

# Gwiazda

**Gwiazda** – kuliste ciało niebieskie stanowiące skupisko powiązanej grawitacyjnie materii w stanie plazmy. Najbliższa Ziemi gwiazda, Słońce, jest źródłem większości energii na Ziemi. Inne gwiazdy można obserwować na nocnym niebie, gdyż wtedy nie przyćmiewa ich Słońce. Najlepiej widocznym na sferze niebieskiej gwiazdom od dawna nadawano różne nazwy, łączono je także w gwiazdozbiory. Astronomowie pogrupowali gwiazdy oraz inne ciała niebieskie w katalogi astronomiczne, które zapewniają ujednolicone nazewnictwo tych obiektów.



Obłok molekularny LH 95 – jeden z obszarów gwiazdotwórczych w Wielkim Obłoku Magellana. Zdjęcie NASA/ESA.

Przez przeważającą część swojego życia gwiazda emituje powstającą w jej jądrze w wyniku procesów syntezy jądrowej energię w postaci promieniowania elektromagnetycznego, w szczególności pod postacią światła widzialnego. Gwiazdy zbudowane są głównie z wodoru i helu, prawie wszystkie atomy innych cięższych pierwiastków znajdujące się we Wszechświecie powstały w efekcie zachodzących w nich procesów jądrowych lub podczas wieńczących ich istnienie wybuchów. Astronomowie mogą ustalić masę, wiek, skład chemiczny oraz wiele innych cech gwiazdy badając jej spektrum, jasność oraz drogę, jaką przebywa w przestrzeni kosmicznej. Masa gwiazdy stanowi główną determinantę procesu jej ewolucji oraz sposobu, w jaki zakończy ona swe życie. Inne parametry gwiazdy, takie jak średnica, obrót wokół własnej osi, sposób poruszania się oraz temperatura, określa się na podstawie jej dotychczasowej ewolucji. Wykres zależności pomiędzy temperaturami gwiazd a ich jasnością nosi nazwę diagramu Hertzsprunga-Russella (H-R), pozwala on oszacować wiek gwiazdy oraz określić stadium życia, w którym się ona znajduje.

Gwiazda formuje się z zapadającej się chmury materii, w skład której wchodzi głównie wodór, a także hel oraz śladowe ilości cięższych pierwiastków. Gdy jądro gwiazdy osiągnie dostateczną gęstość, część składającego się nań wodoru zamieniana jest w hel na drodze procesu stabilnej fuzji jądrowej<sup>[1]</sup>. Pozostała część materii gwiazdy przenosi energię wywołaną w tym procesie z jądra w przestrzeń kosmiczną za pomocą procesów promieniowania oraz konwekcji. Powstałe w ten sposób ciśnienie wewnętrzne zapobiega dalszemu zapadaniu się tworzącej gwiazdę materii pod wpływem grawitacji. Gdy wodór w jądrze ulegnie wyczerpaniu, gwiazdy o masie przynajmniej 0,4 masy Słońca<sup>[2]</sup> znacznie się powiększają i ulegają przeobrażeniu w czerwone olbrzymy, które w niektórych przypadkach zdolne są spalać cięższe pierwiastki bezpośrednio w jądrze, bądź w powłokach je otaczających. Gwiazda rozpoczyna wtedy ewolucję do formy zdegenerowanej, zwracając część swojej materii składowej w przestrzeń, gdzie utworzy ona kolejne pokolenie gwiazd o większej zawartości ciężkich pierwiastków<sup>[3]</sup>.

Wiele gwiazd jest związanych grawitacyjnie z innymi, tworząc układy podwójne lub wieloskładnikowe układy gwiazd, w których owe ciała niebieskie poruszają się wokół siebie po w miarę stabilnych orbitach. Gdy dwie takie gwiazdy znajdą się blisko siebie, ich wzajemne przyciąganie może istotnie wpływać na przebieg procesów ich ewolucji<sup>[4]</sup>. Gwiazdy nie są jednorodnie rozrzucone we Wszechświecie, lecz tworzą duże struktury utrzymywane dzięki sile grawitacji, takie jak gromady czy galaktyki.

## Historia obserwacji

Gwiazdy odgrywały dużą rolę w rozwoju cywilizacji na całym świecie. Stanowiły element wierzeń religijnych oraz pomagały w nawigacji i ustalaniu położenia. Wielu starożytnych astronomów sądziło, że gwiazdy zostały na trwałe umieszczone na sferze niebieskiej i że są niezmiennie. Astronomowie umownie pogrupowali je w gwiazdozbiory i używali do śledzenia ruchów planet oraz wnioskowania o pozycji Słońca<sup>[5]</sup>. Ruch Słońca względem znajdujących się za nim gwiazd oraz horyzontu stanowił podstawę do opracowania rozlicznych kalendarzy, używanych między innymi do wyznaczania harmonogramów prac polowych<sup>[7]</sup>. Powszechnie stosowany praktycznie na całym świecie kalendarz gregoriański to kalendarz słoneczny bazujący na kącie nachylenia osi ruchu obrotowego Ziemi w stosunku do najbliższej jej gwiazdy, czyli Słońca.



Ludzie już w starożytności grupowali gwiazdy według obrazów, których doszukiwali się w ich układzie<sup>[5]</sup>.

Autorem tego pochodzącego z 1690 wyobrażenia gwiazdozbioru Lwa jest Jan Heweliusz<sup>[6]</sup>.

Najstarsza dokładnie datowana mapa nieba pochodzi ze starożytnego Egiptu, z roku 1534 p.n.e.<sup>[8]</sup>. Najdawniejsze znane katalogi gwiazd stworzyli starożytni Babilończycy z Mezopotamii pod koniec drugiego tysiąclecia p.n.e., w okresie dominacji Kasytów (ok. 1531-1155 p.n.e.)<sup>[9]</sup>. Pierwszy katalog gwiazd w starożytnej Grecji sporządził około 300 p.n.e., z pomocą Timocharisa, astronom Aristillos<sup>[10]</sup>. Atlas nieba Hipparacha z II wieku p.n.e. zawierał 1020 gwiazd i posłużył Ptolemeuszowi za podstawę jego katalogu gwiazd umieszczonego w *Wielkiej rozprawie astronomicznej*<sup>[11]</sup>. Hipparacha uznaje się także za pierwszego obserwatora gwiazdy nowej<sup>[12]</sup>. Z dorobku greckiej astronomii wywodzi się również wiele używanych współcześnie nazw gwiazd oraz konstelacji.

Najwięcej obserwacji "nowych gwiazd" na z pozoru niezmiennym niebie wykonali astronomowie chińscy<sup>[13]</sup>. W 185 dostrzegli oni i opisali pierwszą w historii ludzkości supernową, znaną współcześnie jako SN 185<sup>[14]</sup>. Najjaśniejszym (pod względem obserwowanej jasności) tego typu zjawiskiem widocznym z Ziemi zarejestrowanym przez człowieka była supernowa SN 1006, której eksplozja nastąpiła w 1006. Wzmianki na jej temat poczynili egipski astronom Ali ibn Ridwan oraz kilkunastu badaczy chińskich<sup>[15]</sup>. Muzułmańscy oraz chińscy astronomowie obserwowali także supernową SN 1054, po której wybuchu powstała mgławica Kraba<sup>[16] [17] [18]</sup>.

Średniowieczni astronomowie muzułmańscy nadali wielu gwiazdom używane po dziś dzień arabskie nazwy, jak i również wynaleźli liczne przyrządy służące do ustalania ich pozycji. Utworzyli oni także pierwsze duże obserwatoria, głównie na potrzeby opracowania katalogów astronomicznych znanych jako *Zij*<sup>[19]</sup>. Wśród tych prac znajduje się między innymi *Księga gwiazd stałych* autorstwa perskiego astronoma Abda Al-Rahmana Al Sufiego, odkrywcy licznych gwiazd, gromad (w tym Omicron Velorum i Collinder 399<sup>[20]</sup>) oraz galaktyk (między innymi galaktyki Andromedy<sup>[21]</sup>). W XI wieku perski uczyony-polihistor Abu Rajhan Muhammad al-Biruni opisał Drogę Mleczną jako zbiór fragmentów posiadających własności rozmyślonych gwiazd, podał także pozycje różnych gwiazd podczas zaćmienia Księżyca w 1019<sup>[22]</sup>.

Andaluzyjski astronom Ibn Bajjah wysnuł teorię, że Droga Mleczna składa się z wielu gwiazd, które nieomal stykają się za sobą i wyglądają na jednolitą jaśniejącą płaszczyznę z uwagi na zjawisko refrakcji emitowanego przez nie światła w znajdującej się pomiędzy Ziemią a Księżycem materii. Za dowód posłużyły mu obserwacje poczynione podczas koniunkcji Jowisza i Marsa w 500 AH (1106/1107)<sup>[23]</sup>.

Według wczesnych europejskich astronomów, takich jak Tycho Brahe, identyfikowane na niebie "nowe gwiazdy" przeczyły idei niezmienności niebios. W 1584 Giordano Bruno zasugerował, że gwiazdy mogą być w istocie innymi słońcami, wokół których krążą planety, także takie podobne do Ziemi<sup>[24]</sup>. Koncepcję tę wysunęli już starożytni greccy filozofowie, Demokryt i Epikur<sup>[25]</sup> oraz średniowieczni kosmologowie muzułmańscy<sup>[26]</sup>, na przykład Fakh

al-Din al-Razi<sup>[27]</sup>. Do końca XVI wieku idea jakoby gwiazdy były odległymi słońcami zyskiwała coraz większe poparcie wśród astronomów. Aby wyjaśnić, dlaczego gwiazdy nie wywierają grawitacyjnego wpływu na Układ Słoneczny, Isaac Newton zasugerował, że rozłożone są one równomiernie w przestrzeni. Pomysł ten podsunął mu teolog Richard Bentley<sup>[28]</sup>.

