

## A kézzelfogható űr

Meteoritekről akarok írni, arról, hogy miért érdekesek számomra.

Mindenki magából indul ki, tehát én is. Amikor megvettem az első példányaimat, mindent tudni akartam róluk. Hol, mikor hullott, mennyit találtak belőle, milyen a típusa, mennyit ér...

Később megnyugszik az ember és más is érdekelni kezdi. Hogyan jöttek létre? Milyen anyagokból, ásványokból állnak? Hogyan állapítják meg a származásukat, a korukat, az alkotórészeiket? Ezek az űrből jött kövek mennyire jellemzőek csak a Naprendszerünkre? Máshol is ilyen testek keletkeznek? Még hosszan tudnám folytatni a kérdéseket amik felmerültek bennem.

További kérdések helyett viszont inkább azokat a válaszokat írom le amiket tanulmányaim során találtam az adott téma kapcsán. A cikk olvasásakor úgy tűnhet, hogy felugrom a fa tetejére és lefelé mászok, hogy elérjem a fatörzsét, de én ezt úgy látom, hogy először kikészítem a szálakat amikből később erős kötelet verek.

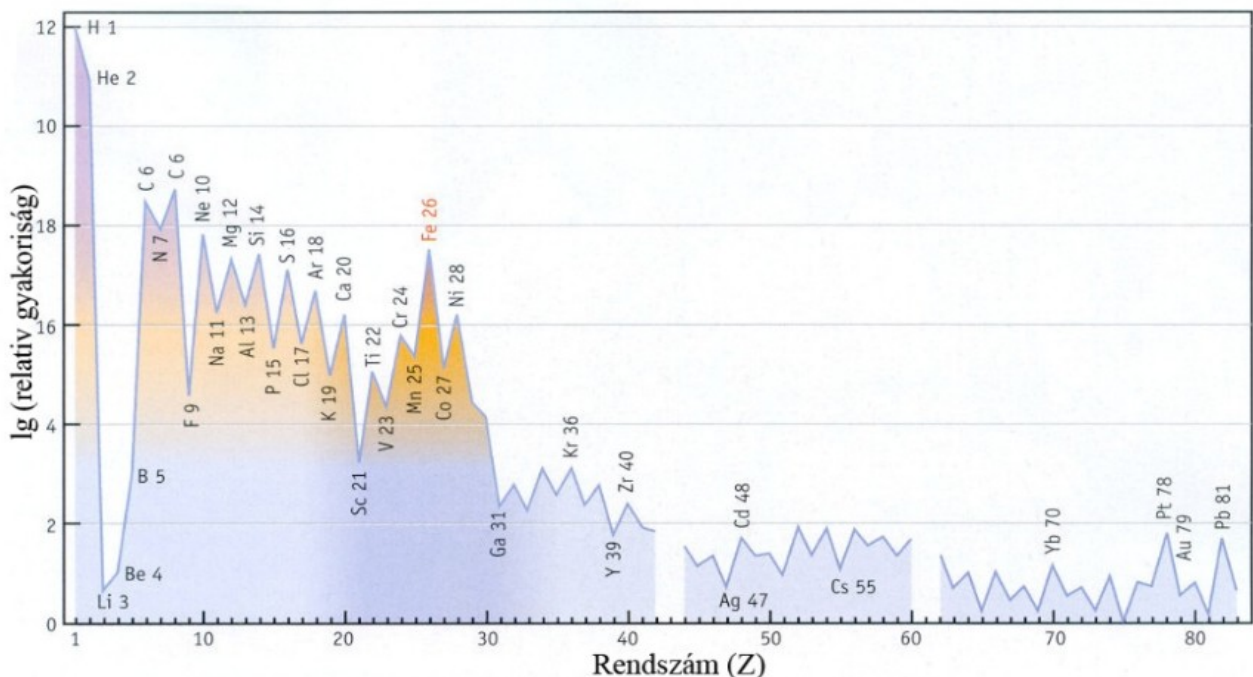
Manapság divat mindent az Ősrobbanástól vagy a régi görögöktől kezdeni, én mégis csak a második generációs csillagok, pontosabban ilyen típusú naprendszerek kialakulásától kezdem és a terjedelem miatt nagy lépéseket teszek majd.

Talán meglepő, de a Naprendszer kialakulásának jó leírása a 18. században született. Két úriember egymástól függetlenül dolgozta ki, de ugyanarra a megállapításra jutottak, az utókor pedig az elméletet Kant-Laplace nebula/ősköd elméletnek nevezte el.

Immanuel Kant - Naturgeschichte und Theorie des Himmels (1755)

Pierre-Simon Laplace Exposition du systeme du monde (1795)

