

# Hviezdy: Vznik, život a zánik

M. Hrabuša

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

[hrabumat@fjfi.cvut.cz](mailto:hrabumat@fjfi.cvut.cz)

## Abstrakt

Cieľom môjho príspevku bolo celkové a prehľadné zhrnutie poznatkov o životnom cykle hviezd. Vysvetlil som Hertzsprungov-Russelov diagram, ktorým sú definované jednotlivé typy hviezd. Zameral som sa tiež na bližšie pochopenie fyziky hviezdneho vnútra – procesy jadrovej fúzie: protón-protonový cyklus a CNO cyklus. V závere som sa venoval osudom jadier rôzne hmotných hviezd a popísal som ich záverečné štádiá života.

## 1 Úvod

Hviezda je plynne (plazmové), približne guľovité teleso vo vesmíre, s vlastným zdrojom žiarenia, s hmotnosťou 0,02 až 100 hmotností Slnka.

Hviezdy patria medzi najpočetnejšie a najľahšie pozorovateľné vesmírne objekty aj bez optických prístrojov. Väčšinu ostatných vesmírnych telies sme schopní sledovať len vďaka tomu, že buď odrážajú svetlo hviezd (planéty), alebo je ich žiarenie budené žiarením hviezd (emisné hmloviny). Niektoré hviezdy sú centrami planetárnych sústav.

Hviezdy sa na prvý pohľad javia ako stálice. Je to preto, že my máme možnosť sledovať ich len počas krátkeho úseku ich hviezdneho života. Keby sme ale posudzovali čas podľa dĺžky života hviezd, zistili by sme, že životný cyklus hviezd je veľmi dynamický a dramatický proces.

V dôsledku zdanlivej nehybnosti hviezdy tvoria na oblohe výrazné zoskupenia, známe ako súhvezdia. V skutočnosti sa hviezdy pohybujú vo vesmíre obrovskou rýchlosťou (niekoľko sto kilometrov za sekundu), no vzhľadom na ich obrovskú vzdialenosť sa voľným okom pozorovateľné zmeny v polohách hviezd prejavajú až za niekoľko sto až tisíc rokov.

## 2 Vznik hviezd

Hviezdy vznikajú z rozsiahlych plynovo-prachových hmlovín. Sú to veľmi riedke mračná pripomínajúce vákuum, aké sme schopní vytvoriť na Zemi (s hustotou len niekoľko atómov na centimeter kubický). Z prvotných plynovo-prachových hmlovín sa rôznymi nestabilitami vyvíjajú zhľuky – globule, budúce zárodky hviezd. Počiatočným impulzom môže byť explózia blízkej supernovy, elektromagnetické sily alebo prelínanie galaxií. Plynovo-prachový zárodok (globula) sa potom vplyvom gravitácie zmršťuje, zhusťuje a súčasne pokračuje obaľovanie hmotou, pričom narastá aj teplota. Tak vzniká útvar, približne veľkosti slnečnej sústavy, ktorý sa nazýva protohviezda.

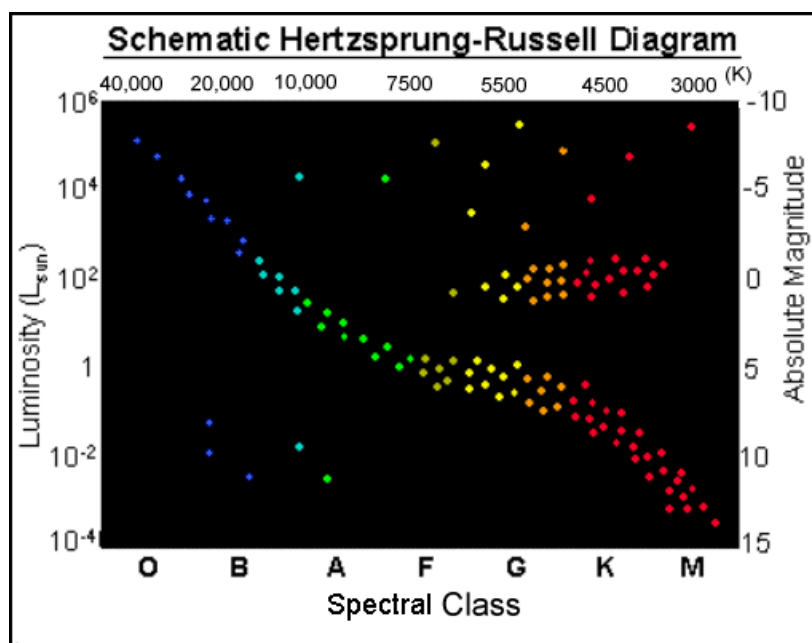
Pokračujúcimi gravitačnými kontrakciami – zmrašťovaním sa v centre telesa uvoľňuje tepelná energia; vnútri telesa rastie tlak a teplota, až kým sa nedostane do tzv. Hyashiho štádia, kedy sa zastaví rýchle zmrašťovanie a teplota na povrchu sa už takmer nemení. Pri tejto teplote na povrchu (cca 2000°C) hviezda ešte nežiari vo viditeľnom svetle, ale žiari v infračervenom obore.

