

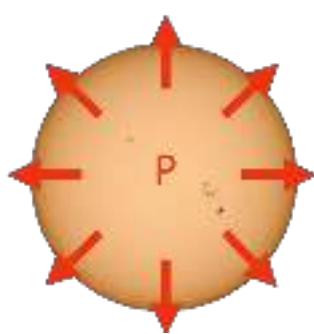
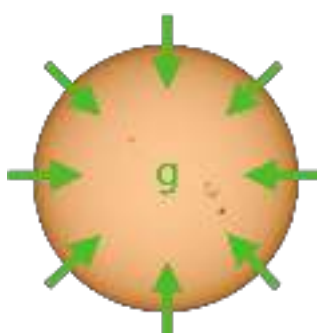
Wszechświat w mojej kieszeni



Życie gwiazd



Sylvia Ekström
University of Geneva



Grawitacja (g) powoduje kurczenie się gwiazdy. Gaz nagrzewa się i generuje ciśnienie (P), które przeciwdziała sile grawitacji: to jest faza „równowagi hydrostatycznej”.

Kolor gwiazd wskazuje na ich temperaturę powierzchniową. Najgorętsze gwiazdy są niebieskie, najchłodniejsze są czerwone.

GORĄCA

ZIMNA



25 000 K
Rigel



10 000 K
Sirius



6 000 K
Słońce



4 000 K
Aldebaran



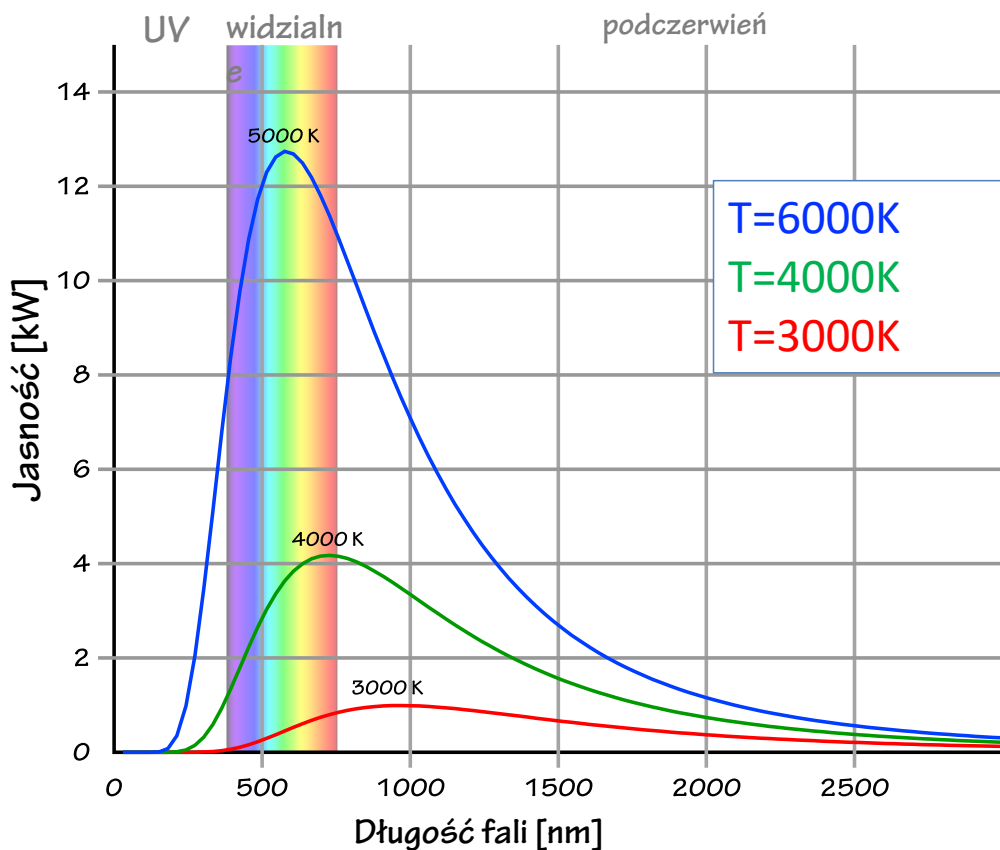
3 000 K
Antares

Czym jest gwiazda?

