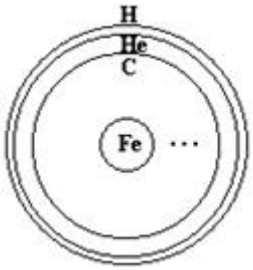
Závěrečná stadia vývoje hvězd

Pokud hvězda spálí všechno helium, opakuje se proces, který probíhal při přechodu hvězdy do oblasti obrů. Postupně se začínají zapalovat reakce, jejímž produkty po řadě jsou uhlík, hořčík, křemík, kobalt, nikl, ... až po izotop železa $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$. Tento izotop železa už není schopen další jadernou syntézou uvolnit další energii. Před každým zapálením nové reakce se hvězda smršťí a následně zvětší svůj objem.



Obr. 67

Hvězda tak připomíná rozkrojenou cibuli, v níž jsou jednotlivé vrstvy tvořeny právě uvedenou řadou prvků (viz obr. 67).

Jaderné reakce vyhasínají právě u železa proto, že železo (konkrétně izotop $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$) je nejstabilnější, tj. má nukleony uspořádané v takové prostorové konfiguraci, v níž mají minimální možnou energii, a proto tento izotop nemůže při jaderné syntéze uvolnit další energii. Tato vlastnost izotopu železa $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$ vyplývá i z grafu závislosti separační energie na hmotnostním čísle: tomuto izotopu železa odpovídá v popsaném grafu maximum separační energie.

Hvězda postupem času přestává mít zásobu paliva na výrobu energie, kterou by kompenzovala vnější tlak způsobený vlastní gravitační silou. Reakce v nitru hvězdy tedy začínají pohasínat a začíná nezvratný konec hvězdy - látka hvězdy se začíná hroutit na jádro, které je v té chvíli tvořeno již železem. V závislosti na počáteční hmotnosti hvězdy se stane hvězda jedním z následujících objektů:

1. bílým trpaslíkem;
2. neutronovou hvězdou;
3. černou dírou.

Bílým trpaslíkem se hvězda stává, není-li hmotnost hvězdy větší než asi 1,4 hmotnosti Slunce. Gravitační smršťování hvězdy zastaví velmi stlačená látka v jejím nitru. Všechna zbylá hmota hvězdy se totiž zhroutí do průměru maximálně několika tisíc kilometrů (od 3000 km do 25000 km) a tedy naroste její hustota a teplota. Proto bílý trpaslík září i bez toho, že by v jeho nitru probíhaly jaderné reakce.

Energie, kterou bílý trpaslík vyzařuje, se nakumulovala v jeho nitru při gravitačním hroucení hvězdy, které bylo doprovázeno zvýšením teploty.

Atomy jsou v této látce stlačeny k sobě vlivem obrovského tlaku tak, že elektronové obaly sousedních atomů splývají a elektrony tak volně přecházejí od jednoho jádra atomu k druhému. Tyto elektrony tvoří tzv. degenerovaný plyn. Hustota této látky je přibližně z intervalu $\left(10^{8};10^{12}\right)\mathrm{kg.m^{-3}}$. Vzhledem k tomu, že se hvězda během smršťování ohřála na vysokou teplotu, je vyzařované elektromagnetické záření posunuto do oblasti kratších vlnových délek.

Tento fakt souvisí s Planckovou kvantovou hypotézou: elektromagnetické záření (tj. proud fotonů) s vyšší energií má vyšší frekvenci a tedy kratší vlnovou délku.

Povrch hvězdy relativně rychle zchladne na $10^4\ \mathrm{K}$. Ztráty energie způsobené vyzařováním elektromagnetického záření jsou sice malé, ale zásoba nahromaděné energie se časem vyčerpá. Nicméně bílý trpaslík chladne velice pomalu, a proto hvězdy v tomto závěrečném stadiu svého vývoje setrvávají beze změn biliony let.