Włoski astronom Geminiano Montanari obserwował w 1667 zmiany jasności gwiazdy Algol. W 1718 Edmund Halley jako pierwszy opublikował wyniki pomiaru ruchu własnego gwiazd, wykazujące istotne przesunięcie Arktura i Syriusza. Udowodnił on tym samym, że gwiazdy zmieniały swoje położenie od czasów starożytnych astronomów Ptolemeusza i Hipparacha. Pierwszy bezpośredni pomiar odległości gwiazdy od Ziemi (61 Cygni, oddalonej o 11,4 roku świetlnego) wykonał w 1838 przy pomocy paralaksy Friedrich Bessel. Późniejsze badania z użyciem tej metody wykazały znaczne rozproszenie gwiazd w przestrzeni kosmicznej<sup>[24]</sup>.

Pierwszym naukowcem, który próbował doświadczalnie określić rozkład gwiazd w przestrzeni był William Herschel. W latach 80. XVIII wieku wykonał on serię 600 pomiarów w różnych kierunkach, zliczając gwiazdy wzdłuż obserwowanych linii. Okazało się, że ilość dostrzeganych gwiazd systematycznie rośnie w miarę zbliżania się do części nieba zawierającej jądro Drogi Mlecznej. Jego syn, John Herschel, powtórzył ten eksperyment na półkuli południowej i dopatrywał się analogicznej reguły wzrostu zagęszczenia gwiazd w tym samym kierunku<sup>[29]</sup>. Do osiągnięć Williama Herschela należy także odkrycie, że niektóre gwiazdy nie poruszają się samotnie w kosmosie, lecz tworzą układy podwójne.

Za pionierów spektroskopii astronomicznej uważa się Josepha von Fraunhofera i Angelo Secchiego. Na drodze porównań spektrów gwiazd takich jak Syriusz czy Słońce, znaleźli oni różnice w ilości i grubościach linii spektralnych, powstających w rezultacie pochłaniania przez atmosferę ciała niebieskiego specyficznych częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego. W 1865 Secchi rozpoczął klasyfikowanie gwiazd na podstawie ich typu widmowego<sup>[30]</sup>, jednakże nowoczesne kryteria tego rodzaju podziału opracowała dopiero Annie Jump Cannon w pierwszej dekadzie XX wieku.

W XIX wieku coraz większego znaczenia nabierały obserwacje gwiazd podwójnych. W 1827 Felix Savary, posługując się obserwacjami wykonanymi za pomocą teleskopu, jako pierwszy opisał orbity układu podwójnego<sup>[31]</sup>. W 1834 Friedrich Bessel na podstawie stwierdzonych przez siebie zmian ruchu własnego Syriusza wysunął hipotezę o istnieniu niewidocznej towarzyszącej mu gwiazdy. Dokładne dane na temat wielu układów podwójnych zebrane przez naukowców pokroju Wilhelma Struvego i Sherburne'a Wesleya Burnhama pozwoliły obliczać masy gwiazd na podstawie ich elementów orbitalnych. W 1899 Edward Pickering, badając występujące cyklicznie co 104 dni rozszczepienia linii spektralnych Mizara, odkrył pierwszą gwiazdę spektroskopowo podwójną.

W XX wieku nastąpił znaczący rozwój astronomii. Wartościowym narzędziem pomocnym w obserwacji gwiazd okazała się fotografia. Karl Schwarzschild odkrył, że kolor gwiazdy, wskazujący na jej temperaturę, można ustalić na podstawie porównania jej widocznej wielkości gwiazdowej z wielkością zobrazowaną na zdjęciu. Istotny wzrost dokładności pomiarów wielkości gwiazdowych w różnych zakresach fal elektromagnetycznych przyniosło wynalezienie fotometru fotoelektrycznego. W 1921 Albert Abraham Michelson, używając teleskopu Hookera, jako pierwszy zastosował interferometrię do pomiaru średnicy gwiazdy<sup>[32]</sup>.

W pierwszych dekadach XX wieku powstały także fizyczne modele zjawisk zachodzących w gwiazdach oraz procesu ich ewolucji. Do wzrostu dynamiki prowadzonych badań przyczyniło się opracowanie w 1913 diagramu Hertzsprunga-Russella. Postępy w rozwoju fizyki kwantowej pozwoliły na zrozumienie zjawiska powstawania spektrum, dzięki czemu możliwym stało się ustalanie składu chemicznego atmosfer gwiazd<sup>[33]</sup>.

Za wyjątkiem supernowych, pojedyncze gwiazdy można obserwować przeważnie w Grupie Lokalnej galaktyk<sup>[34]</sup>, w szczególności w widocznej części Drogi Mlecznej (dla której stworzono najbardziej wyczerpujące katalogi<sup>[35]</sup>). W Supergromadzie Lokalnej dają się dostrzec gromady gwiazd, współczesne teleskopy mogą właściwie bez przeszkód dojrzeć pojedyncze niewyraźne gwiazdy w Grupie Lokalnej. Najdalsze cefeidy udało się zaobserwować 100 milionów lat świetlnych od Ziemi, w należącej do Gromady Panny galaktyce M100<sup>[36]</sup> <sup>[37]</sup> <sup>[38]</sup>. Poza Supergromadą Lokalną nie zaobserwowano ani pojedynczych gwiazd ani gromad, za wyjątkiem ledwo widocznej

wielkiej gromady gwiazd składającej się z setek tysięcy gwiazd, znajdującej się w odległości miliarda lat świetlnych<sup>[39]</sup> —dziesięciokrotnie dalej niż najodleglejsza dotychczas zaobserwowana gromada.

## Nazewnictwo

Idea konstelacji nie była obca już Babilończykom. Starożytni obserwatorzy nieba wyobrażali sobie, że rzucające się w oczy układy gwiazd tworzą figury, które utożsamiali oni z elementami natury lub lokalnej mitologii. Znajdujące się w paśmie wokół płaszczyzny ekliptyki dwanaście spośród nich stało się podstawą astrologii. Wielu wyraźniej dostrzegalnym pojedynczym gwiazdom także nadawano imiona, zwłaszcza w językach arabskim lub łacińskim.

Tak jak niektóre gwiazdozbiory i Słońce, gwiazdy jako całość stanowiły istotny element wielu systemów mitologicznych<sup>[40]</sup>. Dla starożytnych greków niektóre "gwiazdy", nazywane przez nich planetami (gr. *πλανήτης* (*planētēs*) – wędrowiec), reprezentowały panteon głównych bóstw, których imiona noszą Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn<sup>[40]</sup> (Uranowi oraz Neptunowi nazwy pochodzące z grecko-rzymskiego kręgu kulturowego nadali nowożytni astronomowie, którzy je odkryli. Planet tych nie znano w starożytności, gdyż praktycznie nie sposób dotrzeć je gołym okiem).

W początkach XVII wieku do nazywania gwiazd używano konstelacji, w obrębie których się one znajdowały. Niemiecki astronom Johann Bayer stworzył serię map nieba, na których stosował litery alfabetu greckiego w charakterze oznaczeń gwiazd położonych w każdym gwiazdozbiore. W późniejszym okresie John Flamsteed wynalazł i zamieścił w dołączonym do wydanej w 1712 wersji swojego dzieła *"Historia coelestis Britannica"* katalogu gwiazd system numeracji opierający się na rektascensji tych ciał niebieskich. Dla metody tej przyjęły się z czasem nazwy *oznaczenia Flamsteeda* lub *numeracji Flamsteeda*<sup>[41]</sup> <sup>[42]</sup>.

Jedyną uznaną przez społeczność naukową organizacją posiadającą kompetencje do nazywania gwiazd oraz innych ciał niebieskich jest Międzynarodowa Unia Astronomiczna<sup>[43]</sup>. Szereg prywatnych instytucji (na przykład International Star Registry) oferuje możliwość zakupu nazwy gwiazdy, jednakże nie są one w jakikolwiek sposób brane pod uwagę przez astronomów<sup>[43]</sup>, wielu z nich uważa tego rodzaju przedsięwzięcia za oszustów żerujących na ludzkiej ignorancji na temat metod nazywania gwiazd<sup>[44]</sup>.

## Jednostki miar

Większość parametrów gwiazd wyrażanych jest w jednostkach układu SI, używa się jednak także jednostek miar CGS (np. jasność podaje się niekiedy w ergach na sekundę). Masę, jasność oraz promień często określa się też za pomocą pozaukładowych jednostek, bazujących na odpowiednich charakterystykach Słońca:

$$\text{masy Słońca: } M_{\odot}=1.9891\times 10^{30} \text{ kg}^{[45]}$$

$$\text{jasności Słońca: } L_{\odot}=3.827\times 10^{26} \text{ watów}^{[45]}$$

$$\text{promienia Słońca: } R_{\odot}=6.960\times 10^8 \text{ m}^{[46]}.$$

Duże długości, takie jak promienie wielkich gwiazd lub półosie układów podwójnych, często podaje się w jednostkach astronomicznych — 1 j.a. odpowiada w założeniu średniej odległości Ziemi od Słońca (około 150 milionom kilometrów).