To **wielka kula gorącego gazu**.

Ponieważ jest tak masywna, grawitacja powoduje jej kurczenie się, a to sprężanie gazu powoduje jego nagrzewanie: gaz reaguje, wstrząsając atomami gwiazdy, wytwarzając ciśnienie, które przeciwdziała grawitacji. Im bardziej masywna gwiazda, tym silniejsza grawitacja, a tym samym gorętsza i jaśniejsza gwiazda.

Wizualnie, gorąca gwiazda jest **niebieskawa**, jak gwiazda Rigel w konstelacji Oriona, podczas gdy “chłodna” gwiazda jest **czzerwona**, jak Betelgeza, również w Orionie. Nasza gwiazda, Słońce, przy prawie 6000°K , jest żółta.



Ten diagram pokazuje jasność ciała w funkcji długości fali. Im chłodniejsze ciało, tym bardziej szczyt jasności przesuwają się w kierunku dłuższych fal.

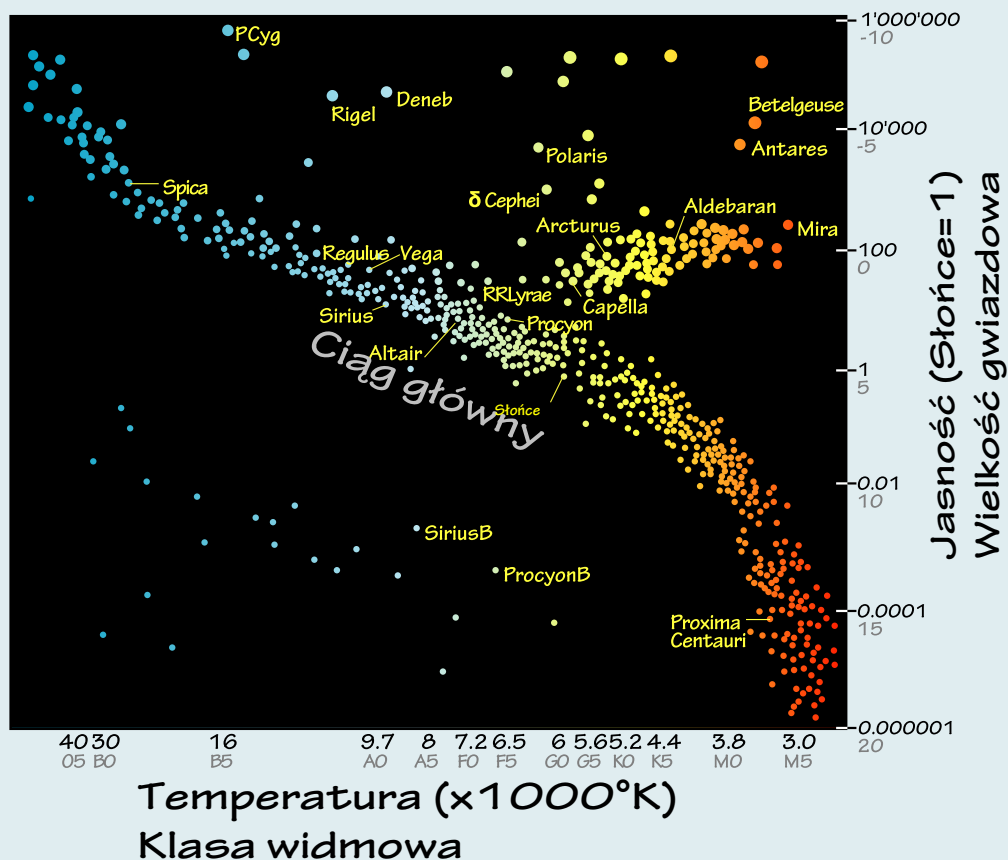


Zdjęcie kota zrobione kamerą termowizyjną, czułą na podczerwień. Ponieważ nos jest chłodniejszy, wydaje się mniej świetlisty.