Ďalšími gravitačnými kontrakciami pokračuje zvyšovanie teploty a tlaku jadra, až do takej miery, že sa spustia termonukleárne reakcie. Vtedy vznikne hviezda.

### 3 HR diagram

HR diagram (Hertzsprongov-Russelov) diagram zobrazuje vzťah medzi absolútnou hviezdou veľkosťou, svietivosťou, hviezdou klasifikáciou a povrchovou teplotou hviezdy.

Hviezda v priebehu svojho života sa v závislosti na počiatkovej hmotnosti v HR diagrame pohybuje. HR diagram zobrazuje hviezdy v najrôznejších fázach vývoja. Najdlhšie (80-90% svojho života) hviezda zostáva na hlavnej postupnosti, kedy vo vnútri hviezdy prebiehajú termonukleárne reakcie – premena vodíka na hélium. V HR diagrame na vodorovnej osi sú znázornené spektrálne typy od vysokých povrchových teplôt vľavo po nízke vpravo. Na zvislej osi je svietivosť alebo absolútna magnitúda hviezdy, kalibrovaná podľa Slnka.



Obr. 1 HR (Hertzsprongov-Russelov) diagram

### 4 Fyzika hviezdneho vnútra

Termonukleárna reakcia je reakcia, pri ktorej sa jadrá atómov ľahkých chemických prvkov zlúčia za vzniku ťažšieho prvku. Nakoľko jadrá atómov majú kladný náboj a navzájom sa silne odpudzujú, na prekonanie týchto odpudivých síl a na spustenie termonukleárnej reakcie je potrebná veľmi vysoká teplota a tlak. U prevažnej väčšiny hviezd (tzv. hlavnej postupnosti) vstupujú do reakcie jadrá vodíka a výsledným produktom je hélium.

Premena vodíka na hélium môže prebiehať dvoma odlišnými spôsobmi: protón-protónovým cyklom, alebo tzv. CNO cyklom.

**CNO cyklus** je cyklus jadrových reakcií, pri ktorých sa za účasti uhlíka C, dusíka N a kyslíka O premenia v konečnom dôsledku jadrá vodíka H na jadrá hélia He. CNO cyklus je základným zdrojom žiarivej energie hviezd s hmotnosťou presahujúcou hmotnosť Slnka.

**Protón-protónový cyklus** je základným zdrojom žiarivej energie vo hviezdach, ktorých hmotnosť nepresahuje hmotnosť Slnka. Je to séria 3 zrážok medzi atómovými časticami, pri ktorom sa spájajú 4 vodíkové jadrá (protóny) do jedného héliového jadra a uvoľňuje sa energia.

V závislosti od teploty v jadre hviezd je určujúci cyklus jadrových reakcií – do 16 miliónov stupňov je dominantný protón-protónový cyklus, nad touto hranicou prevláda CNO cyklus. Pre fungovanie CNO cyklu je nevyhnutná tiež prítomnosť týchto troch prvkov v jadre hviezd. Pri obidvoch cykloch sa zhruba 1/140 hmoty premení na čistú energiu podľa Einsteinovej rovnice  $E = mc^2$ .

Neskôr, keď sa vyčerpá značná časť vodíka v jadre hviezd, začne sa hviezda vlastnou gravitáciou stláčať – teplota vzrastie a spustí sa ďalší cyklus – Salpeterova reakcia, pri ktorej vzniká z troch jadier hélia jadro uhlíka.

## 5 Zánik hviezd

Hviezda vstupuje do fázy svojho zániku, keď sa začne míňať vodíkové palivo a skončia sa jadrové reakcie v jej vnútri. Tým sa hviezda stane nestabilnou a začne jej pomalé uhasínanie. V závislosti od hmotnosti, hviezda môže skončiť v jednom zo štyroch štádií.

