

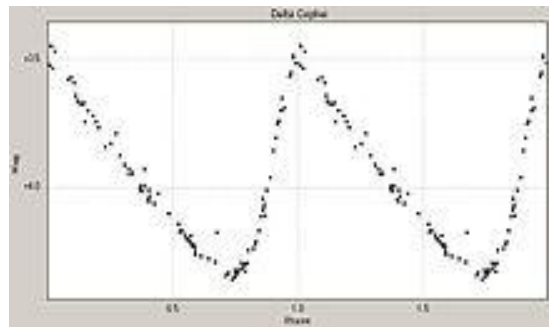
HVIEZDY III. – PREMENNÉ HVIEZDY, NEUTRÓNOVÉ HVIEZDY, NOVY A SUPERNOVY

1. Premenné hviezdy: Podľa Wikipédie premennosť hviezd znamená, že **nijaká hviezda nežiari od svojho vzniku až po zánik konštantne**. Tie hviezdy, ktoré však menia svoju jasnosť **rýchlo** (rádovo počas hodín až desaťročí) alebo **o výrazné hodnoty**, sa označujú **ako premenné**. Príčina premennosti je u rôznych hviezd rôzna. Je to spôsobené buď tým, že ich zakrýva temnejší objekt (zákrytové hviezdy) alebo má premenlivosť fyzikálne príčiny **od samotnej hviezdy**, napr. **pulzujúce** hviezdy menia svoj priemer v určitom rozpätí a časovom úseku. Eruptívne premenné hviezdy prechádzajú náhlym nárastom svietivosti následkom erupcií a výronov hmoty. Do tejto skupiny patria **protohviezdy, Wolfove-Rayetove hviezdy a vzplanujúce hviezdy**. Kataklyzmatické **alebo explozívne** premenné hviezdy prechádzajú dramatickými zmenami svojich vlastností. Táto skupina obsahuje **novy a supernovy**. Expandujúce hviezdy menia svoj priemer **náhle obrovskými výbuchmi** (supernovy pri výbuchoch zvýšia svoju jasnosť až 100-miliónkrát). Väčšina zmien jasností však nebýva taká dramatická, mnohé zmeny sú voľným okom nezachytiteľné. Hviezdy **majú väčšie sklony** k fyzikálnym zmenám jasnosti **na začiatku** (hviezdy typu T-Tauri) a **na konci** (Cefeidy, Miridy, supernovy...) **svojho vývoja**. Niektoré hviezdy zase mierne menia svoju jasnosť kvôli extrémnym škvrnám na svojich povrchoch.



**Najslávnejšia premená hviezda Mira Ceti s dlhým chvostom materiálu,
ktorý uvoľňuje**

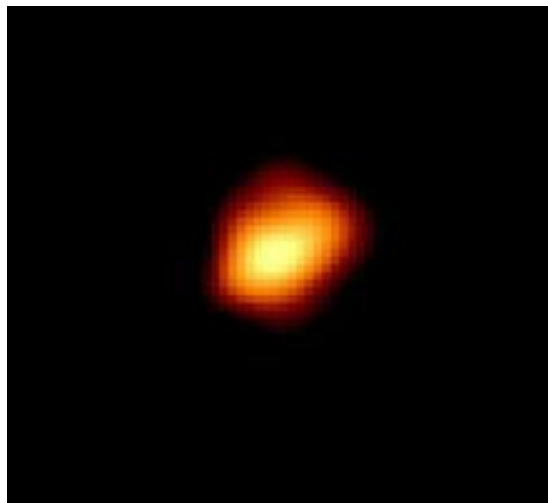
2. Pulzujúce premenné hviezdy: Existuje veľké množstvo pulzujúcich premenných hviezd, ktoré si postupne predstavíme. Jedným z najznámejších typov premenných hviezd sú **cefeidy**, žltí obri, ktorí **pulzujú vo veľmi pravidelných periódach**. Sú pomenované podľa **δ Cephei**, prvej objavenej premennej hviezdy tohto typu, a majú periódy od jedného dňa až po niekoľko týždňov. Cefeidy sú dôležité, pretože sú typom **tzv. štandardných sviec**. Ich svietivosť je priamo závislá na ich perióde premennosti, tiež s malou závislosťou na metalicite. Čím dlhšia je pulzačná perióda, tým jasnejšia býva hviezda. Keď sa pre cefeidu vykalibruje vzťah medzi periódou a svietivosťou, znamená to, že **pozorovaním periódy cefeíd priamo dostávame aj ich svietivosť**. Ich vzdialenosť je potom **ľahko dopočítateľná zo zdanlivej hviezdnej veľkosti**. Pozorovania cefeíd sú veľmi dôležité pre stanovovanie vzdialeností galaxií vnútri našej lokálnej skupiny galaxií, ale aj za ňou.