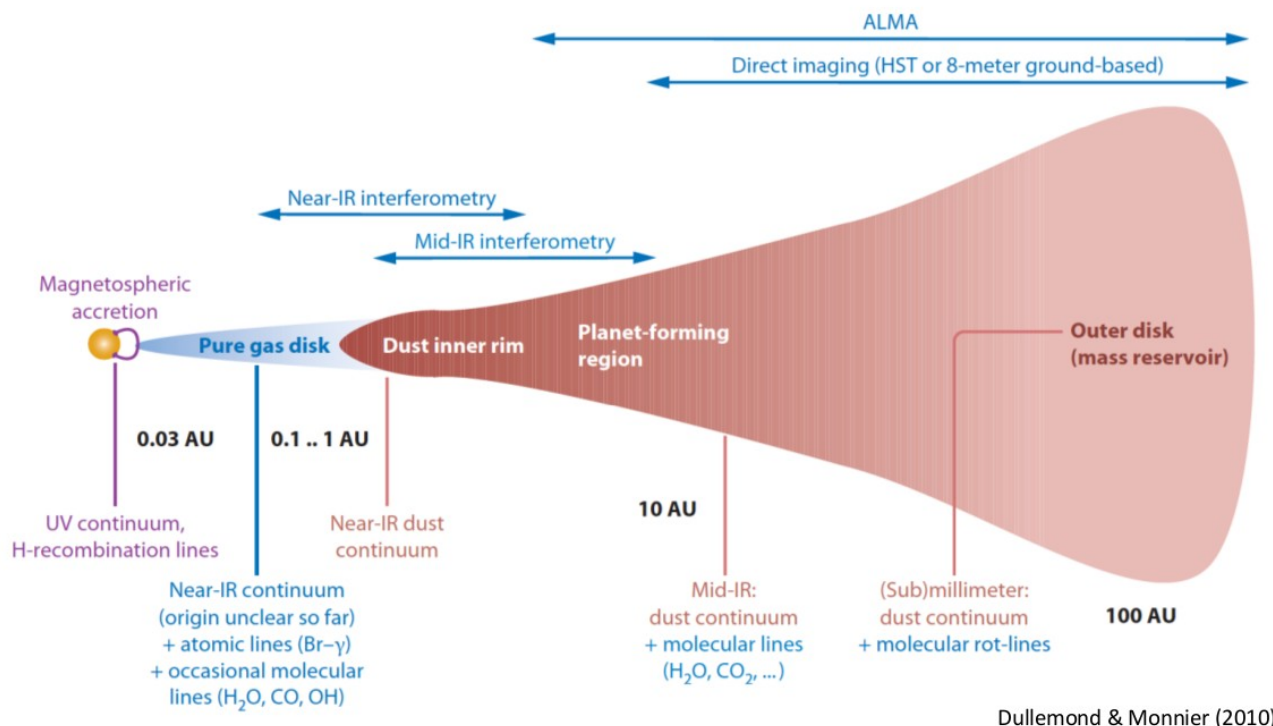
Az elmélet szerint forró gázködből jött létre a Naprendszer, amely a gravitáció miatt zsugorodott és hűlt. Egyre gyorsabban forgott és gömb alakúvá vált. A centrifugális erő miatt a az övek leváltak és ezekből bolygók keletkeztek, központi anyag, pedig a Nap lett.



Az ábrán az látható, hogy a periodikus rendszer elemei milyen gyakorisággal jönnek létre egy szupernóva robbanás alkalmával, kiemelve a legfontosabb elemeket. [1]

A ma elfogadott elmélet szerint a második generációs naprendszerek olyan gázfelhőből alakulnak ki amelyben a hidrogéne és héliumon kívül már szinte minden elem jelen van. Ennek oka az, hogy csillagászati léptékkal számítva egy közeli szupernóva robbanás által létrejött nehezebb elemek

keveredtek a gázfelhőbe. A Naprendszerünk kialakulásakor biztosan bekeveredtek a kezdeti nebulába még egy vörös óriáscsillag levetett planetáris ködében lévő nehezebb elemek is. Ezt arra alapozzák a kutatók, hogy például a Murchison vagy az Orgueil meteoritokban található óriás grafitszemcsék kialakulása a vörös óriásokra jellemzőek.



Az ábrán az látható, hogy a Naprendszerhez hasonló rendszer egy 100 csillagászati egység méretű korongból alakult ki. A felső, kék intervallumok mutatják a mérésekhez használt eszközöket, lent a korongot alkotó anyag állapotát illetve a sugárzási jellemzőit.

ALMA - Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

HST - Hubble Space Telescope

Near IR – Közeli infravörös fotometria (melynek hullámszáma kb.  $14\,000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  ( $1,4\text{--}0,8\ \mu\text{m}$ ),)

Mid-IR – Közepes infravörös fotometria (melynek hullámszáma kb.  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$  ( $30\text{--}1,4\ \mu\text{m}$ ) a fundamentális rezgések és a kapcsolódó rotációs-vibrációs rezgések vizsgálatára alkalmas) [2]

Az fenti ábrákat arra szeretném felhasználni, hogy tudatosuljon bennünk, hogy milyen lehetett a Naprendszert alkotó gáz és pororong összetétele és mérete.