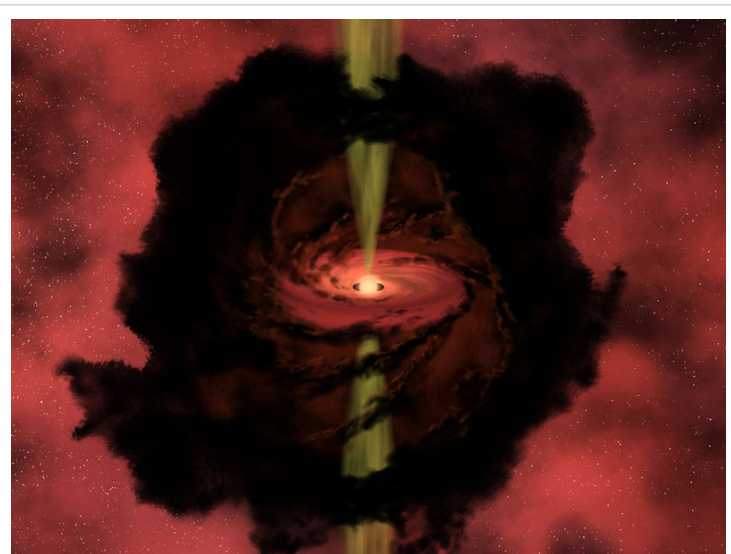
## Powstanie i ewolucja

Gwiazdy powstają w obłokach molekularnych — rozległych regionach zagęszczonej materii międzygwiazdowej znajdujących się w obrębie ośrodka międzygwiazdowego. Gęstość tych obłoków jest mniejsza niż w stworzonych przez człowieka komorach próżniowych, w ich skład wchodzi głównie wodór, a także około 23-28% helu oraz do kilku procent pozostałych cięższych pierwiastków. Powstające w obłoku gwiazdy jasno go oświetlają, a także jonizują otaczający je wodór, tworząc obszary H II. Przykładem takiego regionu gwiazdotwórczego jest Mgławica Oriona<sup>[47]</sup>.

## Powstanie protogwiazdy

Proces powstawania gwiazdy inicjuje pojawienie się w obłoku molekularnym niestabilności grawitacyjnej, spowodowanej często falą uderzeniową pochodzącą z eksplozji supernowej lub zderzeniem galaktyk (tak jak w galaktykach burzy gwiazdowej). Gdy region obłoku osiągnie dostateczną gęstość, aby spełnić warunki wystąpienia niestabilności Jeansa, zaczyna się proces jego zapadania grawitacyjnego<sup>[48]</sup>.

W miarę zapadania się obłoku, pojedyncze skupiska zagęszczonego pyłu i gazu stopniowo formują struktury zwane globulami Boka. Wraz z postępującym kolapsem globuli i idącym za tym wzrostem jej gęstości, energia grawitacji zamieniana jest w ciepło, powodując wzrost temperatury ośrodka. Gdy taka ciemna mgławica ponownie osiągnie stan zbliżony do równowagi hydrostatycznej, w jej centrum formuje się protogwiazda<sup>[49]</sup>, często otoczona przez dysk protoplanetarny. Czas potrzebny na zajście tego procesu wynosi około 10–15 milionów lat.



Narodziny gwiazdy wewnątrz gęstego obłoku molekularnego – wizja artysty.  
Obraz NASA.

We wczesnym stadium swojego istnienia gwiazdy o masie nie przekraczającej dwóch mas Słońca klasyfikowane są jako typ T Tauri, te o większej masie zaś jako typ Herbig Ae/Be. Nowo narodzone, wciąż zapadające się gwiazdy emitują wzdłuż swoich osi obrotu gazowe dżety, które mogą redukować ich moment pędu oraz tworzyć niewielkie mgławicopodobne obszary aktywne – obiekty Herbiga-Haro<sup>[50]</sup> <sup>[51]</sup>. Dżety, przy współdziałaniu promieniowania sąsiednich wielkich gwiazd, mogą przyczyniać się do rozproszenia obłoku, w którym gwiazda powstała<sup>[52]</sup>.

## Ciąg główny

Przez 90% czasu swojego życia gwiazdy spalają wodór, przekształcając go w hel na drodze zachodzących w okolicach jądra reakcji termojądrowych. Gwiazdy, w których zachodzi ten proces nazywa się karłami i mówi o nich, że znajdują się na ciągu głównym. Począwszy od wejścia gwiazdy na ciąg główny, odsetek zawartego w jej jądrze helu systematycznie zwiększa się. W konsekwencji, temperatura oraz jasność gwiazdy stale rosną, aby utrzymać niezbędne tempo fuzji atomów<sup>[53]</sup> – szacuje się na przykład, że Słońce, odkąd weszło na ciąg główny 4,6 miliarda lat temu, przybrało na jasności około 40%<sup>[54]</sup>.

Każda gwiazda emituje cząsteczki w postaci wiatru gwiazdowego, co skutkuje ciągłym odpływem jej materii składowej w przestrzeń. W przypadku większości gwiazd ubytek ten jest praktycznie niezauważalny — na przykład Słońce w ciągu roku traci  $10^{-14} M_{\odot}$ <sup>[55]</sup>, przez cały okres jego życia złoży się to na 0,01% jego całkowitej masy.

Wielkie gwiazdy mogą jednak przez rok stracić od  $10^{-7}$  do  $10^{-5} M_{\odot}$ , co istotnie wpływa na przebieg ich ewolucji<sup>[56]</sup>. Gwiazdy o masie początkowej przewyższającej  $50 M_{\odot}$  mogą podczas obecności na ciągu głównym pozbyć się w ten sposób ponad połowy swojego budulca<sup>[57]</sup>.

Długość czasu, którą gwiazda spędzi na ciągu głównym zależy w przeważającym stopniu od ilości paliwa, jaką dysponuje oraz tempa przebiegu procesu jego spalania, to znaczy od masy początkowej oraz jasności gwiazdy. Szacuje się, że w wypadku Słońca ten etap życia potrwa 10 miliardów lat. Duże gwiazdy spalają swoje paliwo bardzo gwałtownie, z tego powodu istnieją znacznie krócej; małe z kolei, zwane czerwonymi karłami, zużywają je bardzo powoli i mogą trwać dziesiątki, a nawet setki miliardów lat, pod koniec życia stopniowo spokojnie wygasając<sup>[2]</sup>. Najprawdopodobniej jednak żaden z czerwonych karłów nie osiągnął jeszcze tego stadium rozwoju, ponieważ okres życia takich gwiazd jest dłuższy od obecnego wieku Wszechświata (12,7 miliarda lat).

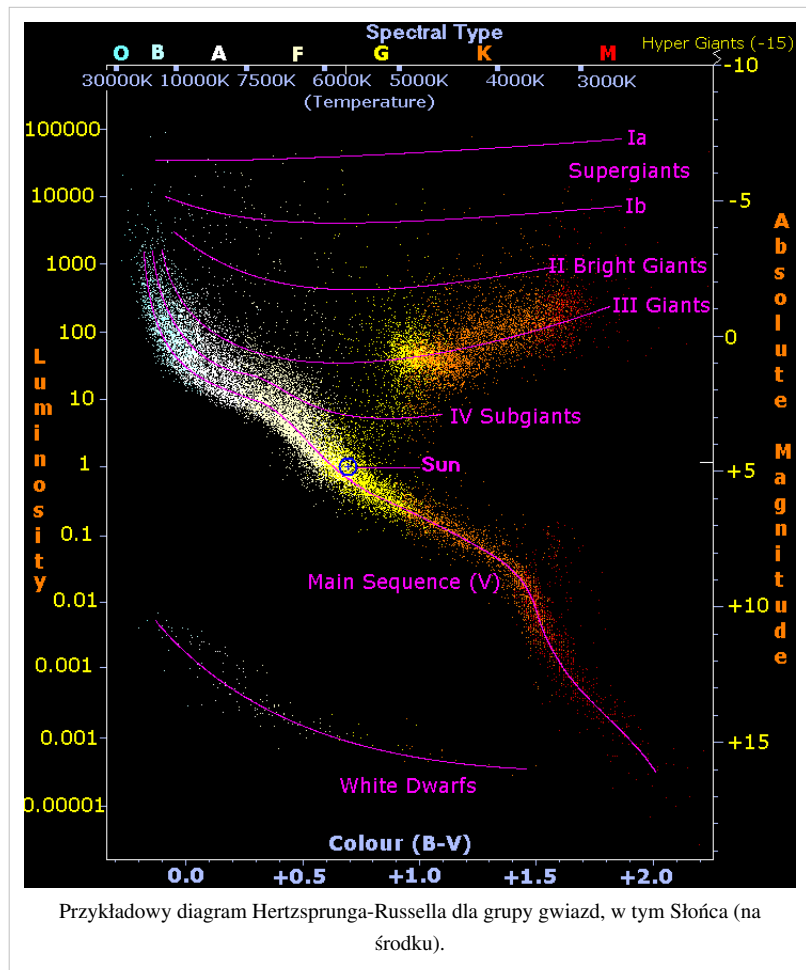
Duży wpływ na ewolucję gwiazdy ma także, oprócz masy, ilość wchodzących

w jej skład pierwiastków cięższych od helu. W astronomii wszystkie takie pierwiastki uważane są za metale, a charakterystyka określająca ich stężenie nosi nazwę metaliczności. Metaliczność oddziałuje na to, w jakim czasie gwiazda spali swoje paliwo, kontroluje powstanie jej pól magnetycznych<sup>[58]</sup> oraz determinuje siłę wiatru gwiazdowego<sup>[59]</sup>. Starsze gwiazdy należące do populacji II cechuje istotnie mniejszy poziom metaliczności niż młodsze z populacji I ze względu na odmienność składu obłoków molekularnych, z których się uformowały — obłoki z czasem zawierają coraz więcej metali pochodzących od starszych gwiazd, które kończąc swe życie, uwalniają je w przestrzeń.

