

Változócsillagok

Szupernóvák születése

Távoli galaxisok robbanó csillagai látványosan demonstrálják a csillagok életének utolsó fázisát. A robbanás, amit szupernóvaként ismerünk, gázokat és pórt lök ki a csillagközi térbe, melyek később születendő csillagok alkotóeleméül szolgálnak. A szupernóvák egymást követő generációi sorra felépítik a nehezebb elemeket, amelyek az általunk ismert élethez elengedhetetlenek.

A közeli vagy távoli szupernóvák kitörésének megfigyelése viszonylag egyszerű feladat. De hogyan tudjuk megállapítani egy csillagról még a robbanás előtt, hogy szupernóva lesz belőle? Sajnos a csillagászok ma még nem tudják előrejelezni, hogy milyen típusú csillag eshet át szupernóva-robbanáson. Ahhoz, hogy ezt meg tudják állapítani, a kutatóknak meg kellett határozniuk, hogy korábban milyen csillagokból vált szupernóva.

A szupernóvákat négy alapsztálya soroljuk: Ia, Ib, Ic, és II. Az Ia típusúak olyan szoros kettős rendszerben jönnek létre, melyekben a vörös óriáscsillag anyagot ad át a kísérő fehér törpének, és ez lesz az oka a robbanásnak. Az Ib, Ic és a II típusú szupernóvák szülőcsillagai nagy tömegű csillagok, amelyek akkor robban fel, amikor a mag nukleáris fűtőanyaga kimerül. A csillagmag összeomlása okozza a robbanást, amelynek következtében a külső burok lelökődik. Az Ib, Ic és II-es típusú szupernóvák színképe nagyon hasonló, azzal az eltéréssel, hogy az Ib és Ic típusok spektrumában erősek a hidrogén vonalak.

Így a csillagászok nagy tömegű csillagokat és szoros kettős rendszerekben rejtőző fehér törpéket keresnek, ha szupernóvák progenitorait, „előcsillagait” kívánják tanulmányozni. Mindkét típusra találunk példát a Tejútrendszer közeli vidékein. Ezek közül néhányat az amatőrök is jól ismernek.

A Betelgeuse és a vörös óriások

A legismertebb „szupernóvaelőd” a Betelgeuse, ez a fényes vörös óriás, az Orion alfája. A 650 fényév távolságban levő csillag élete végén jár. Különböző rétegeiben más és más reakciók játszódnak le. Van, ahol hélium alakul széné; máshol a hélium és a szén oxigénné egyesül; és van, ahol a szénből magnézium keletkezik. Végül ezek a folyamatok állítják elő a „végerméket”, a szilíciumot és a vasat. Ekkor azonban a fúzió leáll, mert a vas fúziós reakciójához több energiára van szükség, mint amit az megtermel. Az energia kimerülése fogja a Betelgeuse magjának összeroppanását okozni, és ezzel előidézőjévé válik a szupernóvarobbanásnak. Ez a robbanás valószínűleg néhány ezer éven belül bekövetkezik, mert a vörös óriás állapot nem tart túl sokáig.

Hogy mikor következik be a robbanás, az a Betelgeuse felszínének pulzációjától is függ. Ez okozza a csillag fényességének változását. A csillag felszínének lüktetése összekeveri magjának anyagát a felszín hidrogénben gazdag rétegeivel. Ez a keve-

redés vagy gyorsítja a magfúziót, vagy lassítja, és ezáltal csökkenti vagy növeli a csillag élettartamát. Ez a pulzáció az oka annak is, hogy a csillag felszínéről anyag távozik a környezetbe. A tömegvesztés szintén lassíthatja a magfúziót, megnövelve ezzel a csillag élettartamát.