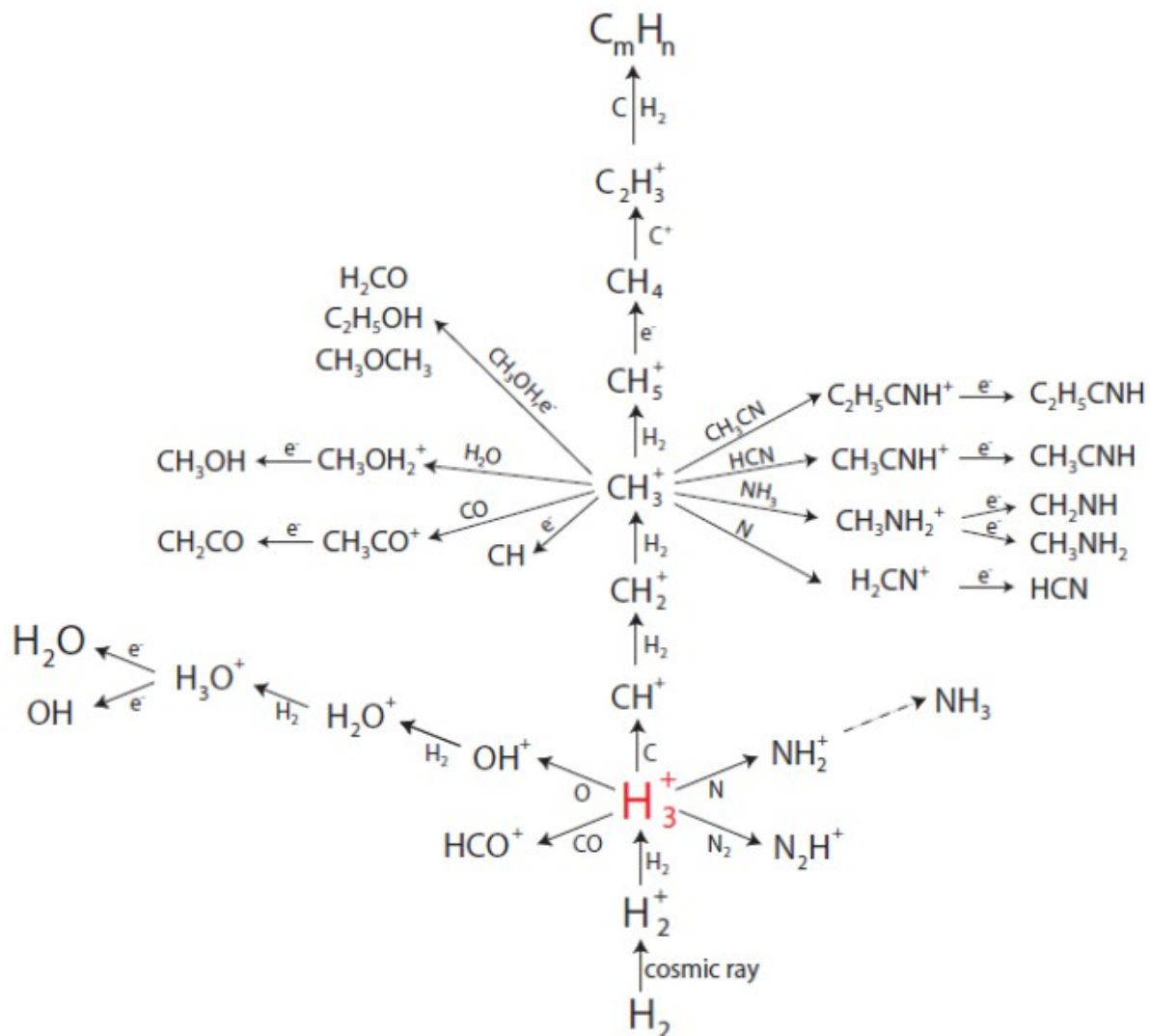
Tudom, hogy a Naprendszerben élet és halál ura a Nap, de én most csak a szilárd anyagok kialakulásával szeretnék foglalkozni. Tehát adott pár tízezernyi atom/cm<sup>3</sup> gáz- és poranyag amiből kialakul egy fiatal csillag és bolygórendszer, valamint az aszteroidák, üstökösök és minden más. A fentiekből már kiderült, hogy a hidrogén és hélium felhőbe belekeveredtek nehezebb elemek egy közeli szupernóva robbanás miatt. A szilárd elemek szemcsemérete mikronnál kisebb, nagyjából a cigarettafüst koromszemcséivel hasonlatos. [3]

Ezt a gáz- és porkeveréket a Naprendszer esetében 6 milliárd évesre becsülik, a mai elnevezése pedig „korong”.

Új szál.

Jó lenne tudni, hogy hogyan jöhetnek létre struktúrák! Elnézést kérek azoktól akik számára ez evidens, de nem egy kémia laborban vagyunk, ahol egy kémcsőben kevergetünk mindenféle elemeket és majd csak lesz valami belőle. Szerintem nem triviális az, hogy az űrben, gyakorlatilag vákuumban magától kialakuljon valamilyen ásványalkotó molekulalánc. Ebben talán nagy szerepet játszik a mindent átjáró kozmikus sugárzás, ami létrehozhat az atomokból ionokat és akkor szerencsés esetben molekulák, szilikátos alkotórészek, vegyületek is létrejöhetnek, bár ez inkább a gáz és pororong sűrűsödésekor lesz inkább jellemző.

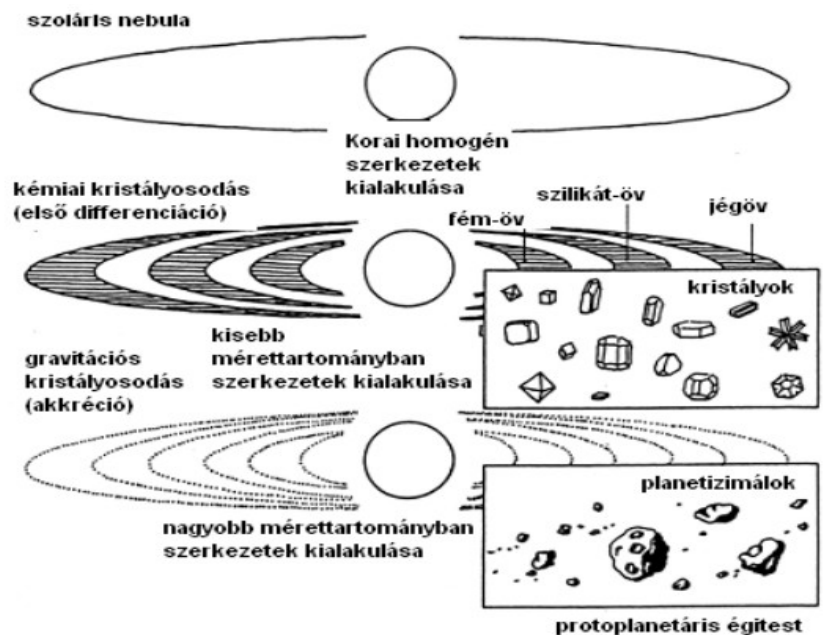
Csillagkeletkezési helyeken (NGC2070 és M42) sikerült spektroszkópai méréssel kimutatni a  $H_3^+$  (ejtsd H 3 plusz), azaz háromcentrumú kötéssel kötött hidrogén magokat (protonokat) amelyeknek csupán két elektronja van. Ez a leggyakoribb ion az univerzumban és nagyon reagens. Rengeteg vegyület kialakulását vezették le a  $H_3^+$ -ből. [4]



Az ábrán látható, hogy vegyületek és ásványok keletkezhetnek a leendő naprendszerekben.

