

## **A csillagok születése, életútja és halála.**

Nem élőlények, de „életük” a miénkhez hasonlóak. Megszületnek, majd stabilan élnek az energiatermelés szempontjából, majd elérik a „változó kort”, amikor a korábbi stabil állapotuk – a változócsillagokról van szó – felborul. Ezután jön a végállapot, amely a születésükkor kialakult tömegtől függően különböző módon alakulhat. Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a megfigyelések és az elméleti elképzelések egymással összeegyeztethető jelenlegi álláspontját ismertetjük. Az elméleti oldal megértése komolyabb – előzetes atom- és magfizikai – ismereteket kíván.

*Nagyon izgalmas végigkövetni a csillagok életútját.*

Az emberek életkora ritkán éri el a 100 esztendő, az emberélet különböző szakaszairól különböző orvosi és biológiai feljegyzésekkel rendelkezünk. A csillagok azonban több száz millió évig léteznek. Ezt is sikerült végigkövetnünk, a csillagászok kutató munkájának az eredményeként.

A módszer egy kissé hasonlít az alábbihoz. Menj be egy erdőbe, ahol találsz facsetetét, fiatal fát, olyat, amelyik élete teljében van, időseket és korhadó fatörzseket is.

A csillagászok azonban nem mehetnek a „csillagerdőbe”, hanem innen a Földről kell mindent felderíteni.

*A csillagok születése, kialakulása.*

Ha a Naprendszer kialakulásánál egy „ösköd”, tehát egy gáz- és porfelhő játszott a főszerepet, akkor a csillagok születése is ehhez hasonlóan mehetett végbe.

Ma két, egymásnak teljesen ellentmondó elmélet létezik: az egyik szerint *a csillagok extrém sűrű anyagokból keletkeznek, majd szétszóródnak a térben – ez Ambarcumjan, híres örmény csillagász elképzelése. A másik alapja a finom eloszlású por- és gázfelhők jelenlétéből indul ki. Ezek összesűrűsödése eredményezte a csillagok kialakulását.*

Mindkét elképzelésnek vannak megfigyelési támaszai, így ma még nem dönthető el egyértelműen, hogy melyik folyamat lehet a valós.

A második elképzelés a világegyetemben mindenhol előforduló gáz- és porfelhőket veszi alapul. Eszerint *a csillagok nem magányosan, hanem csoportosan jönnek létre.* Erre utal az asszociációkban és a nyílthalmazokban található csillagok fiatal kora (lásd korábban).

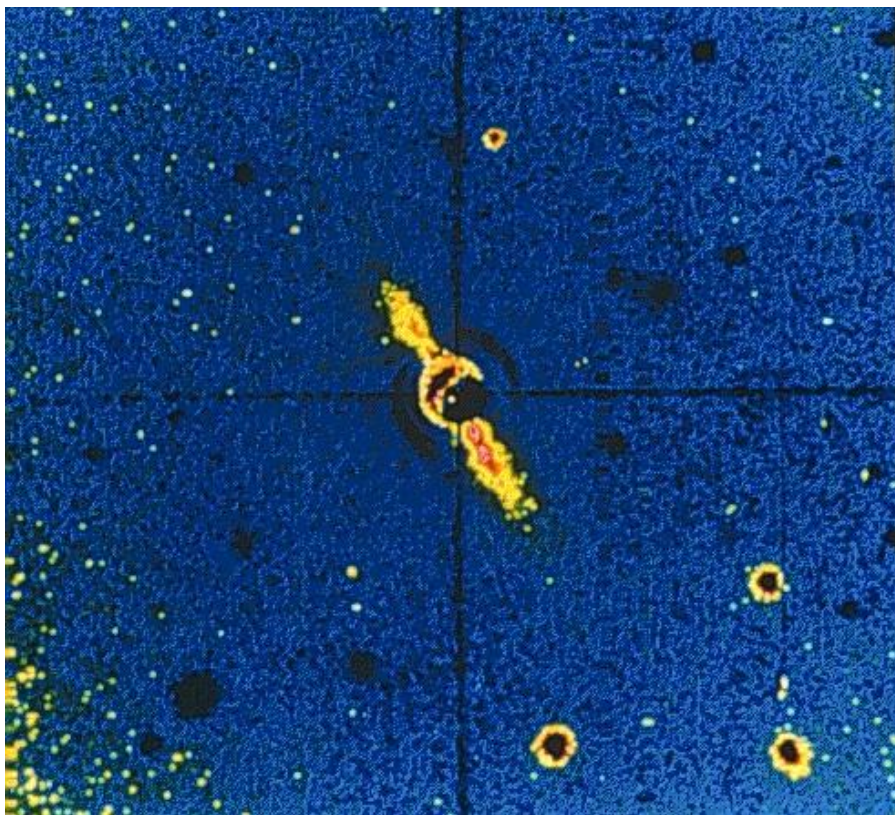
A csillagközi anyag, melyről már az előző fejezetben szó esett, anyageloszlása nem egyenletes (nem homogén), ha van benne anyagcsomó, akkor az a gravitációs (tömegvonzási) ereje miatt elkezd beszípkázni a környezetében lévő anyagot. Tehát „hízik”.

(Sokféle elméleti számítás létezik, melyek részleteivel nem szeretnénk az olvasót terhelni. Így csak a végeredményt közöljük.)

Az anyagcsomó tömege, ezzel együtt a sűrűsége is folyamatosan nagyobb lesz. A gravitáció veszi át a főszerepet. A gázból- és porból álló kezdemény elkezd összehúzódni. Nagyon jól tudjuk, hogy ha egy gázt összenyomunk, akkor annak hőmérséklete emelkedni fog. Tessék kipróbálni egy bicikli pumpával!

