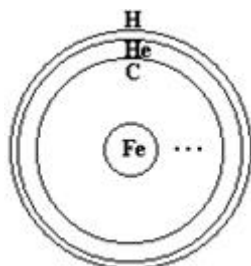


## Závěrečná stadia vývoje hvězd

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  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ . Tento izotop železa už není schopen další jadernou syntézou uvolnit další [energii](#). Před každým zapálením nové reakce se hvězda smrští 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  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ) 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  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  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 zhroutlí 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  $(10^8; 10^{12}) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . 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  $10^4$  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  $(1,4; 8) M_{\odot}$ . Počáteční pomalé smršťování způsobené 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 hvězdy 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  $\beta$  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  $10^{17}$  kg.m<sup>-3</sup>.

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  $r_{kritický} = \frac{2\kappa M}{c^2}$  (kde  $M$  je hmotnost hroutící se hvězdy,  $c$  je [velikost rychlosti světla](#) ve [vakuu](#) a  $\kappa$  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](#), ...).

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