Svetelná krivka hviezdy Delta Cephei

Premenné typu W Virginis sa takto označujú podľa „vzorovej“ hviezdy v súhvezdí Panny. Tieto premenné sú veľmi podobné cefeidám, ale patria do populácie II, t. j. medzi staršie a najstaršie hviezdy, a tak majú nižšiu metalicitu a preto nepatrne iný vzťah perióda-svietivosť. Niekedy sa označujú ako Cefeidy typu II. **Premenné typu δ Scuti** sú podobné cefeidám, ale trochu slabšie a s kratšími periódami. Kedysi boli označované ako *trpasličie cefeidy*. Často sa vyznačujú znásobenými periódami, ktoré vytvárajú veľmi zložité svetelné krivky. **Premenné typu RR Lyrae** sú mierne podobné cefeidám, ale nie sú tak svietivé. Sú staršie ako cefeidy, patria do populácie II. Obvykle sa vyskytujú v guľových hviezdokopách, a v minulosti boli niekedy označované ako *kopové cefeidy*. Majú veľmi dobre stanovený vzťah perióda-svietivosť, a sú teda tiež vhodné indikátory pre vzdialenosti. Stredná absolútna hviezdna veľkosť všetkých hviezd typu RR Lyrae je približne $+0,8^m$; všetky majú približne rovnaký vek, hmotnosť a obsah hélia. Sú indikátorom vzdialenosti do 200 kpc. Patria k halovej populácii II a nachádzajú sa zväčša v guľových

hviezdokopách. Všetky sú v pokročilom štádiu horenia hélia. **Premenné typu RV Tauri** sú žltí nadobri, ktorí majú meniace sa hlboké a plytké minimá. Toto kolísanie dvojakých vrcholov má typicky periódu medzi 30 až 100 dňami. Znásobením tejto premenlivosti môžu nastať dlhodobé zmeny periód počas niekoľkých rokov. **Premenné typu Mira Ceti** sú veľmi chladní červení nadobri, ktorí sa podrobujú veľmi veľkým pulzáciám. Počas periód, ktoré trvajú zvyčajne niekoľko mesiacov, sa môžu zjasniť o niekoľko magnítud pred ich ďalším pokračujúcim slabnutím. Samotná Mira Ceti, tiež známa ako **o (Omikron) Ceti**, ktorá prepožičala celej skupine názov, kolíše v jasnosti z takmer **druhej magnítudy** a slabne až po **deviatu magnítudu**.



Mira Ceti na zábere z Hubblovho vesmírneho teleskopu

Polopravidelné premenné hviezdy sú zvyčajne červení nadobri. Skupina týchto premenných môže občas vykazovať jednoznačnú periódu, ale taktiež prechádzať cez periódy nepravidelných premien. Najznámejší známy príklad je polopravidelná premenná hviezda Betelgeuse, ktorej zdanlivá hviezdna veľkosť sa mení v rozpätí od **0.2 do 1.2m**. A nakoniec **nepravidelné premenné hviezdy** predstavujú červení obri s náznakmi periodicity.