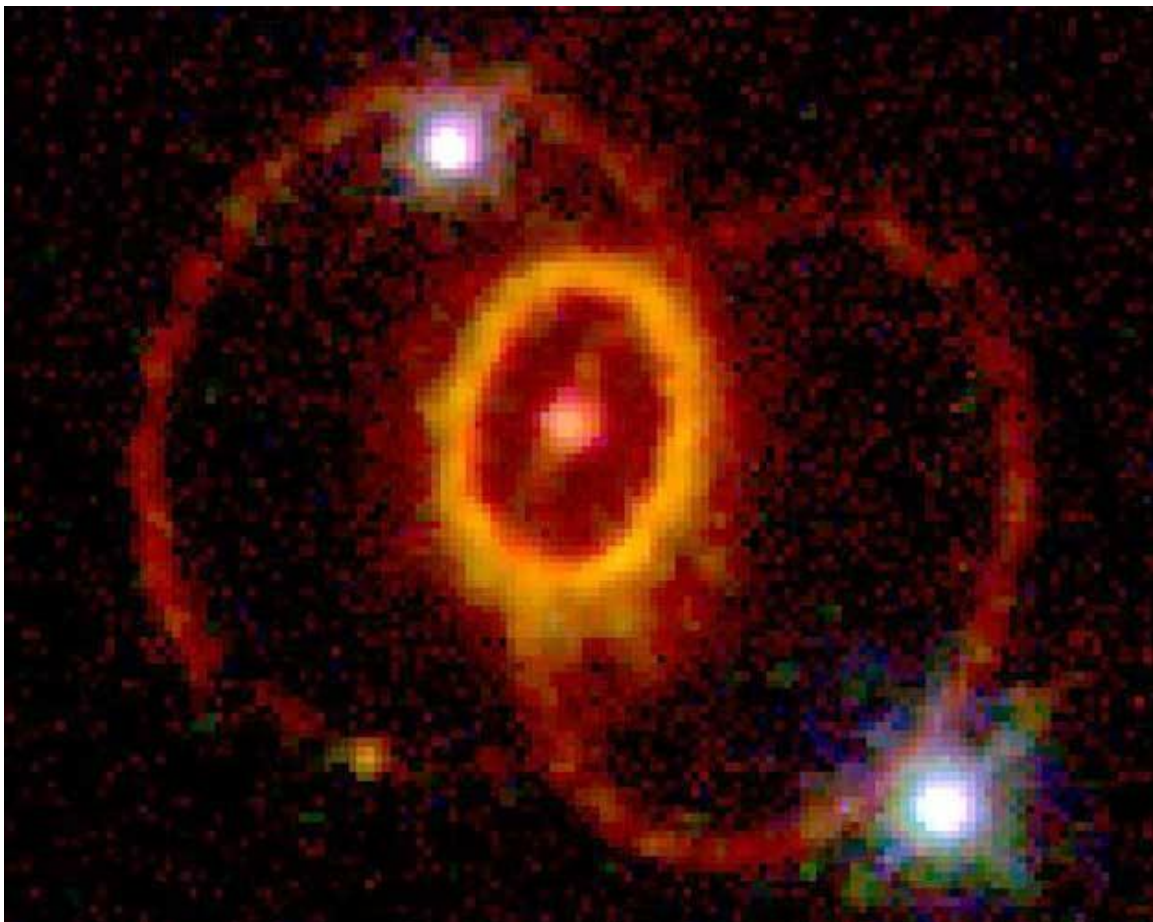
*Ekkor a csillagkezdemény anyaga még olyan híg, kicsi a sűrűsége, hogy a gáznyomás által kialakult magas hőmérséklet okozta sugárzást nem tudja visszatartani. Így az anyag átlátszósága (opacitása) nem tudja megakadályozni az infravörös tartományba eső sugárzás szabad kibocsájtását.*

A gravitációs erő hatására folyamatosan nő a tömeg és a sűrűség, így eljön az a pillanat, amikor a csillagkezdemény már nem engedi ki az infravörös sugarakat. Ez a *protocsillag állapot*. Az elméleti számítások szerint ez kb. 10 millió évig tart, ami jó egyezést mutat az O-csillagasszociációk korával. (Egyes szakemberek szerint az asszociációk jelentik a legfőbb csillagkeletkezési helyet a Tejútrendszerben.) Ekkor viszont a belső hőmérséklet eléri az 1000 K-t, és a csillag infravörös fényt kezd kisugározni. A sugárzás kisöpri a közvetlen környezetében lévő port, illetve a nagyobbakat elpárologtatja, és az optikai tartományban is sugározni kezd. A kisöpört porburok maradványai jól láthatók.



*A Béta Pictoris csillag körüli porfelhő képe. (Forrás: spider.seds.org.)*

A gravitáció okozta összehúzódás folytatódik. Így a belső hőmérséklet folyamatosan emelkedni fog. Mindez kb. 10-100 millió évig tarthat. (Ha valaki a finom részletekre kíváncsi, akkor lapozza fel a Marik Miklós által szerkesztett Csillagászat című könyvet. A világhálón több olyan megbízható hely van, ahol erről részletesen lehet olvasni: [www.csillagaszat.hu](http://www.csillagaszat.hu), [elte.prompt.hu](http://elte.prompt.hu) Tóth L. Viktor írásai, [astro.u-szeged.hu](http://astro.u-szeged.hu)) Bárki felteheti a kérdést, hogy miért fog sűrűbbé válni egy csillagközi felhőben lévő gáz- és poranyag. Ez elsősorban külső hatás eredménye lehet. A felrobbanó óriáscsillagok – szupernóvák – lökéshulláma idézhet elő ilyet. Itt szó sincs hanghullámokhoz hasonló jelenségről, melyek a levegőben – összenyomható közegben –terjednek. (Ezért van a világűrben süket csend, ellentétben a különböző fantasztikus filmekben hallható effektusokkal szemben.) Ebben az esetben anyaghullámról van szó, ami akár több ezer fényév sugarú körzetben is kifejti hatását.



*A Nagy Magellán Felhőben 1987-ben felrobbant szupernóva maradványa. Jól látható a táguló anyagfelhő. (Forrás: HST,APOD.)*

A másik hatást egy felhőbeli csillag hozhatja létre, amely már korábban ott létrejött. Ez eredhet a csillag erős anyagáramlásából (csillagszél), vagy a nagy energiájú sugárzásából (UV-tartomány) is, amely ionizálni tudja a környezetében lévő hidrogénfelhőt. Ekkor jön létre az ionizációs front, amely szintén elősegíti a csillagképződés folyamatát.