A korongban lévő turbulenciák miatt, a statikus elektromos töltöttség vonzása okán, vagy a mágnesestér erővonalai mentén, a kialakulóban lévő csillag rendszertelen kitérései hatására kerülhetnek elemek egymás közelébe és az agresszív töltött részecskék kapcsolódhatnak velük.

A csillaggá összehúzódó kozmikus por- és gázköd fölmelegedett, központi forró tartományai létrehozták a Napot, a keringő ködből pedig anyagcsomók váltak ki, azok megformálták Naprendszer ásványait, melyek aztán ütközésekkel fokozatosan nagyobb égitestekké halmozódtak. A Nap körüli por- és gázköd anyagát kétféle erő halmozta nagyobb testekké. Az egyik erő az elektromágneses és kvantumos hatások együttese, amely ásványszemcséket hozott létre. Apró szemcsékben kristályok váltak ki, melyek az ütközések során összetapadtak, és egyre nagyobb anyaghalmozokká álltak össze. A másik erő, a gravitáció, fokozatosan jutott szervező szerephez a bolygók kialakulása során. [5] [6]



Az összehúzódást valószínűleg egy „közeli” csillag felrobbanása indította el, amely mint csillagszél elkezdte mozgatni a viszonylag homogén elrendezésű gáz és por elegyet. Az általa szállított nehezebb elemek bekeveredése kis csomókat hozhatott létre. Ez a folyamat kb. 4,7 milliárd évvel ezelőtt kezdődött. A felhőben lévő kis csomósodások növekedni kezdtek, összetapadtak, a gravitáció vagy statikus feltöltődés miatt is vonzhatták egymást. Majd hógolyószerűen növekedni kezdtek. Ebben a forgó, korong alakú felhőben lezajló folyamatok határozták meg a Naprendszer égitestjeinek tulajdonságait, így a mozgásukat, az anyagi összetételüket és az ettől függő felszíni alakzataikat is. Az ún. Lewis-Barshay-féle modell szerint a kondenzációs folyamatokat és az anyagi összetételt nagyban befolyásolta a Naptól való távolság.

1. táblázat

**Legfontosabb ásványok sorozata a Lewis-Barshay-féle modell szerint**

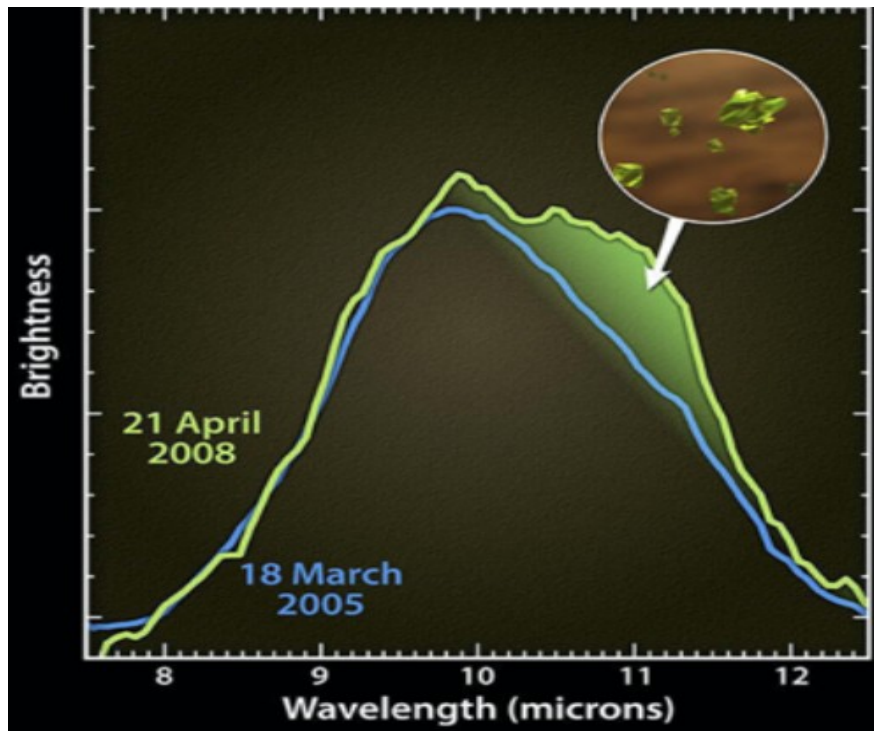
hőmérséklet (K)	kémiai elemek, reakciók	ásványok
1600	CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ritkaföldfém-oxidok	oxidok
1300	Fe, Ni fémötvözet	Fe-Ni fém
1200	MgO + SiO <sub>2</sub> → MgSiO <sub>3</sub>	ensztatit
1000	alkáli-oxidok + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	földpát
1200-490	Fe + O → FeO, FeO + MgSiO <sub>3</sub>	olivin
680	H <sub>2</sub> S + Fe → FeS	troilit
550	Ca-ásványok + H <sub>2</sub> O	tremolit
425	olivin + H <sub>2</sub> O	szerpentin
175	H <sub>2</sub> O jég kristályosodik	vízjég
150	gáz NH <sub>3</sub> + jég H <sub>2</sub> O = NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	ammónia-hidrát
120	gáz CH <sub>4</sub> + jég H <sub>2</sub> O = CH <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	metán-hidrát
65	metán, argon kristályosodik	metánjég, argonjég

A Lewis-Barshay-féle modell szerint a fő kőzetalkotó szilikátok alkották a belső bolygók övében kiváló ásványok nagy részét. Ezek olvadékcseppeket alkottak egykor, mert a korai Nap kitörései egyes tartományokban úgy fölforrósították a por- és gázködöt, hogy az addig már kialakult és összetapadt kristályok megolvadtak, majd lehültek. A 0,1-1 milliméteres nagyságú gömböcskékre, ezek a kondrumok, fokozatosan tapadt rá a körülöttük található por is. A kondrumok és a maradék poranyag összetapadással és ütközésekkel egyre nagyobb égitestekké halmozódott.

