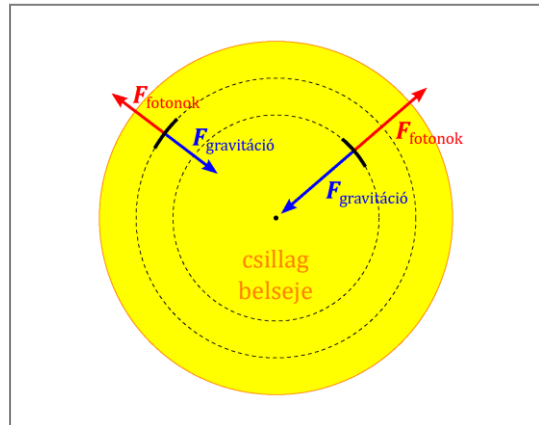


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

## A csillagok fejlődése

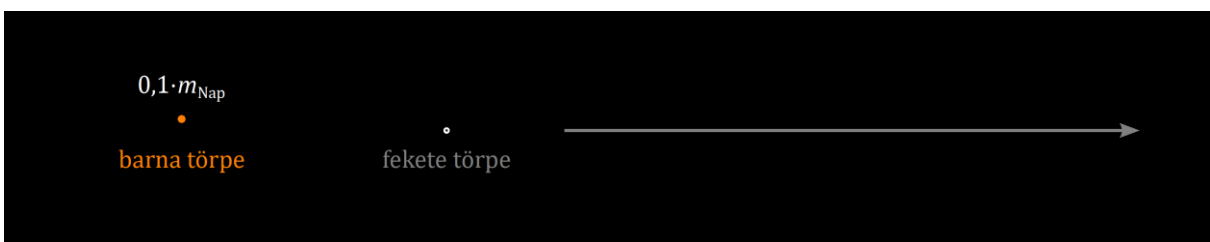
A csillagok belsejében végbemenő fúziós reakciók következtében jelentős mennyiségű energia szabadul fel. Ezt elsősorban fotonok szállítják a csillag felszíne felé. A csillag belseje azonban annyira sűrű, hogy a fotonok nagyon gyakran összeütköznek egy-egy atommaggal. Emiatt a fotonok kifelé nyomják a csillag anyagát. A csillag belsejének minden szintjén a belső nyomás és a fotonok sugárnyomása egyensúlyt tart a gravitációval.



A csillagok látszólag változatlanok, de néha egy-egy addig halvány csillag hirtelen a korábbihoz milliószor fényesebbé válik, majd lassan elhalványul. Ez a *szupernóva-robbanás*, amely azt jelzi, hogy a csillagok nem állandóak: születnek, fejlődnek, majd megsemmisülnek. A csillagok fejlődéséről ma a következőket tudjuk:

A csillagok a világegyetemben mindenütt megtalálható hidrogénfelhők gravitációs összehúzódásából jöttek létre. A megfigyelések szerint a csillagok tömege megközelítőleg 0,1 és 30 Nap-tömeg között van. Az ennél kisebb, illetve az ennél nagyobb tömegű csillagok nagyon ritkán fordulnak elő. *A csillagok fejlődését az összetömörült hidrogén tömege határozza meg.*

A) Ha a csillag kezdeti tömege a Nap tömegének egytized részénél kisebb, akkor a gravitációs összehúzódás okozta felmelegedés nem elegendő a hidrogén fúziójához. Az ilyen csillag neve *barna törpe*, mert csak halványan izzik. Ha a barna törpe az összehúzódásból származó összes energiáját szétsugározta, kihűl és *fekete törpévé* válik.



B) Ha a csillagba tömörült anyag tömege  $0,1$  és  $0,8$  Nap-tömeg között van, akkor a csillag magjában a felmelegedés hatására megindul a hidrogén  $\rightarrow$  hélium fúzió. Amikor a csillag a belsejében levő hidrogénkészletét elhasználja, megáll az energia-termelés. Emiatt a csillag belső nyomása és a sugárnyomás csökken, a gravitáció pedig összeroppantja a csillagot. A gravitációs erők munkája a kb. Föld méretűre összehúzódtott csillagot felizzítja, a csillagból *fehér törpe* lesz. A fehér törpe kicsiny felszíne miatt kevés energiát sugároz, ezért nagyon lassan hűl ki.



