

7. Csillagok életútja

Alább egy, a fent szereplő témáról szóló szöveget olvashattok; az ebben szereplő explicit információk, ábrák és saját tudásotok segítségével oldjátok meg a következő feladatokat.

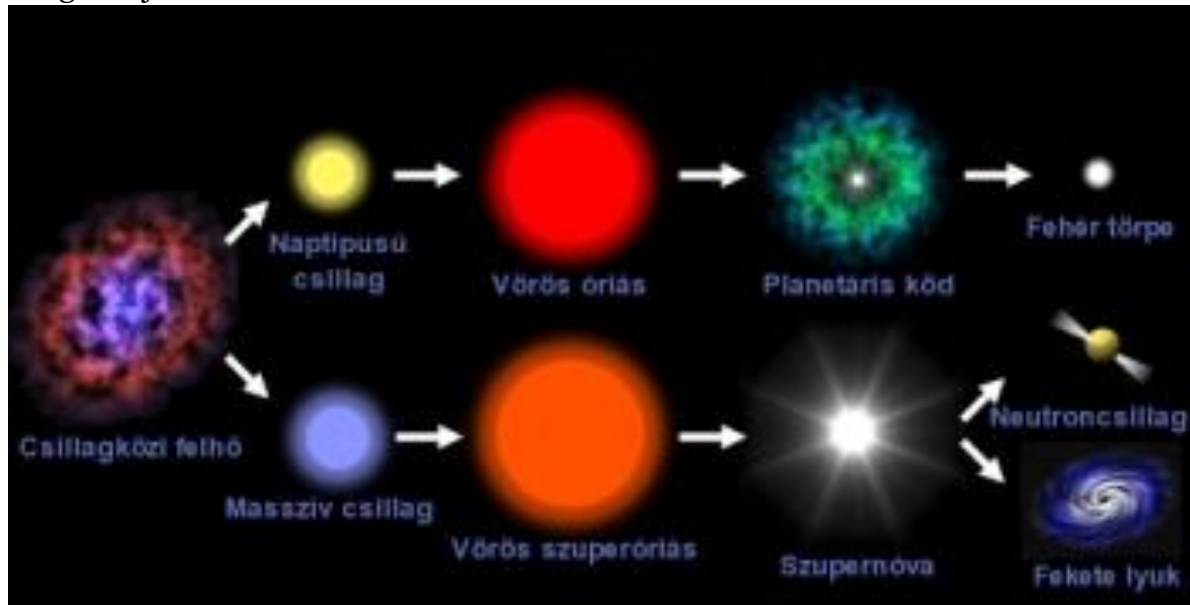
Feladatok:

- Milyen arányosság van a stabil egyenletes sugárzás időtartama és a csillag tömege közt?
Mi az oka ennek az arányosságnak, mivel magyarázható?
- Nézzetek utána, mekkora a Nap stabil állapotának időtartama?
- Mennyi lenne egy, a Napnál 20x nagyobb tömegű csillag stabil állapotának időtartama?
- Fúziós periódus során miért vált vörösre a csillagok színe vörösóriás állapotban?
- Szerencsés esetben hozzávetőlegesen maximum meddig lesz élet a Földön, mi az oka annak, hogy meg fog szűnni?
- Milyen speciális termodinamikai folyamat az, mely közelítőleg jellemző az Univerzum átalakulásaira, több folyamatára?
- Nézzetek utána a pulzároknak! Milyen feltételezések voltak jellemzők, mielőtt kiderült volna róluk, hogy gyorsan forgó neutroncsillagok? Ti mit feltételeztetek volna?
- * Becsüljük meg, hogy mennyivel csökken a Nap tömege másodpercenként!
($P_{\text{sugárzása Nap}} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$)
- * Mekkora méretű lenne a Nap, ha neutroncsillag válna belőle?
($m_{\text{Nap}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $\rho_{\text{neutroncsillag}} = 10^{17} \text{ kg/m}^3$)
- Készítsetek a tanszöveg és a benne foglalt ábrák segítségével, valamint saját tudásotok felhasználásával projektet a témából!

