

## KOSMOLOGIA

### Jednostki odległości stosowane w astronomii:

- **jednostka astronomiczna AU** lub j.a.  $1\text{AU} = 150\text{ mln km}$  – odległość Ziemi od Słońca
- **rok świetlny ly** - odległość, jaką przebędzie światło w ciągu 1 roku poruszając się z prędkością światła  $1\text{ ly} = 365 \times 24 \times 3600\text{ s} \times 3 \times 10^8\text{ m/s} = 9,46 \times 10^{15}\text{ m}$
- **parsek – pc**  $1\text{ pc} = 3,26\text{ ly}$  - odległość, z której promień orbity okołosłonecznej Ziemi widać pod kątem  $1/3600^\circ$

### Prawo Hubble’a

Pozwala obliczyć odległości do bardzo odległych galaktyk, opisuje „ucieczkę galaktyk”.

Pamiętajmy jednak, że to nie materia od siebie ucieka, ale sama przestrzeń zwiększa swe wymiary (można porównać do nadmuchiwanej balonu).

Wszechświat rozszerzając się obniża swoją średnią gęstość, ale to nie znaczy, że maleje np. gęstość planet – one nie biorą udziału w globalnej ekspansji Wszechświata.

Według prawa Hubble’a prędkość ucieczki  $v$  można obliczyć ze wzoru:

$$v = H r$$

$v$  – prędkość ucieczki [ km/s]

$r$  - odległość galaktyk [ megaparsek Mpc ]

$H$  - stała Hubble’a - zależy od wieku Wszechświata i jest stała we Wszechświecie.

Mieści się w przedziale  $H = (50 - 100) \frac{\text{km}}{\text{Mpc}}$ . Najnowsze pomiary podają wartość

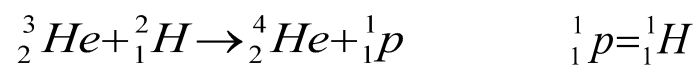
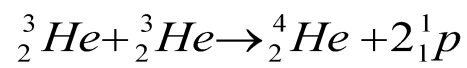
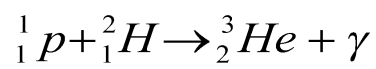
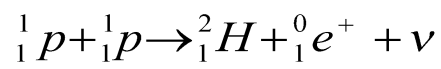
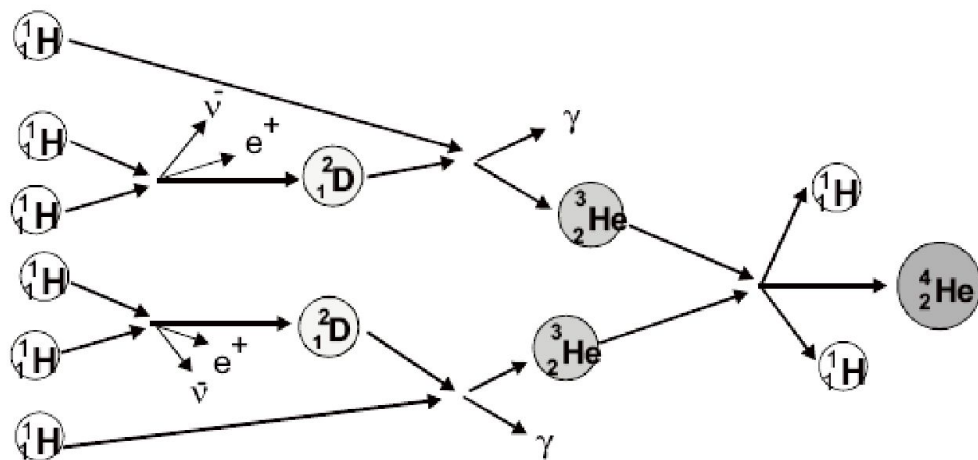
$$H = 75 \frac{\text{km}}{\text{Mpc}}.$$

Głównym dowodem rozszerzania się Wszechświata jest obserwacja przesunięcia długości fal, które do nas dochodzą, w kierunku fal dłuższych – ku czerwieni. Zjawisko to tłumaczone jest efektem Dopplera w odniesieniu do fali elektromagnetycznej. Galaktyka promieniuje światło w naszym kierunku, a jednocześnie oddala się od nas.

