Vývoj hvězd

J. Vícha, J. Novák, P. Szotkowski,
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT,
Břehová 7, 115 19 Praha 1
Jakub.vicha@seznam.cz

Abstrakt:
Vývoj hvězd v závislosti na jejich hmotnosti (Herzsprung-Russelův diagram), jejich planetárních soustav a co po nich zůstane.

1 Úvod

Nejprve naznačíme, jak vlastně vypadá stavba takové "běžné“ hvězdy. Pomocí Herzsprung-Russelova diagramu roztřídíme hvězdy na jednotlivé skupiny, o kterých si něco řekneme, a nakonec rozebereme, co po nich zůstane.

2 Stavba hvězdy (pozdní spektrální třída)

Jádro
V jádře dochází k vlastní termojaderné syntéze vodíku na helium. Podle teploty jádra probíhá buď pp řetězec (při nižších teplotách) nebo Betheův CNO cyklus (při vyšších teplotách). Teplota v jádře našeho Slunce je cca 15×10^6 K a dominuje pp řetězec.

Vrstva v zářivé rovnováze
Obklopuje jádro, tvoří značnou část hvězdy. Energie fotonů uvolněných v jádře se šíří rekombinačními procesy (záchytem fotonu atomem a znovu vyzářením v náhodném směru). Foton touto vrstvou "putuje" velmi dlouho, až 100 000 let

Konvektivní vrstva
Vrstva, ve které se energie předává prouděním. Typickými jsou vzestupné a sestupné proudy. Nachází se pod povrchem a zaujímá až 30% objemu hvězdy.

Fotosféra
Vlastní povrch hvězdy. Patrné jsou vrcholky vzestupných a sestupných proudů (tzv. granulace). Teplota hvězdy klesá směrem od centra až ke fotosféře. V dalších vrstvách z ne zcela jasných příčin teplota opět stoupá.

Chromosféra
Tvoří ji atmosféra hvězdy.

Koróna
Vnější vrstvy hvězdy, přechod chromosféry do mezihvězdného prostoru.

U hvězd raných spektrálních tříd obklopuje konvektivní vrstva jádro a vrstva v zářivé rovnováze se nachází pod povrchem (pořadí vrstev je obrácené než u našeho Slunce).

Předhvězdný vývoj

Z prvopočátečních plynoprachových mlhovin se vyvíjejí nestabilitami prvotní shluky (globule), budoucí zárodky hvězd. Je-li velikost mlhoviny větší než udává tzv. Jeansovo kritérium, může se hroutit samovolně. Vždy je však třeba určitý počáteční impuls. Tím může být exploze blízké supernovy, přechod přes spirální ramena galaxie, elektromagnetické síly nebo prolínání dvou galaxií. Srážky galaxií jsou ve vesmíru asi dost častým jevem, ale nepředstavujte si je jako nějaký bouřlivý jev. Rozměry hvězd jsou mnohonásobně menší než jejich vzdálenosti a tak přímá srážka dvou hvězd je naprosto výjimečná. Jde spíše o prolínání dvou galaxií doprovázené překotnou tvorbou hvězd z vhodných mlhovin. Gravitačním smršťováním se v centru uvolňuje tepelná energie. Roste tlak a teplota v nitru. Na tzv. Hyashiho linii se zastaví rychlé smršťování. V rovnováze je gradient tlaku plynu s gravitačními silami. Později stoupne teplota a tlak v nitru natolik, že se zapálí termonukleární reakce - narodí se hvězda. Typickým příkladem jsou hvězdy rodící se ve Velké mlhovině v Orionu M42 a v Orlí mlhovině M16. Hvězdy vznikají z protohvězdných mlhovin v celých skupinách. Po zapálení TJ syntézy dojde k vymetení zbylé mezihvězdné látky (gravitačního "tmelu") silným hvězdným větrem. Většinou vzniknou postupně se rozpadávající skupiny hvězd (hvězdné asociace) nebo hvězdokupy.

Vývoj planetárních soustav

Planety vznikají postupnou akrecí z plochého systému, který je vedlejším, nicméně přirozeným, produktem vzniku (osamocené) hvězdy. Počátkem je gravitační kolaps rozsáhlého prachoplynného oblaku. Ten se skládá převážně z vodíku (ve formě molekul i atomů) a hélia. V mnohem menší míře jsou zastoupeny molekuly CO, CO_2, N_2, CH_4 a H_2O. Prachová zrna obsahují zejména C, Si a O. Jejich typické rozměry jsou 10^{-5} m. Po počátečním impulsu se materiál rychle hromadí směrem k centrální protohvězdě, ale velký rotační moment brání jeho úplnému zhroucení. Postupně vzniká plochý disk, jehož osa je shodná s osou celého systému. Doba, kterou disk potřebuje ke svému vzniku, je velmi krátká - řádově 10^5 let. Poslední fází ve vývoji disku před započetím vlastní tvorby planet je jeho "vyčištění" od přebytečného plynu a prachu - větší částice jsou přitaženy centrální hvězdou a menší vyfoukány intenzivním hvězdným větrem. I tak zůstane v disku stále určité množství plynů - ty budou v budoucnu "použity" na tvorbu obřích planet.

3 HR diagram (Hertzsprungův-Russelův)

V HR diagramu jsou znázorněny hvězdy podle povrchové teploty, resp. spektrální třídy (vodorovná osa) a podle svítivosti, resp. absolutní magnitudy (svislá osa).