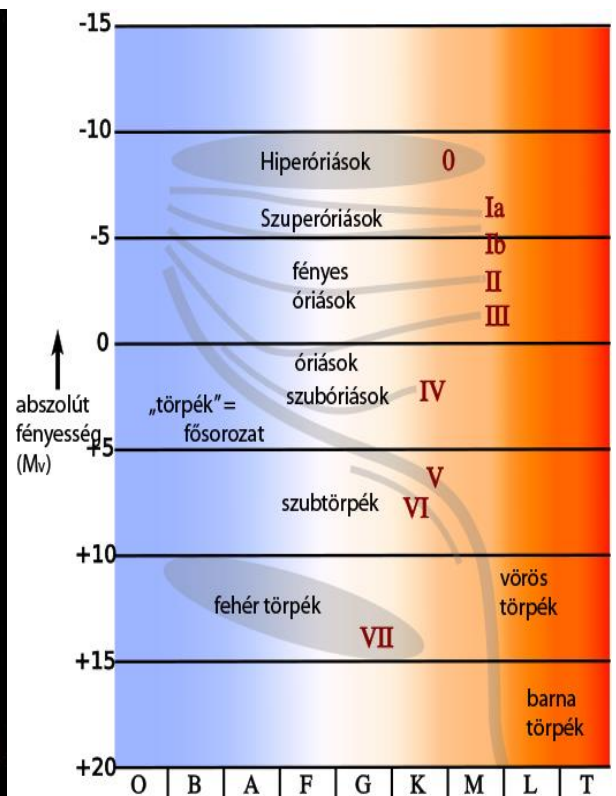
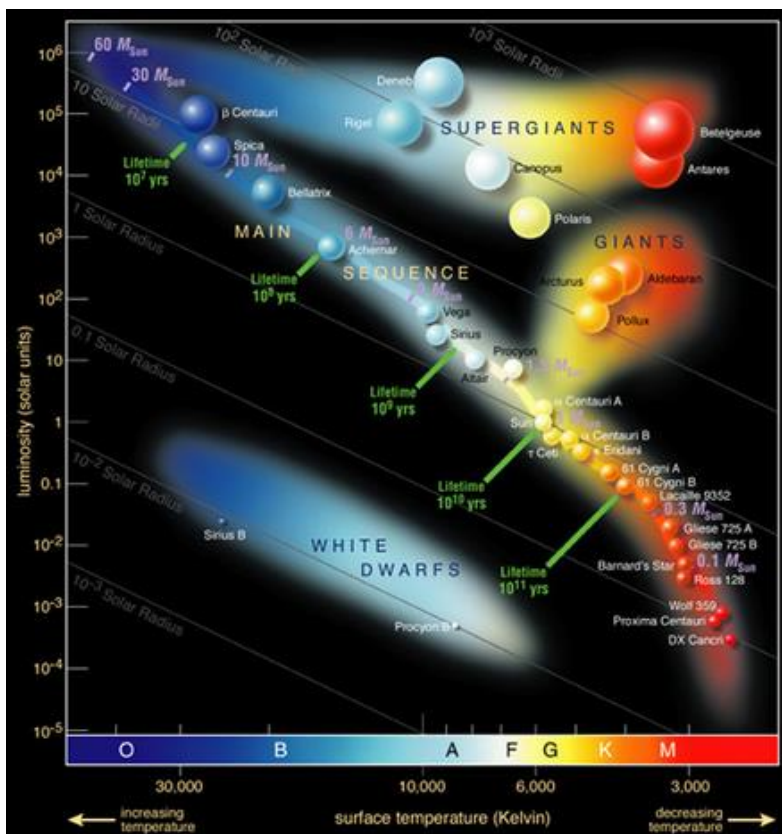
CSILLAGOK „ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA” 1.