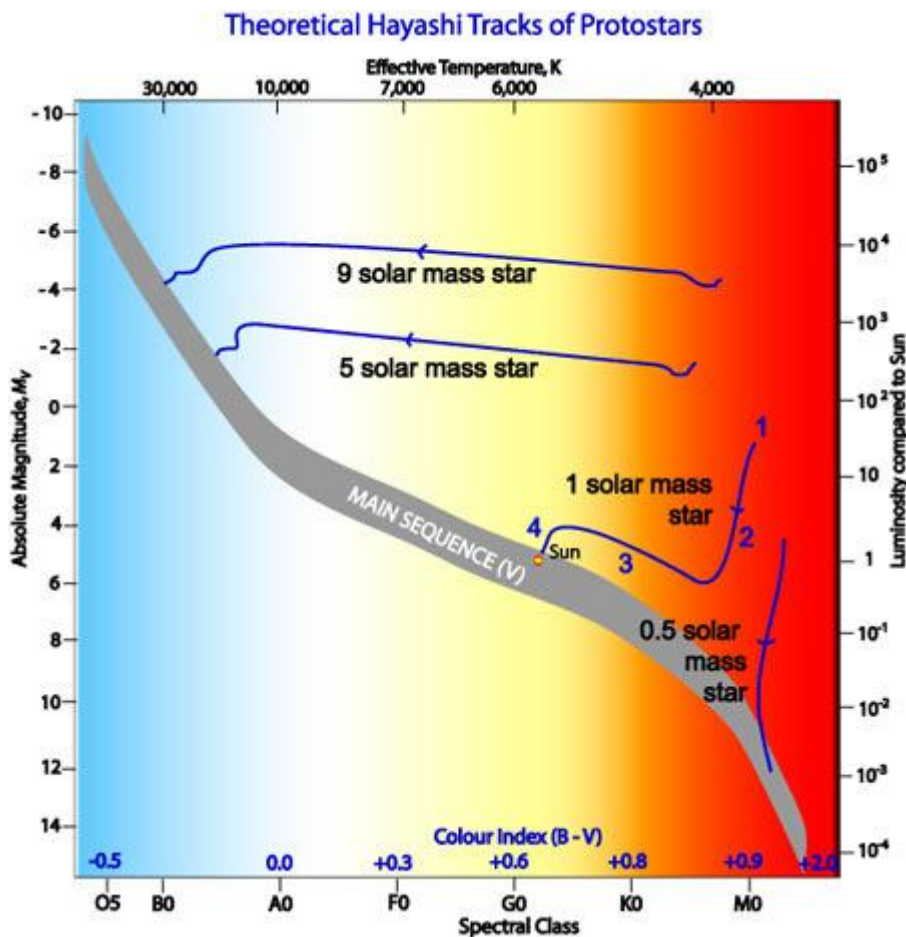


*A Sas-ködben lévő ionizációs frontok. Azok a területek, ahol a csillagközi anyag sűrűbbé válik. Ezeket a változatos alakú befűződések mutatják. Érdeemes figyelni a kép közepén lévő fura alakú részre, melynek részletes képe alant látható. (Forrás: APOD, Jimmy Walker.)*



*Egy ismert kép. A Teremtés oszlopai nevű gáz- és porfelhők a Sas-köd belsejében. Itt a csillagkeletkezés egyik bölcsőjét láthatjuk. Ez a Hubble-űrtávcső egyik híres képe. Az anyagfelhő néhány millió év múlva már nem lesz látható, feloszlik.*

A protocsillag ezután egyre gyorsabban húzódik össze. Amikor a belső hőmérséklet eléri a 100 000 K-t, akkor a csillag fényessége jelentősen megnő egy – a teljes életkorához viszonyított rövid időre –, majd nem sokkal később eléri a HRD fősorozatát, a főágát. Ekkor indul be a belsejében a proton-proton folyamat. A protocsillag állapot ideje, és ezzel együtt a főágra – azaz – a nullakorú (lásd korábban a nyílthalmazoknál) főszorozatra való fejlődés ideje különböző.



A különböző tömegű csillagok fejlődése a főszorozat előtt. Sun = Nap. solar mass = Nap-tömeg, main sequence = főszorozat, főág. Az alsó vízszintes tengelyen a színképosztályok és a színindex, a felső az effektív hőmérséklet, a jobb oldali függőlegesen a luminozitás, míg a balkon az abszolút vizuális fényesség van. (Forrás: [www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu))

Az elméleti számítások szerint a 0,08 Nap-tömegű csillagok belsejében indulhat be az atommag egyesülés révén keletkező energiatermelés. Az ennél kisebb tömegűekből barna törpék lesznek, melyek nem valósítják meg a termonukleáris folyamatot.

*A stabil életszakasz.*

*Minden csillag a kialakulása során rendelkezésére álló hidrogén készletét használhatja fel az energiatermelésre. Ennek mennyiségétől függ az élethossza.* Ennek egyik meghatározó, alapvető szakasza a főágon való tartózkodás ideje.

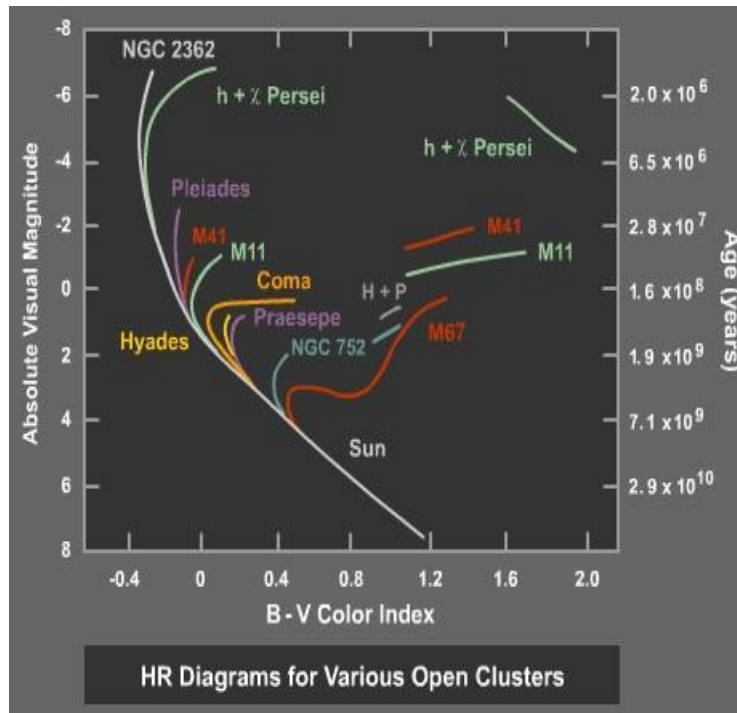
Ha a Nap jelenlegi energiatermelési szintjéből indulunk ki, akkor azt kapjuk, hogy még legalább 5 milliárd évig tart ez a kiegyensúlyozott életszakasz. Ebből kiindulva az alábbi elméleti megállapításokra jutunk (forrás: Marik Miklós – Csillagászat):

egy 0,1 Nap-tömegű csillag 3000 milliárd (!) évig foglalja el helyét a főágon. Ugyancsak meglepő időtartamot kapunk egy 0,5 Nap-tömegű csillagra. Ez 60 milliárd évnél adódik. A Napnál kétszer nagyobb tömegűek csupán kétmilliárd évig, az ötször nagyobbak kétszáz millió évig, a tízszer nagyobb tömegűek harminc millió esztendőig, míg az ötvenszer gazdagabb anyagban részesülők 600 ezer évig „élhetik” a háborítatlan energiatermelés időszakát. *Egyértelmű, hogy minél nagyobb egy csillag tömege, annál rövidebb lesz az élete.*