## Dalsze losy

Gdy gwiazda o masie przynajmniej  $0,4 M_{\odot}$ <sup>[2]</sup> wyczerpie zasoby wodoru znajdujące się w jądrze, jej zewnętrzne powłoki znacznie się rozszerzają oraz ochładzają, formując czerwonego olbrzyma. Słońce za około 5 miliardów lat osiągnie ten właśnie etap rozwoju i zwiększy swój promień do około 1 j.a. — rozmiaru 250 razy większego niż obecnie. Jako olbrzym utraci też około 30% swojej obecnej masy<sup>[54]</sup> [60].

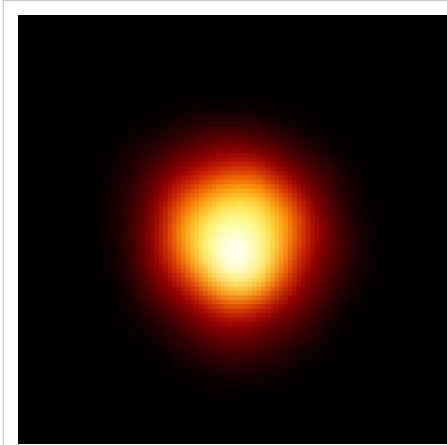
Czerwony olbrzym o masie do  $2,25 M_{\odot}$  kontynuuje fuzję wodoru w powłokach otaczających jądro<sup>[61]</sup>. W końcu centrum gwiazdy zostaje ściśnięte dostatecznie, aby rozpocząć syntezę helu, w miarę jej przebiegu gwiazda stopniowo zmniejsza rozmiary, a temperatura jej powierzchni rośnie. W większych gwiazdach jądro po wyczerpaniu wodoru przechodzi bezpośrednio do spalania helu<sup>[62]</sup>.



Przykładowy diagram Hertzsprunga-Russella dla grupy gwiazd, w tym Słońca (na środku).

Gdy hel w jądrze zostanie zużyty, synteza jest kontynuowana w powłoce wokół węglowo-tlenowego centrum. Ewolucja gwiazdy przebiega dalej analogicznie do fazy czerwonego olbrzyma, lecz przy wyższych temperaturach powierzchni.

### Wielkie gwiazdy



Betelgeza - czerwony nadolbrzym zbliżający się do końca swojego cyklu życia (ultrafiolet).

Wielkie gwiazdy o masie przynajmniej  $9 M_{\odot}$  podczas fazy spalania helu rozszerzają się, tworząc czerwone nadolbrzymy. Po wyczerpaniu helu w jądrze, zdolne są one przeprowadzać fuzję cząsteczek cięższych od niego pierwiastków.

Aby do tego doszło, jądro stopniowo kurczy się, a rosnące w nim temperatura oraz ciśnienie powodują w końcu zapłon węgla. Analogiczny proces zachodzi następnie dla neonu, tlenu oraz krzemu. Pod koniec życia gwiazdy reakcje termojądrowe mogą zachodzić w serii tworzących jej wnętrze powłok przypominających łupiny cebuli. Każda powłoka spala wtedy inny pierwiastek, w najbardziej zewnętrznej jest to wodór, w następnej hel i tak dalej<sup>[63]</sup>.

Końcowy etap życia takiej gwiazdy nadchodzi z chwilą, gdy zaczyna ona produkować żelazo. Ponieważ jądro atomowe żelaza ma jedną z najwyższych energii wiązania<sup>[64]</sup>, proces jego fuzji nie uwalniałby

energii, lecz ją zużywał<sup>[61]</sup>. Stąd w zaawansowanych wiekiem wielkich gwiazdach postępuje proces akumulacji w centrum nieaktywnego żelaza. Lżejsze od niego pierwiastki mogą wydostawać się stopniowo poza powierzchnię, powstaje wtedy gwiazda Wolfa-Rayeta, której zewnętrzne warstwy atmosfery rozdziera potężny wiatr gwiazdowy.

### Kolaps

Dojrzała, przeciętnych rozmiarów gwiazda odrzuci w tym momencie swoje zewnętrzne powłoki — powstanie z nich mgławica planetarna. Jeżeli materiał pozostały w gwiazdzie po zejściu tego procesu waży mniej niż  $1,4 M_{\odot}$ , zapada się on i formuje niewielki (w przybliżeniu rozmiarów Ziemi) obiekt — białego karła — który jest zbyt mały, aby poziom zagęszczenia materii mógł w nim jeszcze wzrosnąć<sup>[65]</sup>. Pomimo że gwiazdy zasadniczo definiuje się jako kule plazmy, elektronowa zdegenerowana materia tworząca wnętrze białego karła nie znajduje się już w tym stanie skupienia. W ciągu bardzo długiego przedziału czasu białe karły ostygają w końcu na tyle, aby przeobrazić się w czarne karły.

W większych gwiazdach fuzja zachodzi dopóki rozmiar żelaznego jądra nie przekroczy krytycznej wartości  $1,4 M_{\odot}$ , gdy to nastąpi, nie jest ono w stanie utrzymać swojej masy i gwałtownie zapada się pod własnym ciężarem. Dzieje się tak dlatego, że w obecnych w nim atomach elektrony zostają wepchnięte w protony, tworząc neutrony oraz neutrino na drodze gwałtownej reakcji wychwytu elektronów (zwanej także odwrotnym rozpadem beta). Powstała podczas nagłego zapadnięcia się jądra fala uderzeniowa powoduje rozsadzenie pozostałej materii gwiazdy przez potężną eksplozję – supernową. Supernowe są tak jasne, że mogą na krótko przewyższyć blaskiem całą swą macierzystą galaktykę. Gdy w przeszłości obserwowano gołym okiem tego rodzaju wydarzenia zachodzące w Drodze Mlecznej, uważano je za "nowe gwiazdy", gdyż pojawiały się tam, gdzie do tej pory niczego nie dawało się zaobserwować<sup>[66]</sup>.

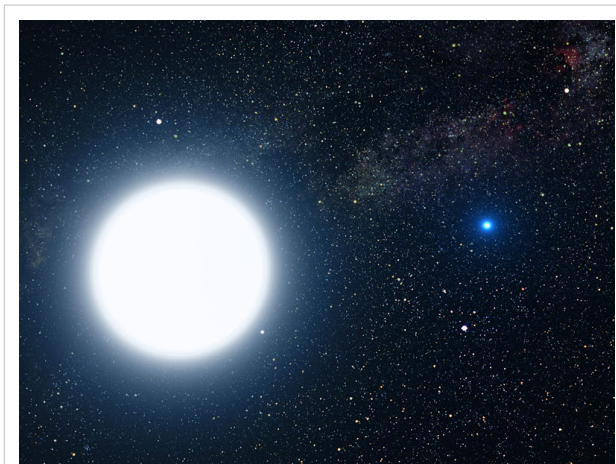


Mgławica Kraba – pozostałość po supernowej zaobserwowanej około 1050.

Większość materii gwiazdy jest wyrzucana w przestrzeń podczas eksplozji supernowej (tworząc mgławicę podobną na przykład do Mgławicy Kraba<sup>[66]</sup>), pozostała jej część ulega przeobrażeniu w gwiazdę neutronową (która czasem przybiera postać pulsaru lub bersteru rentgenowskiego), lub, w wypadku największych gwiazd (to znaczy tak dużych, aby pozostawić po sobie obiekt o masie przynajmniej  $4 M_{\odot}$ ), czarną dziurę<sup>[67]</sup>. W gwiazdzie neutronowej materia istnieje w stanie plazmy neutronowej, a w jej jądrze być może występuje także materia dziwna. Stan materii wewnątrz czarnej dziury pozostaje jak na razie nieznan.

Przepływ materii wywoływany supernowymi oraz wiatrem gwiazdowym wielkich gwiazd odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu przestrzeni międzygwiazdowej<sup>[66]</sup>. W skład odrzuconej przez umierającą gwiazdę materii wchodzi między innymi ciężkie pierwiastki, które mogą ponownie wejść w skład nowo formowanych gwiazd, przy ich udziale powstają również planety skaliste.

## Rozmieszczenie



Biały karzeł Syriusz B (po prawej) tworzy układ podwójny z Syriuszem A, gwiazdą ciągu głównego (z lewej) - wizja artysty. Obraz NASA.

Oprócz pojedynczych gwiazd, napotkać można także układy wieloskładnikowe, zawierające dwie lub więcej powiązanych grawitacyjnie, wzajemnie okrążających się gwiazd. Najpowszechniej występują układy podwójne, zdarzają się jednak także systemy trój- i więcej składnikowe. Z uwagi na prawa stabilności orbit posiadają one z reguły strukturę hierarchiczną, w której układy podwójne okrążają się wzajemnie w różnych konfiguracjach<sup>[68]</sup>. Większe skupiska, nazywane gromadami, mogą przybierać formę zarówno luźnych, zawierających kilka gwiazd asocjacji, jak i potężnych gromad kulistych, skupiających ich setki tysięcy.

