőt a Föld nevű bolygón például mi magunk is. Ez az anyag igen izgalmas fejlődésen ment keresztül az Ősrobbanás óta.

### **Galaxisok születése**

Az Ősrobbanásból visszamaradt elektromágneses sugárzás – noha a tágulás következtében mostanában folyamatosan növekszik a hullámhossza –, lényegében maradt a régi. A szét nem sugárzódtott anyag viszont – aminek a zöme hidrogén, valamint hélium gáz –, a tágulás során a gravitációs vonzás következtében szétszakadozott egyre kisebb anyagfelhőkre, amelyek sűrűbb részeiből kialakultak a galaxishalmazok, s azokon belül az egyes galaxisok.

Az Ősrobbanásból rengeteg neutrínó maradt vissza. A tágulás erre a neutrínó sokaságra is vonatkozik. Mai elmélet szerint a neutrínók egymásra ható vonzása egyre feltűnőbb egyenetlenségeket okozott ebben a „neutrínótengerben”, s ahol a legtöbb neutrínó sűrűsödött össze, azok oda vonzották az éppen arra kószáló gáz részecskéket is, ahol aztán végül galaxisok nőttek.

Formáját tekintve sokféle galaxis van, mi most csak a Tejútrendszer (és a hozzá hasonló galaxisok) létrejöttét tárgyaljuk – s azt is csak nagy vonalakban:

A Tejútrendszer anyagának összesűrűsödése során a gravitáció eleinte minden irányban egyformán érvényesült, ami egy nagyjából gömbszimmetrikus „gázgombócot” eredményezett, mint galaxisunk ősi formáját. Ezen belül további ugyancsak gömbszimmetrikus „gázgombócok” jöttek létre, a mai ún. gömbhalmazok ősei. Azokon belül ugyancsak gömbszimmetrikus „gázgombócok” alakultak ki: csillagok

Az egyre jobban összesűrűsödő ősgalaxis nagyobb részben még összefüggő gáz formájában meglévő anyaga azonban egyre gyorsabban forgott , és emiatt egyre jobban ellaposodott .

Ebből az anyagból jöttek létre a galaxisunk síkja mentén található csillagok, így a Nap is .

A Tejútrendszer közepében egy rendkívül sűrű galaxismagban gigantikus energiatermelő folyamatok dűlnak, ám ma még nem tudjuk, hogy azok netán fekete lyukba bezuhanó

anyagtól származnak-e, vagy esetleg anyag-antianyag szétsugárzódástól (vagy valami mástól, amit ma még nem ismerünk?). Mindenesetre nem lehetetlen, hogy a Metagalaxis anyagának az Ősrobbanás kori szupersűrű állapotából akár fekete lyukak is maradhattak vissza, akár antianyagzárványok egyes galaxisok közepén. (Egyébként az is lehet, hogy a galaxisok fele antianyagból van, köztük olyanok, amelyek meg ilyen anyagzárványt rejtenek magukban, amilyen anyagból mi vagyunk.)

## Csillagok születése

A csillagközi térben sokféle gázfelhők is megmaradtak. Maguk a csillagok is ilyen kozmikus anyagfelhőkből sűrűsödtek össze.

A Naprendszer is egy hatalmas kozmikus gáz- és porfelhőnek egy – ahhoz képest viszonylag kis méretű – gázgombóccá összecsomósodó részéből jött létre.

- De miért lett csillag a Nap?
- A csillagok felületén a hőmérséklet több ezer fok, legfeljebb pedig – ahol gigantikus energiák szabadulnak föl -, több tíz millió fok is lehet. Vajon mitől van ez?
- A Nap - és minden csillag – saját maga világít. Hogyan képesek erre? Miért ilyen például saját csillagunk, a Nap?

Mert elég nagy hozzá a tömege, s ezáltal a tömegvonzása. (A Jupiter például hiába a legnagyobb óriásbolygó a Naprendszerben, a tömege még mindig túlságosan kicsi ahhoz, hogy csillag lehessen.)