Egy 10 Nap-tömegű égitest mindössze 30 millió évig marad stabil állapotban. Ez pedig a csillagászati időskálán roppant kevésnek mondható. Ezért is írtuk korábban azt, hogy mely csillagok környezetében érdemes bolygórendszereket keresni. A fentieket figyelembe véve a hosszú ideig kiegyensúlyozott energiatermelést biztosító csillagokat kell megfigyelünk. Saját példánkból kiindulva, évmilliárdok szükségesek ahhoz, hogy az élet első csíráiból magasan szervezett formák jöhessenek létre, ehhez pedig nyugodt sugárzási viszonyok szükségesek.

Bármely létrejött fiatal csillagcsoport tagjai nem egyforma tömegűek. Így életútjuk is különböző lesz. Egy nagy tömegű égitest luminozitása (energia kibocsátása) lényegesen felülmúlja a kisebb tömegűekét. Így ezeket a HRD bal felső részén találjuk meg. *Most kezdenek összeállni az előző ismeretek egységes képpé.* Ezért is említettük a HRD kiemelt szerepét korábban.

Ha például egy nyílthalmaz csillagai egyszerre kerülnek a főágra (lásd a korábban ott lévő egyesített ábrát), akkor a legnagyobb tömegűek hagyják el legelőször a főágot (ez a lekanyarodás vagy leszakadás jelensége). A korábbi illusztrációból az is jól látszik, hogy a fiatal halmazoknál csak a nagyon nagy tömegű csillagok, míg az idősebbeknél már az alacsonyabb luminozitással rendelkező, kisebb tömegűek is leváltak a fősorozatról.



A nyílthalmazok kora a jobb oldali függőleges tengelyen látható. (Forrás: [firmamentum.hu](http://firmamentum.hu).)

Bármely csillag akkor szakad le a főágról, amikor a Naphoz hasonló csillagok belsejében az addig megbízhatóan működő proton-proton folyamat már labilissá válik, illetve a nagyobb tömegűek energiáját biztosító CNO-ciklussal ugyanez lesz a helyzet. *Mindkét esetben a bizonytalanná váló energiatermelés oka a hidrogénkészlet jelentős megcsappanása.*

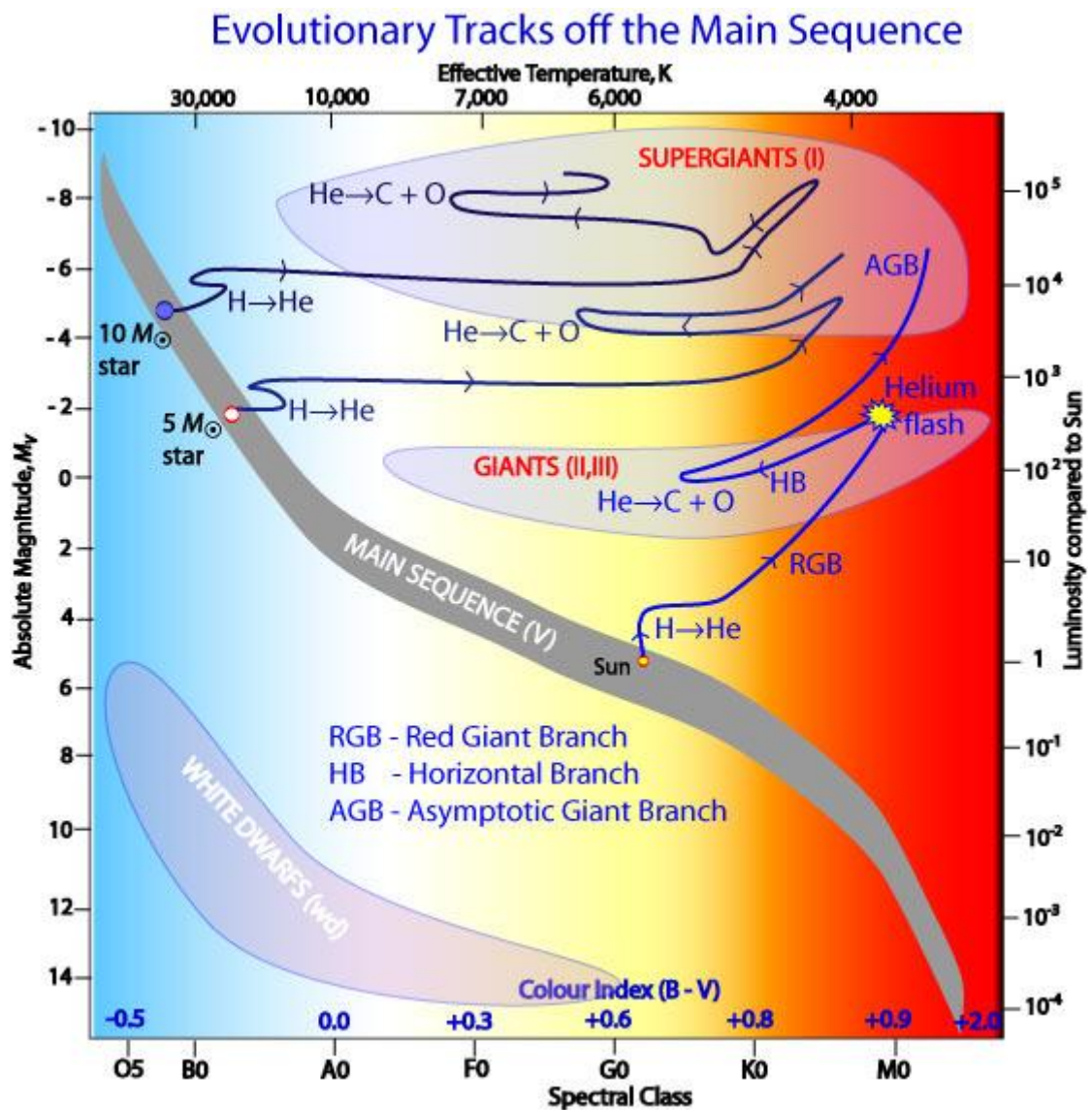
A már sokszor emlegetett Marik Miklós könyvben részletesen olvashatunk egy 5 Nap-tömegű csillag fejlődéséről (564.o.). Mi csak a lényegét emeljük ki.