A csillagászok még nem tudják, hogy a tömegvesztés csak lassítja a szupernóvává válás folyamatát, vagy meg is akadályozhatja azt. A jelenlegi, több mint egy billió (10^{12}) tonna másodpercenkénti anyagvesztés azt jelenti, hogy a csillag szinte teljesen elveszti külső burkát. Enélkül viszont nem elég nagy a magra nehezedő nyomás, ezért csak kisebb robbanás várható, ami szép planetáris ködöt fog létrehozni. A csillag magjából így csak egy egyszerű fehér törpe lesz, ahelyett, hogy neutroncsillag válna belőle. Ha azonban a tömegvesztés lassú, és nem fogyasztja el a csillag külső, hidrogénben gazdag burkát (addig, amíg a Betelgeuse eléri életének végső fázisát), akkor a mag összeomlik, és olyan fényes felvillanást okoz, ami túlragyogja a teleholdat is.

Még egy dolog miatt nem biztosak a csillagászok a Betelgeuse jövőjét illetően – ez pedig a közeli kísérocillag. A rendszer belső tagja olyan közel kering a Betelgeuse-höz, hogy pályája már a Betelgeuse atmoszféráján belül húzódik. A Betelgeuse hátralevő életének folyamán elképzelhető, hogy a kísérocillag teljesen magához szippantja a központi csillag hidrogénburkát. Ezzel pedig teljesen megfosztja a Betelgeuse-t a mag összeomlásához szükséges tömegtől.

A Betelgeuse példája nyomán a csillagászok más szupernóva-jelöltek után is kutathatnak. A megfigyelések azt mutatják, hogy a „szupernóvaelődök” tömegvesztést produkálnak, és változtatják fényességüket a csillag atmoszférájának pulzációja miatt. A lüktetés felhossa a mélyebb rétegekből a külső héjba a nehezebb elemeket (káliumot, magnéziumot, szilíciumot). Amikor a szuperóriás csillag előállította ezeket az elemeket, és a felső rétegekkel való keveredés után „csillagszélnek ereszti” azokat, közeledik a csillag látványos halála.

Ezek a folyamatok más szuperóriásokra is jellemzők, amelyek valószínűleg hamarosan összeomlanak, és így válnak fehér törpévé vagy neutroncsillaggá. A legismertebb ilyen csillagok a Mira (omikron Ceti), a Ras Algethi (alfa Herculis), az Antares (alfa Scorpii) és a mű Cephei. Ezek a csillagok néhány ezer fényéves távolságon belül helyezkednek el, pulzálnak, tömeget veszítenek és fényességváltozást mutatnak. A Mira külső burkának spektrumában megtalálhatók a nehéz elemek vonalai. Ezek a legvalószínűbb jelöltek az elkövetkezendő néhány ezer évben várható szupernóva-kitörésekre. Más szupernóvajelölt vörös szuperóriások megtalálása elég nehéz feladat, mivel a Tejút spirálkarjában, sötét gáz- és porködök mögött helyezkednek el. Ezek a ködök elrejtik őket előlünk, de a további „előcsillagok” utáni kutatás még csak most kezdődött.

Kék szuperóriások

A vörös óriásokból keletkezik legvalószínűbben szupernóva, de a csillagászok mostanában ismerték fel, hogy néhány kék óriás is szupernóvává válhat. Az 1987A jelű példáról, amely a Nagy Magellán Felhőben villant fel, a Sanduleak -69°202-ből származott, amelynek átmérője 25-ször volt nagyobb Napunkénál. (A vörös óriások átmérője mintegy 500-szor nagyobb.) Eltérően a vörös óriásokból lett szupernóvák-tól, az 1987A nem volt olyan fényes, mint ahogy azt várták. Ez a megfigyelés alá-támasztja Kris Davidson (University of Minnesota) elméletét: „A vörös óriások nem fúvódnak fel, és nem veszítenek sok energiát, mielőtt felrobbannak. Az 1987A viszont kék óriás volt. Amikor szupernóvaként felfigyeltek rá, addigra kitágult, és rengeteg energiát

veszített.”