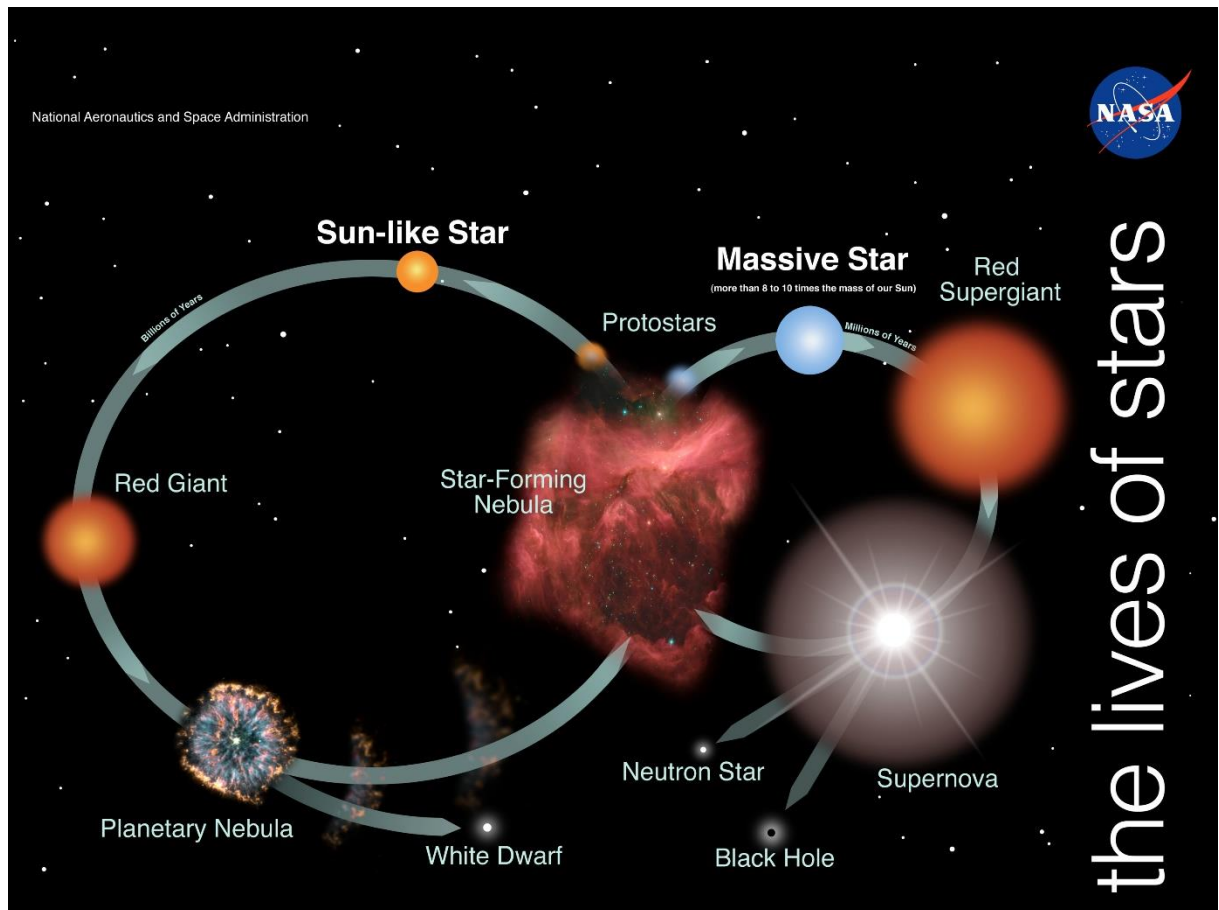
Az Univerzum első csillagai a tudomány pillanatnyi álláspontja szerint 10-12 milliárd évvel ezelőtt keletkeztek; ők nagyrészt hidrogénből állnak és gázfelhők összesűrűsödésével jöttek létre. Természetesen ezen csillagkeletkezési folyamatok végbemeneteléhez szükséges volt az, hogy **megfelelően nagy tömegű és sűrűségű gázfelhő együtt legyen.**

A csillagok fejlődése több szakaszból áll:



A szakaszok az ún. **Hertzsprung–Russell diagramon (H-R diagram vagy HRD)** sokkal egzaktabban leírhatók, nyomon követhetők.