Csillagok napjainkban is keletkeznek, különösen a Tejútrendszer és a hozzá hasonló galaxisok peremvidékén lévő kozmikus anyagfelhőkben, de másutt is, ahol valamilyen okból kellőképpen össze tud sűrűsödni a csillagközi gáz. Ennek a legfontosabb tényezője a gravitációs kölcsönhatás.

Ezen kívül vannak olyan kedvező esetek, amikor egyéb tényezők még arra is képesek, hogy fölgyorsítsák a csillagképződést.

Jónéhány olyan csillagközi gáz- és porfelhőt ismerünk, amelyben a már korábban megszületett csillagoknak a nagy energiájú elektromágneses sugárzása szétbontja (ionizálja) a környékbeli gáz részecskéket. A csillagközi gáz- és porfelhők rendszerint igen alacsony hőmérsékletűek, azaz viszonylag lassan mozognak bennük az egyes gázrészecskék. Ám ha egy ilyen anyagfelhőben csillagok is vannak, azoknak a sugárzása képes szétbontani még az atomokat is.

Ennek következtében több részecske fog szaladgálni a gázfelhőnek abban a részében.

Megnövekszik tehát a részecskeszám és így a gáznak a nyomása is.

Ezen kívül a csillagtól kapott energia megnöveli a részecskék mozgási energiáját, azok sebesebben száguldoznak. (Tehát magasabb lesz a gázfelhőben a hőmérséklet is.)

A gáz a heves ütközések miatt képes a térben tovább ionizálódni. Ezek az ún. ionizációs frontok egyúttal lökéshullám frontok is, mert az anyagfelhő ionizált részében mintegy négyszer nagyobb a nyomás, mint az elektromosan semleges helyeken, ahol tehát ezáltal rohamosan összesűrűsödhet az anyag, s így fölgyorsul a csillagok keletkezése.

A csillagokban a gáz kívülről befelé fokozatosan sűrűsödik. Minden csillag körül nagyon ritka, legfeljebb rendkívül sűrű. Amikor egy összetömörülő gázgömb – egy újszülött csillag – belsejében a sűrűség iszonyatosan megnő, emiatt a nyomás, meg a hőmérséklet is rettentően magas lesz. (Gondoljunk csak bele! Ha kisebb térrészbe zsúfolunk sok részecskét, akkor azok ott jobban „lökődösödnek”, szaporán „taszigálják” egymást, begyorsulnak.)

A hatalmas gravitáció miatt a Nap belsejében is igen nagy a sűrűség, ami tehát gigantikus nyomást és egyúttal rettenetesen magas hőmérsékletet jelent. Olyannyira, hogy még az elemi

részecskék is képesek arra, hogy egymásba „prézelődjenek” és átalakuljanak, miközben másfajta részecskék is életre kelnek belőlük, elektromágneses energia-felszabadulás közepette.

Ez azt jelenti, hogy ott az egyes részecskék rettenetesen gyorsan képesek mozogni, és igen erőteljesen nekiütköznek egymásnak. Ilyen körülmények közepette nem csoda, ha az atomok eleve szétroncsolódnak (nem bírják a „gyűrődést”). Egyesek menthetetlenül egymásba „paszírozódnak”, és még más „tragédiák” is történnek velük.

A Nap anyagát legnagyobb részben hidrogén, kisebb részben hélium alkotja. (Egyéb elemek elenyésző mennyiségben vannak benne.) A belsejében protonokból meg elektronokból újabb hélium atommagok is keletkeznek.

Lényegében arról van szó, hogy egyesülnek – idegen szóval fuzionálnak – az atommagok. Ez röviden: atommagfúzió.

Miközben azonban a hidrogén héliummá alakul csillagunk belsejében, gigantikus energiák szabadulnak föl. Így (és ehhez hasonló módon) keletkeznek a Napból jövő sugárzások.