**A Naphoz közeli, forró tartományokban kiváló ásványok sorozata**

hőmérséklet (K)	kémiai elemek	ásványok
1785	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	korund
1647	CaO TiO <sub>2</sub>	perovszkit
1625	2MgO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	melilit (gehlenit)
1513	MgO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	spinell
1471	Fe Ni	vasnikkel
1450	CaO MgO 2SiO <sub>2</sub>	diopszid
1444	2MgO SiO <sub>2</sub>	forszterit
1362	CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2SiO <sub>2</sub>	anortit
1349	MgO SiO <sub>2</sub>	ensztatit

Az egykor megolvadt cseppek fokozatosan kihűltek, kikristályosodtak. Ezeket az ásványokat találhatjuk meg a bolygók, törpebolygók, kisbolygók, aszteroidák stb. anyagában. Az alkotórészek azonosak, de a történetük más és más, attól függően, hogy melyik égitest kialakulásában vettek részt.

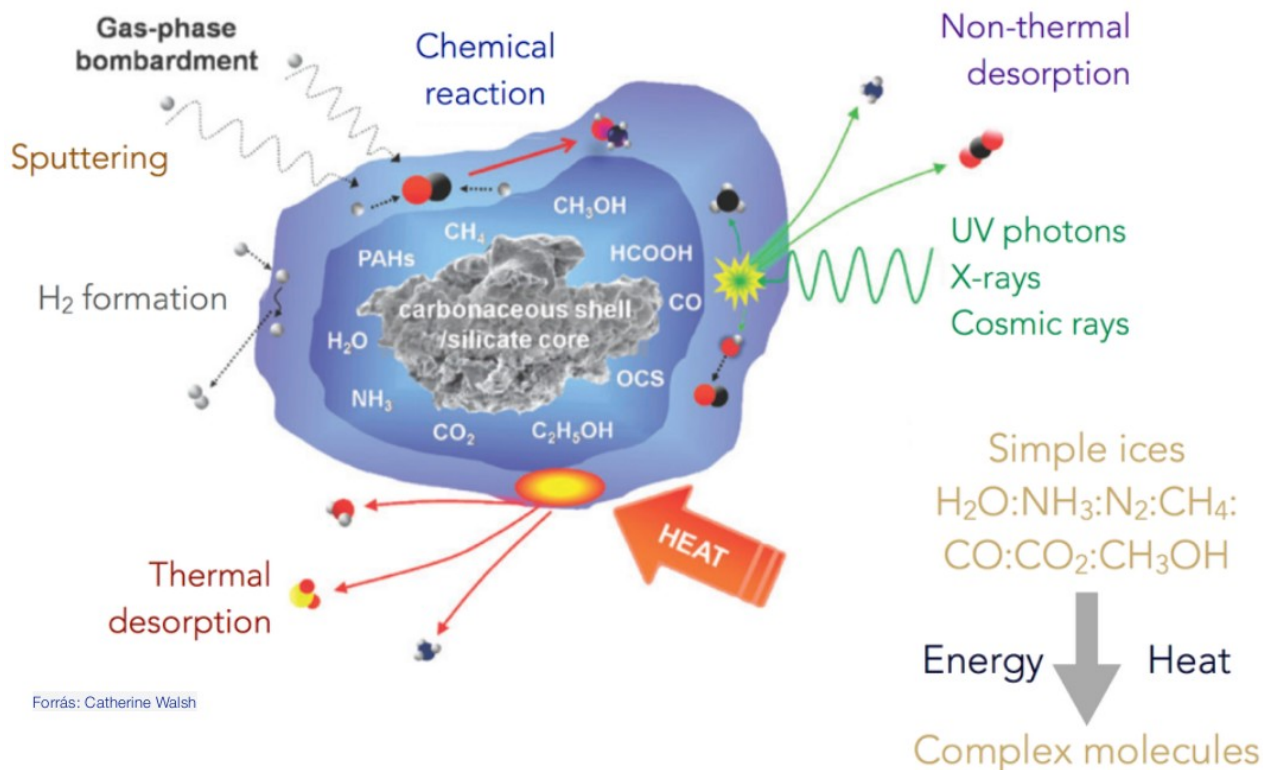


Az Ex Lup rendszer kitörése

Ma a kutatók nagyon sok születő vagy fiatal naprendszert figyelnek folyamatosan. Ilyen megfigyelt naprendszer a Ex Lup rendszer amely 2008-ban egy kitörés alkalmával 5 magnitúdóval lett fényesebb, ez százszoros fényesedést jelent. Sikeresen pályáztak a Spitzer űrtávcső mérésre és azt sikerült 10  $\mu\text{m}$  infra színképelemzéssel kimérni, és a pár évvel korábbi mérés összehasonlításával megállapítani, hogy az eddig amorf szilikátos anyag a kitörés hatására megolvadt és kikristályosodott. A spektrumot összehasonlítva a földi kalibrációs mérésekkel, olivin kristályok kialakulását figyelték meg. A megfigyelésben két magyar kutatócsapat is részt vett és közösen publikálták az eredményt. (Nature 2009) [7][8]

