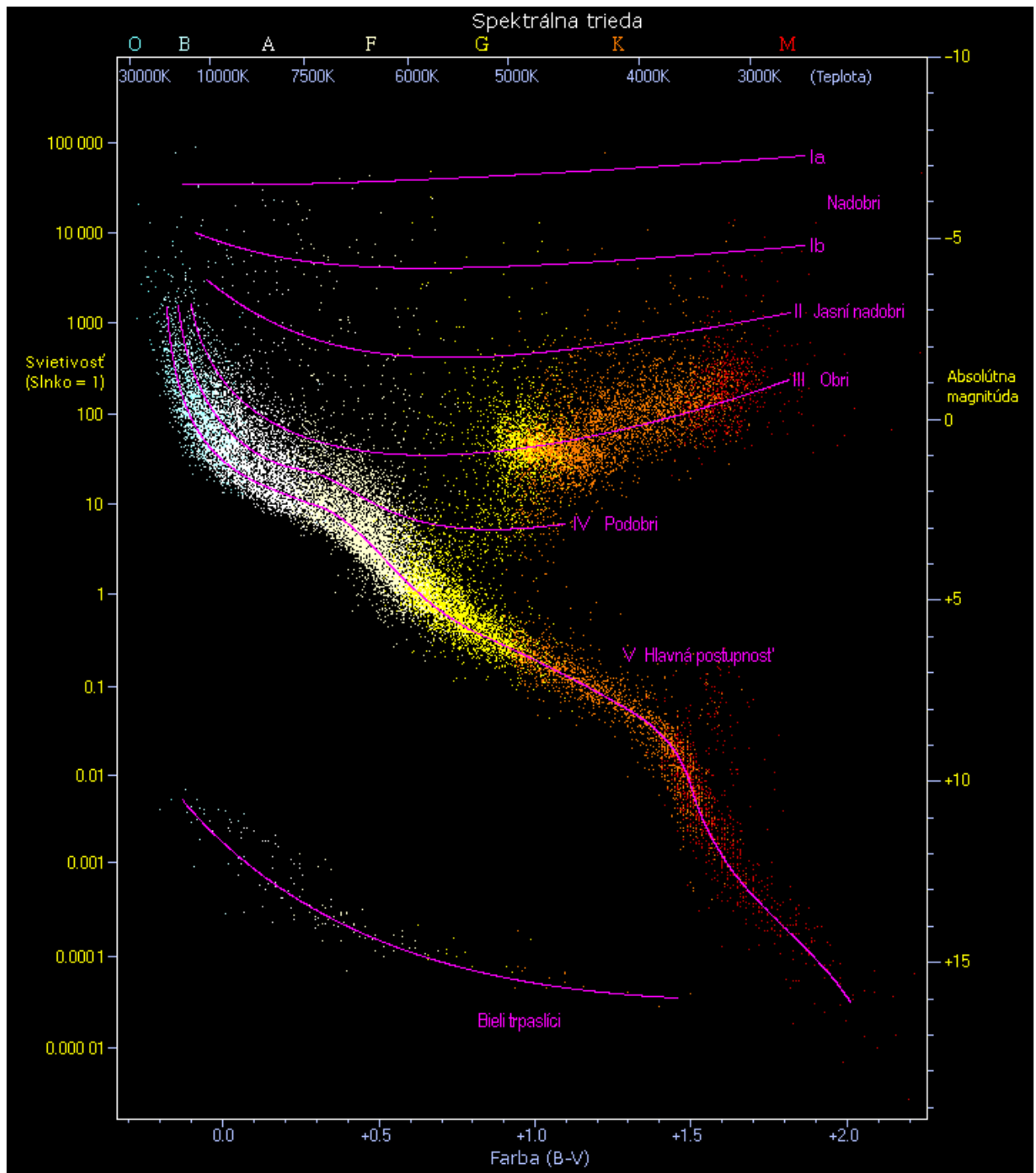