Nos, emiatt az atommagfúziós energiatermelés miatt csillag a csillag. (A Nap is, amely tehát mindenekelőtt nagy tömege és a gravitációs kölcsönhatás jóvoltából lett csillag.)

## **A csillagok energiatermelése**

Eleinte minden csillag belsejében a hidrogén alakul héliummá. Közben nagy mennyiségű energia szabadul föl. Amikor azt mondják, hogy a Nap „izzó gázgömb”, annak jószerevével csak a fele igaz: a gázgömb. Az „izzó”: túlságosan enyhe kifejezés! (Hasonló lenne ez ahhoz, amikor rálép valakinek a lábára egy elefánt, és csak ennyit mondana: „olyan volt, mint egy szűnyogcsípés.”) Az energia-felszabadulás mértéke sokkal inkább volna hasonlítható egy hidrogénbomba fölrobbanásához; bár ez a hasonlat sem jó (a fúziós reaktor jobb lenne).

A csillagokban zajló hidrogén-hélium fúzió során hidrogén atommagok (protonok) – miközben egy részük elektronnal „összeprézelődve” neutronná válik – hélium atommagokká egyesülnek. A bonyolult folyamat elején kiindulásként négy protonnal és két elektronnal számolhatunk, a végén pedig a kész hélium atommaggal. Ha azonban összeadjuk a kiinduláskor a részecskék tömegét, és összehasonlítjuk a hélium atommag tömegével, úgy tűnik, mintha nem lenne érvényes a tömegmegmaradás törvénye, ugyanis a „késztermék” tömege kisebb, mint külön-külön az „alkatrészeké”! Ez a jelenség gyakran előfordul az atomfizikában. Úgy is nevezték el, hogy tömeghiány, idegen szóval: tömegdefektus. Hova lett közben a hiányzó tömeg? Mi az, ami még jelen van a folyamatban, de eddig nem vettük figyelembe? Nos, nem számoltuk bele a tömegekbe például a keletkező elektromágneses sugárzásokat.

Tehát ők a felelősek a tömegdefektusért! Ők „lopták” el a hiányzó tömeget! Pontosabban: abból az „anyagmennyiségből” keletkeztek, aminek a tömegét hiányoljuk. Így az ő tömegük kell hogy kiadja a „leltárhiányt”! Csak az a gond, hogy az elektromágneses sugárzásoknak a tömegét nem lehet úgy értelmezni, mint például a kenyérét, vagy a protonét. Nem tudjuk úgy megmérni sem a tehetetlenségét, sem a gravitáló tömegét, ahogyan azt más esetekben az egyéb részecskék, tárgyak esetében megszoktuk. Az elektromágneses sugárzáskvantumoknak az energiáját tudjuk jól mérni.

Szerencsére a relativitáselmélet kitérítette ismereteinket a csillagok energiatermeléséről is: kapcsolatot teremt a nyugalmi tömeggel rendelkező részecskék tömege és az elektromágneses sugárzáskvantumok energiája között.

## **Janus-arcú anyag**

Jelölje **m** a hiányzó tömeget (a folyamat elején, ill. a végén mérhető tömegek különbségét)!

Ekkor a közben keletkező sugárzáskvantum  $E$  energiája:  $E = mc^2$  (a szokásos jelöléssel:  $c$  a vákuumban mért fénysebesség). Ennek segítségével mindig kiszámíthatjuk, hogy egy adott tömegkülönbségnek mekkora energia felel meg, ill. adott energiához mekkora tömegdefektus tartozik.

A tömeg és az energia tehát szorosan összetartoznak, ezért az energiát lényegében úgy kezelhetjük, mintha tömeg lenne .

Mérjük meg az atommagfúzió során felszabaduló energiát (ami elektromágneses sugárzás formájában keletkezik); s ezt számoljuk át tömegre! Már is megkapjuk a hiányzó tömeget, amit korábban kerestünk. Mégis igaz az anyagmegmaradás törvénye, ám általánosabb értelmezésben.