Hvězdy hlavní posloupnosti
Spalují v jádře vodík na helium. Vysoce stabilní konfigurace, ve které setrvávají řádově deset miliard let. Vyzařovaný výkon je úměrný třetí mocnině hmotnosti hvězdy ($L \sim M^3$). Hmotnější hvězdy se vyvíjejí rychleji. Typickým příkladem je naše Slunce s vyzařovaným výkonem 2×10^{-4} W/kg a celkovým výkonem 4×10^{26} W. Dnes je známo přes 100 planet u hvězd hlavní posloupnosti a je jasné, že asi 5% hvězd hlavní posloupnosti má planetu typu Jupiter ve vzdálenosti do 2 AU. Kolik je ale planet zemského typu není známo. První exoplaneta byla objevena v roce 1995 u hvězdy 51 Peg (Queloz, Mayor - Švýcarsko, potvrzení Marcy, Butler - USA).

Obři a veleobři
V jádře spalují helium na uhlík, dusík, kyslík a další prvky. Po vyhoření helia se spalují vyšší prvky až po železo. Vnější vrstvy jádra jsou bohaté ještě na prvky s nižším atomovým číslem, které se zde spalují. Vzniká cibulovitá struktura hvězdy. Obr má malé husté jádro a rozsáhlé řídké obaly, které může ztrácet.

Hnědí trpaslíci
Existence hnědého trpaslíka byla předpokládána dlouho před jeho objevem, neboť bylo rozumné předpokládat, že křivka rozložení hmotností těles ve vesmíru je víceméně spojitá a musí tedy existovat objekt, který by svou hmotností tvořil přechodové stadium mezi planetou a hvězdou. Až do svého objevu roku 1995 byli tedy hnědí trpaslíci jen hypotetickými objekty. Dnes jich ale známe již stovky. Velmi hojným nalezištěm těchto objektů je otevřená hvězdokupa Plejády, kterou tvoří hvězdy staré jen několik set milionů let.

4 Přehled závěrečných stadií

Nova
V této fázi hvězda ztrácí své obaly, odhazuje obálku (10^4 km/s), vytváří **efekt novy**. Hvězda malé svítivosti prudce zvýší jas během několika hodin či dnů až o 4 řády vlivem překotné termonukleární reakce na povrchu hvězdy. Materiál bohatý na vodík je dotován průvodcem. Potom pomalu její svítivost v průběhu několika měsíců klesá na původní hodnotu. Zbytky odhozené obálky se nazývají planetární mlhoviny.

Rekurentní nova
Záblesky se periodicky opakují v průběhu řádově desítek let.

Supernova typu I
Rozmetání podstatné části hvězdy. Binární systém, přetok hmoty na bílého trpaslíka, po překročení Chandrasekharovy meze stability trpaslíka (1,44 M_S) dojde k překotné termonukleární syntéze v celém bílém trpaslíku a jeho následnému rozmetání. Vzhledem k přesně definované hmotnosti bílého trpaslíka (1,44 M_S) mají všechny SN I stejnou absolutní magnitudu a slouží jako standardní svíčky k měření vzdáleností.

Supernova typu II
Rozmetání podstatné části hvězdy. Hroucení velmi hmotných hvězd po období termonukleární syntézy, pozůstatkem je neutronová hvězda nebo černá díra, zbytek se rozmetá do okolí.

Hypernova
Náhlé zhroucení velmi masívní hvězdy přímo na černou díru doprovázené vzplanutím gama o zářivém výkonu až 10^{11} L_{Sl} (jako galaxie). Tento jev by měl být o 5 řádů vzácnější než supernovy typu II. Hypernova byla pravděpodobně pozorována v galaxii ESO 184G82 jako supernova SN1998bw doprovázená zábleskem GRB980425.

Bílí trpaslíci
Gravitaci odolává tlak degenerovaného elektronového plynu. Poloměr je 1 000 km až 10 000 km, hustota až 10^3 kg/cm^3, maximální hmotnost 1,44 M_S, což je mez, kterou v roce 1930 odvodil Subrahmanyan Chandrasekhar. Hmotnější bílí trpaslíci jsou velmi nestabilní.

Neutronové hvězdy
Gravitaci odolává tlak degenerovaného neutronového plynu. Poloměr je 10 km až 100 km a hustoty dosahují hodnot až jaderné hustoty 10^{10} kg/cm^3 až 10^{12} kg/cm^3. Jde vlastně o veliké stabilní atomové jádro, které rychle rotuje v silném magnetickém poli. Nesouhlasí-li směr rotační a magnetické osy, vytvářejí výtrysky světelného záření a nabitých částic ve směru magnetické osy efekt pulsaru. Pozorovatel vidí pravidelné záblesky od rotující neutronové hvězdy, podobně jako od majáku policejního automobilu. První pulsar byl objeven v roce 1967 Jocelyne Bellovou v Cambridge (asistentka A. Hewishe, který dostal Nobelovu cenu za objev pulsarů). Zpočátku byly tyto nově objevené objekty označované LGM (Little Green Men). Typická perioda činí kolem jedné sekundy, známy jsou ale i milisekundové pulsary.

Kvarkové hvězdy
Gravitaci odolává tlak kvarků.

Černé díry
Zkolabované objekty. Zachovají si hmotnost, moment hybnosti a elektromagnetický náboj ("no hair" teorém). Silně deformovaná geometrie prostoročasu v okolí.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat kolegům z posterové sekce za příhodné připomínky a podněty k diskuzi.

Reference

[1] C. Ronan, Vesmír - Pozemšťanův průvodce po záhadách vesmírného prostoru, Knižní klub, Praha, 1996
[2] kol. autorů, Vznik a vývoj hvězd, http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/hvezdy/stars_2.html