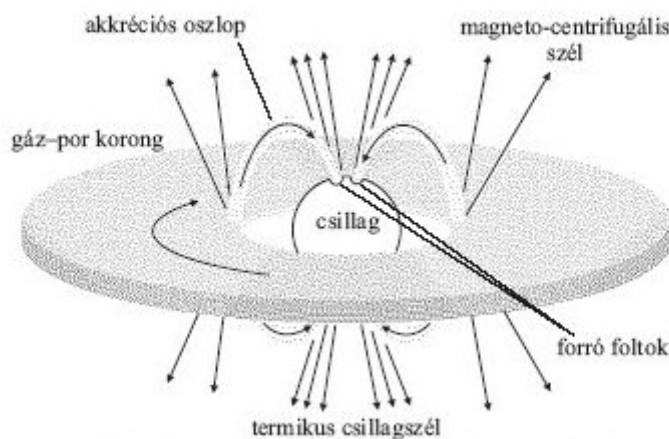
Még egy szál, hogy kötelünk erősebb legyen!

Az ősnapban meginduló magfúziós folyamat jelentősen felfűtötte a felhő központi részét. A szoláris köd belső vidékeiről a gázok, illetve a porszemcsékből felszabaduló illékony anyagok a Napból áramló részecskesugárzás, a napszél segítségével a külső területekre kerültek. A belső bolygókezdemények, bolygócsírák összeállásában főleg szilárd szemcsék vettek részt. Távolabb, ahol elég hideg volt a víz kicsapódásához, a vízgég-szemcsék száma ugrásszerűen megnőtt. Az ennél távolabbi tartományban már a víz is részt vett a planetézimálok felépítésében.



Forrás: Catherine Walsh

Fent egy csodálatos kép látható, Catherine Walsh ( Leiden University) munkája, én Ábrahám Pétertől nyúltam le. A rajzon egy, a szilikát-öv és a jég-öv határán lévő szemcsét láthatunk. Számomra a legizgalmasabb terület! A szilikátos magnak ami akár szén is tartalmazhat, sőt akár szén szemcsé is lehet, hasonló szerepe van mint az esőcseppek kondenzációs magjának. A jég körbeöleli a magot, és itt már elindul a kémia! Bonyolult molekulák jöhetnek létre. Látható, hogy a szemcsé mérete már ellenáll a kozmikus sugárzásnak, ezalatt azt értem, hogy az eltalált, átalakult vagy gerjesztett atom vagy molekula megmarad a szemcsében, további reakciókra alkalmas állapotban. Persze, lehet hogy pár molekula elszublimál, hiszen alig van gravitációs hatása egy ilyen szemcsének, de ez már akkor is egy struktúra, ami tovább fejlődhet...



A fősorozat előtti csillagok vázlatos szerkezete [9]

A szoláris ködből jelentős mennyiségű gázt csak az óriásbolygók tudtak magukhoz kötni, de azok is csak az összeállás későbbi fázisában, amikor már kellően nagy méretű és gravitációjú maggal rendelkeztek. A gázbolygók nagy kiterjedésű légköre azért tudott megmaradni, mert a Naptól távol alacsonyabb a hőmérséklet emiatt kisebb a gázok hőmozgása, és a napszél ereje is gyengébb. Később a bolygócsírák további növekedésében már nem a por- és gázgyűjtés jelentette a fő szerepet, hanem az egymással való összeütközés és összeolvadás.

Sok szálunk van már, ideje pár olyan szálát is beszöni, amik gyengítik a kötelünket, nehogy elbázzuk magunkat...

**Az első nagy probléma** az az, hogy hatalmas változásnak kell bekövetkeznie ahhoz, hogy a korongból csillag születhessen.

### Csillagközi felhőmag

$$n \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

$$T \sim 10\text{-}30 \text{ K}$$

$$R \sim 10^{17} \text{ cm}$$

$$B \sim 20\text{-}30 \text{ mikroGauss}$$

$$\text{Szögsebesség} \sim 3 \times 10^{-14} \text{ rad s}^{-1}$$

(egy fordulat 7 millió év)

### Fiatal csillag

$$n \sim 10^{23} \text{ cm}^{-3}$$

$$T \sim 10^6 \text{ K}$$

$$R \sim 10^{11} \text{ cm}$$

$$B \sim 1 \text{ kiloGauss}$$

$$\text{Szögsebesség} \sim 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$$

(egy fordulat: 1 hét)

Fentről lefelé; részecskék száma, hőmérséklet, kiterjedés, mágnesestér változás, a forgás sebessége. [10]

**Az akkréció problémája** az abból áll, hogy hogyan veszíti el a perdületét a korong anyaga, miért hullik a születő protocsillag felületére? Arról van szó, hogy kb. 5 AU kiterjedésű koronganyag bespirálozzon és létrehozza a Napot, ahhoz a perdületének az 50-ed részére kell csökkennie. A perdületmegmaradás miatt valaminek el kell vinnie a többlet perdületet, de mi? Súrlódás a korongon belül? Ne feledjük, a korong sűrűsége földi léptékben mérve nagyon jó vákuum. A korongban vannak turbulenciák? Lehet, és az a részecske ami elviszi a másik perdületét az majd távolodni fog, az anyag „időt nyer”, hogy bolygó anyaga lehessen és ne hulljon be a protocsillagba... Ma ez a legelfogadottabb elmélet.

