

5.2. Narodziny i śmierć gwiazdy

Dziś wiemy, że gwiazdy, podobnie jak ludzie, rodzą się żyją i umierają. Skala czasowa w jakiej się to odbywa jest jednak zdecydowanie dłuższa. Gwiazdy powstały w pierwszych milionach lat istnienia Wszechświata, wskutek grawitacyjnej kondensacji wodoru (z domieszką helu) powstałych w Wielkim Wybuchu. Również dziś gwiazdy rodzą się z obłoków międzygwiazdowych, które są pozostałością po innych, kończących swój żywot gwiazdach. Mamy tutaj do czynienia ze swego rodzaju „recyclingiem” – z materii pozostałej po „starej” gwiazdzie powstaje młoda gwiazda.

Gwiazdy powstają z obłoków międzygwiazdowych, które nierównomiernie rozłożone są w Galaktyce. Aby gwiazda miała szansę się uformować, obłok z jakiegoś powodu, np. poprzez wybuch pobliskiej gwiazdy supernowej, musi zacząć się kurczyć. W miarę kurczenia się obłoku zostaje wyemitowane promieniowanie, które początkowo w całości opuszcza obłok w postaci promieniowania podczerwonego. Etap ten nazywany jest *protogwiazdą*. Gdy obłok jest na tyle gęsty, że promieniowanie nie jest w stanie całkowicie go opuścić, zaczyna on sam świecić. Jeśli temperatura wewnątrz gwiazdy będzie na tyle wysoka, iż rozpoczną się reakcje *termojądrowe*, gwiazda rozpocznie swój cykl życiowy.



Fot. 5.1. Obłok materii międzygwiazdowej - obszar formowania się gwiazd z pobliżu ρ -Ophiuchi⁶

Mechanizmem napędowym gwiazd są reakcje termojądrowe. We wnętrzu każdej gwiazdy znajduje się najgorętszy fragment – jądro. W przypadku Słońca, temperatura w jądrze wynosi około 15 milionów K, co powoduje, że atomy wodoru na skutek reakcji termojądrowych przekształcają się w atomy helu, według ciągu reakcji. Pierwsza z nich to synteza ciężkiego izotopu wodoru, deuteru, zawierającego w jądrze jeden proton i jeden neutron, według schematu



W reakcji tej powstają dodatkowo elektrony (pozytony) e^+ i neutrino, unoszące nadmiar energii. Pozytony anihilują z elektronami a ich masa zamienia się w energię kwantów gamma (γ).

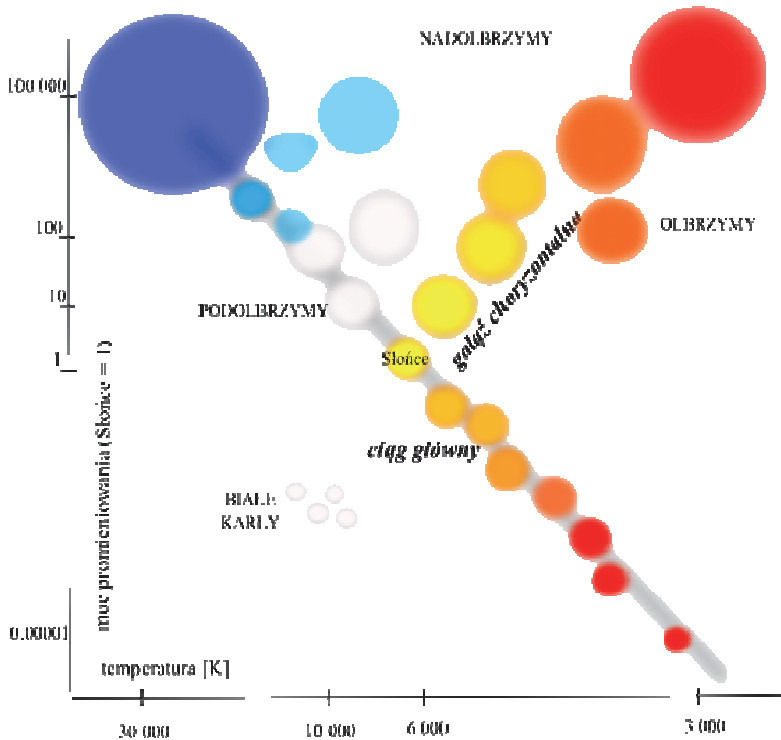
W kolejnym etapie jądro deuteru zderza się z jądrem zwykłego wodoru i powstaje lekki izotop helu ${}^3\text{He}$



Jądro helu „zwykłego”, ${}^4\text{He}$ może powstać na kilka sposobów ale we wszystkich reakcjach *wydziela się energia*. Słońce to mega-kocioł, w którym wodór spalany jest (termojądrowo) na hel – w ciągu sekundy spalane jest 600 milionów ton wodoru. Słońce znajduje się mniej więcej w połowie swego cyklu życia - w jądrze Słońca wodór stanowi już tylko 1/3 masy.