A tömeget és az energiát lényegében egy kalap alá vehetjük. Mintha csak megegyeznének. Szokás is ezt úgy nevezni, hogy a tömeg és az energia ekvivalenciája (azonossága). Persze teljes azonosságról szó sincs! A tömeg, az tömeg, az energia pedig energia. Viszont nagyon is van közük egymáshoz. Úgy néz ki, mintha a lényegét tekintve ugyanarról a jelenségről lenne szó. Csakhogy egy „Janus-arcú” jelenségről: bizonyos esetekben az egyik „arcát” látjuk (tömeg), más esetekben pedig a másik „arcát” (energia), amikor bizonyos részecskéknek – pl. elektron, proton, neutron – a tömegét tudjuk könnyen megmérni, más részecskéknek – ilyenek az elektromágneses sugárzások energia-csomagocskái – pedig az energiáját. (Olyan ez, mint amikor elsuhan mellettünk egy autó, amelyet elöl kékre, hátul pedig pirosra festettek. Aki szemből figyel, kéknek látja, aki hátulról, az pedig pirosnak. Pedig ugyanarról az autóról van szó.)

## **Mi történik egy csillagon?**

Mínt hogy a csillag a felületén több ezer fokos a hőmérséklet , még ott is igen gyorsan mozognak az egyes részecskék, nemcsak a belsejében. (Nagy a mozgási energiájuk.) Szüntelenül egymásnak rohannak irtózatosan nagy sebességgel. Nem is bírják ezt elviselni roncsolódás nélkül! Az atomok a heves ütközések hatására minduntalan szétesnek darabjaikra . Majd – kedvezőbb viszonyok közepette – megfelelő részecskékkel újra összetalálkozván, rövid időre (az újabb erős ütközésekig) ismét összeállhatnak az eredeti atomok. Azok persze ugyanígy szétesnek, majd visszaalakulnak, és így tovább. Amennyi szétesik, annyi vissza is alakul . Így mindig vannak a Napon atomok, atommagok, ionok, meg elektronok is. (Amikor az elektromosan töltött részecskék atomokká alakulnak vissza, abban az is szerepet játszik, hogy a különböző elektromos töltésű részecskék vonzzák egymást.)

Az atomokról leszakadt elektronoknak és a visszamaradt atommagoknak ill. ionoknak összesen nagyobb az energiája szétesett (ionizált) állapotban, mint amikor atomokká kapcsolódnak össze. A csillagoknak - így a Napnak a felületén is - ebből a különbségből, ill. az ütközések energiájából származik a fény. (A napfoltokban persze, ahol a mágneses mező gubancolódnak miatt lelassultak a részecskék, vagyis alacsonyabb lett a hőmérséklet , a részecskék szétroncsolódása és visszaalakulása is kisebb mértékű. Ott kevesebb fény keletkezik; emiatt sötétebbek ezek a területek .)

## **Csillagok életútja**

A Naphoz hasonló csillagokban rendszerint több mint tíz milliárd éven át zajlik a hidrogén-hélium fúzió . Addig a csillag egyensúlyban van: a kifelé nyomuló energia ugyan széjjelebb feszítené, csakhogy a gravitáció összetartja. Később, amikor a csillag megöregszik, és kimerülőfélben lesz a hidrogén készlete, más (hasonló) atommagfúziós folyamatok indulnak meg a belsejében. Amikor viszont lelassul a hidrogénnek a héliummá alakulása és ezáltal az energia kifelé áramlása is – ami szétfűjni igyekszik a csillagot –, a gravitáció összébb tudja