Dlaczego gwiazdy świecą

Długo zastanawialiśmy się, co sprawia, że Słońce świeci. Czy spala węgiel? Czy zachodzą w nim reakcje chemiczne? W końcu zdaliśmy sobie sprawę, że Słońce świeci po prostu dlatego, że składa się z bardzo gorącego gazu, który emituje w świetle widzialnym. W zależności od temperatury, ciała osiągają szczyt jasności przy różnych długościach fal. Diagram obok pokazuje jasność w funkcji długości fali. Gwiazdy świecą najjaśniej w świetle widzialnym. Istoty żywe również świecą, ale w podczerwieni. Jeśli porównamy energię, którą emituje kot na jednostkę masy, jest ona 5000 razy większa niż energia emitowana przez Słońce na jednostkę masy, ponieważ reakcje chemiczne (nasz metabolizm) są bardziej wydajne w wytwarzaniu ciepła.

Diagram jasności w funkcji temperatury gwiazd w sąsiedztwie Słońca.



Podczas swojego życia gwiazdy poruszają się po tym diagramie. Ciąg główny to miejsce, w którym pozostają najdłużej.

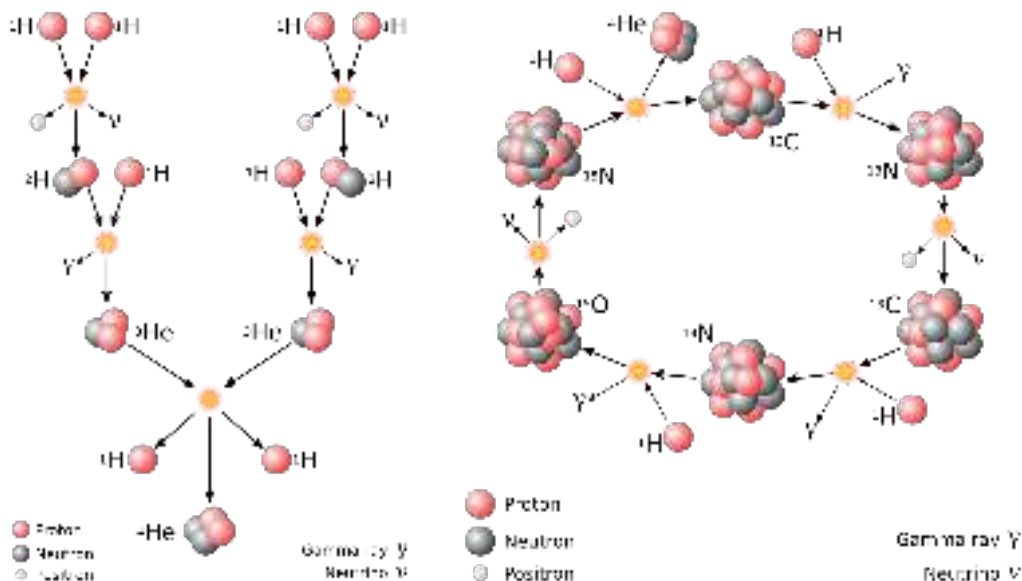
Typ widmowy	Temperatura ($^\circ\text{K}$)	% gwiazd
O	>30 000	0.05
B	9 700-30 000	0.13
A	7 200-9 700	0.6
F	6 000-7 200	3
G	5 200-6 000	7.6
K	3 800-5 200	12.1
M	2 500-3 800	76.5

Ciąg główny

Kiedy narysujemy gwiazdy na diagramie jasności w funkcji temperatury, widzimy, że 90% z nich leży na dużej, ukośnej linii zwanej **Ciągiem Głównym**. To pokazuje, że dla większości gwiazd istnieje związek między jasnością a temperaturą: najjaśniejsze gwiazdy są również najgorętsze.