C) Ha a csillag kezdeti tömege  $0,8$  és  $1,4$  Nap-tömeg között volt, akkor a csillag életének első szakasza a B) pontban leírt módon megy végbe. Miután a csillag belső magjában elfogy a hidrogén, a csillag magjának összehúzódásakor keletkező hő felmelegíti a csillag külső részeit, ahol még elegendő mennyiségű hidrogén van a hidrogén  $\rightarrow$  hélium fúzióhoz. A fúzió hatására a sugárnyomás ezekben a rétegekben megnő, ezért a csillag külső része felfúvódik. (A Nap ebbe az állapotba kb. 5 milliárd év múlva jut el, ekkor kitölti majd a Naprendszer jelentős részét.) A felfúvódott csillag nagy felületen sok energiát sugároz, ezért felszíne lehűl, a csillagból *vörös óriás* lesz. Eközben a mag összehúzódása miatt a csillag belsejének hőmérséklete elérheti a  $100$  millió  $^{\circ}\text{C}$ -ot. Ezen a hőmérsékleten megindul a hélium fúziója, és létrejönnek a közepes rendszámú elemek. Amikor a vörös óriásban a fúziós folyamatok a nukleáris üzemanyag elhasználását követően leállnak, a csillag *fehér törpévé* zsugorodik.

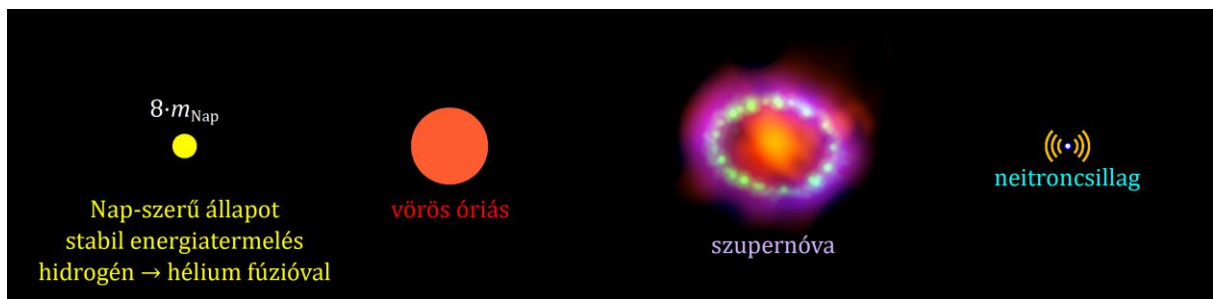


D) Ha a csillag kezdeti tömege  $1,4$  és  $10$  Nap-tömeg között van, akkor a vörös óriás állapotot követő gravitációs összehúzódás a csillag belsejét annyira felmelegíti, hogy a fúziós folyamatokban nehezebb elemek atommagjai is kialakulhatnak. A termonukleáris

reakciók addig hoznak létre különféle elemeket, míg a csillag magja teljes egészében vassá nem alakul. Mivel a vas fúziója már nem energiatermelő folyamat, a fúziós energiatermelés végleg befejeződik, és a vörös óriás belseje összeomlik.

Az összeomlás során a gravitációs erők munkája elképzelhetetlenül magas hőmérsékletre hevíti a csillag központi részét. Az ekkor végbemenő fúziós reakcióban a *vasnál nagyobb rendszámú atommagok is kialakulnak*, de ezek a folyamatok energia elnyelésével járnak együtt. A csillag központi részének hirtelen felmelegedése következtében a sugárnyomás megnő, és ez a csillag anyagának jelentős részét heves robbanással kilöki a csillagközi térbe. Ez a jelenség a már említett *szupernóva-robbanás*. A robbanáskor kidobódott magasabb rendszámú elemek bejuthatnak olyan hidrogénfelhőbe, amelyekből később újabb csillagok képződnek. Ilyen „szennyezett” hidrogénfelhőből képződött 4,5 milliárd éve a Naprendszer is.