A Sanduleak $-69^{\circ}202$ életének végső szakaszaiban az az energiamennyiség, ami normális körülmények között a robbanást okozza, a gázburok kitágítására fordított, nem az optikai „színhátékra”. A csillagászok még vitatkoznak a robbanást előidéző okokról, de abban egyetértenek, hogy az „előcsillagnál” hiányoztak a stabil vörös óriás állapot eléréséhez szükséges elemek, mint például az oxigén. A csillagból vörös óriás helyett egy nagy sűrűségű kék óriás lett. Ez a nagy sűrűség mérsekelte a szupernóvakitörés fényességét.

A csillagászok csak újabban kezdtek olyan kék óriások után kutatni, amelyekből egyszer szupernóva válhat. Egy ilyen jelölt az éta Carinae, a déli égbolt egyik fényes csillaga, amely 9 ezer fényév távolságra helyezkedik el a róla elnevezett hatalmas gázködbé ágyazódva. Fényessége drámai változásokon ment keresztül az elmúlt másfél évszázad alatt. A 1830-as, 40-es években a megfigyelők tanúi lehettek annak, hogy a csillag $+4^m$ -ról -1^m -ra fényesedett, és ezzel a második legfényesebb csillag lett az égen. Az elkövetkező évtizedekben azután elhalványodott 8^m -ra, de mostanra a fényessége 5,8 magnitúdó körül stabilizálódott.

A csillagászok úgy gondolják, hogy a megfigyelt felfénylés egy kisebb robbanás eredménye volt, aminek energiáját elnyelte a csillaghoz közeli nitrogénben gazdag felhő. Nyilvánvaló, hogy az éta Carinae egy közelgő katasztrófa előjeleit mutatja. Davidson úgy gondolja, hogy a csillag elérte életének végét, és feltehetően tízezer éven belül felrobban. A 80–100 naptömegű éta Carinae-ből a legfényesebb szupernóva válhat, amit emberi szem valaha is látott.

„Jelenleg valószínűleg a Wolf–Rayet csillaggá válás állapotában van” – mondja Davidson. A Wolf–Rayet-ek forró és nagy tömegű csillagok, melyek tömegvesztése jelentős. A nitrogénvonalak nagy száma azt mutatja, hogy egyszer már elérték a szuperóriás állapotot. Azonban a nagymérvű tömegvesztés teljesen felemészti a csillag külső rétegeit, és így megszűnik a szuperóriás állapot, a csillagból Wolf–Rayet csillag lesz.

Az éta Carinae hatalmas tömege, nagyarányú tömegvesztése és külső burkának nehézelem-tartalma megfelel egy „előcsillag” kritériumainak. Vannak más Wolf–Rayet csillagok is, amelyek jó eséllyel pályázhatnak a II-es típusú szupernóva „előcsillag” címre. Az egyik ilyen a HD 56925 jelű 11^m -s csillag az NGC 2359 gázködben, a Canis Majorban. A másik jelölt a 7^m -s HD 192163 az NGC 6888-ban a Cygnusban.

Más „előcsillagok”

A szupernóvajelöltek nem mindig a legszembetűnőbb csillagai Galaxisunknak. Az Ia típus előcsillagai például egyáltalán nem észlelhetők. Az I-es típusba sorolt szupernóvák előcsillagai sokkal halványabbak, mint a vörös és kék óriások. Amikor azonban szupernóvává válnak, fényességük a II-es típus és saját galaxisuk összfényességével is vetekszik.

Az Ia típusú szupernóvák „elődei” kettős rendszerek tagjai, ahol a központi csillag tömeget veszít (többnyire hidrogént), amit a kísérő fehér törpe vesz fel. Normális körülmények között csak egy kisebb felvillanást észlelhetünk, amikor a kísérőcsillag burkában annyi hidrogén halmozódott fel, hogy ott beinduljon a term nukleáris reakció. A csillagászok az ilyen típusú csillagokat kataklizmusos változóknak vagy nóváknak hívják. Azonban az Ia típusú rendszerekben a fehér

törpe túl sok anyagot kap. Egy tipikus fehér törpe 0,6 naptömegű, és a csillag mindaddig stabil marad, amíg tömege nem haladja meg a kritikus Chandrasekhar-határt, ami 1,4 naptömeg. Az Ia típusú szupernóvák fehér törpéje ennél jóval nagyobb tömeget halmoz fel.