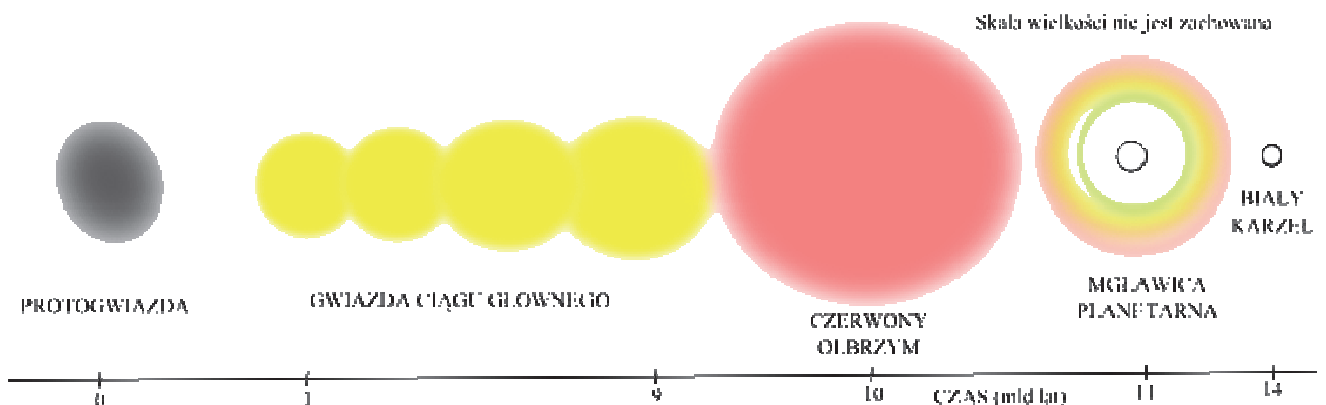
⁶ <http://it.wikipedia.org/wiki/File:RhoOph.jpg>; http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rho_Ophiuchi.jpg

Systematykę gwiazd w dużej mierze zawdzięczamy wieloletnim obserwacjom, które na początku XX wieku prowadziły na Uniwersytecie w Harvardzie kobiety - astronomie. Annie Jump Cannon zdołała skatalogować 400 tysięcy (!) gwiazd, badając za pomocą klisz fotograficznych ich widma. Okazało się, że między widmem (czyli kolorem gwiazdy) a jej jasnością można zauważyć ścisłe zależności. Obserwacje z Harvardu pozwoliły w 1912 roku E. Hertzsprungowi i H.N. Russellowi na skonstruowanie diagramu nazwanego ich imieniem.



Fot. 5.2. (a) Diagram Hertzsprunga – Russella przedstawia zależność mocy promieniowania gwiazdy od jej temperatury; zwróć uwagę, że obie skale nie są liniowe – rosną w sposób względny, tak jak obserwowana jasność gwiazdy w skali Ptolemeusza; podobnie względna (i odwrócona) jest skala temperatury; w ten sposób najgorętsze i najjaśniejsze gwiazdy znajdują się w lewym górnym rogu diagramu; **(b)** historyczny teleskop z Harvardu, na którym dzięki pracowitości Henrietty Swan Leavitt zostały zebrane dane, leżące u podstaw diagramu H-R, znajduje się obecnie w Obserwatorium UMK.

Diagram H-R jest klasyfikacją gwiazd, a jednocześnie ich „linią życia” – gwiazdy ewoluują poruszając się po liniach diagramu. Masa początkowa protogwiazdy ma bezpośredni wpływ na dalszy los gwiazdy. Najmasywniejsze gwiazdy tzw. nadolbrzymy o masie przewyższającej 10 M_{\odot} (czyt. 10 mas Słońca) żyją najkrócej, nie więcej niż 100 milionów lat. Nasze Słońce należy do karłów – jest gwiazdą o stosunkowo niewielkiej masie, które starzeją się powoli. W tej chwili Słońce znajduje się prawie mniej więcej w połowie swojego życia – powinno dożyć wieku 10 mld lat, zob. ryc. 5.2 a.