Betelgeuze na snímke VLT a v súhvezdí Orióna

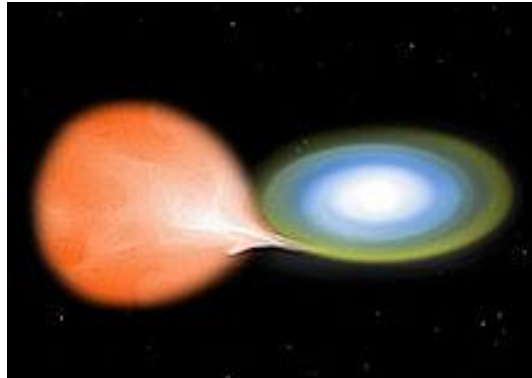
3. Erupzívne hviezdy: Tvorí menej diferencovanú skupinu v rámci ktorej rozlišujeme **premenné protohviezdy typu T Tauri**, pri ktorých ide o mladé hviezdy s protoplanetárnymi diskami, ktorých premennosť je pravdepodobne spôsobená rôznymi nestabilitami v disku, ako aj v ich atmosfére. Ďalej **vzplanujúce hviezdy**, známe tiež ako **hviezdy typu UV Ceti**, sú veľmi slabé hviezdy hlavnej postupnosti, u ktorých dochádza k pravidelným zábleskom. Zvyšujú svoju jasnosť **až o dve magnitúdy** v priebehu **niekoľkých sekúnd** a potom oslabujú na normálnu jasnosť v priebehu polhodiny alebo menej. **Hviezdy typu R Coronae Borealis**, ktoré sú síce klasifikované ako erupzívne premenné hviezdy, ale nedochádza u nich k periodickým zjasneniam, keďže si udržiavajú väčšinu času maximálnu jasnosť, ale v nepravidelných intervaloch **náhle zoslabnú o mnoho magnitúd**. Pomaly potom v priebehu niekoľkých mesiacov či rokov získavajú naspäť pôvodnú maximálnu jasnosť. Za zdroj tohto kolísania jasnosti sú považované epizódy formovania prachu v atmosfére hviezdy. Po tom, čo sa vytvorí prach a premiestni sa ďalej od hviezdy, resp. ochladne pod teplotu kondenzácie prachu, v určitom bode sa vytvorí mračno nepriesvitného prachu, čo spôsobí pokles jasnosti pozorovanej hviezdy. Osobitnou skupinou sú tu **Wolfove-Rayetove hviezdy** ako veľmi hmotné hviezdy s veľmi silným hviezdnyim vetrom ako typickým vývojovým štádiom týchto hviezd. V našej Galaxii poznáme okolo 150 takýchto hviezd.

Nádhernou ukážkou typickej Wolfovej-Rayetovej hviezdy je aj HD 184738 na nasledujúcom obrázku



4. Kataklyzmatické erupzívne premenné hviezdy: Do tejto skupiny hviezd patria novy, trpasličie novy a najmä supernovy. Najprv si predstavíme **novy**. Nova je obrovská jadrová explózia zapríčinená prírastkom vodíka na povrchu hviezdy kategórie **biely trpaslík**. Keď sa v blízkosti bieleho trpaslíka nachádza iná hviezda, často sa stáva, že ako táto hviezda starne a expanduje na červeného obra, jej vonkajšia atmosféra je odčerpávaná gravitačnou silou bieleho trpaslíka. Zachytené plyny sú zložené prevažne z vodíka a hélia, dvoch základných zložiek hmoty vesmíru. Plyny sú na povrchu bieleho trpaslíka zhustené jeho obrovskou gravitáciou. Počas nasávania ďalšieho materiálu sú tieto plyny stláčané a zahrievané na obrovské teploty. Nakoniec sa tlak a teplota vnútri vodíkovej vrstvy zvýšia natoľko, že spustia jadrovú reakciu, ktorá náhle premení veľké množstvo vodíka na hélium a iné, ťažšie prvky. Obrovské množstvo energie, ktoré sa pri tomto procese uvoľní, vyvrhne ostávajúce plyny preč z povrchu bieleho trpaslíka a vytvorí tak extrémne jasnú, avšak krátkotrvajúcu explóziu svetla. Toto jasné svetlo, ktoré existuje len zopár dní, dalo vzniknúť názvu *nova*, čo po latinsky znamená „nová“; starovekí astronómovia videli tento úkaz na nočnej oblohe tam, kde predtým nebola žiadna hviezda a verili, že na tom mieste vznikla „nová hviezda“. Biely trpaslík môže potenciálne vytvoriť viacero nov, pokiaľ vodík z hviezdy pokračuje v hromadení sa na jeho povrchu. Príkladom je **RS Ophiuchi**, ktorá zažiarila päťkrát (v rokoch 1898, 1933, 1958, 1967 a 1985). Avšak, nakoniec buď hviezda vyčerpá všetok svoj materiál, alebo biely trpaslík vyprodukuje tak silnú novu, **že je pri tomto procese sám zničený**. Toto je niečo podobné ako supernova typu Ia. Vo všeobecnosti však supernova zahŕňa odlišné procesy a tiež oveľa väčšie energie a nemala by byť

zamienenaná za bežné novy. Príležitostne je nova natoľko jasná, že je viditeľná aj voľným okom. Posledným príkladom bola Nova Cygni 1975 (V1500). Táto nova sa zjavila 29. augusta 1975 v súhvezdí Labuť a dosiahla stupňa 2,0m.