Przez długi czas sądzono, że większość gwiazd jest grawitacyjnie powiązana w różne układy z innymi. Jest to twierdzenie prawdziwe dla wielkich gwiazd klas O

oraz B, w wypadku których nawet 80% systemów jest wielokrotnych. Im jednak gwiazdy mniejsze, tym frakcja ta maleje, zaledwie 25% czerwonych karłów posiada towarzyszy. Jako że stanowią one 85% ogółu gwiazd, większość gwiazd Drogi Mlecznej najprawdopodobniej porusza się w przestrzeni samotnie<sup>[69]</sup>.



Gwiazdy nie są rozmieszczone równomiernie we Wszechświecie, z reguły tworzą, wraz z obłokami międzygalaktycznego pyłu i gazu, skupiska znane jako galaktyki. Szacuje się, że w obserwowalnym Wszechświecie jest ich więcej niż 100 miliardów ( $10^{11}$ ), a typowa zawiera setki miliardów gwiazd<sup>[70]</sup>. W powszechnym wyobrażeniu dominuje pogląd, jakoby gwiazdy istniały jedynie w galaktykach, jednak odkryto je także w przestrzeni międzygalaktycznej<sup>[71]</sup>. Liczbę gwiazd w obserwowalnym Wszechświecie astronomowie szacują na przynajmniej 70 tryliardów ( $7 \times 10^{22}$ )<sup>[72]</sup>.

Najbliższą Ziemi, z wyłączeniem Słońca, gwiazdą, jest Proxima Centauri, znajdująca się 39.9 biliona ( $10^{12}$ ) kilometrów, lub 4,2 roku świetlnego od Ziemi. Jej światło potrzebuje 4,2 roku, aby do nas dotrzeć. Podróż do niej z prędkością orbitującego promu kosmicznego (8 kilometrów na sekundę, prawie 30000 kilometrów na godzinę) trwałaby 150000 lat<sup>[73]</sup>. Tego rzędu dystanse są typowe wewnątrz dysku galaktycznego, a także w sąsiedztwie Układu Słonecznego<sup>[74]</sup>. W pobliżu centrów galaktyk i w gromadach kulistych gwiazdy mogą znajdować się znacznie bliżej siebie, w obrębie galaktycznego halo zaś znacznie dalej.

Z uwagi na duże odległości pomiędzy gwiazdami poza jądrem galaktyki, kolizje pomiędzy nimi uważa się za rzadkie zjawisko. W zagęszczonych regionach, takich jak jądra galaktyk lub gromad kulistych, do kolizji może dochodzić częściej<sup>[75]</sup>. W wyniku takich zderzeń mogą powstawać tak zwani błękitni maruderzy. Są to gwiazdy o wyższej temperaturze powierzchni od innych gwiazd ciągu głównego o tej samej jasności znajdujących się w gromadzie<sup>[76]</sup>.

## Charakterystyki

Praktycznie wszystkie cechy gwiazdy, takie jak na przykład jasność czy rozmiar, a także przebieg jej ewolucji, czas trwania i sposób zakończenia życia zależą bezpośrednio od posiadanej przez nią masy początkowej.

### Wiek

Wiek większości gwiazd zawiera się w przedziale od jednego do 10 miliardów lat. Niektóre mogą być zbliżone wiekiem nawet do około 13,7 miliarda lat — szacowanego wieku wszechświata. Długość dotychczasowego życia najstarszej jak dotąd zaobserwowanej gwiazdy, HE 1523-0901, ocenia się w przybliżeniu na 13,2 miliarda lat<sup>[77]</sup> <sup>[78]</sup>.



Najbliższą Ziemi gwiazdą jest Słońce.

Im większa masa gwiazdy, tym krótszy jej żywot, głównie dlatego, że duża masa implikuje wyższe ciśnienie w jej jądrze. Sprawia ono, że reakcje spalania wodoru przebiegają w gwieździe bardziej gwałtownie. Największe gwiazdy istnieją średnio około miliona lat, te o minimalnej wymaganej masie (czerwone karty) spalają swe paliwo bardzo powoli i mogą trwać dziesiątki a nawet setki miliardów lat<sup>[79]</sup> <sup>[80]</sup>.

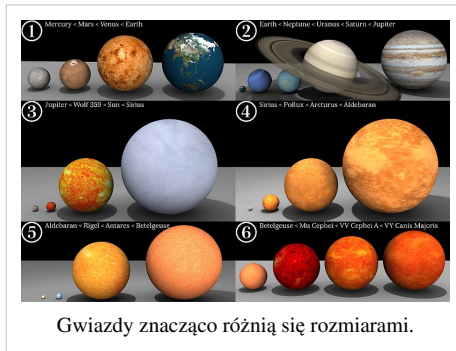
### Skład chemiczny

Gwiazdy współcześnie formujące się w Drodze Mlecznej składają się, jeśli badać ich masę, w około 71% z wodoru oraz w 27% z helu<sup>[81]</sup>, pozostały ułamek stanowi niewielka domieszka cięższych pierwiastków. Zwykle o ilości cięższych pierwiastków w gwieździe wnioskuje się na podstawie zawartości żelaza w jej atmosferze, gdyż jest ono powszechnie występującym pierwiastkiem a jego linie spektralne stosunkowo łatwo wyodrębnić. Wyniki pomiarów składu chemicznego gwiazd można wykorzystać przy określaniu ich wieku, gdyż obłoki molekularne, w których powstają, są ciągle wzbogacane w cięższe pierwiastki przez eksplozje supernowych<sup>[82]</sup>. Frakcja cięższych pierwiastków w gwieździe może również wskazywać prawdopodobieństwo posiadania przez nią systemu planetarnego<sup>[83]</sup>.

Gwiazda o najmniejszej zmierzonej zawartości żelaza, karzeł HE1327-2326, zawiera jedynie 1/200 000 masy tego pierwiastka posiadanej przez Słońce<sup>[84]</sup>, natomiast bogate w żelazo  $\mu$  Leonis oraz 14 Herculis (posiada system

planetarny) zgromadziły odpowiednio dwukrotnie oraz trzykrotnie tyle żelaza co Słońce<sup>[85]</sup>. Istnieją także gwiazdy o wysokiej zawartości w ich spektrach szczególnych pierwiastków, najczęściej chromu oraz metali ziem rzadkich<sup>[86]</sup>.

## Średnica



Ze względu na olbrzymią odległość od Ziemi, wszystkie widoczne na niebie gwiazdy oprócz Słońca postrzegamy jako migoczące z uwagi na wpływ ziemskiej atmosfery świetliste punkty. Słońce znajduje się dostatecznie blisko, abyśmy widzieli je jako dysk i aby zapewniać światło dzienne. Gwiazdą o największym po Słońcu rozmiarze kątowym jest R Doradus, rozmiar ten wynosi zaledwie 0,057 sekundy kątowej<sup>[87]</sup>.

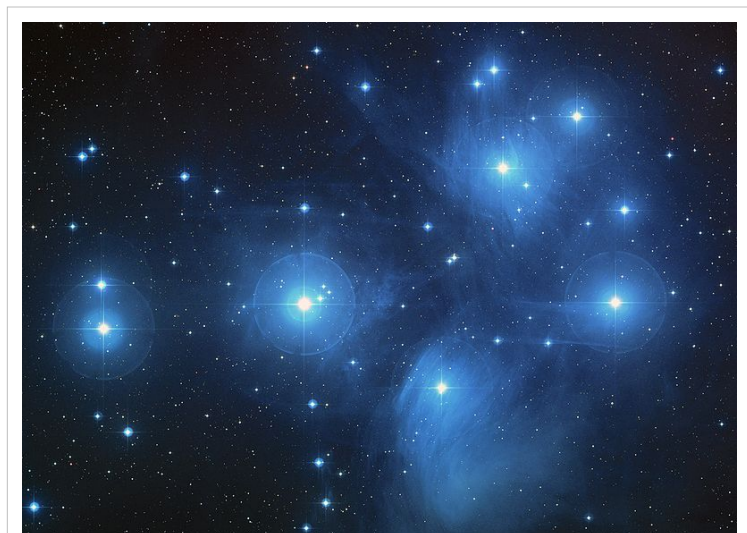
Tarcze większości gwiazd posiadają stanowczo zbyt małe rozmiary kątowe, aby obserwować je za pomocą współczesnych naziemnych teleskopów optycznych, by uzyskać obrazy takich obiektów konieczne jest zastosowanie teleskopów interferometrycznych. Inna technika pomiaru rozmiarów kątowych gwiazdy wykorzystuje okultację — można je ustalić dzięki pomiarom spadku jasności gwiazdy w miarę zakrywania jej przez Księżyc (bądź jej wzrostu podczas ponownego pojawiania się)<sup>[88]</sup>.

Średnice gwiazd wahają się od około 20-40 kilometrów w wypadku gwiazd neutronowych, do ponad 650 średnic Słońca (0,9 miliarda kilometrów) w przypadku nadolbrzymów pokroju Betelgezy w gwiazdozbiornie Oriona. Betelgeza ma jednak gęstość dużo mniejszą od Słońca<sup>[89]</sup>.

## Kinematyka

Dane na temat ruchu gwiazdy względem Słońca mogą dostarczyć użytecznych informacji o jej pochodzeniu i wieku, a także o strukturze i ewolucji otaczającego ją obszaru galaktyki. Wektor ruchu gwiazdy tworzą jej prędkość radialna oddalania się lub zbliżania do Słońca oraz składowa transwersalna, nazywana też ruchem własnym.