húzni: sűrűbb lesz. Ezért a belsejében megnövekszik a nyomás és a hőmérséklet. Így válik lehetővé újabb magfúzió beindulása. A héliumnak a tovább alakulása hirtelen termel sok energiát, s ahogyan az kifelé zúdul a csillagból, a gravitáció ellenében fölfújja azt vörös óriássá. Az átmérője az eredetinek akár több mint százszorosára is megnövekedhet. A Nap ekkor majd olyan nagy lesz, hogy a Földig is kitágulhat (hacsak a Föld nem kerül távolabb). A százszoros méretnövekedés milliószeres térfogatnövekedést jelent, azaz a mostani átlagsűrűsége a milliomod részére csökken. Ráadásul a Nap külső része most is rendkívül ritka, hát még, ha így lecsökken az átlagsűrűsége! Mindenesetre (ha lesz még akkor emberiség a Földön) ezt az időszakot nem érdemes megvárni. Több okunk is lehet rá.

Az első: igen hányattatott sors vár az ilyen öreg csillagokra. Egyszerre többféle elemátalakulási folyamat is zajlik bennük, különböző gömbhéjakban. Miközben azok beindulnak, illetve leállnak (lelassulnak), különböző mértékben „fújják föl” az égitestet, amit ugyanakkor erősebb ránt a gravitáció, hacsak teheti. Bekövetkezik olyan időszak is, amikor a csillag pulzálni kezd: ütemesen ismétlődve kitágul, összehúzódik, majd ismét kitágul, s összehúzódik és így tovább. Rendszerint bekövetkezik eközben a rezonancia katasztrófa: leszakad róla a külső légköre, azaz gázburkot dob le magáról. Ez az ún. nóva robbanás. Ez a balszerencse többször is megeshet ugyanazzal a csillaggal, jó néhány ilyen „visszatérő” nóvát ismerünk. Tehát öreg korában a Nap is hánykolódik majd: anyagfelhőkkel dobálózik. Önmagában már ez is elég ok volna arra, hogy hűtlenek legyünk hozzá, és itt hagyjuk. Annál is inkább, mert nem sokkal ezután teljesen megöregszik és meghal.

Másik ok: Minden csillag képes „legyártani” élete során a periódusos rendszer elemeit egészen a vasig. Tovább azért nem, mert annak az atommagjában már 56 nukleon van, s ha ennél több protont, vagy neutronot próbálnánk még „belegyömöszölni”, ahhoz már nekünk kellene energiát befektetni. Közönséges csillagok erre nem képesek. Így tehát leáll bennük az energiatermelés, a gravitáció előbb összehúzza őket fehér törpe csillagocskává, majd teljesen kihunynak, s kihűlnek – így hal meg majd a Nap is. Nem robban föl, noha öreg korában nova robbanások „késérik az életét”.

A Napnál lényegesen nagyobb tömegű csillagok viszont életük végén fölrobbannak, és ez az ún. szupernóva robbanás képes rá, hogy a vasnál bonyolultabb elemeket (pl. az aranyat) legyártsa. Amikor nagyrészt leáll a csillag energiatermelése, a hatalmas gravitáció szinte összeroppantja az égitestet, ami ezáltal igen rövid idő alatt gigantikus mértékben összesűrűsödik. Ennek következtében az önmagába roskadó, agonizáló csillag belsejében hirtelen szabadul föl meglehetősen sok energia, ami egyrészt lerobbantja a külső részeket, másrészt összerobbantja a csillagbelsőt.

A csillag helyén visszamarad egy mindössze 10-20 kilométeres neutroncsillagocská, ám az olyan sűrű, hogy anyagából egyetlen kockacukornyi is súlyosabb volna a Földön, mint például a Magas Táttra! Ott ugyanis az elektronok bele préselődnek az atommagokba, s azok protonjaival elektromosan semleges neutronokká válnak. Így szorosan egymás mellé simulhatnak az atommagok, elektromos taszítás ezt nem gátolja, az erős kölcsönhatás pedig segíti, hogy egymáshoz kötődhessenek.