*Amikor a csillag központi részén jelentősen csökken a hidrogén mennyisége, akkor leáll az energiatermelő folyamat, tehát a magja hűlni kezd, így a sugárnyomás és a gáznyomás értéke is egyre kisebbé válik. Ismét a gravitáció veszi át a főszerepet. Elkezd összehúzódni, miáltal a belső hőmérséklet és nyomás emelkedni fog. A külső héjban megfelelőek lesznek a viszonyok ahhoz, hogy beinduljon a hidrogén-hélium fúzió. Ezért a csillag felfúvódik. Az egyre jobban zsugorodó magban pedig beindul a Salpeter-folyamat (lásd korábban). Mivel ez hirtelen következik be, ezért hélium-villámnak hívják a jelenséget. Néhány közbenső szakasz után a csillag óriási méretű lesz, felszíni hőmérséklete emiatt csökken, bekövetkezik a vörös óriás állapot.*

A 0,4-1 Nap-tömegű csillagok belsejében a proton-proton folyamat szolgáltatja az energiát. Ez azt eredményezi, hogy a hidrogén készlet fogyása nem fog olyan drasztikus változásokat okozni, mint a fenti esetben. Az 1-2 Nap-tömegű csillagok közé esőknél megfigyelhető, hogy a főágról való leválás szakaszában a csillag balra tolódik el, tehát felszíni



hőmérséklete magasabbra emelkedik. Majd jobbra mozogva eléri az óriáságot és vörös óriás lesz belőle. A 2 és 5 Nap-tömeg közé eső csillagok életútja lényegében megegyezik az 5-szörös Nap-tömegűekével. A 10 Nap-tömegűek útja már nem olyan kacskaringós a HRD-n, mint a kisebb társaiké. Viszonylag rövid idő alatt érik el a vörös óriások tartományát, de többször áthaladnak azon a területen, ahol a különböző típusú pulzáló változócsillagok (lásd korábban) találhatóak. Ekkor következik be az az instabil állapot, amikor a csillag periódikusan összehúzódik, majd kitágul.



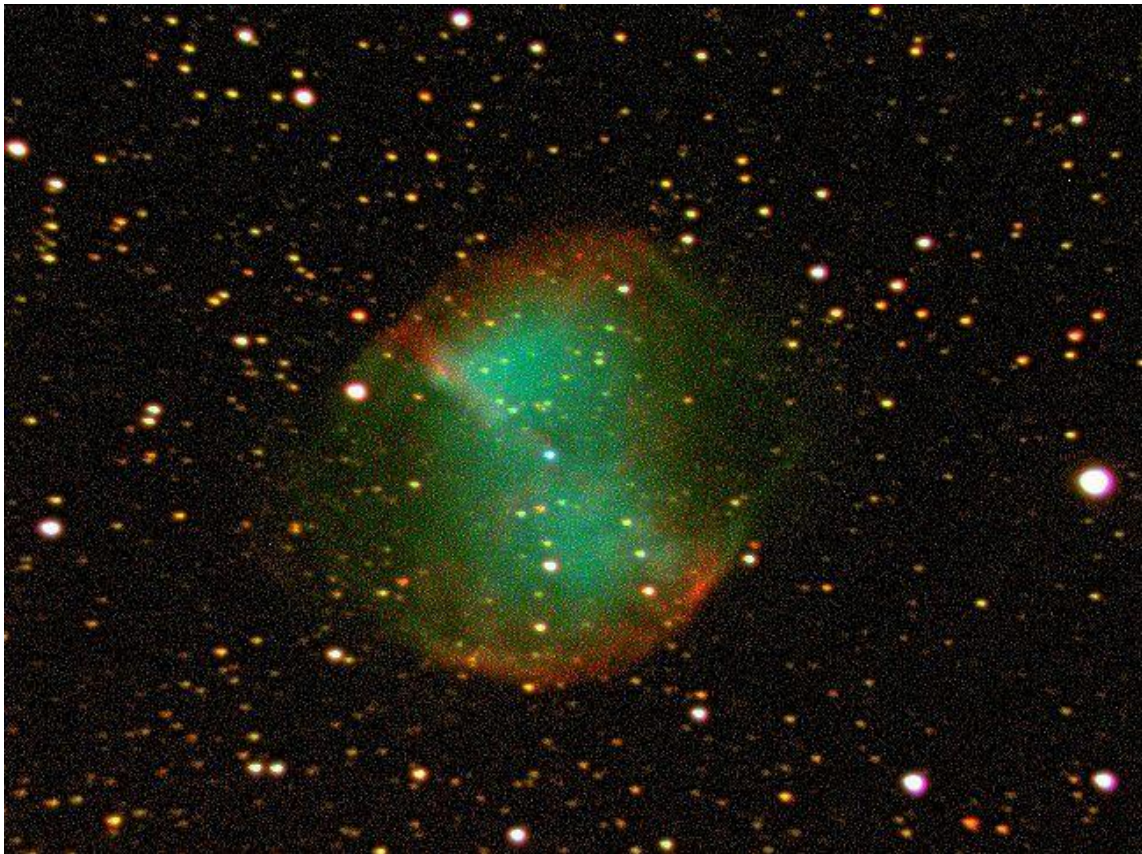
A fősorozat (main sequence) utáni csillagfejlődés grafikonja. Az 1,5 és 10 Nap-tömegű csillagok életútját lehet látni. RGB = vörös óriás ág, HB = horizontális ág, AGB = aszimptotikus óriás ág, helium flash = hélium villám, a bal alsó sarokban a fehér törpék, jobbra fent az óriások és a szuperóriások csoportja van. Az alsó vízszintes tengelyen a színképosztályok, illetve a színindex, a felső az effektív hőmérséklet, a jobb oldali függőleges tengelyen a luminozitás, míg a balon az abszolút vizuális fényesség látható. (Forrás: CSIRO Australia.)