Gwiazdy są klasyfikowane według ich **typu widmowego**, zdefiniowanego przez obecność i intensywność ich linii widmowych (patrz TUIMP 30), które są funkcją ich temperatury powierzchniowej (a zatem ich koloru): **O**, **B**, **A**, **F**, **G**, **K**, **M**, od najgorętszych do najchłodniejszych. Każda klasa przechodzi od 0 do 9. Gwiazdy **O** i **B** są najrzadsze. W rzeczywistości te gwiazdy o masie większej niż 8 mas Słońca stanowią tylko 0,18% wszystkich gwiazd. Słońce jest klasy **G2**.

Powstawanie helu w wyniku łańcuchów proton-proton lub cyklu CNO



Kiedy promieniowanie nie jest już skutecznym sposobem transportu energii, materia zaczyna się poruszać, jak woda gotująca się w garnku: to jest **konwekcja**.



Gwiazda o małej masie (< 1.3 masy Słońca)

Gwiazda o dużej masie (> 1.3 masy Słońca)



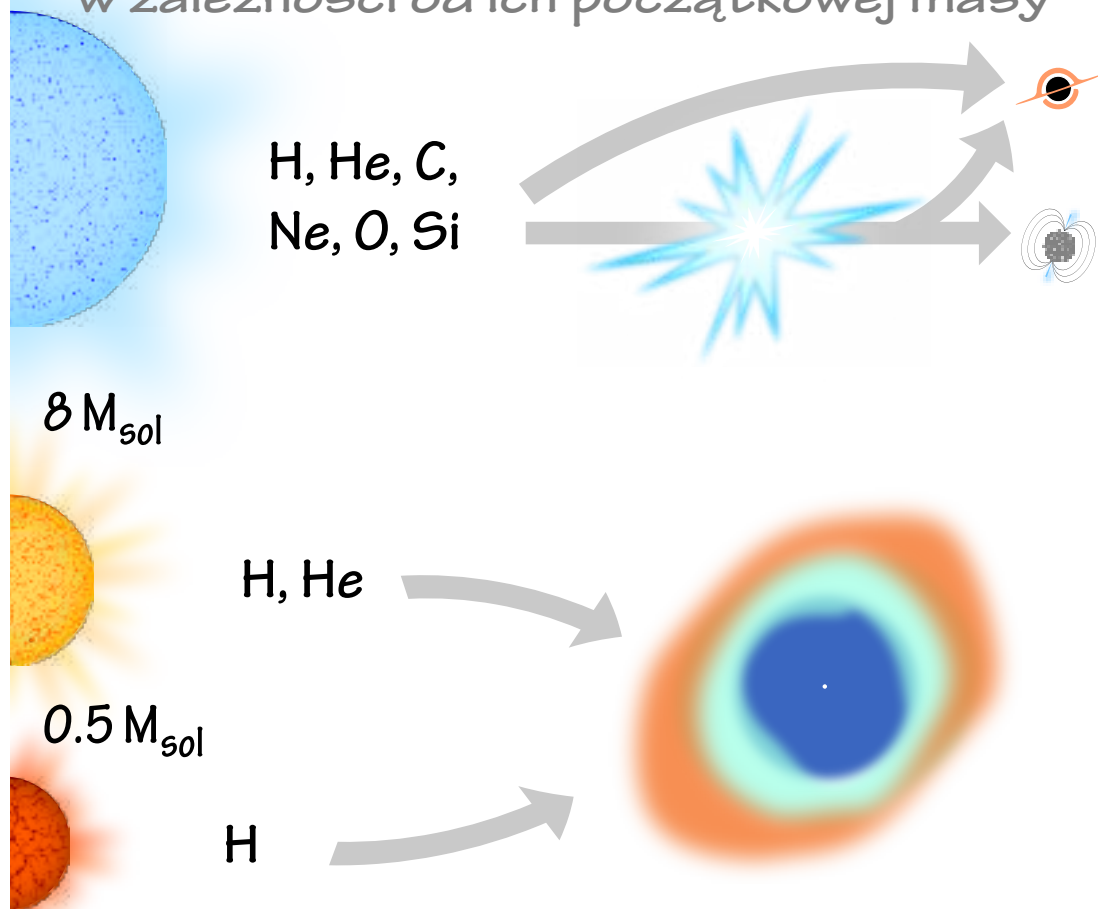
Ponieważ intensywności ich reakcji jądrowych są bardzo różne, gwiazdy o małej masie nie mają takiej samej struktury jak gwiazdy o dużej masie: te pierwsze mają jądro radiacyjne i otoczkę konwekcyjną, a te drugie mają jądro konwekcyjne i otoczkę radiacyjną. 8