Prędkość radialną gwiazdy wyznacza się mierząc przesunięcie jej linii spektralnych ku czerwieni i podaje w kilometrach na sekundę. Ruch własny można analizować na podstawie pomiarów astrometrycznych, dających wynik w milisekundach kątowych na rok, które można następnie, znając paralaksę gwiazdy, zamienić na bardziej konwencjonalne jednostki prędkości. Gwiazdy o wyraźnie obserwowalnym ruchu własnym znajdują się najczęściej stosunkowo blisko Słońca, dlatego też wyznaczenie ich paralaksy jest względnie proste<sup>[91]</sup>.



Plejady, gromada otwarta w Gwiazdozbiornie Byka. Gwiazdy te wspólnie przemieszczają się w przestrzeni<sup>[90]</sup>. Zdjęcie: NASA.

Gdy obie składowe ruchu są znane, możemy obliczyć prędkość gwiazdy w przestrzeni w odniesieniu do Słońca lub galaktyki. Badając bliskie Ziemi gwiazdy ustalono, że te należące do populacji I poruszają się co do zasady wolniej od starszych, należących do populacji II. Te ostatnie posiadają orbity eliptyczne nachylone względem płaszczyzny

galaktyki<sup>[92]</sup>. Analiza wektorów ruchu pobliskich gwiazd pozwoliła także na identyfikację asocjacji gwiazdowych. Są to najprawdopodobniej grupy gwiazd, które powstawały wspólnie w wielkich obłokach molekularnych<sup>[93]</sup>.

## Uwagi

- [1] John N. Bahcall: How the Sun Shines ([http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/articles/fusion/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/articles/fusion/index.html)). Nobel Foundation, 2000-06-29. [dostęp 2006-08-30].
- [2] Michael Richmond: Late stages of evolution for low-mass stars (<http://spiff.rit.edu/classes/phys230/lectures/planneb/planneb.html>). Rochester Institute of Technology. [dostęp 2006-08-04].
- [3] Stellar Evolution & Death ([http://observe.arc.nasa.gov/nasa/space/stellardeath/stellardeath\\_intro.html](http://observe.arc.nasa.gov/nasa/space/stellardeath/stellardeath_intro.html)). NASA Observatorium. [dostęp 2006-06-08].
- [4] Icko, Jr. Iben. *Single and binary star evolution* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1991ApJS...76...55I>). „Astrophysical Journal Supplement Series”. 76, ss. 55–114 (1991). doi:10.1086/191565 (<http://dx.doi.org/10.1086/191565>).
- [5] *History of Astronomy* (<http://www.gutenberg.org/etext/8172>). London: Watts & Co., 1909.
- [6] Johannis Hevelius: *Firmamentum Sobiescianum, sive Uranographia*. Gdansk: 1690.
- [7] Claus Tøndering: Other ancient calendars (<http://webexhibits.org/calendars/calendar-ancient.html>). WebExhibits. [dostęp 2006-12-10].
- [8] Ove von Spaeth. *Dating the Oldest Egyptian Star Map* ([http://www.moses-egypt.net/star-map/senmut1-mapdate\\_en.asp](http://www.moses-egypt.net/star-map/senmut1-mapdate_en.asp)). „Centaurus International Magazine of the History of Mathematics, Science and Technology”. 42 (3), ss. 159–179 (2000). [dostęp 2007-10-21].
- [9] John North: *The Norton History of Astronomy and Cosmology*. New York and London: W.W. Norton & Company, 1995, ss. 30–31. ISBN 0393036561.
- [10] Aristillus (c. 200 BC) (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2000eaa...bookE3440>). W: P. Murdin: *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. November 2000. DOI: 10.1888/0333750888/3440 (<http://dx.doi.org/10.1888/0333750888/3440>).
- [11] Gerd Grasshoff: *The history of Ptolemy's star catalogue*. Springer, 1990, ss. 1–5. ISBN 0387971815.
- [12] Antonios D. Pinotsis: Astronomy in Ancient Rhodes (<http://conferences.phys.uoa.gr/jets2008/historical.html>). Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Department of Physics, University of Athens. [dostęp 2009-06-02].
- [13] Clark, D. H.; Stephenson, F. R. *The Historical Supernovae. Supernovae: A survey of current research*, Proceedings of the Advanced Study Institute, ss. 355–370, Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., June 29, 1981, Cambridge, England (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1982ssr.conf..355C>), dostępność 2010-09-01
- [14] *The Guest Star of AD185 Must Have Been a Supernova*. „Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics”. 6 (5), ss. 635–640 (2006). doi:10.1088/1009-9271/6/5/17 (<http://dx.doi.org/10.1088/1009-9271/6/5/17>).
- [15] Astronomers Peg Brightness of History's Brightest Star (<http://www.noao.edu/outreach/press/pr03/pr0304.html>). NAOA News, March 5, 2003. [dostęp 2006-06-08].
- [16] Frommert, Hartmut; Kronberg, Christine: Supernova 1054 – Creation of the Crab Nebula ([http://www.seds.org/messier/more/m001\\_sn.html](http://www.seds.org/messier/more/m001_sn.html)). W: *SEDS* [on-line]. University of Arizona, August 30, 2006.
- [17] J. J. L. Duyvendak. *Further Data Bearing on the Identification of the Crab Nebula with the Supernova of 1054 A.D. Part I. The Ancient Oriental Chronicles*. „Publications of the Astronomical Society of the Pacific”. 54 (318), ss. 91–94 (April 1942). doi:10.1086/125409 (<http://dx.doi.org/10.1086/125409>). Bibcode: 1942PASP...54...91D (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1942PASP...54...91D>).  
N. U. Mayall. *Further Data Bearing on the Identification of the Crab Nebula with the Supernova of 1054 A.D. Part II. The Astronomical Aspects*. „Publications of the Astronomical Society of the Pacific”. 54 (318), ss. 95–104 (April 1942). doi:10.1086/125410 (<http://dx.doi.org/10.1086/125410>). Bibcode: 1942PASP...54...95M (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1942PASP...54...95M>).
- [18] K. Brecher, et al.. *Ancient records and the Crab Nebula supernova*. „The Observatory”. 103, ss. 106–113 (1983). Bibcode: 1983Obs...103..106B (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1983Obs...103..106B>).
- [19] Edward S. Kennedy. *Review: The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory by Aydin Sayili*. „Isis”. 53 (2), ss. 237–239 (1962). doi:10.1086/349558 (<http://dx.doi.org/10.1086/349558>).
- [20] Też jednak uznano w 1997 nie za gromadę, lecz asteryzm.
- [21] Kenneth Glyn Jones: *Messier's nebulae and star clusters*. Cambridge University Press, 1991, s. 1. ISBN 0521370795.
- [22] A. Zahoor: Al-Biruni (<http://www.unhas.ac.id/~rhiza/saintis/biruni.html>). Hasanuddin University, 1997. [dostęp 2007-10-21].
- [23] Josep Puig Montada: Ibn Bajja (<http://plato.stanford.edu/entries/ibn-bajja>). Stanford Encyclopedia of Philosophy, September 28, 2007. [dostęp 2008-07-11].
- [24] Stephen A. Drake: A Brief History of High-Energy (X-ray & Gamma-Ray) Astronomy (<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/headates/heahistory.html>). NASA HEASARC, August 17, 2006. [dostęp 2006-08-24].
- [25] Exoplanets (<http://www.eso.org/outreach/eduoff/edu-prog/catchstar/CAS2004/casreports-2004/rep-226/>). ESO, July 24, 2006. [dostęp 2006-10-11].
- [26] I. A. Ahmad. *The impact of the Qur'anic conception of astronomical phenomena on Islamic civilization*. „Vistas in Astronomy”. 39 (4), ss. 395–403 [402] (1995). ScienceDirect. doi:10.1016/0083-6656(95)00033-X ([http://dx.doi.org/10.1016/0083-6656\(95\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/0083-6656(95)00033-X)).
- [27] Adi Setia. *Fakhr Al-Din Al-Razi on Physics and the Nature of the Physical World: A Preliminary Survey* ([http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0QYQ/is\\_2\\_2/ai\\_n9532826/](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0QYQ/is_2_2/ai_n9532826/)). „Islam & Science”. 2 (2004). [dostęp 2010-03-02].
- [28] Michael Hoskin: The Value of Archives in Writing the History of Astronomy (<http://www.stsci.edu/stsci/meetings/lisa3/hoskinm.html>). Space Telescope Science Institute, 1998. [dostęp 2006-08-24].