A hélium-égés után a Naphoz hasonló tömegű csillagok szénmagjában az összehúzódás miatti hőmérséklet és nyomás értéke nem nő meg annyira, hogy beinduljon a szénmagok fúziója. Ezért a lanyhuló energiatermelés miatt a csillag további összehúzódáson megy át. A további összehúzódást (kontrakciót) az elfajult elektrongáz nyomása akadályozza meg. (Aki erről többet szeretne tudni az barátkozzon meg a kvantumstatistikákkal, ezután lapozza fel a Marik Miklós által szerkesztett könyv 491. oldalát.)

*A vég.*

A mag degenerálódó válásával a csillag burka tovább hűl, és olyan mértékben fúvódik fel az égitest, hogy külső része elhagyja azt. Így jönnek létre a *planetáris (bolygószerű) ködök*. Az elnevezés nem szerencsés, mivel ezeknek – a gázból álló képződményeknek – semmi közük sincs a planétákhoz, magyarul a bolygókhoz. Az első ilyen objektumot Charles Messier fedezte fel 1764-ben, és M27 szám alatt katalogizálta. A köd a Súlyzó nevet kapta. mivel alakja arra emlékezteti az optikai tartományban figyelő szemlélődőt.



*Az M27, a Vulpecula (Kis Róka csillagképben. (Forrás: haon.hu.)*

Egyébként sok ilyen ködnek egyéni neve van, attól függően, hogy a távcsőben látott kép alapján, hogyan írják le az alakját.

Ezek a szép és látványos gázfelhők az életük elején 1-8 Nap-tömegű csillagok végállapotainak látványos formái.

A gázhéj ledobása után csak a kicsiny tömegű és nagysűrűségű, magas hőmérsékletű mag marad vissza. A ledobott gáz pedig a hidrogénon és héliumon kívül már jóval magasabb rendszámú kémiai elemeket is fog tartalmazni – például szenet, nitrogént, oxigént, nemesgázokat. Ezek pedig – jó értelemben véve – beszennyezik a kozmikus környezetüket.

A gázhéjat ledobó csillag egy nagyon forró felszíni hőmérsékletű Wolf-Rayet, vagy O, B típusú stella. (lásd korábban a HRD-nél). A jelenlegi elképzelések szerint a ledobott anyag sebessége kisebb lesz annál, amilyen sebességű szelet a későbbiekben a csillag kifúj magából, ez pedig összenyomja a gázt. Az idők során több alkalommal következik be a csillag legkülső héjának ledobása, aminek az lesz a következménye, hogy végül „kiszabadul” a maradék csillag nagy energiájú sugárzása, amely az ott lévő anyag atomjainak elektronjait nagyobb energiájú állapotba hozza, azaz gerjeszti. Ennek hatására ezek fényt fognak kibocsájtani (emittálni). Ezért láthatunk sokféle színű területet egy planetáris ködről készült képen. Ismét hangsúlyoznunk kell, hogy a szemünkkel látható optikai tartományról van szó. Természetesen, mint minden égitest, más hullámhossz tartományokban is megfigyelhető, így a planetárisok is. De a leglátványosabbak az optikai tartományban készült felvételek.



*A Csigaköd Éder Iván pompás felvételén. A látszó mérete 15 ívperc, ami a Hold és a Nap látszó méretének a fele! A távolsága kb. 700 fényév. A hozzánk legközelebbi ilyen égitest. Kora pedig 10 ezer esztendőre tehető. A központi csillag felszíni hőmérséklete 110 000K.*

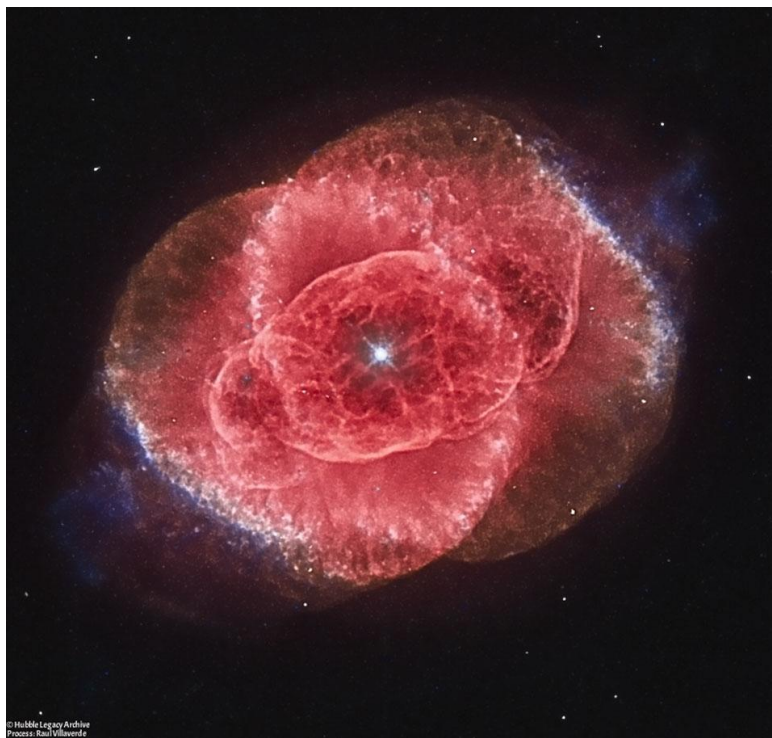
A ködöt létrehozó csillag mindössze 0,5-1 Nap-tömeg közötti. Ne felejtjük el, hogy csupán ennyi maradt belőle! A többi anyagát láthatjuk. A felszíni hőmérséklete pedig 25 -200 ezer K közötti! *A legújabb vizsgálatok szerint ezek kettős vagy többszörös rendszerek révén keletkeznek.* A megfigyelhető alakjukért kizárólag a társ vagy társak a felelősek.

A Nap életútja végén szintén kipöfékeli legkülső tartományai. Milyen lesz a kialakuló gázhéj formája? Azt a nagy tömegű Jupiter fogja eldönteni. A Naprendszer legnagyobb bolygója, mely a Földnél 318-szor több anyagot tartalmaz, de a Nap anyagának ezredrészét tartalmazza. Ez tekintélyes. A Jupitert is barna törpének tekinthetjük (lásd korábban) ?