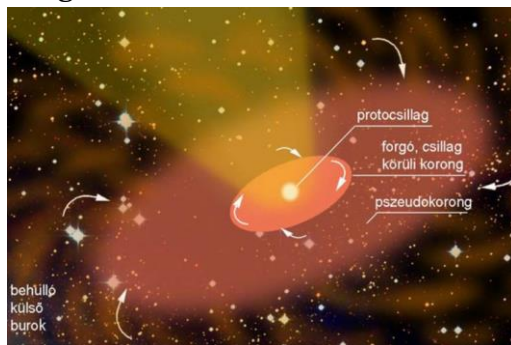




1. Keletkezés

1) protocsillag

Fenti elnevezéssel az alábbi állapotot értjük: gravitációs összehúzódás során energia szabadul fel, mely felforrósítja a csillag belsejét, így a gázgömb lassan világítani kezd.

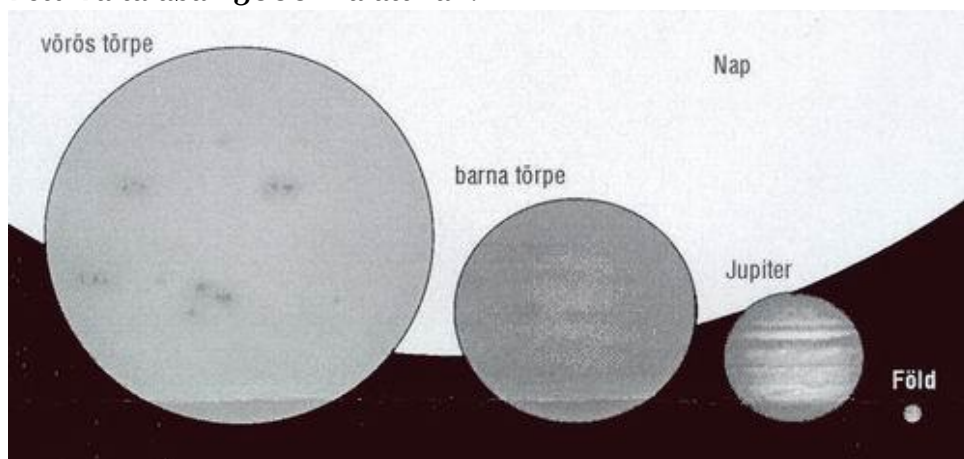


2) megszületett csillag

Az alábbi állapotról beszélünk ekkor: ha a gázgömb tömege elegendően nagy, akkor a gravitációs összehúzódás tovább folytatódik, így a csillag magja 10-15 millió K hőmérsékletre tud felforródni; ez a hőmérséklet már elegendő ahhoz, hogy elinduljon a magfúzió: a protonok héliummaggá egyesülnek. A magfúzió beindulásával megszületik a csillag.

Vannak olyan csillagkezdemények, melyek nem tudnak annyi tömeget felhalmozni, hogy annak gravitációs energiája fel tudja "fűteni" a csillagot annyira, hogy meginduljanak benne a magreakciók. Ezeket az objektumokat **barna törpéknek** nevezzük. Tömegük kisebb mint a Nap tömegének 8%-a, azaz 80 Jupiter-tömegnél. Átlagos méretük a

Jupiter és a legkisebb csillagok, a **vörös törpék** mérete között lehet. Felszíni hőmérsékletük általában 3000 K alatt van.



2. Stabilitás, egyenletes sugárzás

A 0,08 naptömegnél nagyobb objektumok esetén, mikor a gravitációs összehúzódás megszűnik, a csillag eléri a stabil **sugárzási állapotát**; ezt az állapotot **fősorozati állapotnak** nevezzük. Ebben a szakaszban a hidrogén atommagok hélium atommagokká történő fúziója biztosítja az energiát. A fúzió során felszabaduló nukleáris energia akár több milliárd évig is képes biztosítani a csillag egyenletes sugárzását. Az egyenletes sugárzási szakasznak a hossza az égítést tömegétől függ. A nagyobb tömegű csillagok ugyanis nagyobb teljesítménnyel sugároznak, így hamarabb elfogyasztják a magjukban lévő hidrogént. Pl. a Nap stabil állapotának hossza kb. 9-11 milliárd év, míg egy nála 20-szor nagyobb tömegű csillagnál ez az idő csupán 5 millió év.