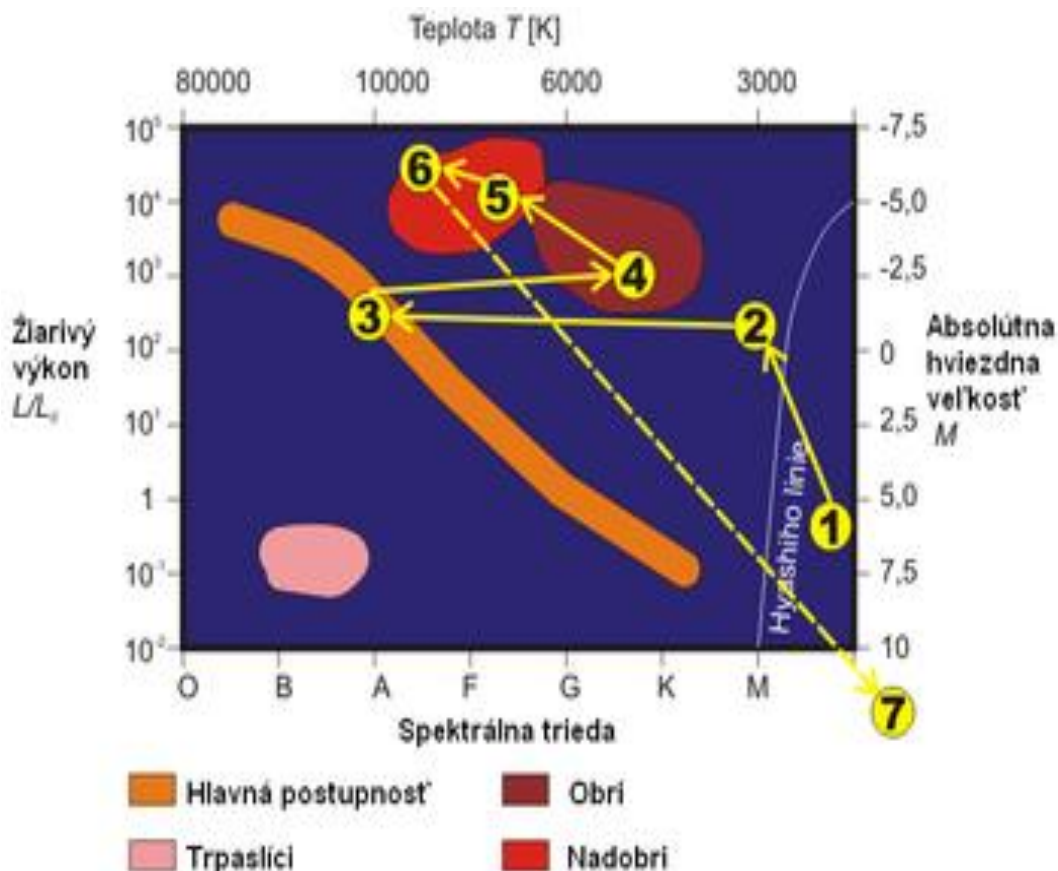