### Procesy zachodzące w Słońcu

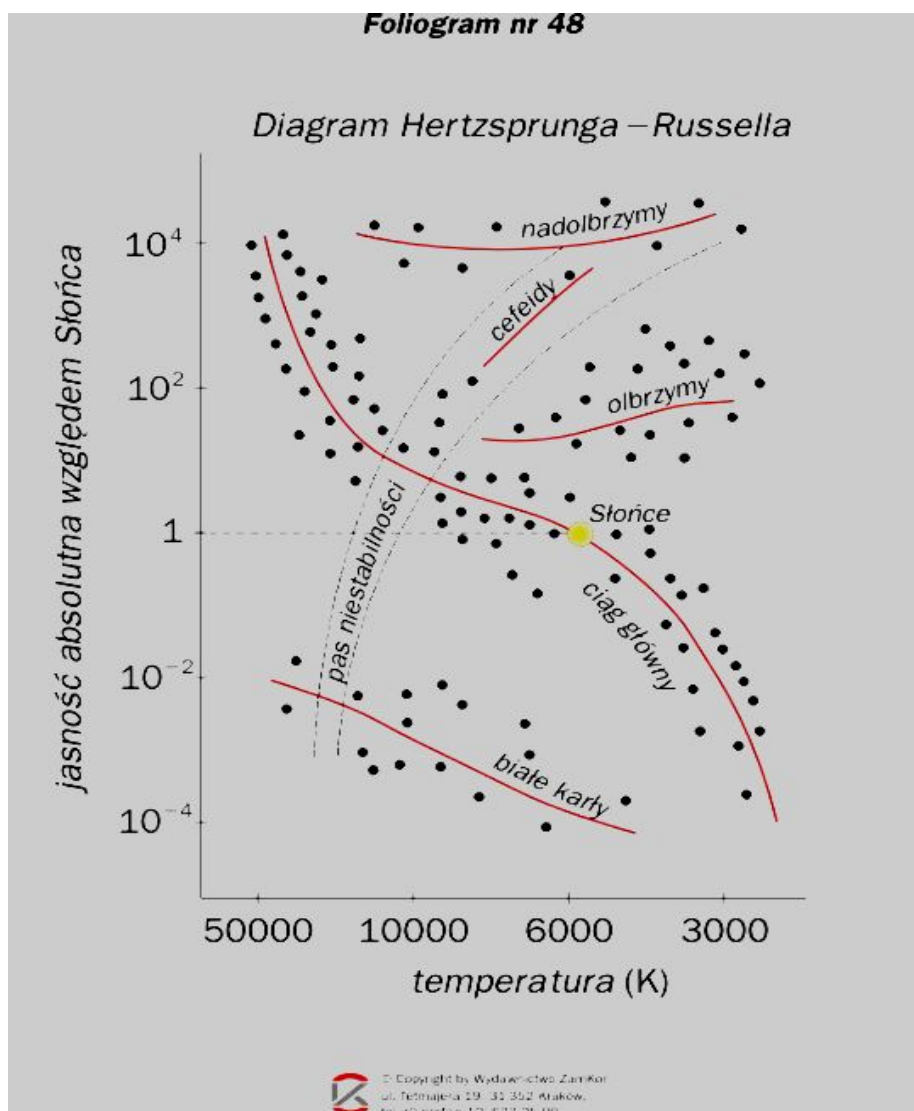
Słońce jest gigantyczną kulą rozżarzonej plazmy. Skład chemiczny: wodór 73%, a hel - 25%. Źródłem energii są **reakcje syntezy jądrowej** jąder wodoru w jądra helu. Aby dwa protony mogły ulec syntezie, muszą się znaleźć w odległości około  $10^{-15}\text{ m}$  od siebie. Zbliżenie jąder na taką odległość jest utrudnione, ponieważ pomiędzy nimi występują siły elektrostatycznego odpychania. Czynnikiem sprzyjającym zachodzeniu tych reakcji jest wysoka temperatura panująca w jądrze Słońca.

Najbardziej energetycznym typem reakcji zachodzących w Słońcu jest cykl protonowy:



## Ewolucja gwiazd

Diagram Hertzsprunga – Russella H-R przedstawia typy gwiazd



Gwiazdy ciągu głównego to ciała niebieskie wysyłające energię świetlną powstałą w wyniku reakcji syntezy wodoru w hel. Masa gwiazdy waha się od 1/12 masy Słońca do około 150 mas Słońca.

Wielkościami charakteryzującymi gwiazdy są oprócz masy, jasność absolutna i typ widmowy.

Światło gwiazdy możemy rozszczepiać w celu zbadania jej widma. Ciemne prążki w widmie (linie absorpcyjne) znajdują się w charakterystycznych położeniach odpowiadających poszczególnym pierwiastkom i na ich podstawie można określić skład chemiczny atmosfery gwiazdy.

Widma gwiazd podzielono na siedem typów, a każdy typ na dziesięć podtypów (od 0 do 9). Każdy typ ma określoną temperaturę powierzchni. Oznaczono je następująco: (od temperatury najwyższej wynoszącej 50000 K do najniższej 3000 K) O, B, A, F, G, K i M.

Słońce ma typ widmowy G2.

Wielkości gwiazdowe i typy widmowe (barwy) gwiazd mogą być naniesione na wykres nazywany diagramem Hertzsprunga-Russella (w skrócie H-R), według którego gwiazdy dzielą się na kilka dobrze zdefiniowanych grup: gwiazdy ciągu głównego (okazało się, że w ich jądrach zachodzi termojądrowa przemiana wodoru w hel), olbrzymy, nadolbrzymy i białe karły.

**Czerwone karły** są najmniejszymi (masa jest mniejsza od 1/12 masy Słońca), najwolniej ewoluującymi gwiazdami. Temperatura w nich jest zbyt niska, by dalej mogła nastąpić synteza helu. Najbliższa nam Proxima Centauri jest czerwonym karłem.