A robbanáskor levált anyag viszont főként plazma állapotban van, vagyis igen sok elektromosan töltött részecskét tartalmaz, és így azok a gyorsan forgó csillag körüli mágneses mezőben rádiósugárzást keltenek. A szupernóva robbanáskor felszabaduló energia egy része is elektromágneses sugárzások formájában jön ki az égitest belsejéből. A csillag eredeti fényessége ilyenkor (nem véletlenül!) a több százmilliószorosára növekszik. Megjegyezzük, hogy egy-két milliárd év múlva a környékünkön szupernóva robbanások tűzijátékszerű gyakoriságával kell számolnunk. Ha az ekkor keletkező, nagy energiájú, s így a szervezetünkre káros sugárzások a Földre özönlenek, itt az akkora sugárdózist jelent, ami már nemcsak genetikai mutációkat okozhat, hanem végzetes tragédiákhoz is vezetne – ha megvárnánk szülőbolygónkon ezt az időszakot. El kell tehát költözni innét jó messzire,

méghez a körülbelül egy milliárd éven belül!

Életadó Napunk is egy csillag a sok milliárdból



Szerző: E. Kovács Zoltán

Kémiai folyamatok a kozmoszban - Bolygók születése - Holdak születése

A Nap (távolsága 11000 Föld-átmérő – megteszi a fény alig több mint 8 perc alatt – kb. 150 millió km):

- egy közönséges csillag (vannak kisebbek, de ezerszer nagyobbak is),

- csupán egyetlen, a Tejútrendszer több száz milliárd csillaga közül!

(A Tejútrendszer is csak egy galaxis a ma ismert száz milliárd galaxis közül.)

A Nap mérete: 100 Föld-átmérő: 1 millió 400 ezer km. (Bőven beleférne a Holdnak a pályájá!)

A Nap tömege majdnem 333 ezerszerese a Földének – ezért csillag, mert ilyen nagy. Igen nagy tehát a gravitációja is, vagyis a sűrűség a belsejében.

Kb. 6 milliárd éve, amikor a Nap megszületett, ez a sok anyag nagyon összesűrűsödött, legalábbis középpont, ezért ott igen nagy lett a nyomás és a hőmérséklet. Ilyen körülmények között – mint más csillagok esetében –, a protonok (H atommagok) He atommagokká, más néven alfa-részecskékké tudnak átalakulni, miközben gigantikus energia szabadul föl, s elektromágneses sugárzások (rádió-, hő/infravörös-, látható fény-, ultraibolya-, Röntgen-, alfa-sugárzás) formájában kijön a csillagból – különböző sugárzások különböző rétegekből, a látható fény pl. a Nap felületéről, az ún. fotoszférából (a fotonok, vagyis a fény gömbhéja) jön, ami mindössze 400 km vastag (vö.: az átmérő majdnem 1,5 millió km). Másodpercenként 600 millió tonna hidrogén alakul át 4 millió tonnával kevesebb héliummá, ugyanis a különbség sugárzássá alakul, s jónéhány év alatt ez az energia felszínre tör.

A csillag belsejében kb. 15 millió fok van, a felületén "csak" 5800 fok, de a napfoltok még ennél is "hidegebbek" 1000-1500 fokkal. Ott jönnek létre sötétebb foltok, ahol a mágneses mező "gubancolódik". Ez látszik is fölöttük, a protuberanciákban (felhők a Napon), ahol a mágneses erővonalak mentén áramlik a plazma (ionizált, vagyis elektromosan töltött részecskék), és itt fordulnak elő a napkitörések (fler) is. 11 évenként mágneses polaritásváltás zajlik a Napon. Ezek a mágneses változások határozzák meg a légköri jelenségeket nemcsak az alsó légkörben, a fotoszférában, hanem a kromoszférában (szín gömbhéja: középső légköri tartomány, néhányszor 10 000 km vastagságban) és az egyes helyeken a "mágneses fűtés" miatt több millió fokos napkoronában, vagyis a külső légkörben is.