SLNEČNÁ SÚSTAVA, NÁŠ DOMOV I. – SLNKO

1. Hviezdy hlavnej postupnosti - Hertzsprungov-Russelov diagram:

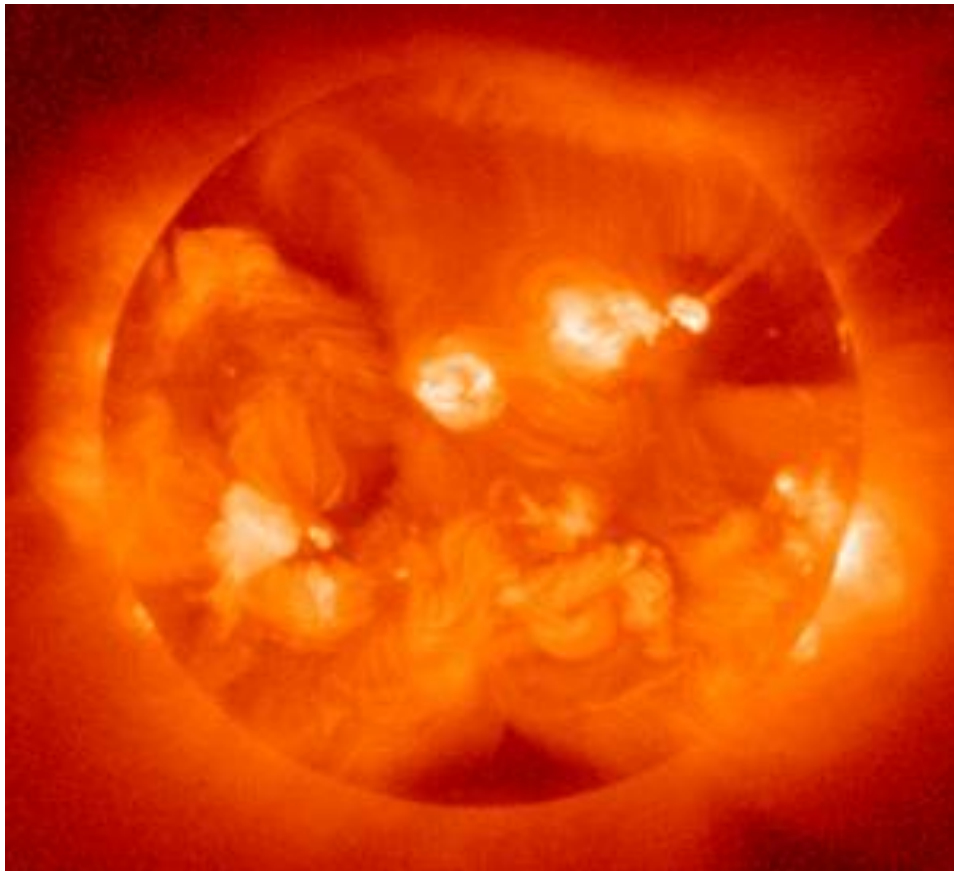
Hviezda prechádza počas svojej existencie rôzne aktívnymi fázami. Najprv má podobu postupne sa zahusťujúceho a do seba kolabujúceho oblaku plynu a prachu, potom sa v nej zažnú termonukleárne reakcie a nakoniec v závislosti od svojej veľkosti ukončí svoju aktívnu existenciu niekoľkými spôsobmi – buď sa nápadne zväčší, rýchlo odhodí časť svojej hmotnosti a následne pozvoľna chladne v podobe bieleho trpaslíka, tak ako to prebehne aj s našim Slnkom, alebo prudko vybuchne a v závislosti od svojej hmotnosti existuje ďalej ako neutrónová hviezda alebo čierna diera, resp. úplne sa rozpadne počas výbuchu supernovy a definitívne prestane existovať ako fyzikálny objekt (rozkladajúci sa v čase a priestore). Časový úsek od zapálenia termonukleárnej reakcie až po jej faktický zánik ako hviezdy (t. j. po ukončenie termonukleárnych reakcií, spojených predovšetkým so spaľovaním vodíka v jej jadre) tak hviezda existuje na tzv. hlavnej hviezdnej postupnosti, kedy je nakoniec aj najlepšie pozorovateľná a skúmateľná, pretože vyžaruje veľké dávky žiarenia, resp. energie. Samotný H-R diagram však zachytáva oveľa viac vlastností hviezdy, ako len fázu jej aktívnej existencie, a to jej svietivosť, spektrálny typ alebo triedu (t. j. na akých vlnových dĺžkach elektromagnetického žiarenia predovšetkým vyžaruje), žiarivý výkon a dokonca aj jej povrchovú teplotu, vyplývajúcu práve z jej farby. H-R diagram tak poskytuje veľké množstvo informácií o danej hviezde, na základe ktorých môžeme vo všeobecnosti určiť aj jej hmotnosť, veľkosť, pravdepodobný vek a – ako sme mohli vidieť vyššie – aj jej budúci vývoj (či evolúciu). Na základe veľkosti napríklad členíme hviezdy na trpaslíkov, obrov a nadobrov, pričom všeobecne platí, že čím väčšia je hviezda, tým je svietivejšia, ale tým kratší „život“ má pred sebou. Veľmi masívne hviezdy tak existujú **len niekoľko miliónov rokov**, zatiaľ čo hviezdy vyšších spektrálnych tried pracujú so svojím „palivom“ oveľa hospodárnejšie a v aktívnej fáze **môžu existovať desiatky miliárd rokov**, čo je podstatný rozdiel. Hlavná postupnosť tak zahrňuje najtypickejšie hviezdy, ktoré sa v našej galaxii vyskytujú najčastejšie, zatiaľ čo netypické hviezdy, ako sú červení obri, bieli trpaslíci, premenné hviezdy (ako je napríklad populárna Polárka) a pod. sa nachádzajú mimo nej. Hertzsprungov-Russelov diagram vyzerá nasledovne:



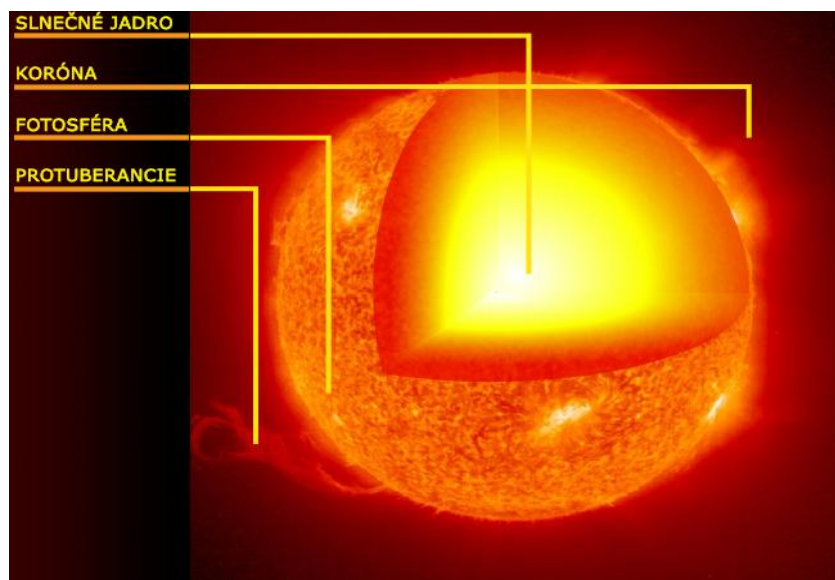


2. Vlastnosti Slnka ako hviezdy hlavnej postupnosti: Najprv základné informácie z Encyklopédie astronómie (1987, s. 557 a n.). Slnko je centrálné teleso Slnčnej sústavy, ktorého hmotnosť $1,99 \times 10^{30}$ kg je tisícásobne väčšia ako hmotnosť najväčšej planéty Slnčnej sústavy Jupitera a 330 000-násobne väčšia ako hmotnosť Zeme, v dôsledku čoho Slnko gravitačne kontroluje pohyb všetkých telies danej sústavy. Ako najbližšia hviezda je Slnko prirodzene najjasnejším a najlepšie viditeľným objektom na dennej oblohe, zatiaľ čo jeho priemer 1 392 000 km je 109-násobne väčší ako priemer Zeme a objem $1,412 \times 10^{27}$ m³ je 1 300 000-násobne väčší ako objem Zeme. V centrálnej oblasti má teplotu 15 000 000 K a na povrchu 6000 K, na základe čoho je zaradené do spektrálnej triedy (alebo typu) G2V, pričom V znamená, že je hviezdou hlavnej postupnosti. Slnko je vlastne **obrovská rotujúca plazmová guľa** s hustotou len o málo väčšou ako hustota vody, aj keď je pravda, že smerom k jeho stredu prudko rastie nielen jeho teplota, ale aj jeho hustota. Na prvý pohľad sa pritom Slnko zdá byť typickou hviezdou galaktického disku, ale pri bližšom pohľade