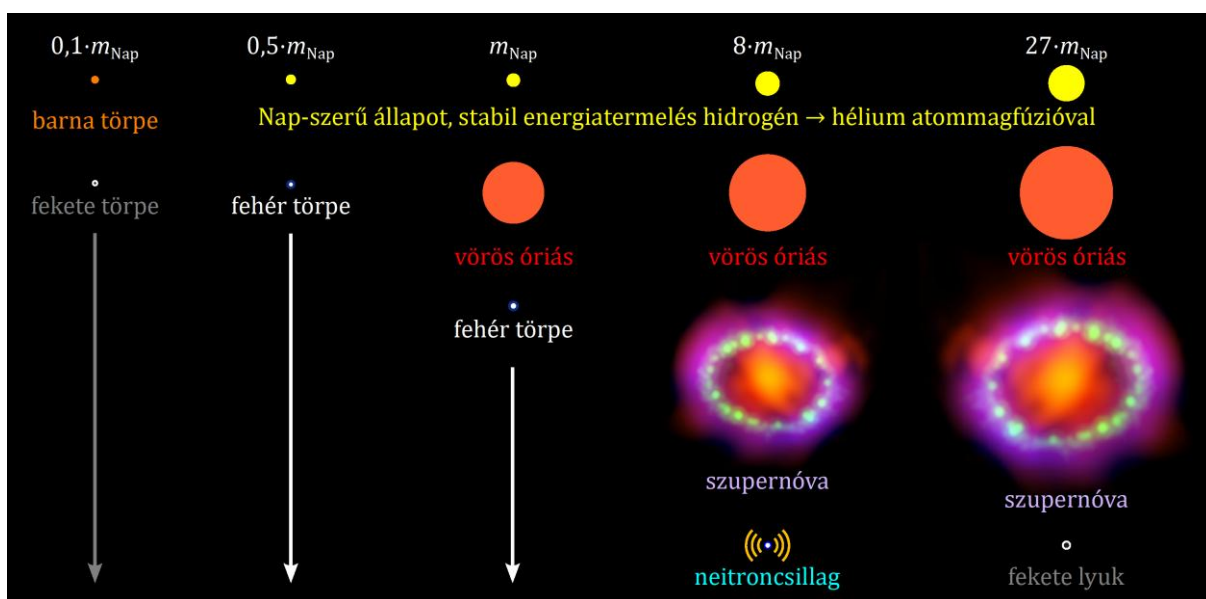
A csillagból visszamaradt központi részben az elektronok és a protonok neutronná egyesülnek. A semleges neutronok között nincs elektromos taszítás, így az összehúzódás egészen addig folytatódik, amíg a csillag sűrűsége el nem éri az atommagok sűrűségét. A csillagfejlődés eredménye ilyenkor egy kb. 20-30 km átmérőjű *neutroncsillag* lesz.



E) Ha a csillag kezdeti tömege a Nap tömegénél tízszer nagyobb, a szupernóva-robbanás után a neutroncsillag összehúzódása nem áll meg, hanem tovább folytatódik. A csillag olyan kicsivé húzódik össze, hogy a környezetéből a fény már nem tud távozni, mert a fotonokra ható gravitáció legyőzéséhez a fotonok energiája nem elegendő. Az ilyen objektum neve *fekete lyuk*. Mivel a fekete lyuk nem bocsát ki fényt, csak úgy fedezhető fel, ha a közvetlen környezetében levő látható csillagokra hatást gyakorol. Ilyen, fekete lyukra utaló jelenséget először 1973-ban a *Cygnus* (Hattyú) csillagképben észleltek.