**Najmenej hmotné hviezdy**, hnedí trpaslíci a hviezdy spektrálneho typu R, N a S sa po spálení vodíka a zastavení termonukleárných reakcií začnú zmršťovať. Po vyrovnaní gravitačnej a tlakovej sily sa z hviezd stane biely trpaslík. Hviezda má malý polomer a pomaly chladne, pričom mení aj svoju farbu a z bieleho trpaslíka sa pomaly stáva hnedý trpaslík. Nakoniec sa z nej stane malé, hmotné studené teleso – čierny trpaslík.

**Hviezdy s hmotnosťou približne hmotnosti Slnka** (do 1,4 násobku hmotnosti Slnka) končia fázou červeného obra, planetárnej hmloviny a bieleho trpaslíka. Po ukončení jadrovej fúzie, dochádza ku zmršťovaniu jadra. Vzrastajúca teplota a tlak v jadre spôsobí opätovné zapálenie termonukleárných reakcií, nakoľko však už v jadre nie sú zásoby vodíka, začne sa termojadrová fúzia vzniknutého hélia na kyslík a uhlík. Vo vonkajších vrstvách hviezd pokračuje syntéza vodíka. Vonkajšie vrstvy sa zväčšia, zrednú, ochladnú a zmenia farbu na červenú. Z hviezd vznikne červený obor. V takomto stave hviezda existuje ešte ďalšie milióny rokov. Po minútí zásob hélia jadro pokračuje v gravitačnej kontrakcii a zmení sa na malé, husté biele trpaslíka. Vonkajšie vrstvy hviezd sa opäť začnú rozpínať, až sa oddelia od hviezd a vytvoria planetárnu hmlovinu. Biely trpaslík postupne vychladne a zhasne. Planetárna hmlovina sa rozptýli a stane sa súčasťou medzihviezdnej hmoty.

**U hviezd s hmotnosťou od 1,4 do 3 násobku hmotnosti Slnka** záverečná fáza začína tiež kontrakciou až do takej miery, že jadro hviezd vybuchne obrovskou explóziou nazvanou supernova. Z približne 95 percent hmoty hviezd sa vytvorí hmlovina, zvyšných 5 percent vytvorí maličké jadro hmloviny, ktoré pokračuje v kontrakcii. Elektróny sú postupne obrovským tlakom „vtlačené“ do protónov a vznikne látka zložená prevažne z neutrónov. Takto vznikne neutrónová hviezda, prípadne pulzar, ak hviezda rotuje a emituje žiarenie. Okolité hmlovina sa nazýva planetárna hmlovina, resp. pozostatok po supernove.

**Najhmotnejšie hviezdy** vstupujú do posledného štádia rovnako – explóziou, zvanou supernova (prípadne hypernova ak je hmotnosť hviezd mimoriadne veľká). Po výbuchu

supernovy sa jadro dostane do štádia neutrónovej hviezdy. Ak má táto neutrónová hviezda stále hmotnosť viac ako 3 hmotnosti Slnka, kontrakcia pokračuje, až prekročí kritickú hranicu a nastáva zrútenie sa hmoty samej do seba a vznikne singularita, ktorá má vo svojom okolí tak zakrivený časopriestor, že ani rýchlosť svetla nestačí na uniknutie z tohto priestoru. Tento stav sa nazýva čierna diera.

**Kvarková hviezda** (Podivná hviezda) je hypotetický typ hviezdy zloženej z kvarkov známych pod označením podivné. Hmotnosť a hustota kvarkovej hviezdy je medzi neutrónovou hviezdou a čiernou dierou. Kvarková hviezda môže vzniknúť z neutrónovej pomocou kvarkového oslobodenia. Tento proces môže spôsobiť kvarknovu a uvoľniť nesmierne množstvo energie. Je možné že tzv. záblesky gama žiarenia sú v skutočnosti explózie kvarknov. Ak je kvarkovej hviezde dodané dostatočné množstvo hmoty, zmení sa na čiernu dieru.

## Referencie

- [1] Kol. autorov, *Život hviezd*, [http://astroportal.sk/deepspace/zivot\\_hviezd.html](http://astroportal.sk/deepspace/zivot_hviezd.html)
- [2] Kol. autorov, *Vznik a vývoj hviezd*, [http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/hvezdy/stars\\_2.html](http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/hvezdy/stars_2.html)
- [3] Anonym, *Osudy hviezd*, [http://hockicko.uniza.sk/semestralky/prace/p39/osudy\\_hviezd.htm](http://hockicko.uniza.sk/semestralky/prace/p39/osudy_hviezd.htm)
- [4] Kol. autorov, *Hviezda*, <http://sk.wikipedia.org/wiki/Hviezda>
- [5] Kol. autorov, *Why Today's Galaxies Don't Make as Many Stars as They Used to* <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/02/100216101201.htm>