A világító csillag további (a légköri nyomás százmilliószorásának megfelelő) gravitációs összehúzódásaival szemben kell lennie egy ellentétes irányú nyomásnak, mely ellenáll az összehúzódásoknak; ez a csillag közepében fellépő gáznyomás és a sugárzási nyomás.

A stabil sugárzási szakasz időtartama értelemszerűen függ a csillag tömegétől: minél nagyobb méretű, annál rövidebb életű.

A stabil sugárzási szakaszban *nukleáris energia szabadul fel*, mely akár többmillió évre biztosítja a csillag egyenletes sugárzását. A Nap jelenlegi teljesítményével kb. 4,6 milliárd éve sugároz egyenletesen, s még ugyanilyen hosszú időszakig várható ilyen sugárzása.

A csillagok tömegüktől függően eltérő teljesítménnyel világítanak. A Proxima Centauri sugárzási teljesítménye csak kb. 0,01%-a a Napénak. Tudni kell viszont, hogy vannak olyan csillagok is, melyek sugárzási teljesítménye akár többbezerszerese a Napénak; például a fényes Sarkcsillag sugárzása a 5000x-ese a Napénak.

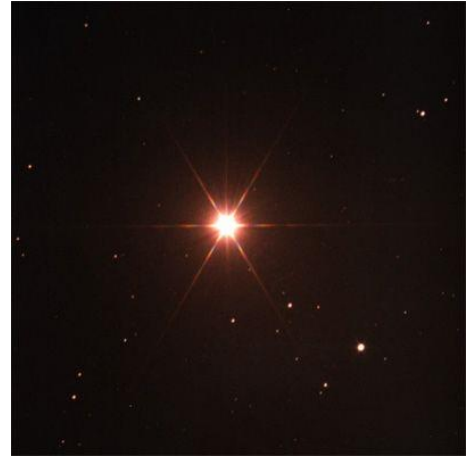
3. Fúziós periódusok

Amikor egy csillag elfogyasztotta középpontjába lévő hidrogénkészlet nagyobb részét, akkor értelemszerűen csökken sugárzási teljesítménye; ennek hatására összenyomódik a csillag, melynek oka a belső nyomáscsökkenés és a gravitáció. A folyamat azonban további effektusokat von maga után: újabb gravitációsenergia-felszabadulást és a központi rész újabb felforrósodását. A felforrósodás következtében, 100 millió K-en már meg tud indulni a hélium-atommagok fúziója, aminek során berilliummagok és szénatommagok keletkeznek.

A fúziós folyamatok következtében számottevően megnő a belső nyomás, ami a gravitáción túlnőve a csillag méretét jelentősen megnöveli, hatalmasra fújja fel: **vörösóriás-állapotba** kerül. Vörösóriás állapotban az égítést számottevően (óriásira)

megnőtt felszíne kissé lehűl, melynek felszíne ennek következtében sárgásfehérből vörösre vált. A Nap a számítások szerint kb. 5 milliárd év múlva lesz vörös óriás, s ekkor a már megnövekedett felszíne el fogja érni a Föld jelenlegi keringési pályáját.

A csillagok vörösóriás állapotba kerülésük után ismét sugároznak, s így újra stabil állapotba jutnak; az újabb stabil állapot időtartama függ a csillag tömegétől, csak addig tart, míg a korábban termelődött héliumkészlet el nem fogy.



Ha a hélium elfogyott, akkor újabb gravitációs összehúzódás következik, s azt követően a nagyobb tömegszámú atommagok fúziója (egyesülése) indul be: C, O, N; az ilyen folyamatok pedig újabb összehúzódáshoz vezetnek.

A csillagok a legstabilabb magot, a vasat is elérhetik esetenként: amennyiben a csillag tömege elég nagy, akkor az **összehúzódás-felfúvódás szakaszok** addig tartanak, míg a fúzió el nem éri a legstabilabb magot; a további atommag-egyesülés már nem járna energiafelszabadulással, ezért a csillag energiatermelése leáll.