Ahelyett, hogy a magfúzó beindulna a csillag légkörében, a gázok nagy tömege miatt a csillag teljesen összeomlik és neutroncsillag lesz belőle. A fúzió a csillag magjában kezdődik. Ez a hirtelen energiakitörés vezet a robbanáshoz, amiben végül a csillag teljesen megsemmisül. Valószínűleg erre a folyamatra található egy jó példa a Scorpiusban, az U Scorpii. Először 1863-ban figyelték meg a normálisan 17^m -s csillagot, amikor egy kitörés következtében felfényesedett. Azóta szabálytalan időközönként még négyszer felfényesedett egészen 8^m -ig. Jelenleg visszatérő nóvaként tartják nyilván.

Sumner Starrfield (Arizona State University) úgy véli, hogy az U Sco az elkövetkezendő tízezer év alatt összegyűjti a szupernóvává váláshoz szükséges tömeget. *„Az anyag többsége a fehér törpénél halmozódik fel. Ez a tömeg már majdnem elérte a kritikus Chandrasekhar-határt. Nem sokkal azután, hogy meghaladja azt, be fog következni a mag összeomlása.”* A legtöbb kataklizmikus és nóva típusú változócsillagból nem lesz Ia típusú szupernóva. De Starrfield szerint a legjobb jelöltek mégis a visszatérő nóvák közül kerülnek ki. Ezek a csillagok elegendő anyagot gyűjthetnek össze ahhoz, hogy megközelítsék a Chandrasekhar-határt.

„Az Ia típusú szupernóvák előcsillagait tartalmazó rendszerek többnyire túl halványak” – mondja Marshall McCall (York Observatory, Toronto). *„Így elképzelhető, hogy annak ellenére nem találjuk meg őket, hogy viszonylag közel vannak hozzánk.”*

Melyik csillag lesz a következő?

A csillagászok számításai szerint átlagosan minden 30 évben kell bekövetkeznie szupernóva-robbanásnak Galaxisunkban. Sokan gondolják ezért azt, hogy már rég esedékes lenne egy szupernóva-felvillanás a Naprendszerhez közel. De elfelejtik a kulcsszót, azt, hogy „átlagosan”! Nem is olyan régen még bekövetkezhettek olyan szupernóva-kitörések, amelyek észrevétlenek maradtak. 300 évvel ezelőtt porfelhő akadályozta meg a Cassiopeia A optikai észlelését. De a modern rádió- és infravörös módszerek segítségével megelőzhetjük az ilyen eseteket.

Bár a kutatóknak most már pontosabb elképzeléseik vannak afelől, hogy vajon melyik csillag fogja életét szupernóvaként befejezni, de annak a valószínűsége, hogy biztosan meg tudják mondani, hogy melyikből lesz szupernóva, még kicsi. Még a legbiztosabbnak tűnő jelölt, a Betelgeuse felől is kétségek merülnek fel, mert túl sok a bizonytalan tényező – tömegvesztés; a kísérőcsillag hatása; az anyag keveredése a csillag belsejében –, amelyek megakadályozhatják a szupernóva-robbanást.

A jövőben a csillagászoknak kutatniuk kell az eget olyan csillagok után, amelyek éppen szupernóvává váltak. Minden egyes újonnan talált csillag egy-egy újabb lépést fog jelenteni a szupernóvák kialakulásának megértéséhez. Ezekből az információkból azután egyszer talán előrejelezhetővé válnak az elkövetkezendő szupernóva-felvillanások. Addig azonban figyeljük az eget, mert senki nem tudhatja, melyik lesz a következő csillag.