sa ukazuje, že tomu tak nie je, pretože vďaka pozorovaciemu výberovému efektu si v Galaxii všímame **práve tie väčšie a jasnejšie hviezdy**, zatiaľ čo tie menej jasné a hmotné ľahko unikajú našej pozornosti. **A skutočne** – hmotnosť a svietivosť Slnka **je naozaj väčšia** ako hmotnosť a svietivosť **priemernej hviezdy v Galaxii**, ktoré sa odhadujú na asi polovicu hmotnosti a svietivosti Slnka, čo až donedávna unikalo našej pozornosti, pretože len nedávno sme spoľahlivo zistili, že drvivú väčšinu hviezd v Galaxii **tvoria červené trpaslíky spektrálnych tried K a M**. Slnko je okrem toho netypické aj tým, že netvorí so žiadnou ďalšou hviezdou pár, čiže nie je súčasťou žiadneho viacnásobného hviezdneho systému, ani hviezdokopy, a navyše, ako už dávnejšie upozornili Ward a Brownlee (2000), má oveľa väčší obsah kovov ako podobné hviezdy v jeho susedstve, čiže muselo prejsť veľmi osobitnou chemickou evolúciou v porovnaní s inými hviezdami jeho typu v našom galaktickom okolí (čo mohlo zohrať významnú úlohu pri úspešnom ustanovení sa jeho planetárnej sústavy). V žiadnom prípade to teda **nie je typická či obyčajná hviezda**. Vyzerá takto:



3. Štruktúra a/alebo zloženie Slnka: Informácie o chemickom zložení Slnka získavame najmä z jeho spektra. Z neho vyplýva, že 92,1 percento Slnka tvorí vodík, 7,8 percenta hélium a zvyšok pripadá na ďalšie chemické prvky. V jadre alebo centre Slnka je však zastúpenie hélia prirodzene väčšie (64 percent, zatiaľ čo vodíka je tam už iba 34 percent), pretože od vzniku Slnka v jadre prebieha neustále premena vodíka na hélium. Veľmi zaujímavé je aj to, že Slnko v stopových množstvách obsahuje všetky chemické prvky známe na Zemi. Pokiaľ ide o štruktúru alebo usporiadanie jednotlivých častí Slnka, najprv si treba všimnúť jeho **jadro**, kde prebiehajú najdôležitejšie fyzikálne procesy. Za jadro Slnka sa považuje oblasť, ktorá siaha asi 175 000 km od jeho presného stredu, pričom má teplotu 14 000 000 K a tlak v strede 150×10^9 atmosfér. V jadre je sústredených až 49,9 percent slnečnej hmotnosti. Práve tu prebiehajú termonukleárne reakcie, o ktorých si povieme viac pri opise jeho fungovania. Za jadrom Slnka sa nachádza **radiačná zóna**, ktorá má teplotu 7 000 000 K až 2 000 000 K a predstavuje pásmo medzi jadrom Slnka a styčnou vrstvou. Radiačná zóna je takisto tvorená slnečnou plazmou, ktorej hustota však smerom k jeho okraju pozvoľna klesá – najprv je to asi 20 g/cm^3 v spodných vrstvách a potom už len $0,2 \text{ g/cm}^3$ na hornej hranici. Uvedené teploty už nestačia na realizovanie termonukleárnych reakcií a tak slúžia na prenos energie vznikajúcej v jadre samotným žiarením. Vzhľadom na veľkú hustotu prostredia a ich neustále pohlcovanie sa však fotóny žiarenia pohybujú k povrchu Slnka len veľmi pomaly. Aj tomu vďaka Slnko za svoj pozoruhodne dlhý „vek“.