Planetáris ködöket nemcsak a Tejútrendszerben, hanem pl. a szomszédos extragalaxisban – az Androméda-ködben (M31) – is sikerült megfigyelni.

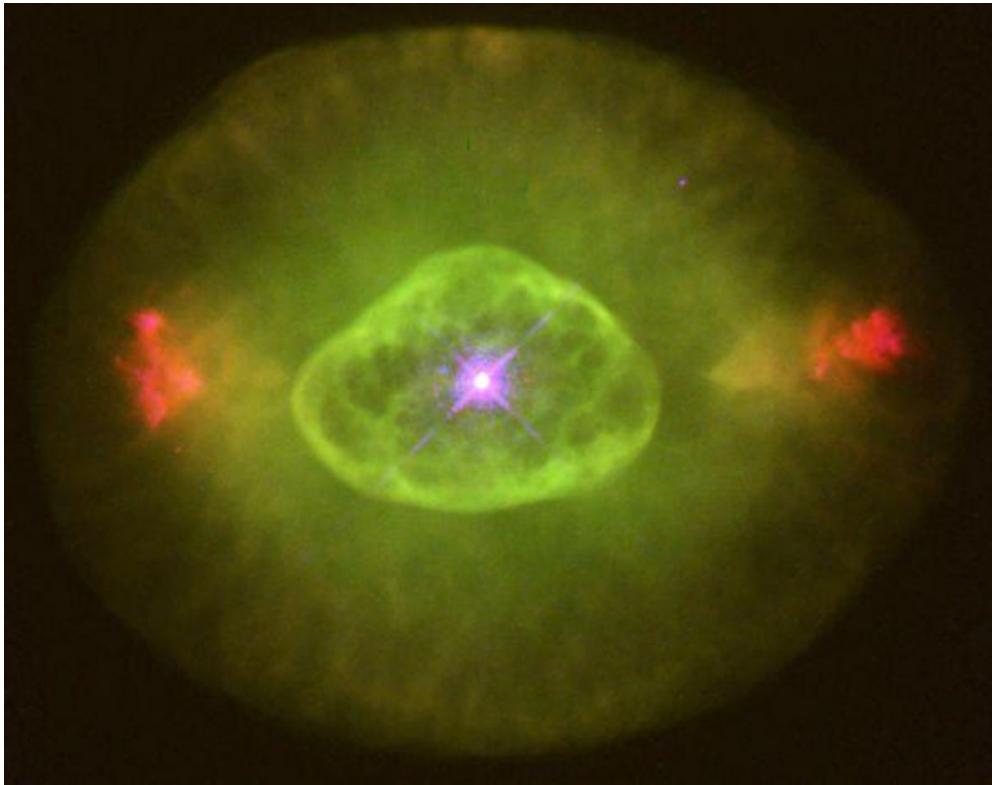
*A ködöket létrehozó csillag neve: fehér törpe.* Ez az a maradék csillag, ami a külső héjak ledobását követően még megfigyelhető. A korábbi – még energiát előállító csillag – központi része marad meg, melynek mérete a Földével mérhető össze. A sűrűsége pedig  $10^8 \text{ g/cm}^3$ . *Egyetlen köbcentiméternyi térfogatban 100 000 kg kilogrammnyi anyag található!* Ennek súlya a Földön 1 millió Newton. Próbálja meg bárki felemelni a fehér törpecsillag kristálycukor méretű anyagát!

A látványos gázbuborék – a nagy sebességű csillagszél miatt – 10-20 ezer év alatt bevész a környező kozmikus tér anyagába.



*A Macskaszem-köd (NGC 6543) kb. 1000 fényév távolságra van. A központi csillag hőmérséklete 47 000 K. (Forrás: APOD, HST.)*





*A Pislogó-köd (NGC 6826). A központi csillag felszíni hőmérséklete 45 000 K. (Forrás: APOD B. Balick.)*



*Az NGC 7027 jelű planetáris köd, melyet 1878-ban fedeztek fel. A központi csillag felületi hőmérséklete: 180 000 K. A felvételt a Hubble-űrtávcső készítette. (Forrás: APOD Delio Tolivia Cadrecha.)*





*A vörös póknak elnevezett köd (NGC 6537). A megfigyelések szerint egy nagyon forró felszíni hőmérsékletű fehér törpe volt a szülője, mely kettőscsillag. Több, mint 4000 fényév távolságra van tőlünk. (Forrás: APOD, Carlos Milovic.)*

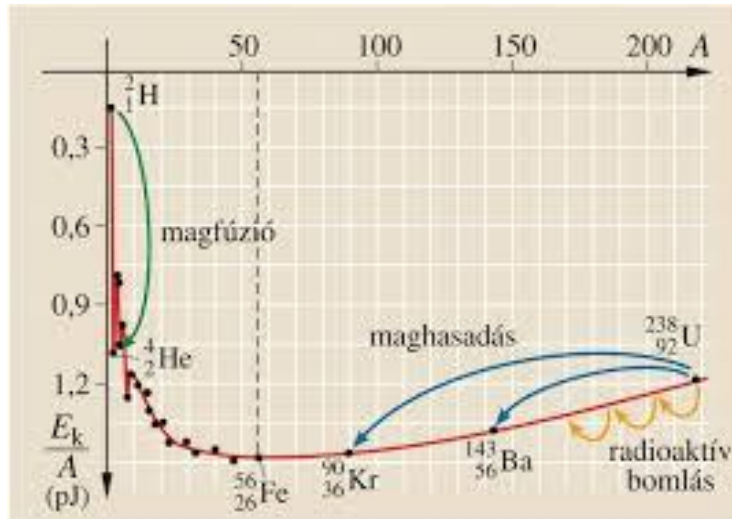
A fenti néhány kép is jól mutatja, hogy milyen változatos formákat mutatnak ezek a csillagmaradványok. A könyv elején már láthattak egy hasonló képződményt. Annak képe is teljesen más formát mutat. Mindez attól függ, hogy milyen szögből figyelhetjük meg a csillag által kidobott gázhéjakat.