A naptevékenységnek a Föld magaslégkörére (esetenként 500 fokos hőmérsékletváltozás, akár százszoros nyomásváltozás), sőt - főként az időjárási frontokon keresztül - a mindennapi életünkre is jelentős hatása lehet (ld. halálozási és baleseti statisztikák). Az asztrológia (csillagjóslás) butaság, de van egy csillag, amelyik tényleg hatással van ránk: a legközelebbi, a Nap nevű csillag.

## **Kémiai folyamatok a kozmoszban**

A csillagközi gázfelhők kémiai összetétele lényegében az, ami az Ősrobbanáskor kialakult. Viszont: mégha csak 1 %-nyi egyéb anyag van is benne, az rendkívül izgalmas.

A kozmikus pornak – ami elsősorban szén (grafit szemcsék), ill. szilícium – afféle katalizátor szerep jut. A por szemcsék a nagyobb gravitációjuk folytán a felületükre vonzzák a gáz atomokat, de főként plazma részecskéket (atommagok, elektronok, ionok), amelyek úgy is mondhatnánk, hogy ott adnak randevút egymásnak. Sőt: ez ám a „szerelem az első pillantásra”! Az egymás „karjaiba omló” atomok rögzest „összecsókolóznak”. Aztán minden eljegyzés, vagy esküvő nélkül úgy is maradnak: összeállnak molekulákká. Létrejönnek például szén-monoxid, széndioxid, metán, ammónia, cián, formaldehid, hangyasav, etil-alkohol, metil-alkohol és egyéb gázok, sőt még víz molekulák is (szintén gáz alakban). Ez azt jelenti, hogy a biológiai evolúciót megelőző kémiai bonyolódás már a kozmoszban megkezdődik; azokban a csillagközi gáz- és porfelhőkben, amelyekből csillagok és egyes csillagok körül bolygók is összesűrűsödnek.

## **Bolygók születése**

Nem minden csillag körül vannak bolygók. Sok esetben egy összesűrűsödő "gázgombócból" csupán egyetlen csillag jön létre. Vagy kettőscsillag (ahol két csillag kering egymás körül), ill. hármas, négyes, ötös rendszer, vagy még több csillag együtt. Ám ha az összetömörült őscsillag körül megmarad egy kevés anyag, abból bolygók is kialakulhatnak.

A kozmikus anyagfelhő részecskéinek nemcsak rendezetlen mozgása lehet. A gázban másutt is gyakoriak az örvénylő, kavargó mozgások, áramlások.

Egy ősnaprendszer anyaga is eleve forgásban van. Ahol egy naprendszer születik, a (gáz nagy részét alkotó) kis sebességű részecskék középre zuhannak. Ezekből csillag jön létre, és az elegendően nagy sebességűekből – amelyek továbbra is keringeni képesek – lesznek a bolygók. A forgás közben összesűrűsödő anyag éppúgy ellaposodik, mint ahogyan a Tejútrendszer síkja mentén összpontosult galaxisunk nagy része.

Ahogy ez a gáz- és porkorong fokozatosan összebb húzódik, egyre gyorsabban forog. Emiatt a szélén leválhat róla egy anyaggyűrű, majd a tovább sűrűsödő és még gyorsabban forgó megmaradt korongról egy újabb gyűrű, és így tovább: az ezek után visszavisszamaradó, még jobban összehúzódnó, s így forgásában méginkább begyorsuló belső anyagrészekről újabb gyűrűk szakadhatnak le, egyre közelebb a csillaghoz.

Előfordulhat, hogy van olyan gyűrű, amely nem tud összeállni egységes nagybolygóvá, legfeljebb kisbolygókká, de az anyaggyűrűk zöméből bolygók lesznek.

