

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 gwiazdowego nazwanego Galaktyką, czyli Mleczną Drogą⁸. Galaktyka jest czymś w rodzaju wyspy w kosmosie, składającej się z setek miliardów gwiazd.

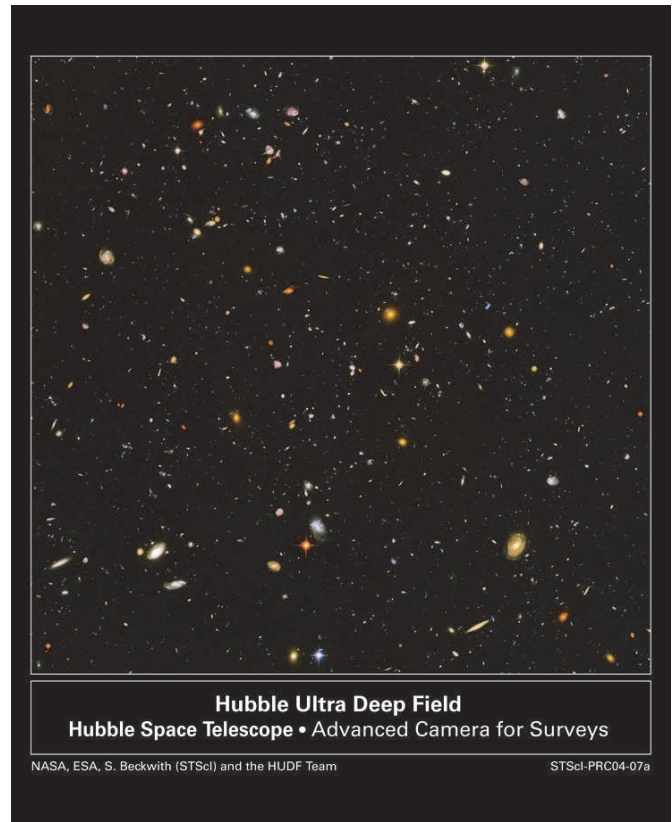
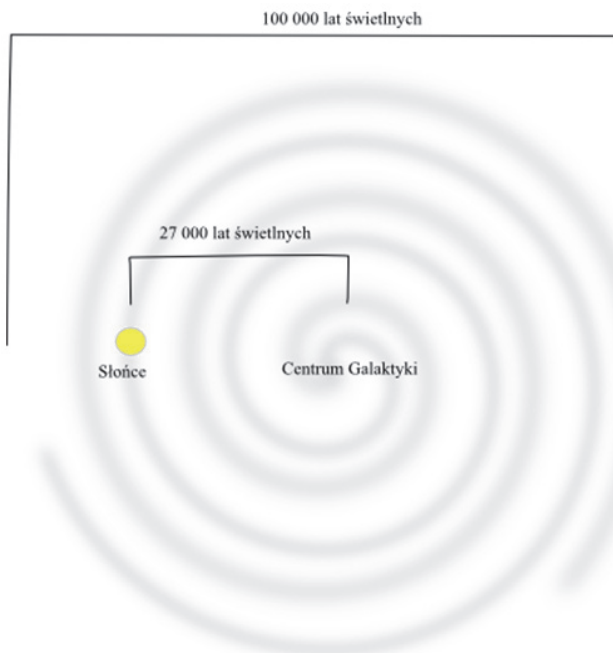
Rozmiar Galaktyki jest tak duży że nawet światło, przy założeniu przejścia bez przeszkód z jednego krańca na drugi, potrzebuje około 100 tys. lat. Słońce znajduje się na peryferiach Drogi Mlecznej, 27 tys. lat świetlnych od centrum. Galaktyka składa się ze zgrubienia centralnego (centrum Galaktyki) oraz 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

Kosmiczny teleskop Hubble'a krążący od 1990 roku po orbicie okołoziemskiej wykonał zdjęcie najdalszych zakątków Wszechświata⁹. W 2003 roku, przez kilka miesięcy teleskop obserwował niewielki fragment nieba w gwiazdozbiornie Pieca (niebo południowe). Obserwowany obszar obejmował kąt 3', w porównaniu do całego nieba jest 12,7 miliona razy mniejszy! Ku wielkiemu zdziwieniu oszacowano, iż na ostatecznym zdjęciu na tym małym fragmencie nieba zaobserwowano około 10 tysięcy galaktyk! Niektóre z nich świecą na czerwono, co świadczy, że się od nas oddalają z zawrotnymi prędkościami. Wszechświat się rozszerza!



Ryc. 5.4. Schemat przedstawiający Drogę Mleczną oraz miejsce, w którym znajduje się w niej Słońce. Obok: odległe galaktyki na zdjęciu z teleskopu Hubble'a.

Teleskop Hubble'a nie jest wcale największy z używanych przez astronomów. Jego unikalną zaletą jest natomiast praca w warunkach braku atmosfery – gwiazdy w nim nie „migoczą”, jak na Ziemi. Teleskop ten nazwano na cześć Edwina P. Hubble'a, który kontynuując prace kobiet – astronomów z Harvardu obserwował odległe gwiazdy zmienne typu *cefeid*. Z tych obserwacji wywnioskował, że Wszechświat się rozszerza: im galaktyki dalej od nas, tym szybciej uciekają. Wszechświat puchnie we wszystkich kierunkach, jak drożdżowe ciasto przed wypiekiem.

Pomiar obserwowanej jasności *cefeid* pozwala na określenie ich odległości (*cefeidy* mają podobną jasność *absolutną*). Z kolei szybkość ucieczki gwiazd możemy wyliczyć z efektu *Dopplera* – przesunięcia ich widma ku czerwieni.

Efekt Dopplera obserwujemy, gdy nadjeżdża (i oddala się) karetka pogotowia na sygnale. Gdy się zbliża, dźwięk jej syreny wydaje się być wyższy (tzn. o wyższej częstotliwości), niż gdy się oddala. Dla uciekających gwiazd oznacza to przesunięcie ich linii widmowych (wodoru, helu itd.) w kierunku dłuższych długości fali. Bardzo odległe galaktyki, ledwie widoczne na zdjęciach teleskopem Hubble'a są ciemno-czerwone.

⁹ (ang.) Hubble Ultra Deep Field