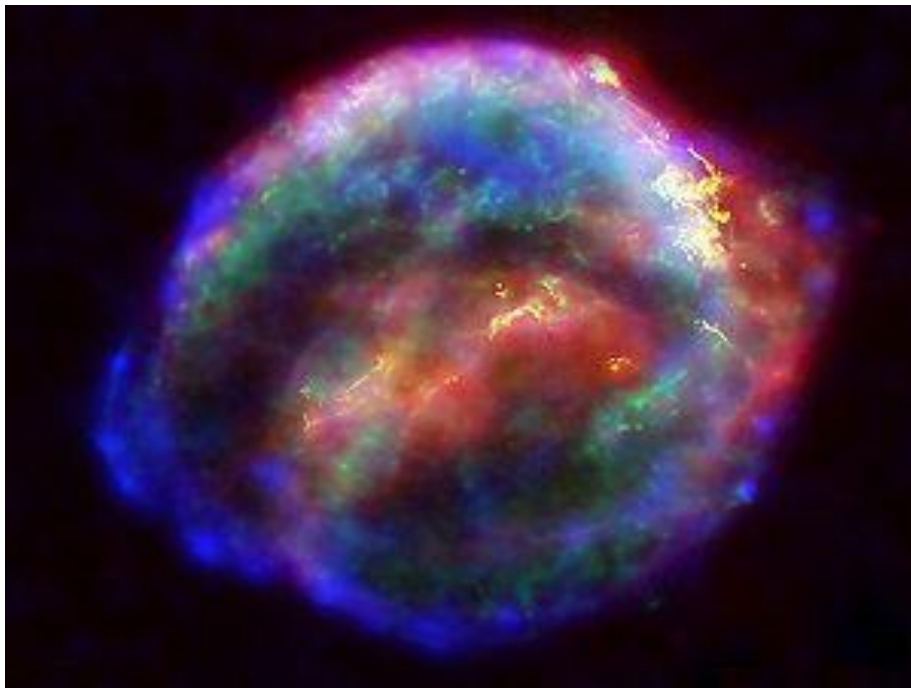
Znázornenie odčerpávania vodíka bielym trpaslíkom od väčšej hviezdy



Hviezda V838 Monocerotis bola donedávna považovaná za novu. Dnes ju však astronómovia považujú za nový druh premennej hviezdy, ktorá sa odklonila z hlavnej postupnosti a premieňa sa na červeného obra.

Supernova. Termín supernova sa vzťahuje na niekoľko typov hviezdnych explózií, ktorými vznikajú extrémne jasné objekty zložené z plazmy, ktorých jasnosť potom v priebehu týždňov či mesiacov opäť o mnoho rádov klesá. K tomuto koncu vedú **dve možné cesty**: alebo ide o **masívnu hviezdu**, ktorá vo svojom jadre vyčerpala zásoby paliva pre fúziu a začala sa zmršťovať pod silou svojej vlastnej gravitácie, alebo o **bieleho trpaslíka**, ktorý nahromadil materiál od svojho hviezdneho sprievodcu, dosiahol Chandrasekharovu