*A fehér törpe – mivel már nem termel energiát – ezért lassan kihűl, sugárzása elhamvad, így fekete törpe lesz belőle, melyekről, érthető módon semmit sem tudunk.*

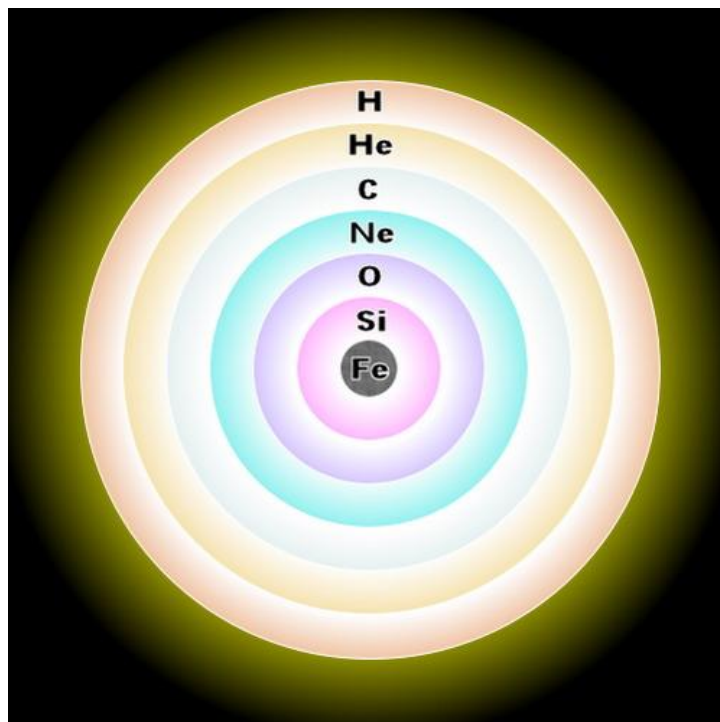
A fehér törpe állapot csak akkor lehet a legvégső, ha a csillagmaradvány tömege nem haladja meg a Chanrasekhar-határt. Ez pedig kb. 1,5 Nap-tömeget jelent. Mint, ahogy a legtöbb esetben is az elméleti számítások dominálnak, így ez a bűvös „tömeghatár” is így keletkezett. *Subrahmanyan Chandrasekhar* (1910-1995) pakisztáni asztrofizikus számításai adják a csillagok végállapotának „választóvizét”. Tudományos munkásságáért 1983-ban Nobel-díjat kapott. Tehát a viszonylag kis tömegűek nagyjából békés módon fejezik be az életüket. A 0,35 Nap-tömegű csillagok nem hoznak létre planetáris ködöt.

A Napnál jócskán nagyobb tömegűek haláltusája azonban lényegesen drámaibb!

Az 1,5 Nap-tömegnél nagyobb csillagok belsejében a Salpeter-folyamat eredményeként egyre nagyobb tömegszámú elemek keletkeznek. Ez a vasig folytatódik, azonban ott leáll a magfúzió, hiszen a magasabb rendszámú elemek atommagjai már csak energia befektetés révén jöhetnek létre. Mindez kitűnően látható a Mozaik Kiadó által megjelent Fizika 11. című könyvben.



A fenti ábra jól tükrözi a lényegét. A magfúzió és a maghasadás közötti határ a vasnál van. A csillagok belsejében nincs maghasadás, és soha nem is lesz. A tankönyvben lévő ábra a kötési energiát mutatja, így is elmagyarázhatjuk a fúziós energia keletkezését.



Egy nagy tömegű csillag felépítése a végállapot előtt. (Forrás: astro.u-szeged.hu.)

Tehát a sugár- és a gáznyomás már nem tudja megakadályozni a csillag egyre gyorsabb összehúzódását. *Az összehúzódás már nem áll meg a fehér törpe állapotnál, hanem további zsugorodás történik. Amikor a mag sűrűsége eléri a  $10^{11}$  g/cm<sup>3</sup>-t, ez pedig 100 000 tonnának felel meg egy köbcentiméternyi térfogatban. az elfajult gáz nyomása oly nagy lesz nagy lesz, hogy az elektronok és a protonok neutronokká egyesülnek. A csillag ekkor már neutrongázból áll. A gravitációs erő azonban könyörtelenül még tovább zsugorítja a csillagot. A sűrűség már  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>-re nő, ez 1000 millió tonna anyagot jelent köbcentiméterenként. Ezt pedig már nem lehet elképzelni. A nem részletezett fizikai viszonyok miatt (lásd Marik Miklós könyv 567.o.) végeredménye az lesz, hogy olyan pokoli nyomás jön létre a magban, amely megállítja a további összehúzódást (kollapszust). Egy kifelé haladó nyomáshullám jön létre.*

Már megszokhattuk, hogy minden nyomáshullám összesűríti a környezetében lévő anyagot. Ez a gáz esetében a hőmérséklet emelkedésével jár együtt (lásd a korábbi pumpával kapcsolatos megjegyzést). Az elméleti számítások szerint a hőmérséklet 10 milliárd (!) fok fölé emelkedik. Ezáltal az elemi részecskék átalakulása jelentőssé válik, és a – korábban említett – a szinte minden anyagon áthaladó neutrínók már nem tudnak „kisiklani” a csillag belsejéből, hanem csak energiaveszteség révén szabadulhatnak ki a világtérbe. Emiatt a csillag burkának hőmérséklete 200 milliárd (!!!) fokra emelkedik. *Ilyen iszonyatos hőmérsékleten a vas és a nála nagyobb tömegszámú elemek felépülése jön létre. Így szinte pillanatok alatt a teljes periódusos rendszer – korábban hiányzó – elemei megszületnek. Milyen csodálatos természeti jelenség, amelynek révén az összes természetes alkotóelem a világegyetem további sorsát befolyásoló módon rendelkezésre áll.*

A csillag felrobban. Ez a gigantikus energiájú folyamat eredményezi azt, hogy a *szupernóva* fényessége eléri egy galaxis összes tagjának egyesített fényét.

A robbanás során a csillag szinte teljesen megsemmisül. A kidobott anyag majdnem fénysebességgel repül ki a világűr minden irányába. Ezzel együtt olyan részecskék is kiszabadulnak, amelyek a Tejútrendszerben lévő kozmikus sugárzásért felelősek. (Ez a legnagyobb energiájú részecske sugárzás.)

*A szupernóva-robbanások nélkül nem léteznének a bolygók, és a földi élet sem alakulhatott volna ki!* (Róluk még lesz szó a különleges égitestek című fejezetben.) Valamennyiünk teste tartalmaz olyan elemi részecskéket, amelyek egykoron egy szupernóva belsejében voltak. Amikor pedig a Nap vörös óriássá puffad megsemmisíti bolygónkat is. Tehát ismét csillaganyaggá válunk. És kezdődik minden előlről...