Az őscsillag körül forgó gyűrűk pedig szét tudnak szakadni, ahol a legritkábbak, és összesűrűsödnek oda, ahol a legsűrűbbek. Ily módon a gravitációs kölcsönhatás bolygókezdeményeket tud létrehozni. Közben kisebb anyagsűrűsödések jönnek létre, amelyek összeütközéséből egyre nagyobbak születnek. A növekvő tömegű égitesteknek egyre nagyobb a gravitációja (egyre inkább megnövekszik a gravitációs vonzása), így már nemcsak az éppen arra kószáló kisebb testek ütközhetnek belé, hanem azok is, amelyek elhaladnának ugyan a közelében, viszont a gravitációs kölcsönhatás annyira begömbíti a pályájukat, hogy az – ezáltal még nagyobbra növekvő – ősbolygóra zuhannak.

A közepén sűrűbb, nagy tömegűre földuzzadt égitest (a gravitációjánál fogva) gázokat is megtart maga körül. Kezdetben a Föld is „gázgombóc” volt, legalábbis jóval több gáz volt körülötte, mint most. A nagyobb tömegű bolygók tetemes légkört megtartanak (a gravitációs kölcsönhatásnak köszönhetően), a kisebbek viszont keveset, vagy semmit. Az igazán nagyokat (óriásbolygókat) éppen ezért gázbolygóknak is nevezhetjük, noha nemcsak gázból állnak. Középen azoknak a sűrűsége is nagy, de kívülről befelé fokozatosan sűrűsödnek. Ezzel szemben a kisebbeknél a későbbiekben elkülönül a szilárd kéreggel rendelkező ún. kőbolygó az esetleges légkörétől.

Miközben a bolygó összetömörül - mint általában az összesűrűsödő gázok -, a hőmérséklete is megnövekszik. Amikor a felületére becsapódó kisebb égitestek a súrlódástól lefékeződnek, ott

még jobban fölforrósodik az anyag . Mindezt tetézi a radioaktív hőtermelés.

Így tehát az újszülött bolygók eleve magas hőmérsékletűek. Ez többek között azzal jár, hogy azok, amelyeknek nem elég nagy a tömege, könnyen elveszíthetik a nagy sebességekre fölgyorsuló könnyebb gázrészecskéket, a külső gázburkot. Földünk is kb. 5 milliárd évvel ezelőtt még kívülről befelé fokozatosan sűrűsödött, de később megszöktek róla a külső, könnyebb gázok.

Ha viszont nem tud elég sok gáz megmaradni a bolygó körül – ami a hőenergiát megtarthatná, visszasugározhatná –, akkor a felszíne lehül, megdermed, megfagy. Így jött létre a szilárd földkéreg is, ami alatt mind a mai napig egy forró, képlékeny, ún. magma réteget találunk (ez „fröccsen” ki vulkánkitörések alkalmával).

### **Holdak születése**

Ahogy a bolygók létrejönnek a csillagok körül megmaradt anyagból, hasonlóképpen: ha egy bolygó körül vannak még gáz-, ill. porrészecskék, amelyek nem zuhantak bele – minthogy elég nagy volt a sebességük oldalirányba –, akkor ezekből még holdak is összesűrűsödhetnek. Rendes, nagy holdak is, ill. gyűrűt alkotó picike porholdak.

Ezek előbb-utóbb mind lehülnek, legalábbis a felszíne mindnek megdermed, megfagy (szilárd kéreg jön létre), hasonlatosak a kőbolygókhoz.

Hold (azaz bolygó körül keringő kisebb égitest) persze úgy is válhat bolygóból, ill. kisbolygóból, valamint meteorból, hogy véletlenül olyan közel kerül a leendő „mostohaanya” bolygóhoz, hogy az képes lesz befogni ; addig a Nap körül keringett, most már ezen bolygó körül fog körbe-körbe járni, nem távolodhat el tőle túlságosan messzire.

Egyes holdak – ha elég nagy a tömegük, és nem túl magas hőmérsékletűek –, némi gyér légkört is meg bírnak tartani, a legtöbbjükéről azonban megszöknék a gázok.