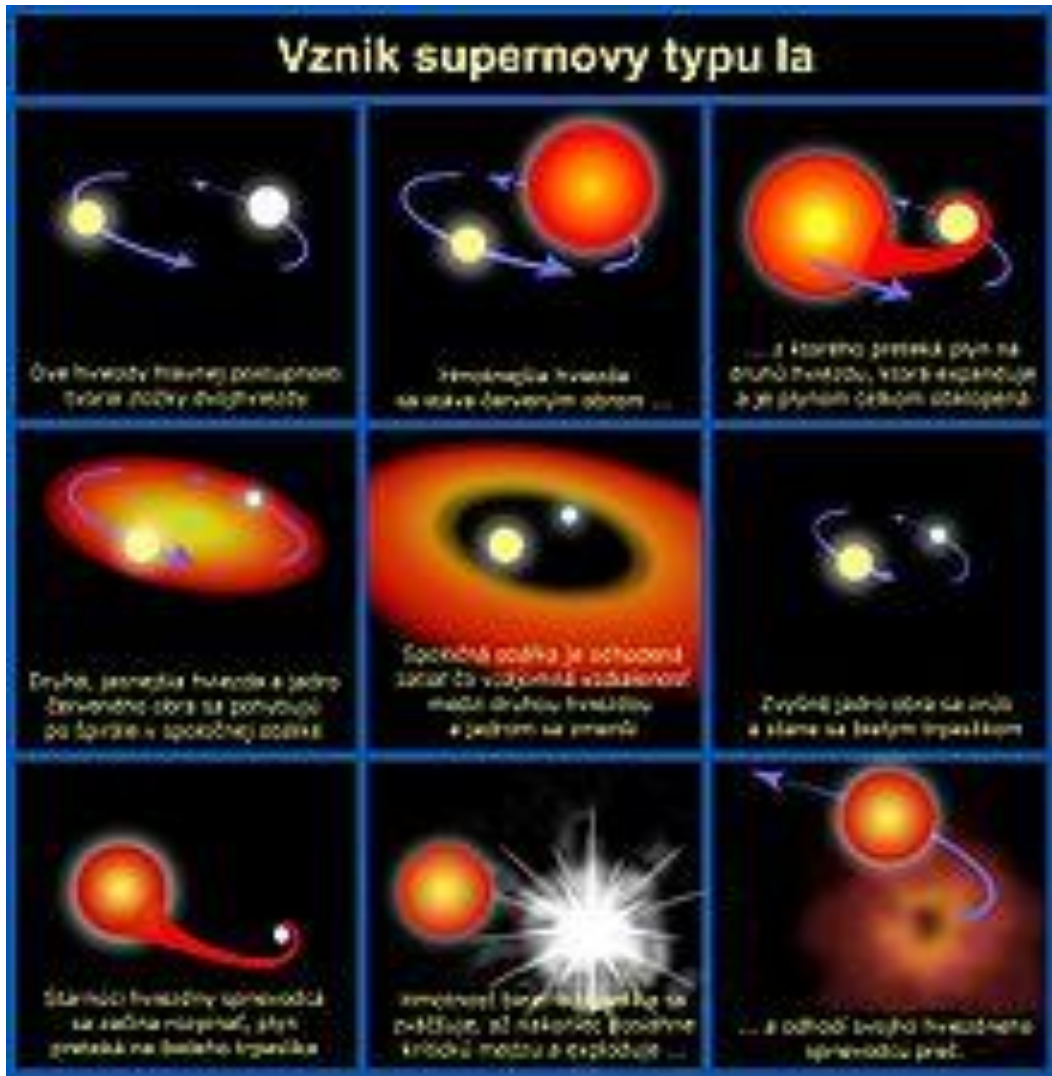
medzu a prešiel termonukleárnou explóziou. V oboch prípadoch výsledná explózia supernovy rozmetá obrovskou silou väčšinu alebo všetku hmotu hviezdy. Explózia uvádza do pohybu nárazovú vlnu, ktorá sa šíri do okolitého priestoru a formuje zvyšky supernovy. Najznámejším príkladom tohto procesu sú zvyšky SN 1604 (na obrázku vpravo). Explózie supernov sú hlavným zdrojom všetkých prvkov ťažších ako kyslík a **pri mnohých dôležitých prvkoch zdrojom jediným**. Napríklad všetok vápnik v našich kostiach a všetko železo v hemoglobíne boli syntetizované pri explózii supernov pred miliardami rokov. Supernovy vnášajú do medzihviezdnej hmoty ťažké prvky a obohacujú tak molekulové mračná, ktoré sú dejiskom tvorby nových hviezd. Činnosť supernov významne ovplyvnila zloženie Slnčnej sústavy a umožnila tak nakoniec chémiu života na Zemi, ako ho poznáme. Výbuch supernovy je sprevádzaný obrovskými teplotami a za istých podmienok môžu fúzne reakcie počas vrcholnej fázy vyprodukovať niektoré z najťažších prvkov, ako je kalifornium. „Nova“ znamená po latinsky „nový,“ čo sa vzťahuje k tomu, že sa objavuje ako veľmi jasná nová hviezda na nebeskej sfére; prefix „super“ ju odlišuje od obyčajnej novy, ktorou je tiež pomenovaná hviezda, ktorá zvýšila svoju jasnosť, ale na menšom priestore a odlišným mechanizmom. Napriek tomu je však zavádzajúce považovať supernovu za novú hviezdu, pretože v skutočnosti ide o zánik hviezdy (alebo prinajmenšom jej radikálnu premenu na niečo iné).