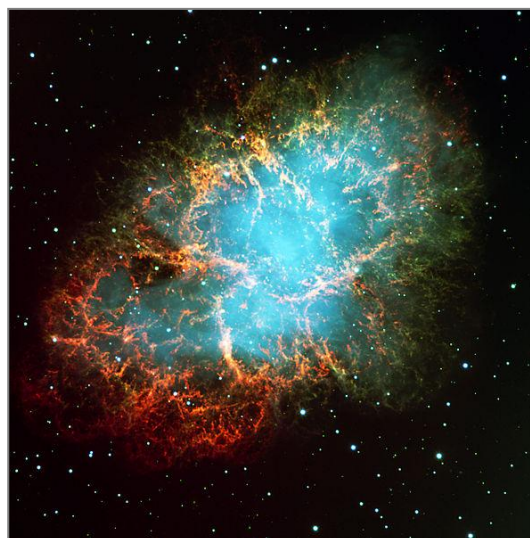
A csillagok fejlődése a fentiek szerint tehát a csillag kezdeti tömegétől függ. A különféle csillagfejlődéseket az alábbi rajzon lehet összehasonlítani.



## Kiegészítések

1. Az első szupernóvát kínai és japán csillagászok figyelték meg 1054-ben. A szupernóva a nappali égbolton is látható volt. Ennek a robbanásnak a nyomai a *Taurus* (Bika) csillagképben egy táguló ködben, az SN 1054 jelű *Rák-ködben* ma is megtalálhatók.

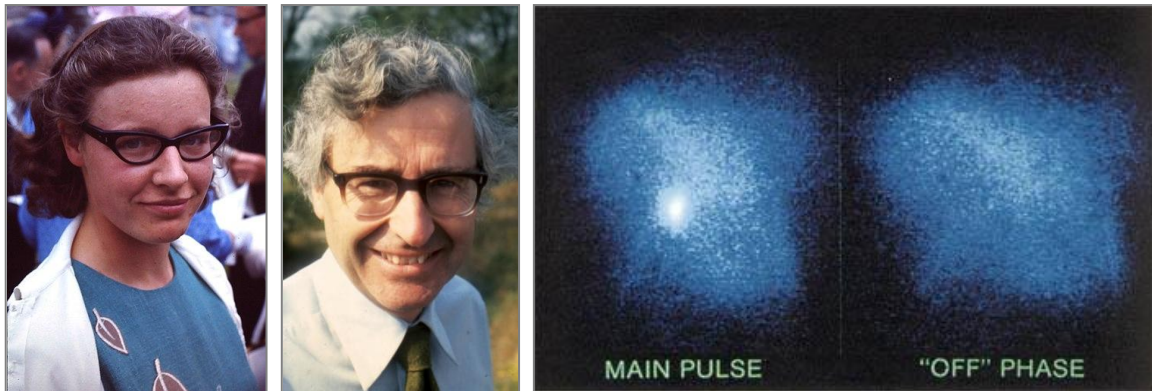
Tycho *Brahe* (1546–1601) dán csillagász 1572-ben, Johannes *Kepler* (1571–1630) német csillagász pedig 1604-ben figyelt meg



egy szupernóva-robbanást. Az ebből származó két köd az SN 1572 a *Cassiopeia* csillagképben és az SN 1604 az *Ophiuchus* (Kígyótartó) csillagképben található.

Egy modern csillagászati eszközökkel is megfigyelt szupernóva-robbanás a *Dorado* (Aranyhal) csillagképben, a *Tarantella-köd* közelében történt 1987 februárjában. A szupernóva által keltett neutrínókat szintén sikerült kimutatni.

2. A neutroncsillagok létezésének lehetőségét már a neutron felfedezésének évében (1932) felvetette Lev Davidovics *Landau* (1908–1968) szovjet és Robert *Oppenheimer* (1904–1967) amerikai fizikus.
3. Jocelyn *Bell* (1943–) és Antony *Hewish* (1924–2021) brit csillagászok 1967-ben lüktető rádiójeleket észleltek a *Rák-köd* középpontjában. A megfigyelések kimutatták, hogy a köd belsejében egy olyan csillag van, amelynek sugárzása a látható fényben, rádiófrekvenciákon és a röntgentartományban is ugyanakkora, kb. 30 Hz-es frekvenciával lüktet. Az ilyen *lüktető jeleket kibocsátó csillagot pulzárnak nevezzük*. Később kimutatták, hogy a pulzárak gyorsan forgó neutroncsillagok. Például a Rák-köd közepén található 20 km átmérőjű neutroncsillag másodpercenként 30-szor fordul körbe a tengelye körül. Ez a pulzár volt *az elsőként felfedezett neutroncsillag*. A pulzárak felfedezéséért Hewish 1974-ben fizikai Nobel-díjat kapott.