Wszystko dzieje się w jądrze

Widzimy tylko **powierzchnię** gwiazd, ale to, co naprawdę decyduje o ich życiu, zachodzi **w ich jądrze**. Grawitacja ściska ich jądra tak mocno, że rozgrzewają się do milionów stopni — wystarczająco, by rozpoczęły się **reakcje jądrowe**.

Reakcje te podtrzymują gwiazdę, ponieważ energia, którą wytwarzają, tworzy ciśnienie przeciwdziałające grawitacji. Reakcje jądrowe, które przekształcają wodór w hel (patrz **TUIMP 14**), podtrzymują gwiazdę przez 90% jej życia. Gwiazdy o mniejszej masie łączą protony, tworząc hel (**łańcuchy proton-proton**). Gwiazdy o większej masie wykorzystują jądra węgla, azotu i tlenu jako katalizatory (**cykl CNO**), co pozwala im generować znacznie więcej energii, ale z dużo krótszym czasem życia.

Schemat ewolucji gwiazd w zależności od ich początkowej masy



Gwiazdy o najmniejszej masie spalają tylko wodór. Te o masie od 0,5 do 8 razy większej od masy Słońca spalają również hel, a następnie kończą swoje życie jako białe karły otoczone mgławicą planetarną.

Gwiazdy o masie większej niż 8 mas Słońca łączą nawet większe atomy, takie jak C, Ne, O i Si. Ostatecznie wybuchają jako supernowa lub zapadają się bezpośrednio w czarną dziurę.

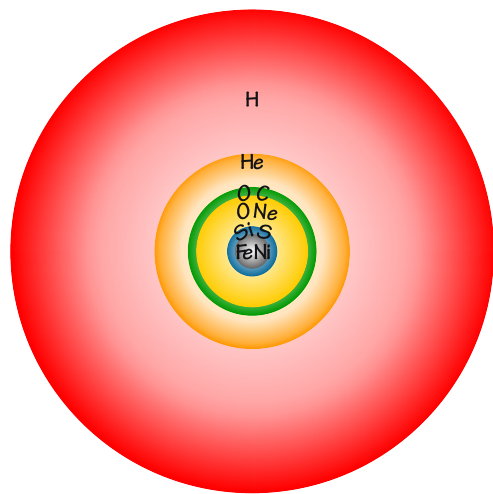
Jak ewoluują gwiazdy

Kiedy wodór w jądrze zostanie wyczerpany, jądro kurczy się, zwiększając swoją temperaturę, aż osiągnie temperaturę fuzji helu. To kurczenie się uwalnia energię grawitacyjną, powodując pęcznienie otoczki i przekształcenie się gwiazdy w **czernego olbrzyma**. Kiedy hel się wyczerpie, jądro ponownie się kurczy.

Dla gwiazd o masie mniejszej niż 8 mas Słońca jest to koniec ewolucji. Ich jądro staje się **białym karłem** i już nie ewoluuje. Powoli stygnie, a atmosfera staje się **mgławicą planetarną** (patrz TUIMP 36).