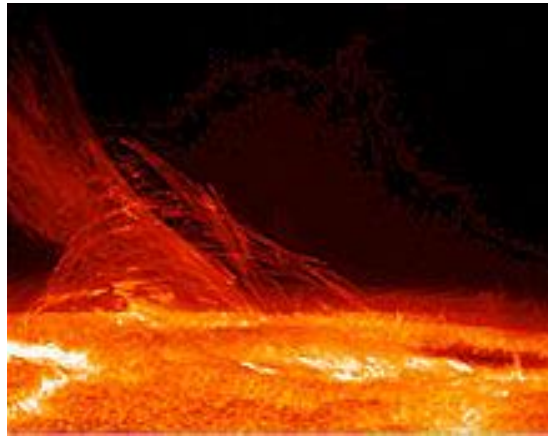


Po radiačnej zóne nasleduje medzivrstva zvaná **tachoklína**, v ktorej sa generuje magnetické pole Slnka a dochádza k zmene rýchlosti prúdov plazmy a zmene rotačnej rýchlosti. Nasleduje **konvektívna zóna**, ktorá je najvrchnejšou časťou vnútra Slnka a začína sa asi 200 km pod viditeľným povrchom Slnka. Tu sa už prenos tepla žiarením stáva málo účinným, nastávajú turbulencie a samotný prenos energie sa preto deje prúdením, čiže **konvekciou**, pri ktorej sa prenášaný lyn rýchlo ochladzuje a rozpína. Vrcholky týchto výstupných prúdov potom pozorujeme vo fotosfére ako **slnečné granuly**. Táto časť Slnka má teplotu 2 000 000 až 6 000 K. Nad konvektívnou zónou sa nachádza **fotosféra**, t. j. viditeľný povrch Slnka, na ktorom sa zjavujú tmavé miesta – známe **slnečné škvrny**, alebo naopak jasné miesta – **fakulové polia**. Jej hrúbka je asi 200 až 300 km a je najchladnejšou časťou Slnka s teplotou asi 5 700 K. Sledujeme v nej veľa špecifických fyzikálnych procesov, ktorými sa zaoberá **helioseizmológia**.



K Slnku pravdaže patrí aj **chromosféra**, ako ako vrstva silno ionizovaného plynu (plazmy) hrubá asi 15 000 km, ktorá tvorí najspodnejšiu časť slnečnej atmosféry. V chromosfére pozorujeme úkazy zvané protuberencie, erupcie, flokuly a fibrily. Teplota v nej vzrastá so stúpajúcou výškou a jej priemer je 300 000 K, čo je samo osebe veľmi zaujímavé, ale má fyzikálne vysvetlenie.

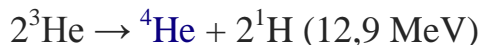
V ďalšej **prechodovej oblasti** sa teplota náhle a prudko mení z 20 000 K na 1 000 000 K (na hranici s korónou) a nájdeme ju na základe predovšetkým ultrafialového žiarenia v o výške asi 1700 ± 800 km nad pokojnými oblasťami Slnka. Najvrchnejšou časťou slnečnej atmosféry je **koróna**, ktorú pozorujú nadšenci počas čiastočných alebo úplných zatmení Slnka. Je hrubá **15 000 až 1 alebo 2 milióny km** a jej teplot dosahuje **až 1 000 000 K**. Príčina tejto prekvapujúco vysokej teploty dodnes nie je uspokojujúco vysvetlená. Aj v koróne sa pritom vyskytujú erupcie a prototuberencie. Hmota koróny neustále uniká do okolitého priestoru v množstve asi milión ton každú sekundu, pričom počas slnečných erupcií sa toto množstvo zvyšuje **až na miliardu ton**.