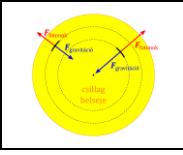





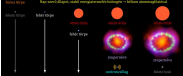



4. A Hattyú csillagképben felfedezett *Cygnus X-1* jelű fekete lyuk volt az elsőként felfedezett fekete lyuk. A *Cygnus X-1* és a közelében lévő *HDE 226868* jelű másik fényes csillag közös tömegközéppontjuk körül keringenek. A *HDE 226868* csillag fényének változásai utalnak a közelében található fekete lyuk létezésére.
5. Számos galaxis középpontjában nagyon nagy tömegű, másnéven *szupernagy tömegű fekete lyuk* található. Angol eredetű kifejezéssel *szupermasszív fekete lyuknak* (supermassive black hole) is nevezik őket. (A super jelentése nagyon nagy; a mass,

massive a tömegre utal.) Ezeknek a fekete lyukaknak a tömege a Nap tömegének többmilliárdszorosa is lehet. A szupernagy tömegű fekete lyukak kialakulását még nem ismerjük.

6. Saját galaxisunk, a Tejútrendszer középpontjában egy olyan fekete lyuk (*Sagittarius A\**) van, amelynek tömege a Nap tömegénél 4,1 milliószor nagyobb. Létezésére és tömegére a körülötte keringő szomszédos csillagok mozgásából következtettek. (Videó a Sagittarius A\* körüli csillagok 1992–2006 közti mozgásáról: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motion\\_of\\_%22S2%22\\_and\\_other\\_stars\\_a\\_round\\_the\\_central\\_Black\\_Hole.webm](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motion_of_%22S2%22_and_other_stars_a_round_the_central_Black_Hole.webm).)

## Képek jegyzéke

	<p><b>A gravitáció és a fotonnyomás egyensúlya a csillag belsejében</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0752.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0752.svg</a></p>
	<p><b>A <math>0,1 \cdot m_{\text{Nap}}</math> tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0753.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0753.svg</a></p>
	<p><b>A <math>0,5 \cdot m_{\text{Nap}}</math> tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0754.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0754.svg</a></p>
	<p><b>Az <math>m_{\text{Nap}}</math> tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0755.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0755.svg</a></p>
	<p><b>A <math>8 \cdot m_{\text{Nap}}</math> tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0756.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0756.svg</a></p>
	<p><b>A <math>27 \cdot m_{\text{Nap}}</math> tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0757.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0757.svg</a></p>
	<p><b>A különböző tömegű csillagok fejlődése</b>            © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0758.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0758.svg</a></p>
	<p><b>A Rák-köd (Az Európai Déli Obszervatórium felvétele, 1999.)</b>            W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_Nebula_in_Taurus.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_Nebula_in_Taurus.jpg</a></p>

	<p><b>Jocelyn Bell a pulzárak felfedezésének évében (1967)</b>  <b>W</b> <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Susan_Jocelyn_Bell_(Burnell),_1967.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Susan_Jocelyn_Bell_(Burnell),_1967.jpg</a></p>
	<p><b>Antony Hewish arcképe (1976)</b>  <b>©</b> <a href="https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A301034">https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A301034</a></p>
	<p><b>Pulzár a Rák-ködben, maximum és minimum fázisban (<math>\Delta t = 0,0168</math> s)</b>  <b>W</b> <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_nebula_einstein_twophases.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_nebula_einstein_twophases.jpg</a></p>

**Jelmagyarázat:**

- ©** **Jogvédtett anyag**, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W** A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.