Když se zásoby energie vyčerpají, bílý trpaslík přestává zářit a stává se z něj **černý trpaslík**.

Neutronová hvězda vzniká z hvězdy, jejichž hmotnost se pohybuje v rozmezí $(1{,}4; 8)\,M_S$. Počáteční pomalé smršťování způsobení vlastní gravitační silou je vystřídáno velmi rychlým kolapsem, ke kterému dochází díky nestabilitám. Nitro hvězdy kolabuje rychleji než vnější vrstvy, a proto je v nitru hvězdu velmi vysoký tlak. Jednotlivé elektrony degenerovaného plynu jsou proto vtlačovány až do jader atomů, v nichž reagují s protony a vznikají neutrony a neutrina.

V jádrech atomů tedy probíhá tzv. inverzní β rozpad.

Vlivem vysokého tlaku v nitru hvězdy se zvýší i teplota a vytvoří se tak podmínky vhodné pro celou řadu reakcí elementárních částic, které produkují vysoce energetická neutrina. Ta reagují s okolní látkou a předávají značnou energii vnějším vrstvám hvězdy. Zároveň se od nitra hvězdy šíří rázová vlna, která vznikla odrazem od nitra hvězdy při zabrzdění kolapsu. Energie, která se tímto způsobem předává vnějším vrstvám je natolik velká, že tyto vnější vrstvy hvězdy explodují a látka vnějších vrstev hvězdy se šíří do okolního prostoru. Tato látka je přitom ohřátá na vysokou teplotu, a proto září. Pozorovatel na Zemi tak pozoruje **výbuch supernovy**. Rozpínající se oblak látky pomalu chladne a stává se mlhovinou, v jejíž centrální oblasti je zkolabované jádro - chladná neutronová hvězda. Poloměr neutronové hvězdy je několik kilometrů a hustota je srovnatelná s hustotou atomového jádra: řádově $10^{17}\ \mathrm{kg.m^{-3}}$.

Některé neutronové hvězdy se silným magnetickým polem a rychlou rotací (tj. relativně krátkou periodou rotace) se pozorují jako tzv. pulsary.

Zatímco od zrodu hvězdy do této fáze uplynulo přibližně 250 milionů let, neutronová hvězda zůstane v tomto stavu několik trilionů let.

Černá díra vzniká z hvězd s hmotností větší než řádově 8 až 10 hmotností Slunce. Závěrečné stadium vývoje hvězdy probíhá zpočátku velmi podobně při vzniku neutronových hvězd. Vlivem větší hmotnosti se ale gravitační kolaps nezastaví ani v oblasti jaderných hustot a pokračuje dále, až se poloměr tělesa zmenší pod kritickou hodnotu $r_{\mathrm{kritický}} = \frac{2\kappa M}{c^2}$ (kde M je hmotnost hroutící se hvězdy, c je velikost rychlosti světla ve vakuu a κ je gravitační konstanta). Pod touto mezi neexistuje již rovnováha, tj. neexistuje síla, která by byla schopná zastavit gravitační kolaps.

Ani železo (jako u bílého trpaslíka), ani neutrony (jako u neutronové hvězdy) nevydrží ohromné síly, které jsou vyvolané hroutící se obrovskou masou hvězdy. Všechno se tedy drtí do téměř jednoho bodu.

Vnější vrstvy hvězdy kolabují s jádrem a celá hvězda se smršťuje do stále menších rozměrů (u sféricky symetrických těles do 1 bodu - tzv. **singularity**). Hvězda se uzavírá do sebe a odděluje se od okolního vesmíru, v němž zůstává jen stopa jejího zániku - černá díra.

Meze hmotností hvězd pro jednotlivá závěrečná stadia hvězdného vývoje hvězd se mohou v různých literaturách lišit v závislosti na tom, jaké vlastnosti hvězd autoři do uvažovaného děje zahrnou (rotace, hybnost, elektrický náboj, ...).

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička

Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.