4. Végállapot

A csillagok élete 3, egymástól különböző fázisban érhet véget:

a) fehér törpe



A csillagállapot befejező szakasza értelemszerűen a csillag életének végét jelenti. A nukleáris tüzelőanyag elfogyásakor a gravitációs összehúzódás folytatódik; s amennyiben a csillag tömege nem halad meg egy bizonyos értéket, akkor cm^3 -enként több tonna tömegű, azaz nagyon sűrű, *fehér törpe állapot* jön létre.

A csillag viszonylag hosszú idő alatt kisugározza az összehúzódás során felszabadult energiát, s végül megszűnik világítóképessége. A folyamat végén a csillagból nagy sűrűségű, láthatatlan, kb. Föld méretű test lesz.

A fehér törpe elnevezés eredete a csillag fényének színéből ered: a kisméretű csillag magas hőmérsékleten féhéren izzik.

b) neutroncsillag

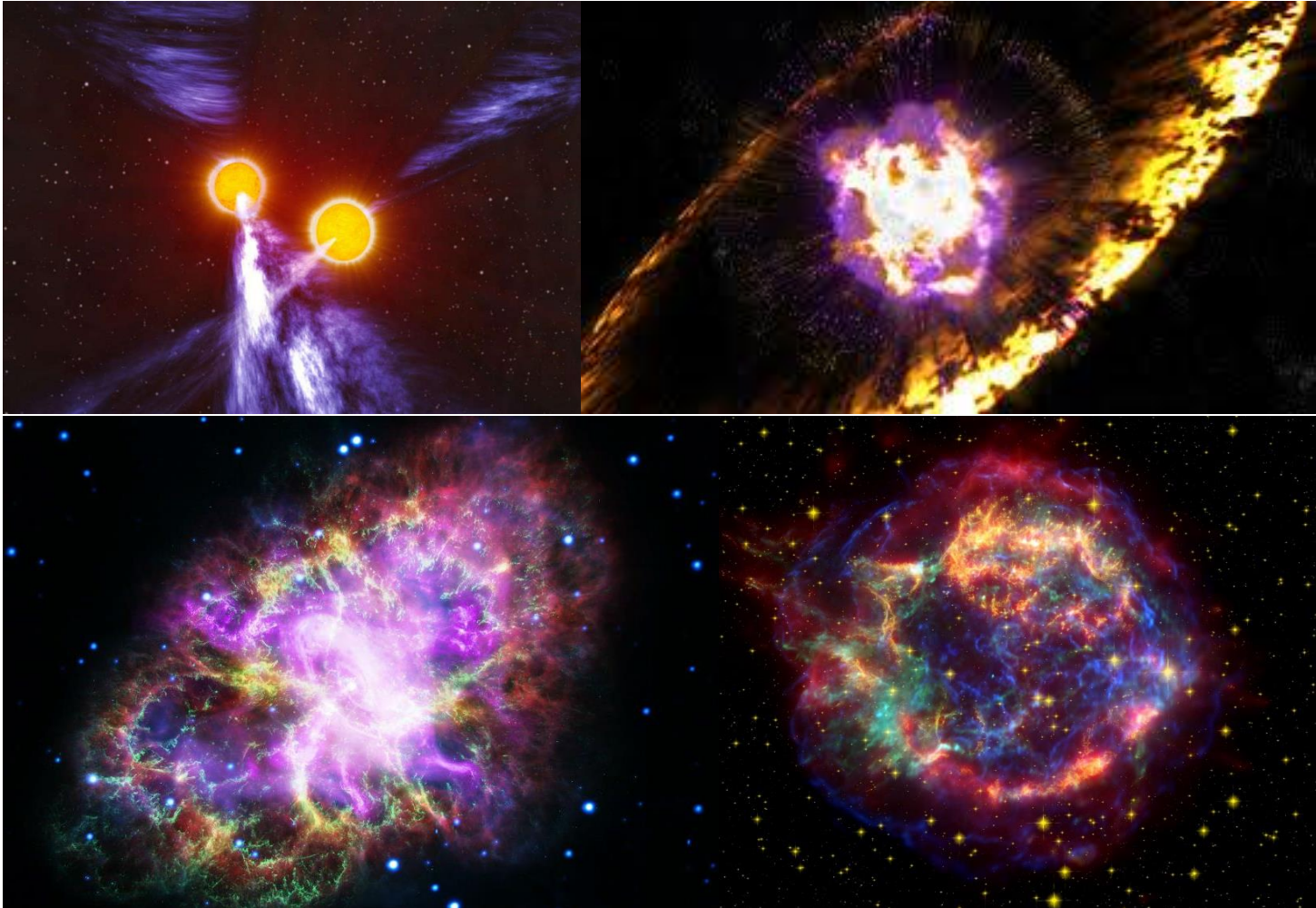
Amennyiben a csillag tömege az adott, 7-8x-os Nap-tömeget meghaladja, akkor már nem fehér törpeként fejeződik be élete. Ilyenkor a csillag belső részét jelentő, atommagokból és elektronokból álló összesűrűsödött plazma nem tud ellenállni a nagy nyomásnak; s ennek következtében az elektronok bepréselődnek az atommagba, ahol protonokkal egyesülve neutronokat alkotnak. Ez az átalakulás viszonylag gyorsan végbemegy, s végeredményeként egy hatalmas, atommag - sűrűségű, neutronokból álló ún. *neutroncsillag* keletkezik.