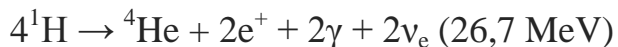
4. Ako funguje Slnko a každá iná hviezda na hlavnej postupnosti Hertsprungovho-Russellovho diagramu: Ako uvádza Wikipédia, každá hviezda je približne guľovitým telesom vo vesmíre, disponujúcim vlastným

žiarením, ktoré drží pokope jeho vlastná gravitácia, v podstate kontrolujúca aj obrovský tlak vznikajúci v jeho centrálnych oblastiach pri spaľovaní vodíka (a neskôr aj ďalších chemických prvkov). Fyzikálne zákony tohto vesmíru umožňujú existenciu hviezd v rozpätí **0,08 až 300** slnečných hmotností (M_{\odot}). Každá hviezda začína ako kolabujúci mrak materiálu zložený hlavne z vodíka, hélia a stopových množstiev ťažších chemických prvkov. Akonáhle potom dosiahne jadro hviezdy dostatočnú hustotu a teplotu, vodík sa začne nukleárnou fúziou premieňať na hélium a uvoľňovať (resp. vyžarovať) pritom energiu. Z vnútra hviezdy sa následne, ako už vieme, prenáša energia k jej povrchu a do okolitého vesmíru **kombináciou žiarenia a konvekcie**, pričom práve tento vnútorný tlak vznikajúci pri spaľovaní vodíka a prenášaný k povrchu hviezdy zabezpečuje, že sa hviezda nezrúti vlastnou gravitáciou do superhustého jadra či dokonca čiernej diery a nezmizne z dosahu našich optických ďalekohľadov. Celkom na záver tejto prednášky sa patrí uviesť aj dva typické transmutačné cykly, ktoré sa realizujú v rámci hviezdnych termonukleárných reakcií a ktoré sa už niekoľko desiatok rokov (zatiaľ **márne**) **snažia napodobniť** naši fyzici:

V Slnku, pri teplote 10 miliónov kelvinov, prebieha fúzia vodíka **protónovo-protónovým cyklom**:

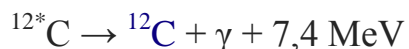


Sumárom týchto reakcií je:



kde e^+ je pozitron, γ je fotón gama žiarenia, ν_e je neutríno a H a He sú izotopy vodíka a hélia.

V jadrách s teplotou 100 miliónov K a hmotnosťou 0,5-10 hmotností Slnka môže hélium vytvárať uhlík **v 3-alfa reakcii**, kedy sa ako pomocný krok využíva berýlium.



Celková reakcia je: $3^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma + 7,2 \text{ MeV}$.

Kontrolné otázky:

1. Aký fyzikálny objekt alebo utvára predchádza hviezde, z čoho vzniká?
2. Akými spôsobmi môže hviezda zaniknúť?
3. Odkedy dokedy sa hviezda nachádza na hlavnej postupnosti?
4. Sú reakcie alebo skôr procesy prebiehajúce vo vnútri Slnka fyzikálne alebo chemické?
5. Ktoré vlastnosti hviezdy zachytáva Hertsprungov-Russellov diagram?
6. A ktoré umožňuje odvodiť alebo odhadnúť?
7. Aká je hlavná závislosť medzi hmotnosťou a vekom hviezdy?
8. Koľkonásobne je väčší priemer Slnka ako priemer Zeme?
9. Čo je to vlastne Slnko, povedané niekoľkými slovami?
10. Akú hmotnosť a svietivosť má priemerná hviezda v Galaxii?
11. Prečo teda nie je Slnko typickou hviezdou?
12. Aké je fyzikálno-chemické zloženie Slnka, z akých prvkov sa skladá?
13. Aké teploty, v akom rozsahu evidujeme na a v Slnku?
14. Uveď hlavné časti alebo pásma Slnka ako hviezdy!
15. Z ktorých častí sa skladá slnečná atmosféra?
16. V ktorej časti Slnka vznikajú slnečné granuly?
17. Aké teploty môžu byť dosahované v slnečnej koróne?
18. V akom rozpätí sa pohybujú hmotnosti hviezd?
19. Rovnováha čoho umožňuje hviezde, aby dlhodobo existovala?
20. Podarilo sa našim vedcom napodobniť fúzne reakcie v Slnku?