Z drugiej strony, masywne gwiazdy osiągają bardzo wysokie temperatury w swoich jądrach i przechodzą przez szereg faz fuzji, przeplatanych fazami kurczenia się. Ewolucja masywnych gwiazd kończy się wybuchem **supernowej** lub bezpośrednim zapadnięciem się w **czarną dziurę**.

Reakcje jądrowe kolejnych faz zachodzą coraz głębiej w jądrach masywnych gwiazd. Pod koniec swojej ewolucji gwiazdy mają strukturę cebulową z wieloma warstwami.



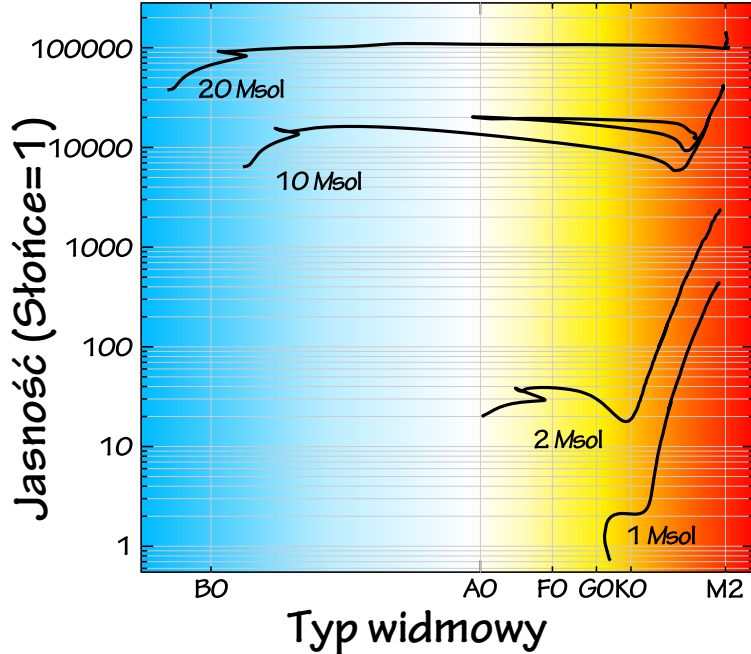
Wszystkie ciężkie pierwiastki są produkowane w gwiazdach. Ta tabela pokazuje, w jakim typie gwiazdy (wg C. Kobayashi 2020)

1 H	Wielki Wybuch 										Spalacja 										2 He						
3 Li	4 Be	Supernowe i gwiazdy neutronowe 										Masywne gwiazdy 										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	Gwiazdy o małej masie 										Eksplzja białych karłów 										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe										
55 Cs	56 Ba	57 -71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn										
87 Fr	88 Ra	89 -92																									
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu											
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	12																					

Gwiazdy: fabryki pierwiastków

Po spaleniu wodoru, a następnie helu w swoich jądrach, najbardziej masywne gwiazdy kolejno wykorzystują **węgiel**, **neon**, **tlen i krzem** jako paliwo, tworząc coraz cięższe pierwiastki coraz głębiej w swoich jądrach. Ewolucja gwiazdy przyspiesza, gdy zaczyna ona produkować coraz więcej **neutrin**, które odprowadzają energię z jądra, nie powodując jego ogrzewania. Węgiel wypala się w ciągu kilku tysięcy lat, podczas gdy krzem może podtrzymywać gwiazdę tylko przez kilka dni!

Niektóre z pierwiastków wytwarzanych w jądrach gwiazd są wyrzucane do ośrodka międzygwiazdowego przez mgławice planetarne lub supernowe. Inne pozostają na zawsze uwięzione w białych karłach, gwiazdach neutronowych lub czarnych dziurach i nie uczestniczą w ewolucji chemicznej Wszechświata.