Zvyšky Keplerovej supernovy, SN 1604

Supernova typ Ia. Supernovám typu Ia chýba hélium a obsahujú vo svojom spektre absorpčnú čiaru kremíkublízko svetelného vrcholu. Podľa najširšie akceptovanej teórie je tento typ supernov výsledkom procesu, pri ktorom uhlíko-kyslíkový biely trpaslík zhromažďuje hmotu z blízkeho hviezdneho sprievodcu, zvyčajne červeného obra, až nakoniec dosiahne Chandrasekharovu medzu. Nárast tlaku zvýši teplotu v okolí centra a začne perióda konvekcie dlhá asi 100 rokov. V istom bode tejto fázy slabého vrenia sa zapáli deflagračný plameň živený jadrovou fúziou. Detaily jeho vzniku, umiestnenie a počet bodov, v ktorých začne, sú stále neznáme. Dramatickému zrýchľovaniu šírenia plameňa napomáha Rayleighova-Taylorova nestabilita a interakcia s turbulentnými prúdmi. Predmetom veľkých debát je stále otázka premeny podzvukového šírenia plameňa (deflagrácia) do nadzvukovej detonácie. Energia, ktorá sa uvoľní termonukleárnym zážihom ($\sim 10^{44}$ J), spôsobí prudkú explóziu hviezdy a vznik nárazovej vlny, ktorou je vyvrhovaná hmota urýchľovaná na rýchlosť rádovo 10 000 km/s. Energia uvoľnená pri explózii spôsobí tiež extrémne zvýšenie jasnosti. Teória zaoberajúca sa týmto typom supernov je podobná teórii nov, v ktorej biely trpaslík naberá hmotu oveľa pomalšie a nedosiahne Chandrasekharovu medzu. V prípade novy zapríčiní dopadajúca hmota fúziu reakciu materiálu blízko povrchu, nespôsobí však kolaps hviezdy. Supernovy typu Ia majú charakteristickú svetelnú krivku (graf jasnosti po explózii ako funkcia času). V okamihu maximálnej jasnosti obsahuje spektrum čiary stredne ťažkých prvkov od kyslíka po vápnik; sú to hlavné produkty fúzie vo vonkajších vrstvách hviezdy. Mesiace po explózii, keď vonkajšie vrstvy expandujú natoľko, že sa stanú priehľadnými, začne v spektre dominovať svetlo emitované materiálom blízko jadra hviezdy: ťažké prvky syntetizované pri explózii, najvýznamnejšími sú prvky skupiny železa. Rádioaktívny rozpad ^{56}Ni cez ^{56}Co na ^{56}Fe produkuje vysokoenergetické fotóny, ktoré dominujú energetickému výstupu vyvrhutej hmoty v strednodobom aj dlhodobom horizonte. Typ supernov Ia uvoľňuje najväčšie množstvo energie medzi všetkými ostatnými známymi triedami supernov. Najvzdialenejší jednoduchý objekt, aký bol kedy vo vesmíre detegovaný (galaxie a guľové hviezdokopy sa nepočítajú), bola práve supernova SN 1997ff typu Ia vzdialená viac ako 11 miliárd svetelných rokov (viac ako 100 yottametrov). Na rozdiel od iných typov supernov, supernovy typu Ia možno spravidla nájsť vo všetkých typoch galaxií, vrátane eliptických. Nezdá sa, že by uprednostňovali nejakú oblasť dnešných hviezdnych formácií. Podobnosť tvarov profilov jasnosti všetkých

známych supernov typu Ia vedie k ich používaniu ako štandardných sviečok v extra- galaktickej astronómii. Sú prakticky jediným nástrojom umožňujúcim meranie veľkých intergalaktických vzdialeností. V roku 1998 dali pozorovania supernov typu Ia neočakávaný výsledok – rozpínanie vesmíru **sa zrýchľuje**.



Schematický nákres vzniku supernovy typu Ia

Supernovy typu Ib a Ic. Ranné spektrá typov Ib a Ic neobsahujú čiary vodíka ani výraznú kremíkovú absorpciu blízko 615 nanometrov. Za udalosťami ako sú supernovy typu II stoja pravdepodobne masívne hviezdy, ktoré vyčerpali palivo vo svojich centrách; na rozdiel od nich pôvodcovia typov Ib a Ic stratili väčšinu svojich obálok následkom silných hviezdnych vetrov alebo interakciou so svojím sprievodcom. Uvažuje sa, že supernovy typu Ib sú výsledkom zrútenia Wolfových-Rayetových hviezd. Existujú isté dôkazy, že supernovy typu Ic môžu byť pôvodcovia niektorých typov gama zábleskov, aj

