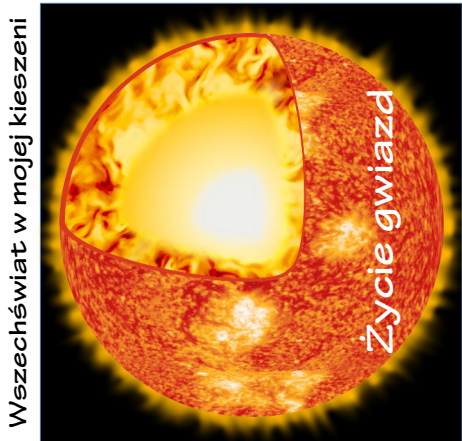
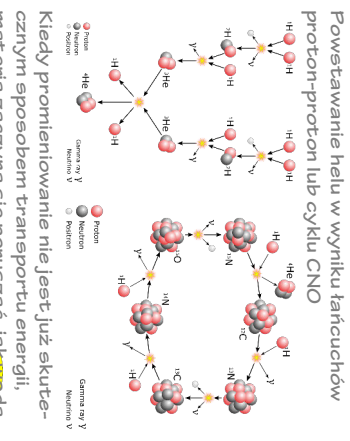
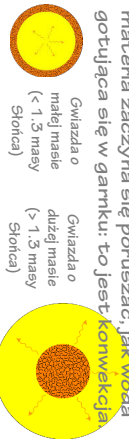


Ponieważ intensywność ich reakcji jądrowych są bardzo różne, gwiazdy o małej masie nie mają takiej samej struktury jak gwiazdy o dużej masie: te pierwsze mają jądro najaśniejsze i otoczkę konwekcyjną, a te drugie mają jądro konwekcyjne i otoczkę radiacyjną.



Sylvia Ekström
University of Geneva

TUIMP
Nr 29
THE UNIVERSE IN MY POCKET

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 rozпочząć 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 (**łańcuch 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.

Quiz

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

Ten diagram pokazuje ewolucję gwiazd o masach 1, 2, 10 i 20 mas Słońca. Umieść na nim następujące gwiazdy:

- 1) Która z tych gwiazd jest najmniejsza? 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?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm

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)

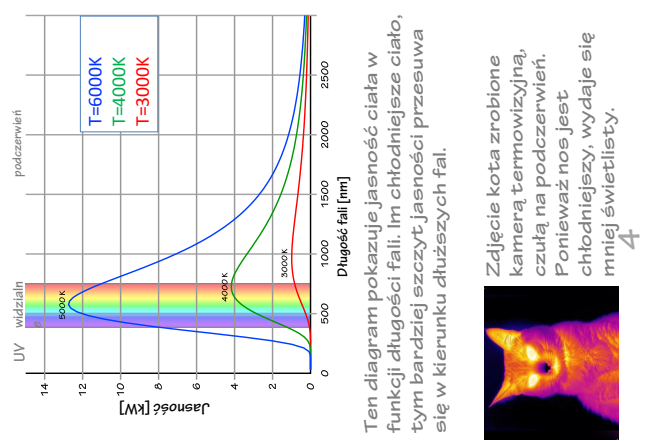
Gwiazdy: fabryki pierwiastków

Po spalaniu 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 **neutronów**, które odprowadzają energię z jądra, nie powodując jego ogrzewania. Węgiel wypala się w ciągu kilku tysięcy lat, podczas gdy krzem może podtrzymać 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 uwiecznione w białych karłach, gwiazdach neutronowych lub czarnych dziurach i nie uczestniczą w ewolucji chemicznej Wszechświata.

Dlaczego gwiazdy świecą?

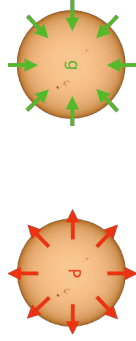
Długo zastanawialiśmy się, co sprawia, że Słońce świeci. Czy spala węgiel? Czy zachodzą w nim reakcje chemiczne? W końcu zdaliśmy sobie sprawę, że Słońce świeci po prostu dlatego, że składa się z bardzo gorącego gazu, który emituje w świetle widzialnym. W zależności od temperatury, ciała osiągają szczyt jasności przy różnych długościach fal. Diagram obok pokazuje jasność w funkcji długości fal. Gwiazdy świecą najjaśniejsze w świetle widzialnym. Istotny 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 (masz metabolizm) są bardziej wydajne w wytwarzaniu ciepła.





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

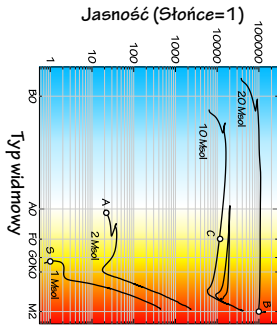
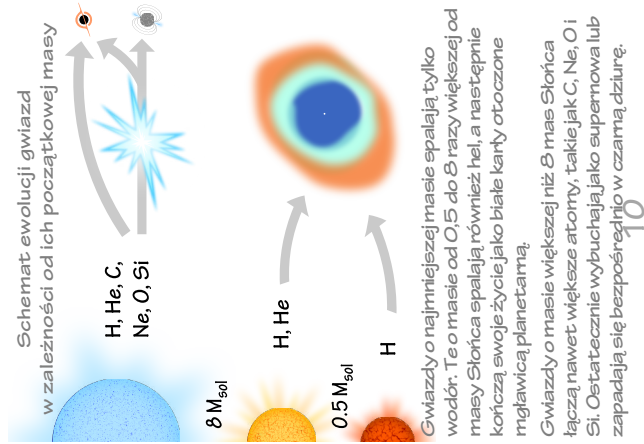
Grawitacja (g) powoduje kurczenie się gwiazdy. Gaz nagrzewa się i generuje ciśnienie (P), które przeciwdziała sile grawitacji: to jest faza „równowagi hydrostatycznej”.



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 TULP 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 **O** 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 $G2$.



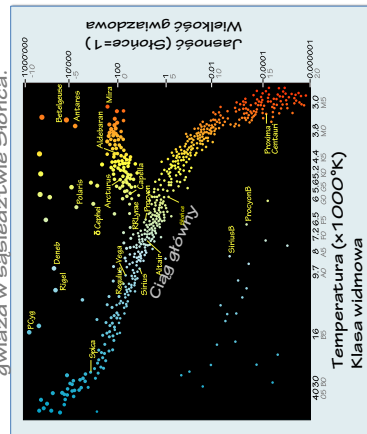
Odpowiedzi

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

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

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, powodującę pęcznienie otoczek i przekształcanie się gwiazd w **czerwonego 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 TUMIP 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**.



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

Typidmnoy	Temperatura (°C)	%glizol
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

Czym jest gwiazda?

To wielka kula **gorącego gazu**.
Potemwaz, jest tak masywna, grawitacja powoduje jej kurczenie się, a to sprężanie gazu powoduje jego nagrzewanie: gaz reaguje, wstrzykując energię atomarni gwiazdy, wytwarzając ciśnienie, które przeciwdziała grawitacji. Im bardziej masywna gwiazda, tym silniejsza grawitacja, a tym samym gorętsza i jaśniejsza gwiazda.

Wizualnie, gorąca gwiazda jest **niebieskawą**, jak gwiazda Rigel w konstellacji Oriona, podczas gdy "chłodna" gwiazda jest **czerwona**, jak Betelgeza, również w Orionie. Nasza gwiazda, Słońce, przy prawie 6000°K, jest żółta.