Mivel az átalakulás időben gyorsan lezajlik, egy jellegzetes effektus lép fel:

- az elektronok gyors mozgásából eredő nyomás hirtelen megszűnik;
- így a csillag külső részei bezuhannak az atommag-sűrűségű belső részre;

- onnan pedig ezen külső anyagok lökéshullám-szerűen távoznak, és a Világűrben szétszóródnak minden irányban;
- ekkor egy szabad szemmel is megfigyelhető, rendkívüli fényességgel járó effektus történik.

E robbanásszerű, sokszor látványos anyag-kiáramlás az ún. **szupernova-robbanás**.



A Rák-ködben Ilyen szupernova-robbanás maradványait fedezték fel már 1054-ben a kínaiak – akik értelemszerűen még „csak” leírták a látottakat. Napjainkban is számos ilyen effektust fedeznek fel csillagászaink távoli galaxisokban.

A szupernova-robbanás után visszamaradt neutroncsillag jellemzői a következők:

- átmérője kb. 10 km
- magsűrűségű objektum
- a kibocsátott EM-hullámok radioaktív észlelése nyomán tudunk csak értesülni létezésükről.



A visszamaradt objektumok közül vannak olyanok, melyek pulzáló jeleket adnak, ezeket **pulzároknak** nevezzük; s csak később derült ki róluk, hogy szupernova-robbanások után visszamaradt gyorsan forgó neutroncsillagok.

c) fekete lyuk

A csillagok pusztulásának harmadik lehetséges módja akkor valósul meg, ha a csillag tömegének nagysága miatt a gravitációs összehúzódás nem szűnik meg még neutroncsillag-állapotban sem. Ekkor az anyagnak olyan különleges állapota alakul ki, melyben a rendkívül nagy tömeg és kis térfogat **olyan erős gravitációs teret eredményez, hogy abból még a fény sem tud kilépni** a rendkívüli módon összesűrűsödött anyagi objektum felületéről.

Ilyen esetben az összehúzódás és hatalmas csillag-tömeg miatt jellemző rendkívüli gravitációs vonzás minden más effektust felülmúl; annak ellenére, hogy az alapvetően sokkal gyengébb hatás az elektromotoros erőkhöz viszonyítva.

Megjegyzendő, hogy a fizikusok és csillagászok sokáig kételkedtek abban, hogy létezhet ilyen „elfajult” állapot. Azonban napjaink számos csillagászati megfigyelése során tapasztalták a következőt: egy-egy látható csillag színeképe olyan változást mutat, mely szerint ő kettőscsillag-párjával közös tömegközéppont körül kering; ám mivel ez a pár nem látható, észlelhető, csak fekete lyuk lehet.

CSILLAGOK „ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA” 2.

/forrás: <http://az-univerzum-meretei.blogspot.com/2015/01/csillagok-csillagok-elete-es-halala.html/>

Az univerzumba valahol egy Hidrogénfelhő elkezd összehúzódni a gravitáció hatására. 100 ezer év múlva a felhő egy egységes korongba rendeződik, és folyamatosan zuhan a középpont felé.