**A por lecsatolódása** azt a problémát jelenti, hogy laboratóriumi kísérletek alapján ha poranyag ütközik akkor a legvalószínűbb az, hogy a szemcsék összetapadnak. Magam is láttam egy filmet ami egy ISS kísérletet mutatott be. Az űrhajós kevés sót és cukrot szórt egy nylonzacskóba, kissé felfújta a zacskót, majd megrázta, hogy a por keveredjen és láss csodát a cukor és só szemcsék összetapadtak! Fontos információt adott, hogy az űrhajósok úgy kávéznak és teáznak, hogy egy erősebb zacskóban víz van, benne a kávé őrlemény vagy a teafű. Ezt megmikrozzák majd erősen összerázzák, ha kész, a kupakot lecsavarják és egy beépített szűrőn keresztül kiszívják. Nos egy ilyen tasakot kicsit összeráztak, a teafű lassan, de határozottan csomósodott. De amikor a kísérletező az ujjával erősen megdörzsölte a zacskót a folyamat hirtelen felgyorsult, nyilván a statikus töltődés hatására.



Forrás: Youtube.com

Viszont ha a kis porgömböcskék elérik a kb. **egy centiméteres határt**, a modellek szerint, akkor már nem tapadnak össze, hanem elpattannak egymástól... No ez viszont baj! Talán a statikus töltődés segít összetartani a nagyobb cseppeket, vagy a nagyobbakhoz előbb kisebbek tapadnak? Esetleg, por vagy távolabb már a jég? Ki tudja? Az is igaz, hogy a centis gömböcskék már kezdenek a Kepler pályára állni, tehát az ütközési sebesség sok esetben nagyon alacsony, de rugalmas ütközés esetén az űrben, el kellene pattanniuk. Szerencsére nem teszik mindig!

Messzire azonban nem jutunk mert itt a következő akadály.

**Az egy méteres határ probléma** az abból áll, hogy amikor a test már ekkora, teljesen lecsatolódik a gáztól. Tehát, ha a gáz valamiért mozogni, örvényleni kezd, például egy korai napkitörés miatt, a test erre már nem reagál, és átcsörtet a gázon. Igen ám, de akkor súrlódik! Tehát a test, a Kepler törvények által meghatározott pályán kering, a gáz részecskék viszont a nyomásváltozásokra való tekintettel akár lassabban is keringhetnek mint azt az adott pálya megkövetelné, vagy akár „keresztbe” mozdulhat pályáján a születő csillag körül. Így viszont egy kvázi közegellenállást jelent a már tömör testnek, aminek pár tízezer év alatt illene behullania a fiatal csillagba.

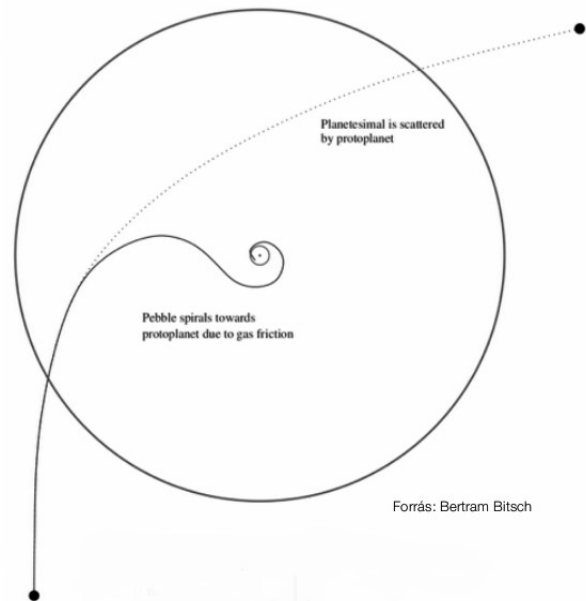
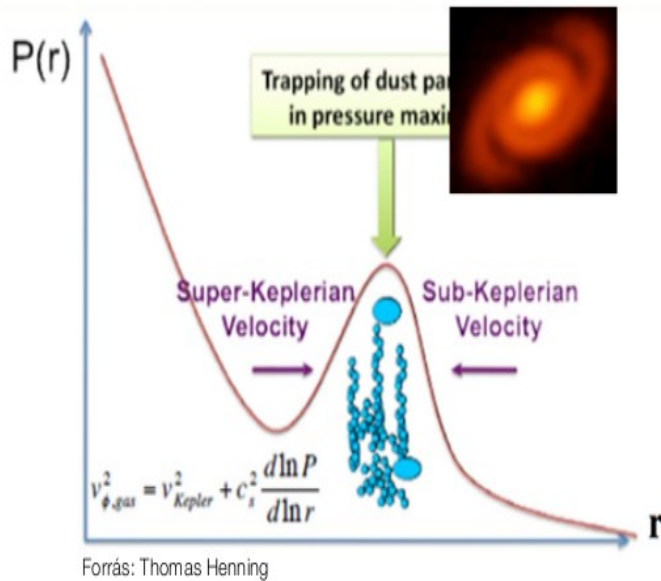
Kibúvót két elmélet is adhat, persze lehet, hogy a kettő hatása együtt jelentkezik...

Az elsőt az támasztja alá, hogy fiatal, születő naprendszereknél láttak spirál karokat a korongon belül. A por és gáz keverék, bár ritka, de mégis van nyomása, hőmérséklete, ezen nyomásgradiensek eredője létrehozhat nyomás maximumokat ami lassíthatja a sziklák bespirálozódását. Tehát, ha van belső szerkezete a korongnak, márpedig több, -főleg ALMA mérés-, szerint van ilyen, akkor ez kissé megtarthatja az anyagot.

A második esetében az a teória, hogy a test nagyon gyorsan „hízik”. Minél nagyobb a test az apró ütközések hatása kiegyenlíti egymást, a test igyekszik tisztára söpörni a pályáját és így már megmarad.