- [29] Richard A. Proctor. *Are any of the nebulae star-systems?* (<http://digicoll.library.wisc.edu/cgi-bin/HistSciTech/HistSciTech-idx?type=div&did=HISTSCITECH.0012.0052.0005&size=M>). „Nature”. 1, ss. 331–333 (1870). doi:10.1038/001331a0 (<http://dx.doi.org/10.1038/001331a0>).
- [30] Joseph MacDonnell: Angelo Secchi, S.J. (1818–1878) the Father of Astrophysics (<http://www.faculty.fairfield.edu/jmac/sj/scientists/secchi.htm>). Fairfield University. [dostęp 2006-10-02].
- [31] Robert G. Aitken: *The Binary Stars*. New York: Dover Publications Inc., 1964.
- [32] *Measurement of the diameter of Alpha Orionis with the interferometer* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1921ApJ....53..249M>). „Astrophysical Journal”. 53, ss. 249–259 (1921). doi:10.1086/142603 (<http://dx.doi.org/10.1086/142603>).
- [33] *The New Cosmos*. New York: Springer-Verlag, 1969.
- [34] e. g. *Carbon Star Survey in the Local Group. V. The Outer Disk of M31* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2003AJ....125.1298B>). „The Astronomical Journal”. 125 (3), ss. 1298–1308 (2003). doi:10.1086/346274 (<http://dx.doi.org/10.1086/346274>). [dostęp 2007-02-04].
- [35] Millennium Star Atlas marks the completion of ESA's Hipparcos Mission ([http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=esa\\_msa](http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=esa_msa)). ESA, 1997-12-08. [dostęp 2007-08-05].
- [36] Jeffrey A. Newman, Stephen E. Zepf, Marc Davis, Wendy L. Freedman, Barry F. Madore, Peter B. Stetson, N. Silbermann and Randy Phelps "A Cepheid Distance to NGC 4603 in Centaurus" (<http://iopscience.iop.org/0004-637X/523/2/506/>). *The Astrophysical Journal*. 523 (1999) 506–520
- [37] Villard, Ray; Freedman, Wendy L.: Hubble Space Telescope Measures Precise Distance to the Most Remote Galaxy Yet (<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1994/1994/49/text/>). Hubble Site, 1994-10-26. [dostęp 2007-08-05].
- [38] Hubble Completes Eight-Year Effort to Measure Expanding Universe (<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1999/19/text/>). Hubble Site, 1999-05-25. [dostęp 2007-08-02].
- [39] UBC Prof., alumnus discover most distant star clusters: a billion light-years away. (<http://www.publicaffairs.ubc.ca/media/releases/2007/mr-07-001.html>). UBC Public Affairs, 2007-01-08. [dostęp 2007-08-02].
- [40] Leslie S Coleman: Myths, Legends and Lore (<http://www.frostydrew.org/observatory/courses/myths/booklet.htm>). Frosty Drew Observatory. [dostęp 2006-08-13].
- [41] Naming Astronomical Objects ([http://www.iau.org/public\\_press/themes/naming/](http://www.iau.org/public_press/themes/naming/)). International Astronomical Union (IAU). [dostęp 2009-01-30].
- [42] Naming Stars (<http://seds.org/~spider/spider/Misc/naming.html>). Students for the Exploration and Development of Space (SEDS). [dostęp 2009-01-30].
- [43] The Naming of Stars (<http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.309>). National Maritime Museum. [dostęp 2006-08-13].
- [44] Cecil Adams: Can you pay \$35 to get a star named after you? ([http://www.straightdope.com/classics/a3\\_385.html](http://www.straightdope.com/classics/a3_385.html)). The Straight Dope, 1998-04-01. [dostęp 2006-08-13].
- [45] *Our Sun. V. A Bright Young Sun Consistent with Helioseismology and Warm Temperatures on Ancient Earth and Mars* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2003ApJ...583.1024S>). „The Astrophysical Journal”. 583 (2), ss. 1024–1039 (2003). doi:10.1086/345408 (<http://dx.doi.org/10.1086/345408>).
- [46] *Influence of surface layers on the seismic estimate of the solar radius* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1999SoPh..186....1T>). „Solar Physics”. 186 (1/2), ss. 1–11 (1999). doi:10.1023/A:1005116830445 (<http://dx.doi.org/10.1023/A:1005116830445>).
- [47] P. R. Woodward. *Theoretical models of star formation* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1978ARA&A..16..555W>). „Annual review of astronomy and astrophysics”. 16, ss. 555–584 (1978). doi:10.1146/annurev.aa.16.090178.003011 (<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.aa.16.090178.003011>).
- [48] Michael David Smith: *The Origin of Stars*. Imperial College Press, 2004, ss. 57–68. ISBN 1860945015.
- [49] Courtney Seligman: Slow Contraction of Protostellar Cloud (<http://courtneyseligman.com/text/stars/starevol2.htm>). W: *Self-published* [on-line]. [dostęp 2006-09-05].
- [50] Bally, J.; Morse, J.; Reipurth, B., 1996, *The Birth of Stars: Herbig-Haro Jets, Accretion and Proto-Planetary Disks. Science with the Hubble Space Telescope – II*, Proceedings of a workshop held in Paris, France, December 4–8, 1995, wyd. Piero Benvenuti, F.D. Macchetto, and Ethan J. Schreier, Space Telescope Science Institute, s. 491, (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1996swhs.conf..491B>), 2010-09-01
- [51] Michael David Smith: *The origin of stars*. 2004, s. 176. ISBN 1860945015.
- [52] Tom Megeath: Herschel finds a hole in space ([http://www.esa.int/esaCP/SEMFEAKPO8G\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMFEAKPO8G_index_0.html)). ESA, May 11, 2010. [dostęp 2010-05-17].
- [53] *Stellar evolution from the zero-age main sequence* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1979ApJS...40..733M>). „Astrophysical Journal Supplement Series”. 40, ss. 733–791 (1979). doi:10.1086/190603 (<http://dx.doi.org/10.1086/190603>).
- [54] *Our Sun. III. Present and Future* ([http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib\\_query?bibcode=1993ApJ...418..457S](http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1993ApJ...418..457S)). „Astrophysical Journal”. 418 (1993). doi:10.1086/173407 (<http://dx.doi.org/10.1086/173407>).
- [55] *Measured Mass-Loss Rates of Solar-like Stars as a Function of Age and Activity* (<http://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/340797>). „The Astrophysical Journal”. 574 (1), ss. 412–425 (2002). doi:10.1086/340797 (<http://dx.doi.org/10.1086/340797>).
- [56] C. de Loore, de Greve, J. P.; Lamers, H. J. G. L. M.. *Evolution of massive stars with mass loss by stellar wind* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1977A&A....61..251D>). „Astronomy and Astrophysics”. 61 (2), ss. 251–259 (1977).
- [57] The evolution of stars between 50 and 100 times the mass of the Sun (<http://www.nmm.ac.uk/server/show/conWebDoc.727>). Royal Greenwich Observatory. [dostęp 2006-09-07].

- [58] *Subphotospheric convection and magnetic activity dependence on metallicity and age: Models and tests* (<http://www.edpsciences.org/articles/aa/abs/2001/26/aah2701/aah2701.html>). „Astronomy & Astrophysics”. 373, ss. 597–607 (2001). doi:10.1051/0004-6361:20010626 (<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20010626>).
- [59] Mass loss and Evolution ([http://www.star.ucl.ac.uk/groups/hotstar/research\\_massloss.html](http://www.star.ucl.ac.uk/groups/hotstar/research_massloss.html)). UCL Astrophysics Group, 2004-06-18. [dostęp 2006-08-26].
- [60] K.-P. Schröder, Smith, Robert Connon. *Distant future of the Sun and Earth revisited*. „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society”. 386 (2008). doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13022.x (<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13022.x>). See also Jason Palmer: Hope dims that Earth will survive Sun's death ([http://space.newscientist.com/article/dn13369-hope-dims-that-earth-will-survive-suns-death.html?feedId=online-news\\_rss20](http://space.newscientist.com/article/dn13369-hope-dims-that-earth-will-survive-suns-death.html?feedId=online-news_rss20)). W: *NewScientist.com news service* [on-line]. 2008-02-22. [dostęp 2008-03-24].
- [61] Gary Hinshaw: The Life and Death of Stars ([http://map.gsfc.nasa.gov/m\\_uni/uni\\_101stars.html](http://map.gsfc.nasa.gov/m_uni/uni_101stars.html)). NASA WMAP Mission, 2006-08-23. [dostęp 2006-09-01].
- [62] Icko, Jr. Iben. *Single and binary star evolution* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1998RPPh...61...77K>). „Astrophysical Journal Supplement Series”. 76, ss. 55–114 (1991). doi:10.1086/191565 (<http://dx.doi.org/10.1086/191565>). [dostęp 2007-03-03].
- [63] What is a star? (<http://www.nmm.ac.uk/server/show/ConWebDoc.299/>). Royal Greenwich Observatory. [dostęp 2006-09-07].
- [64] Citation: *The atomic nuclide with the highest mean binding energy* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1995AmJPh...63..653F>), Fewell, M. P., American Journal of Physics, Volume 63, Issue 7, pp. 653-658 (1995). Click here (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/nucbin2.html#c1>) for a high-resolution graph, *The Most Tightly Bound Nuclei*, which is part of the Hyperphysics (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>) project at Georgia State University. (<http://www.gsu.edu/>)
- [65] *White dwarf stars* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1980ARA&A..18..363L>). „Annual review of astronomy and astrophysics”. 18 (2), ss. 363–398 (1980). doi:10.1146/annurev.aa.18.090180.002051 (<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.aa.18.090180.002051>).
- [66] Introduction to Supernova Remnants (<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/objects/snrs/snrstext.html>). Goddard Space Flight Center, 2006-04-06. [dostęp 2006-07-16].
- [67] *Black-hole formation from stellar collapse* (<http://www.iop.org/EJ/abstract/0264-9381/20/10/309>). „Classical and Quantum Gravity”. 20, ss. S73–S80 (2003). doi:10.1088/0264-9381/20/10/309 (<http://dx.doi.org/10.1088/0264-9381/20/10/309>).
- [68] Victor G. Szebeheley: *Stability of the Solar System and Its Minor Natural and Artificial Bodies*. Springer, 1985. ISBN 9027720460.
- [69] Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (2006-01-30). "Most Milky Way Stars Are Single (<http://www.cfa.harvard.edu/press/pr0611.html>)". Oświadczenie prasowe. [data dostępu: 2006-07-16].
- [70] What is a galaxy? How many stars in a galaxy / the Universe? (<http://www.nmm.ac.uk/server/show/ConWebDoc.20495>). Royal Greenwich Observatory. [dostęp 2006-07-18].
- [71] Hubble Finds Intergalactic Stars (<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1997/02/text/>). Hubble News Desk, 1997-01-14. [dostęp 2006-11-06].
- [72] Astronomers count the stars (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3085885.stm>). BBC News, 2003-07-22. [dostęp 2006-07-18].
- [73]  $3.99 \times 10^{13} \text{ km} / (3 \times 10^4 \text{ km/h} \times 24 \times 365.25) = 1.5 \times 10^5 \text{ years}$ .
- [74] *The local density of matter mapped by Hipparcos* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2000MNRAS.313..209H>). „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society”. 313 (2), ss. 209–216 (2000). doi:10.1046/j.1365-8711.2000.02905.x (<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-8711.2000.02905.x>). [dostęp 2006-07-18].
- [75] Astronomers: Star collisions are rampant, catastrophic (<http://archives.cnn.com/2000/TECH/space/06/02/stellar.collisions/>). CNN News, 2000-06-02. [dostęp 2006-07-21].
- [76] J. C. Lombardi, Jr., Warren, J. S.; Rasio, F. A.; Sills, A.; Warren, A. R.. *Stellar Collisions and the Interior Structure of Blue Stragglers* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2002ApJ...568..939L>). „The Astrophysical Journal”. 568, ss. 939–953 (2002). doi:10.1086/339060 (<http://dx.doi.org/10.1086/339060>).
- [77] Frebel, A.; Norris, J. E.; Christlieb, N.; Thom, C.; Beers, T. C.; Rhee, J: Nearby Star Is A Galactic Fossil (<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070510151902.htm>). Science Daily, 2007-05-11. [dostęp 2007-05-10].
- [78] *Discovery of HE 1523-0901, a Strongly r-Process-enhanced Metal-poor Star with Detected Uranium*. „Astrophysical Journal Letters”. 660 (2), ss. L117-L120 (May, 2007). doi:10.1086/518122 (<http://dx.doi.org/10.1086/518122>).
- [79] Naftilan, S. A.; Stetson, P. B.: How do scientists determine the ages of stars? Is the technique really accurate enough to use it to verify the age of the universe? ([http://www.sciam.com/askexpert\\_question.cfm?articleID=000A6D41-76AA-1C72-9EB7809EC588F2D7&catID=3&topicID=2](http://www.sciam.com/askexpert_question.cfm?articleID=000A6D41-76AA-1C72-9EB7809EC588F2D7&catID=3&topicID=2)). Scientific American, 2006-07-13. [dostęp 2007-05-11].
- [80] *The End of the Main Sequence* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1997ApJ...482..420L>). „The Astrophysical Journal”. 482, ss. 420–432 (1997). doi:10.1086/304125 (<http://dx.doi.org/10.1086/304125>). [dostęp 2007-05-11].
- [81] Judith A. Irwin: *Astrophysics: Decoding the Cosmos*. John Wiley and Sons, 2007, s. 78. ISBN 0470013060.
- [82] A "Genetic Study" of the Galaxy (<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/pr-34-06.html>). ESO, 2006-09-12. [dostęp 2006-10-10].
- [83] *The Planet-Metallicity Correlation* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2005ApJ...622.1102F>). „The Astrophysical Journal”. 622 (2), ss. 1102–1117 (2005). doi:10.1086/428383 (<http://dx.doi.org/10.1086/428383>).
- [84] Signatures Of The First Stars (<http://www.sciencedaily.com/releases/2005/04/050417162354.htm>). ScienceDaily, 2005-04-17. [dostęp 2006-10-10].