ANDREW M. THORPE

(Astronomy, 1992. dec. - ford. Nagy-Mélykúti Ákos)

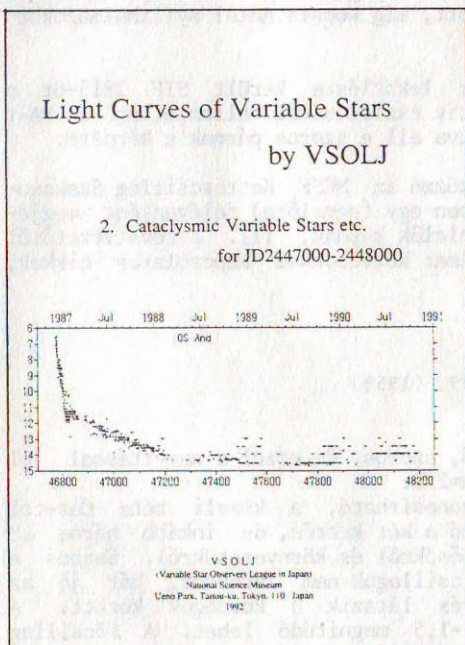
Társszervezeteink munkájáról I.

Régóta nem jelentkeztünk külföldi társszervezeteink híreivel. Most a hazai amatőrök körében kevésbé ismert, ezért sokak számára egzotikus finn és japán változós eredményekről, kiadványokról adunk rövid áttekintést.

A változós világban kétségkívül domináns szerepet tölt be az AAVSO, ám mégis vannak szervezetek, melyek — tőlünk eltérően — nem küldik el valamennyi észlelésüket Cambridge-be. Ehelyett saját kisebb-nagyobb kiadványaikban jelentetik meg adataikat akár számítógépes listák, akár fénygörbék formájában.

A finn központú SVSO (The Scandinavian Variable Star Observers = Skandináv Változócsillag-észlelők) Reportja immár huszadik évfolyamába lépett, így a finnek abban a kedvező helyzetben vannak, hogy valamennyi észlelésüket közölhetik adatlisták formájában. (Sajnos erről nekünk évekkel ezelőtt le kellett mondanunk, anyagi okok miatt.) Az SVSO Reportjai jelenleg kizárólag nyers adatokat közölnek, bár korábban próbálkoztak fénygörbék publikálásával is. Az észlelőlisták, adatlisták mellett közlik az adott időszak mira- és törpe nóva maximumainak időpontjait és fényességértékeit is. A Reportok érdekessége, hogy nem éves bontásban tagolják az észleléseket, hanem az ősztől tavaszig terjedő időszakra összpontosítanak, mivel Finnországban nyáron nem lehet változózni.

A japán változósok figyelemreméltó kiadvánnyal jelentkeztek a múlt év végén. A Japán Változócsillag-észlelők Szövetsége a JD 2447000-2448000 (1987. júl. 23. — 1990. ápr. 18.) közötti időszak katalizmusos változókról végzett észleléseiről ad számot. A 230 oldalas kiadvány, melynek címlapját mellékelten bemutatjuk, igen jelentős észlelési anyagot mutat be. A — szerencsére — már nálunk is "kommersznek" számító fényesebb törpe nóvák fénygörbéin kívül láthatók az időszak érdekeesebb szupernóva-fénygörbéi is. A füzetből kiderül, hogy az extragalaktikus változó objektumok között az M33 három fényes SDOR típusú változóját is észlelték (16-17 magnitúdó között). Szisztematikus munkát végeznek katalizmusos téren is, hiszen több száz csillagot követnek a japán észlelők. Többek között közreműködtek új SU UMa típusok azonosításában is (T Leo, AW Gem, AQ Eri, CY UMa). Munkájukat kiválóan demonstrálja a címlapon látható OS And (Nova And 1986) fénygörbe.



(Mzs)