Podczas swojego życia gwiazda przemieszcza się na wykresie H-R w określony sposób. Każda gwiazda powstaje jako zagęszczenie gazu w przestrzeni.

Jeśli jej masa jest wystarczająco duża – co najmniej 0,4 masy Słońca – po dostatecznym zagęszczeniu przez siły grawitacji podgrzewa się tak (w chwili osiągnięcia w jej centrum temperatury 10 milionów K), że zaczynają w niej zachodzić reakcje termojądrowe. W miarę przemiany wodoru w hel i cięższe pierwiastki gwiazda przesuwa się w górę wzdłuż ciągu głównego, tym szybciej, im większa jest jej masa.

Następnie gwiazda wchodzi na gałąź olbrzymów lub nadolbrzymów (jeśli jej masa jest odpowiednio duża) i przesuwa się po niej, a jej temperatura rośnie bez zmiany jasności. Po pewnym czasie gwiazda „zawraca”, wchodząc w okres niestabilności, po czym dochodzi znów do ciągu głównego, po którym się przesuwa w dół ze znacznie większą szybkością. Na koniec traci większą część swojej materii, a jej jądro staje się białym karłem.

Masy **białych karłów** są mniejsze lub równe około 1,4 mas Słońca, rozmiar jest rzędu ~5000 km, a średnia gęstość  $10^7 \text{ g/cm}^3$ . Elektrony w białym karle są zdelokalizowane tak, jak w metalu, a jądro przypomina krystaliczny metal. Gwiazda jest stabilna tak długo, jak długo ciśnienie wywołane przez elektrony zdoła się przeciwstawić się zapadaniu grawitacyjnemu. Białe karły nie produkują już energii przez syntezę jądrową, świecą termicznie wychładzając się. Ich temperatura efektywna jest jednak wysoka (~10000 K) i dlatego są białe. Jasność jest jednak niewielka, zaledwie 1/1000 do 1/100 jasności Słońca.

Z białymi karłami związane jest zachowanie się gwiazd **nowych** - gwiazda zmienna, wybuchowa, w przedostatnim stadium ewolucji, której jasność nagle wzrasta w czasie godzin lub dni o 10 do 15 wielkości gwiazdowych.

Jeżeli masa białego karła przekracza granicę ~1,48 mas Słońca, wtedy gwiazda zapada się i następuje wybuch.

Ewolucja gwiazd bardziej masywnych- więcej niż 5 mas Słońca – może doprowadzić do stadium **czerwonego nadolbrzyma**. Budowa bardzo masywnych gwiazd ma strukturę warstwową, na różnych głębokościach odbywa się synteza kolejnych coraz cięższych jąder. Dostarcza to coraz mniej energii.

Reakcje pierwiastków cięższych od żelaza  $^{56}\text{Fe}$  pochłaniają energię. Zmniejsza się ciśnienie i grawitacja zaczyna przeważać – jądro gwiazdy zaczyna się kurczyć. Zapadające się zewnętrzne warstwy zaczynają się odbijać od gęstniejącego jądra gwiazdy. W gęstniejącym i gorącym jądrze następuje wychwyt elektronów przez protony, powstają neutrony i neutrina wyrzucane w przestrzeń. Zjawisko to nazywamy wybuchem **supernowej**. Jest to ostatni szczebel ewolucji gwiazd. Gwiazda neutronowa jest swego rodzaju ogromnym jądrem „atomowym”. Jej rozmiar jest rzędu 10 – 15 km, masa 1 – 3 mas Słońca, średnia gęstość  $\sim 10^{14} \text{ g/cm}^3$ . Jeżeli pozostała po wybuchu supernowej gwiazda neutronowa ma masę większą od 3 – 5 mas Słońca, proces kurczenia się gwiazdy pod wpływem grawitacji postępuje dalej, aż gwiazda zapada się tworząc **czarną dziurę**.

Im większa masa gwiazdy tym temperatura jest wyższa i reakcje przebiegają gwałtowniej i czas życia na ciągu głównym jest krótszy. Słońce będzie żyło na ciągu głównym 10 mld lat (zaczęło świecić 5 mld lat temu i jeszcze będzie świecić 5 mld lat). Gwiazda o masie 5 razy większe od Słońca w ciągu głównym pozostaje przez 100 milionów lat, o masie 20 razy większej już tylko 10 milionów lat. Gwiazda o masie 0,1 masy Słońca będzie świecić aż 100 miliardów lat a może i więcej (czerwony karzeł). Dlatego liczba gwiazd w ciągu głównym maleje wraz ze wzrostem ich mas. Niezwykle powolna ewolucja jest przyczyną tego, że jeszcze żaden czerwony karzeł od czasu Wielkiego Wybuchu nie zdążył opuścić ciągu głównego na wykresie **H-R**. Być może są one najbardziej liczny typem gwiazd, ale trudno je odkryć, ponieważ są blade. W odległości 20 lat świetlnych prawie dwie trzecie gwiazd to czerwone karły.