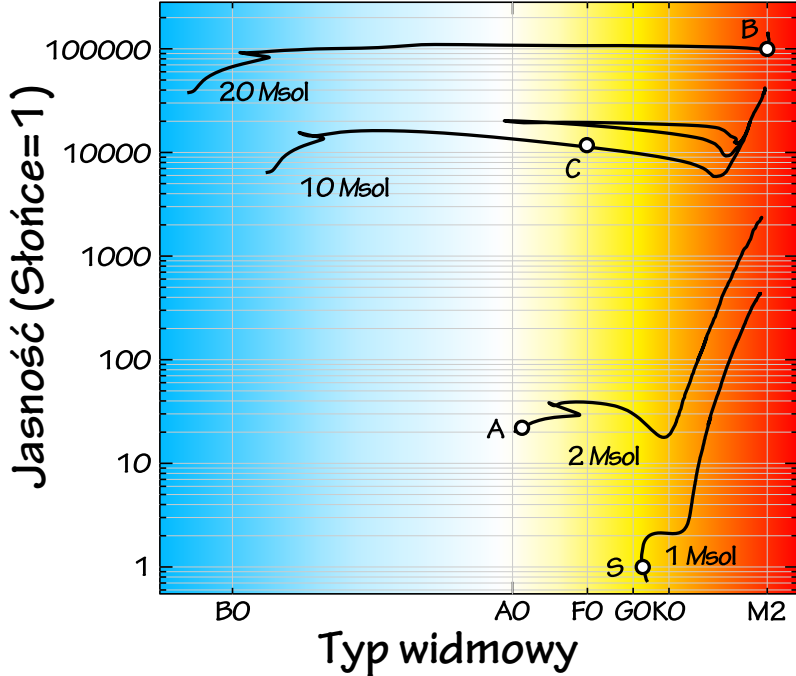
Quiz

Ten diagram pokazuje ewolucję gwiazd o masach 1, 2, 10 i 20 mas Słońca.

Umieść na nim następujące gwiazdy:

	Jasność	Typ widmowy
Słońce	1	G2
Syriusz A	25	A1
Kanopus	13600	F0
Betelgeza	105000	M2

- 1) Która z tych gwiazd jest najzimniejsza?
Najgorętsza?
- 2) Jakie są masy tych gwiazd?
- 3) Które z nich nie zakończyły jeszcze spalania całego wodoru w swoim jądrze?
- 4) Które gwiazdy wybuchną jako supernowe?
- 5) Która gwiazda będzie żyła najdłużej?



Odpowiedzi

Na diagramie pozycje Słońca, Syriusza A, Betelgezy i Kanopusa są reprezentowane przez litery S, A, B i C.

Odpowiedzi na pytania:

- 1) Betelgeza. Syriusz A.
- 2) 1, 2, 10, 20 mas Słońca.
- 3) Słońce i Syriusz A.
- 4) Betelgeza i Kanopus.
- 5) Słońce.

Wszechświat w mojej kieszeni nr 29

Sylvia Ekström z Obserwatorium w Genewie jest autorką tej książeczki napisanej w 2025 roku. Książeczka została zrewidowana przez Grażynę Stasińską z Obserwatorium w Paryżu oraz Stana Kurtza z IRyA (Morelia, Meksyk).

Zdjęcie na okładce: Rzut oka do wnętrza Słońca. Przegrzane jądro generuje energię poprzez reakcje jądrowe. Otoczka jest poruszana przez konwekcję, jak woda w rondlu. Wszystkie zdjęcia w tej broszurze są autorstwa Sylwii Ekström, z wyjątkiem łańcuchów reakcji na stronie 8 (Wikimedia Commons) i zdjęcia kota (<https://www.facebook.com/FLIR/posts/happy-internationalcatday/2476717149041777/>).



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii i tematach poruszanych w tej broszurze, odwiedź stronę <http://www.tuimp.org>.

Tłumaczenie: Anna Wójtowicz
TUIMP Creative Commons