- [85] S. Feltzing, Gonzalez, G.. *The nature of super-metal-rich stars: Detailed abundance analysis of 8 super-metal-rich star candidates* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2001A&A...367..253F>). „Astronomy & Astrophysics”. 367, ss. 253–265 (2000). doi:10.1051/0004-6361:20000477 (<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20000477>). [dostęp 2007-11-27].
- [86] David F. Gray: *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*. Cambridge University Press, 1992. ISBN 0521408687.
- [87] The Biggest Star in the Sky (<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1997/pr-05-97.html>). ESO, 1997-03-11. [dostęp 2006-07-10].
- [88] *Angular Diameter of Carbon Star Tx-Piscium from Lunar Occultation Observations in the Near Infrared* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1995JApAS..16..332R>). „Journal of Astrophysics and Astronomy”. 16 (1995). [dostęp 2007-07-05].
- [89] Kate Davis: Variable Star of the Month—December, 2000: Alpha Orionis (<http://www.aavso.org/vstar/vsots/1200.shtml>). AAVSO, 2000-12-01. [dostęp 2006-08-13].
- [90] A. V. Loktin. *Kinematics of stars in the Pleiades open cluster*. „Astronomy Reports”. 50 (9), ss. 714–721 (September 2006). doi:10.1134/S1063772906090058 (<http://dx.doi.org/10.1134/S1063772906090058>). Bibcode: 2006AREp...50..714L (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006AREp...50..714L>).
- [91] Hipparcos: High Proper Motion Stars (<http://www.rssd.esa.int/hipparcos/properm.html>). ESA, 1999-09-10. [dostęp 2006-10-10].
- [92] Hugh M. Johnson. *The Kinematics and Evolution of Population I Stars* (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1957PASP...69...54J>). „Publications of the Astronomical Society of the Pacific”. 69 (406) (1957). doi:10.1086/127012 (<http://dx.doi.org/10.1086/127012>).
- [93] *The Formation of Star Clusters* (<http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/15714/page/1>). „American Scientist”. 86 (3) (1999). doi:10.1511/1998.3.264 (<http://dx.doi.org/10.1511/1998.3.264>). [dostęp 2006-08-23].

## Przypisy

# Źródła i autorzy artykułu

**Gwiazda** Źródło: <http://pl.wikipedia.org/w/index.php?oldid=23468628> Autorzy: AI, Abyss, Akir, Anzelm, Ataleh, Balcer, Bambosz Karate, Beau, Beno, Bładyniec, Blueshade, Bulwersator, Cathy Richards, Chrumps, CiaPan, CommonsDelinker, Czart, Dax, Devik Crazystar, Equadus, Farary, Farmer Jan, Gang65, Gdarin, Grotesque, Gładka, Hashar, Highlight, Jadwiga, Jakubhal, Jogers, John Belushi, Joi, Jozef-k, Karol007, Kauczuk, Kocio, Kokorik, Konradek, Kpjas, Krzychu-1995, Lajskonik, LukKot, M.M.J.J, Marcin Suwalczan, MariuszR, Marmale, Masur, MatFizka, Mathiasrex, Mike Peel, Monika Mężyńska, Mpfiz, Mpn, Niki K, Nova, Phoven, Pilot Pirx, Pko, Powerek38, Purodha, RManka, Radmic, Radosław Ziomber, Refycul, Rogra, Roo72, Ryu, Selena von Eichendorf, Sfu, Sobi3ch, Stefaniak, Stepa, Stok, Stv, Taw, Teraw, Terminus666, Tik, Topory, Vigilium, W2023, Wiklol, Wkosin, WojciechSwiderski, Wojtalik, Yafi, Ymar, conversion script, ŁukaszWu, 77 anonimowych edycji

# Źródła, licencje i autorzy grafik

**Plik:Starsinthesky.jpg** Źródło: <http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Starsinthesky.jpg> Licencja: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Autorzy: European Space Agency (ESA/Hubble). Credit ESA/Hubble in any reuse of this image. Full details at <http://www.spacetelescope.org/copyright.html>

**Plik:Dibuix de Leo.png** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Dibuix\\_de\\_Leo.png](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Dibuix_de_Leo.png) Licencja: Public Domain Autorzy: Juiced lemon, Mattes, Mo-Slimy, Pérez, Shakko, Wolfmann, 1 anonimowych edycji

**Plik:123107main image feature 371 ys 4.jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:123107main\\_image\\_feature\\_371\\_ys\\_4.jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:123107main_image_feature_371_ys_4.jpg) Licencja: Public Domain Autorzy: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC)

**Plik:H-R diagram -edited-3.gif** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:H-R\\_diagram\\_-edited-3.gif](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:H-R_diagram_-edited-3.gif) Licencja: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Autorzy: User:Penubag

**Plik:Betelgeuse star (Hubble).jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Betelgeuse\\_star\\_\(Hubble\).jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Betelgeuse_star_(Hubble).jpg) Licencja: nieznany Autorzy: Duesentrieb, Duffman, Glenn, John Vandenberg, Juiced lemon, Lars Lindberg Christensen, Nikm, RHorning, Zwergelstern, 3 anonimowych edycji

**Plik:Crab Nebula.jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Crab\\_Nebula.jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Crab_Nebula.jpg) Licencja: nieznany Autorzy: NASA

**Plik:Sirius A and B artwork.jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Sirius\\_A\\_and\\_B\\_artwork.jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Sirius_A_and_B_artwork.jpg) Licencja: nieznany Autorzy: NASA, ESA Credit: G. Bacon (STScI)

**Image:The sun1.jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:The\\_sun1.jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:The_sun1.jpg) Licencja: nieznany Autorzy: DrKiernan, Halfdan, Patricia, Sebman81, Tom, 2 anonimowych edycji

**Image:Star-sizes.jpg** Źródło: <http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Star-sizes.jpg> Licencja: Creative Commons Attribution 3.0 Autorzy: Dave Jarvis

**File:Pleiades large.jpg** Źródło: [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Pleiades\\_large.jpg](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Pleiades_large.jpg) Licencja: Public Domain Autorzy: NASA, ESA, AURA/Caltech, Palomar Observatory

# Licencja

---

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>