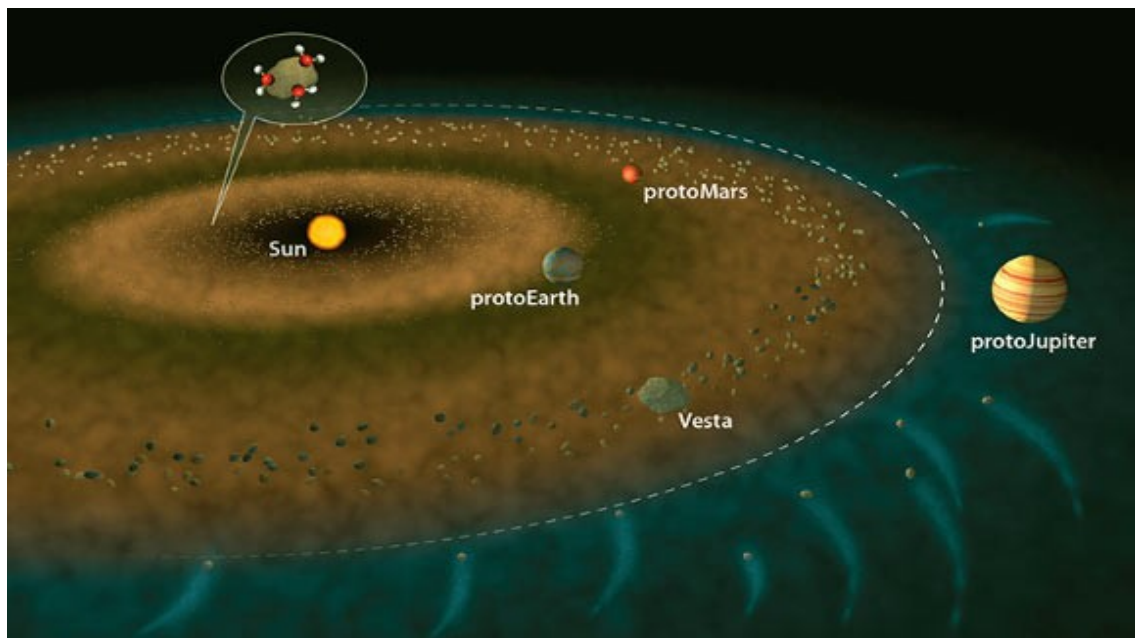
A probléma feloldását próbálja megmutatni a következő két ábra.





Még két információ. Minden elmélet szerint, a bolygóképződésnek nagyon gyorsan kell bekövetkeznie! Csillagászatban ez pár tízezer évet jelen csupán. A másik az az, hogy nagyon nagy korongból keletkező csillagoknak, kevés bolygója lehet. Két Nap-tömegnyi anyag már olyan gyorsan húzódhat össze, hogy nem marad anyag a bolygók létrejöttéhez. De ez nagyon vékony jég, nem megállapítás, csak egy vélemény a sok közül...

A bolygó csirákból, planetezimálokból száz darab körüli becslések a legelfogadottabbak. A nagyobb testek gravitációs hatása zavarja, perturbálja egymás pályáját, vagy ütköznek, vagy szerencsés esetben a megfelelő rezonancia pályákra kerülnek, így megmaradnak.



Ennyit szerettem volna, ha valaki azt hiszi, hogy nem is a meteoritekről írtam, akkor az téved! Minden test potenciális meteoroid, csak a méretétől függően másként nevezik, de ha egy darabkája eléri a Föld légkörét akkor meteorrá válik, és ha eléri a Föld, vagy más égitest felszínét, és meg is találjuk, akkor már meteorit lesz a neve! Szerencsés ember az aki kezében tarthat egy darabot a világról. Én szerencsés vagyok... Köszönöm!

P.S.

Ha valaki pontosítani tudja és szeretné az általam leírtakat, kérem tegye meg! Előre is köszönöm!  
lajos.denes@ddsoft.hu

Források:

- [1] **George Gamow** számításai alapján készült ábra „Az Univerzum keletkezése” <???
- [2] **Kóspál Ágnes** ESA / MTA CSFK CSI - Csillagkörüli korongok dinamikája, Fiatal Csillagász és Asztrofizikus Kutatók Találkozója 2014
- [3] **Ábrahám Péter** MTA CsFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet – Miért olyanok a bolygórendszerek? Atomcsill, 2016.
- [4] **Szidarovszky Tamás** ELTE TTK Kémiai Intézet -Analysis of the Rotational-Vibrational States of the Molecular Ion  $H_3^+$
- [5] **Lukács Béla** MTA – Lukács Béla
- [6] **Bérczi Szaniszló** ELTE TTK KAVÚCS – Bolygótestek Atlasza 2001
- [7] **Kóspál Ágnes** ESA / MTA CSFK CSI - Cold CO gas in the disk of the young eruptive star EX Lup
- [8] **Ábrahám Péter** MTA CsFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet - Brightness variations of the FUor-type eruptive star V346 Nor \*
- [9] **Kun Mária** MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete -FIATAL CSILLAGOK ÉS KÖRNYEZETÜK KÖLCSÖNHATÁSAI Fizikai Szemle 2005/9.
- [10] **Ábrahám Péter** MTA CsFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet – Miért olyanok a bolygórendszerek? Atomcsill, 2016.
- [11] **Gyollai Ildikó** MTA CSFK - T ERMIKUS ÉS SOKKMETAMORF JELENSÉGEK EGY KIS ÉGITEST FEJLŐDÉSÉBEN A MAGYARORSZÁGI ÉS ANTARKTISZI METEORITOK PETROGRÁFIAI , R AMAN – ÉS INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIÁS VIZSGÁLATA ALAPJÁN
- [12] **Dénes Lajos** – No mi a ménkű ez?! <http://mek.oszk.hu/14900/14919/#>