keď sa zároveň usudzuje, že ich môže druhotne spôsobiť akákoľvek supernova v závislosti na geometrii explózie. **Supernova typu II.** Najprv **o vyčerpaní paliva pre fúziu.** Hviezdy oveľa hmotnejšie ako Slnko sa vyvíjajú **o dosť zložitejšími spôsobmi ako naša hviezda.** V jadre Slnka sa každú sekundu premení 589 miliónov ton vodíka na 584 miliónov ton hélia, rozdiel hmotnosti 4,3 miliónov ton je premenený na čistú energiu, ktorá je vyžiarená do priestoru. Hélium vyprodukované v jadre sa tu hromadí, dokiaľ sa teplota v jadre nezvýši na úroveň, ktorá dovolí fúziu hélia. Nakoniec sa vodík v jadre premenou na hélium a postupným rozriedením vznikajúcim héliovým „popolom“ vyčerpá, fúzia sa spomalí, gravitácia získa prevahu a začne jadro stláčať. Zmršťovanie jadra zvýši teplotu natoľko, že sa začne kratšia fáza fúzie hélia, ktorá bude hrať úlohu menej ako 10 % života hviezdy. Vo hviezdach menších ako 10 hmotností Slnka sa uhlík produkovaný fúziou hélia ďalej nespáľuje a hviezda sa potom postupne ochladzuje, tvorí sa degenerovaný elektrónový plyn a vzniká biely trpaslík. Bieli trpaslíci sa môžu neskôr stať supernovou typu I, ako to bolo popísané vyššie. Ešte väčšie hviezdy majú gravitáciu dostatočne silnú na vytvorenie teplôt a tlakov umožňujúcich fúziu uhlíka v jadre potom, čo sa začne zmršťovať. Postupne ako sa v centre vytvárajú ťažšie a ťažšie atómové jadrá, jadrá týchto masívnych hviezd nadobúdajú vrstevnatú štruktúru podobnú cibuli. Vonkajšia vrstva obsahuje vodíkový plyn, pod ňou je vrstva vodíka spájajúceho sa fúziou do hélia, vrstva hélia spájajúceho sa fúziou do uhlíka a vrstva uhlíka meniaceho sa fúziou na ťažšie prvky. Tieto hviezdy prechádzajú postupnými štádiami vývoja, pri prechode medzi nimi sa jadro zmršťuje, až začne vytvárať atómové jadrá, ktorých fúzia bola predtým nemožná, a novouvoľňovaná energia opäť nastolí rovnováhu medzi tlakom plynu a gravitáciou. Aj v priebehu jedného štádia sa jasnosť hviezdy nepravidelne mení – každý nový zážih fúzie vytláča prvky z fúzujúceho jadra do toho, čo nazývame „hviezdna obálka,“ reakcia sa stlmí, dovolí gravitácii vtlačiť hmotu naspäť do aktívneho jadra a začať tak nový cyklus. Limitujúcim faktorom v tomto procese je množstvo energie uvoľnenej fúziou, ktoré závisí na väzobnej energii v atómových jadrách. Každý následný krok produkuje postupne ťažšie a ťažšie prvky, ktoré sú stále tesnejšie zviazané silnou interakciou, čo znamená, že uvoľňujú pri fúzii menej energie, ako by uvoľňovali ľahšie jadrá. Najtesnejšie väzby v celom atómovom jadre má železo, chemickou značkou Fe. Predstavuje „dno údolia nuklidov,“ ľahšie prvky uvoľňujú energiu pri fúzii a ťažšie pri štiepení. Keď sa v jadre hviezdy začne hromadiť železný