Ryc. 5.3. Schemat przebiegu ewolucji w przypadku gwiazd o masie Słońca

Aby w jądrze gwiazdy mogły zajść dalsze reakcje musi zostać osiągnięta dużo wyższa temperatura. Helowe jądro, które nie jest w stanie „zapalić” kolejnych reakcji zacznie się kurczyć. Wodorowa otoczka znajdująca się wokół jądra ogrzewa się na skutek kurczenia jądra, a to powoduje oddalanie się otoczki od jądra - tworząc tzw. *czernego olbrzyma*. W kolejnym etapie jądro gwiazdy zostanie odsłonięte, a wokół niego będzie widoczna tzw. *mglawica planetarna*. We wnętrzu mglawicy świeci tzw. biały karzeł - gwiazda o rozmiarach kilkunastu tysięcy km (przekształcone w procesie kurczenia jądro słoneczne, zob. fot. 4.16.)

W przypadku gwiazd o masie nieco większej niż 1 M \odot , po wypaleniu się helu następuje częściowa zapaść gwiazdy. W warunkach zwiększonej gęstości możliwe są dalsze reakcje termojądrowe, w szczególności synteza jąder węgla z trzech jąder helu. Proces jest dwustopniowy i możliwy jedynie dzięki nietypowemu układowi poziomów energii powstających jąder⁷



W gwiazdach o masie przekraczającej 8 M \odot możliwa jest cała seria dalszych reakcji termojądrowych, prowadzących do syntezy jąder tlenu, neonu, krzemu i siarki. Końcowym etapem nukleosyntezy jest żelazo ⁵⁶Fe. Gwiazda kończy życie wybuchem *supernowej* zaś jej jądro przeistacza się w tzw. *gwiazdę neutronową* o rozmiarach kilkunastu kilometrów.

Gwiazda neutronowa zaś umożliwia syntezę cięższych pierwiastków, do uranu włącznie. Pięć miliardów lat temu lub więcej w miejscu Słońca świeciła gwiazda o masie 8-10 M \odot . Zakończyła swój żywot wybuchami, a z pozostałej materii powstał Układ Słoneczny. Słońce to gwiazda z re-cyklingu!

Najbardziej masywne gwiazdy – około 10 M \odot ewoluują podobnie, tylko że szybciej, natomiast w końcowym etapie ewolucji powstaje *czarna dziura*.

5.3. Mieszkańcy Mlecznej Drogi

Galileusz za pomocą swojej lunety zauważył, że widoczna na niebie w pogodną noc smuga, jasna droga zbudowana jest z pojedynczych gwiazd. Układ Słoneczny jest jednym z elementów tego układu gwiazdnego nazwanego Galaktyką, czyli Mleczną Drogą⁸. Galaktyka jest czymś w rodzaju wyspy w kosmosie, składającej się z setek miliardów gwiazd.

Rozmiar Galaktyki jest tak duży że nawet światło, przy założeniu przejścia bez przeszkód z jednego krańca na drugi, potrzebuje około 100 tys. lat. Słońce znajduje się na peryferiach Drogi Mlecznej, 27 tys. lat świetlnych od centrum. Galaktyka składa się ze zgrubienia centralnego (centrum Galaktyki) oraz ramion spiralnych (patrz schemat Ryc. 5,4) i poprzeczki. W środku Galaktyki „żeruje” zapewne czarna dziura, pochłaniając okoliczną materię. Mieszkanie na peryferiach ma swoje zalety – nie dociera do nas zabójcze, wysoko-energetyczne promieniowanie gamma, które powstaje w centrum Galaktyki.

Droga Mleczna razem z około 35 innymi galaktykami tworzy tzw. *Grupę Lokalną*, czyli zbiór galaktyk położonych stosunkowo blisko siebie i grawitacyjnie ze sobą związanych. Od najbliższej z nich, galaktyki Andromedy, fot. 4.5c dzieli nas 2,5 miliona lat świetlnych. A ile galaktyk mamy we Wszechświecie?

⁷ Gdyby nie ten specyficzny układ poziomów energii jąder ⁸Be i ¹²C, synteza węgla byłaby niemożliwa, a przez to cała chemia organiczna, podstawa życia.

⁸ pisana wielką literą dla odróżnienia jej od innych galaktyk