10 millió év múlva egy csodálatos dolog történik: a középpont 10 millió °C fölé emelkedik és beindul a magfúzió. Ezt a fényes égitestet **ELŐCSILLAGNAK** nevezzük.

Mikorra az összes hidrogéngáz belezuhan a csillagba megkezdődik a **FŐSOROZAT**. A Napunk is fősorozatban van, és ennek nagyon örülünk hisz majd mindennap ugyanannyi energiát szolgáltat **ezért vagyunk életképesek**.

A fősorozat után kezdődik a **VÖRÖSÓRIÁS** állapot, ilyen csillag pl.: Antares A ; Aldebaran. A vörösóriás állapot "kevés" ideig tart hisz már nem héliummá fuzionál a hidrogén hanem a hélium szénné.

Durván 10 millió év múlva az összes hélium szénné fuzionál és a csillag belsejében a roppant gravitáció több milliárd °C-ra emeli a hőmérsékletet, majd a szén mangánná és az vassá fuzionál, majd a csillag a saját gravitációjától összeroppan és ekkor egy lökéshullám indul ki a csillag belsejéből és hatalmas erejű szupernóvává válik –nehezebb csillag esetén[250-310 naptömeg] **hipernóva** lesz-. A **szupernóvában** fuzionál a vas nehezebb elemekké pl.: Uránná (persze nem rögtön urán lesz hanem szépen sorjában).

A fennmaradó égitest neve: **NEUTRONCSILLAG**. A neutroncsillag azért nem roppan össze rögtön mert a neutronfajulási nyomás nem engedi, de gyúlik a nyomás.

100 millió év múlva a neutroncsillag vagy nála is kisebb **KVARKCSILLAGGÁ** vagy **FEKETE LYUKKÁ** esik össze. (A kvarkcsillag a kvarkfajulási nyomás miatt nem esik össze fekete lyukká azonnal ennek kb. 250-300 millió évre van szüksége). A fekete lyukak belsejében nem szingularitás van hanem Plank-hosz méretű csillag keletkezik (1 Plank-hossz= 10^{-36} m). A születő fekete lyuk tömege milliószorosa a Földnél, de annyira sűrű hogy „kiszakad” az ismert világegyetemünkből (ezért „van benne az elméletek szerint egy másik világegyetem”).

A kisebb tömegű csillagokkal más a helyzet, míg a nagyobb tömegű és méretű csillagok hamarabb elpusztulnak addig ezek több billió vagy akár több trillió évig is élnek, tehát ezek a csillagok az univerzum megszülése óta még csak gyermekkorukat élik. E fajta égitestek neve: **VÖRÖS TÖRPÉK**. Ezek a csillagok nem szupernóvává válnak, hanem egyszerűen felszívódnak szép lassan és nyomuk sem marad.

A Napunk egy közepes tömegű kis méretű G2-es típusú csillag. Ezekkel megint más a helyzet: Mikor vörös óriássá válnak és majdnem elfogy a hélium levetik a külső atmoszférájukat mert nagyon gyengén áll ellen a gravitációnak. Viszont mikor teljesen elfogy összeesnek és **FEHÉR TÖRPÉK** lesznek belőlük. E égitestek föld méretűek de a tömegük 300 ezerszerese a Földének. Egy kiskanálnyi az anyagukból 5-7 millió tonnát nyomna. A Napnak még 5 milliárd éve van.

A Tejútrendszerünk közepébe egy **SZUPERMASSZÍV FEKETE LYUK** található ami 4 millió naptömegű. Ennek neve : Sagittarius A . A legnehezebb ismert fekete lyuk tömege 37 milliárd naptömegű, ez az NGC 1277.

Néhány fontos adat:

- Egy Naptömeg: $1,9891 \times 10^{30}$ kg ($1,9891 \times 10^{30}$ kg)
- Schwarzschild-sugár: $1,48 \times 10^{-27}$ m/kg. A **Schwarzschild-sugár** annak a gömbnek a sugara amibe egy adott tömegű testet kéne összepréselni hogy fekete lyuk legyen. (Föld : 18 mm)