„popol,“ gravitácia do aktívnej oblasti tlačí viac a viac hmoty, ktorá postupne prejde všetkými stupňami fúzie: vodík na hélium protón-protónovým cyklom, hélium na uhlík tri alfa reakciou, uhlík s héliom na kyslík, kyslík na neón, neón na horčík, horčík na kremík a kremík na železo. **Zrútenie jadra:** Železné (Fe) jadro hviezdy je pod obrovským gravitačným tlakom a pretože tu už nie je ďalšia fúzia, nemôže ako zvyčajne vzdorovať tlakom plynu, a miesto toho nastupuje tlak elektrónovej degenerácie – odpor elektrónov proti stlačovaniu k iným elektrónom. Ak sa dosiahne Chandrasekharova medza, pri ktorej sa presiahne degeneračný tlak, železné jadro sa začne rúcať. Zmršťujúce sa jadro produkuje vysokoenergetické gama lúče, ktoré rozbiťajú niektoré železné jadro na ^{13}He a 4 neutróny, v procese známom ako fotodisociácia. Žiadna jadrová reakcia s jadrom železa však nemôže uvoľniť energiu; môže ju iba absorbovať. Aj keď reakcie v jadre milióny rokov vyžarovali energiu von a udržiavali hviezdu v rovnováhe proti gravitácii, náhle začínajú naopak energiu pohlcovať, pomáhajú gravitácii, takže sa jadro, masívna štruktúra veľkosti Slnka, v zlomku sekundy zrúti. Ako sa hustota zmršťujúceho sa jadra prudko zvyšuje, elektróny a protóny sú tlačené k sebe, dokiaľ ich elektrické priťahovanie neprekoná vzájomné vnútorné jadrové odpudzovanie. Pri tejto reakcii, obrátenom beta rozpade, je elektrón vtlačený do protónu, uvoľní sa neutríno a vznikne neutrón. Únik neutrína z jadra a odčerpávanie energie ďalej urýchľuje kolaps, následkom čoho trvá oddelenie hviezdneho jadra od vonkajších vrstiev a dosiahnutie hustoty atómového jadra iba milisekundy. Pri tejto hustote bráni ďalšiemu stlačovaniu vzájomný odpor neutrónov spôsobený ich kvantovými vlastnosťami (ide o fermióny podliehajúce vylučovaciemu princípu). V tomto okamihu je neutrónový degeneračný tlak dostatočný k vyrovnaniu gravitácie; jadro však v skutočnosti presiahne bod rovnováhy a podlieha nepatrnému pruženiu, vytvárajúc nárazové vlny, ktoré narážajú do kolabujúcich vonkajších vrstiev hviezdy. Ak je zárodok neutrónovej hviezdy, ktorý sa z jadra sformoval, dostatočne masívny, pokračuje v kolapse a skončí alebo priamo **ako čierna diera** alebo sa v závislosti na hmotnosti kolaps zastaví v niektorom z teóriou predpovedaných **stabilných medzistavov**. Takým prechodom môže byť hypotetická hyperónová hviezda, ktorej neutrónový plyn bol stlačením ďalej degenerovaný a neutróny vybudené do stavu hyperónov. Ak ani degeneračný tlak hyperónovej plazmy nie je schopný odolať gravitácii, môže sa kolaps zastaviť ešte v štádiu kvarkovej hviezdy skladajúcej sa z kvark-gluónovej plazmy. Kvarky sú opäť fermióny a vďaka Pauliho vylučovaciemu princípu

by mali byť schopné vyrovnat' gravitačný tlak vytvorením degenerovaného plynu podobne ako elektróny v prípade bielych trpaslíkov a neutróny v neutrónových hviezdach. Existencia kvarkových hviezd, však zatiaľ nebola dostatočne podložená pozorovaním. Vieme, že fáza kolapsu jadra hviezdy je tak rýchla a energetická, že iba neutrína sú schopné ju v tej chvíli opustiť. Väčšina gravitačnej potenciálnej energie kolapsu je premenená na 10 sekundový záblesk neutrín, pri ktorom sa uvoľní 10^{46} J. Časť tejto energie, asi 10^{44} J je reabsorbovaná explodujúcou hviezdou. Energia pripadajúca na časticu v supernove je typicky desiatky až stovky MeV.

5. Zákrytové dvojhviezdy. Zmeny jasností u geometrických premenných hviezd, ako sú pozorované pozemskými pozorovateľmi, sú vyvolané externými zdrojmi. Jednou z najbežnejších príčin býva prítomnosť druhej hviezdnej spoločnice tak, že obidve spolu vytvárajú dvojhviezdu. Ak sú tieto pozorované z určitých uhlov, jedna hviezda môže zakryť druhú, čím zapríčini zníženie ich spoločnej vizuálnej jasnosti. Jedna z najznámejších zákrytových premenných dvojhviezd je **Algol**, ináč nazývaný **α Persei**.

Kontrolné otázky:

1. Čím sa vo všeobecnosti vyznačujú premenné hviezdy?
2. Ako sa nazýva najslávnejšia premenná hviezda?
3. Čím sú pre astronómovdôležité cefeidy(ako pulzujúce premenné hviezdy)?
4. Do ktorej hviezdnej populácie patria premenné typu RR Lyrae?
5. V akom intervale sa pohybuje jasnosť premennej Mira Ceti?
6. Do akého typu premenných hviezd zaradíme slávneho Betelgeusa?
7. Čo je typické pre Wolfove-Rayetove hviezdy a koľko ich v Galaxii poznáme?
8. Aké typy kataklyzmatických erupívnych premenných hviezd poznáme?
9. V čom sa odlišuje explózia novy od explózie supernovy typu Ia?
10. Ako sa nazýva najslávnejšia zákrytová dvojhviezda?