

Powstawanie helu w wyniku łańcuchów proton-proton lub cyklu CNO

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

Gwiazda o małej masie (< 1,3 masy Słońca)

Gwiazda o dużej masie (> 1,3 masy Słońca)

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 radiacyjne i otoczkę konwekcyjną, a te drugie mają jądro konwekcyjne i otoczkę radiacyjną.

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 wytworzą, tworzy ciśnienie przeciwdziałające grawitacji. Reakcje jądrowe, które przekształcają wodór w hel (zobacz 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.

Życie gwiazd

Sylvia Ekström
University of Geneva

TUIMP
Nr 29
THE UNIVERSE IN MY POCKET

Quiz

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

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

1) Która z tych gwiazd jest najmniejsza? Najgorętsza?
 2) Jakiej 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?

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)

Wielkość	Spalanie	Wielkość	Spalanie
1	Wodór	2	Hel
3	Wodór	5	Hel
4	Wodór	6	Hel
5	Wodór	7	Hel
6	Wodór	8	Hel
7	Wodór	9	Hel
8	Wodór	10	Hel
9	Wodór	11	Hel
10	Wodór	12	Hel
11	Wodór	13	Hel
12	Wodór	14	Hel
13	Wodór	15	Hel
14	Wodór	16	Hel
15	Wodór	17	Hel
16	Wodór	18	Hel
17	Wodór	19	Hel
18	Wodór	20	Hel
19	Wodór	21	Hel
20	Wodór	22	Hel
21	Wodór	23	Hel
22	Wodór	24	Hel
23	Wodór	25	Hel
24	Wodór	26	Hel
25	Wodór	27	Hel
26	Wodór	28	Hel
27	Wodór	29	Hel
28	Wodór	30	Hel
29	Wodór	31	Hel
30	Wodór	32	Hel
31	Wodór	33	Hel
32	Wodór	34	Hel
33	Wodór	35	Hel
34	Wodór	36	Hel
35	Wodór	37	Hel
36	Wodór	38	Hel
37	Wodór	39	Hel
38	Wodór	40	Hel
39	Wodór	41	Hel
40	Wodór	42	Hel
41	Wodór	43	Hel
42	Wodór	44	Hel
43	Wodór	45	Hel
44	Wodór	46	Hel
45	Wodór	47	Hel
46	Wodór	48	Hel
47	Wodór	49	Hel
48	Wodór	50	Hel
49	Wodór	51	Hel
50	Wodór	52	Hel
51	Wodór	53	Hel
52	Wodór	54	Hel
53	Wodór	55	Hel
54	Wodór	56	Hel
55	Wodór	57	Hel
56	Wodór	58	Hel
57	Wodór	59	Hel
58	Wodór	60	Hel
59	Wodór	61	Hel
60	Wodór	62	Hel
61	Wodór	63	Hel
62	Wodór	64	Hel
63	Wodór	65	Hel
64	Wodór	66	Hel
65	Wodór	67	Hel
66	Wodór	68	Hel
67	Wodór	69	Hel
68	Wodór	70	Hel
69	Wodór	71	Hel
70	Wodór	72	Hel
71	Wodór	73	Hel
72	Wodór	74	Hel
73	Wodór	75	Hel
74	Wodór	76	Hel
75	Wodór	77	Hel
76	Wodór	78	Hel
77	Wodór	79	Hel
78	Wodór	80	Hel
79	Wodór	81	Hel
80	Wodór	82	Hel
81	Wodór	83	Hel
82	Wodór	84	Hel
83	Wodór	85	Hel
84	Wodór	86	Hel
85	Wodór	87	Hel
86	Wodór	88	Hel
87	Wodór	89	Hel
88	Wodór	90	Hel
89	Wodór	91	Hel
90	Wodór	92	Hel
91	Wodór	93	Hel
92	Wodór	94	Hel
93	Wodór	95	Hel
94	Wodór	96	Hel
95	Wodór	97	Hel
96	Wodór	98	Hel
97	Wodór	99	Hel
98	Wodór	100	Hel

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 zrealizowaliśmy sprawę, że Słońce świeci po prostu dlatego, że składa się z bardzo gorącego gazu, który emituje w świetle widzialnym. W zależności od temperatury, ciała oświecają 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 jednoznaczność 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.

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

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

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 istnieją 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 TUMIP 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 G 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.

10

Schemat ewolucji gwiazd w zależności od ich początkowej masy

H, He, C, Ne, O, Si

H, He

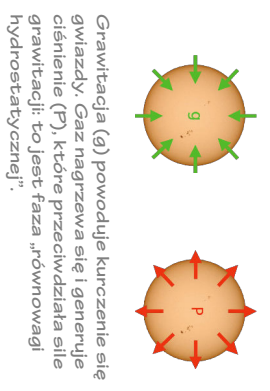
H

8 M_{sol}

0.5 M_{sol}

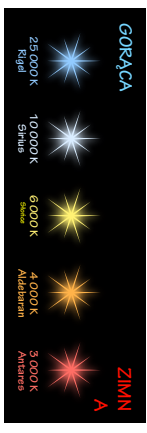
Gwiazdy o najmniejszej masie spalają tylko wodór. Te o masie od 0,5 do 8 razy większej od masy Słońca spalają również hel, a następnie kończą swoje życie jako białe karły otoczone mgławicą planetarną.

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.



Gravitacja (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.

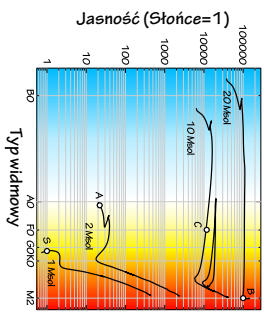


Odpowiedzi

Na diagramie pozycje Słońca, Syriusza A, Betelgezy i Kanopus 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.



Jak ewoluują gwiazdy

Kiedy wodoru w jądrze zostanie wyczerpany, jądro kurczy się, zwiększając swoją temperaturę, aż osiągnie temperaturę fuzji helu. To kurczenie się uwalnia energię grawitacyjną, powodując pęcznienie otaczki i przekształcenie się gwiazdy 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**, już nie ewoluje. Powoli stygnie, a atmosfera staje się **mgławicą planetarną** (patrz TUMIP 30).

Z drugiej strony, masywne gwiazdy osiagają 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**.

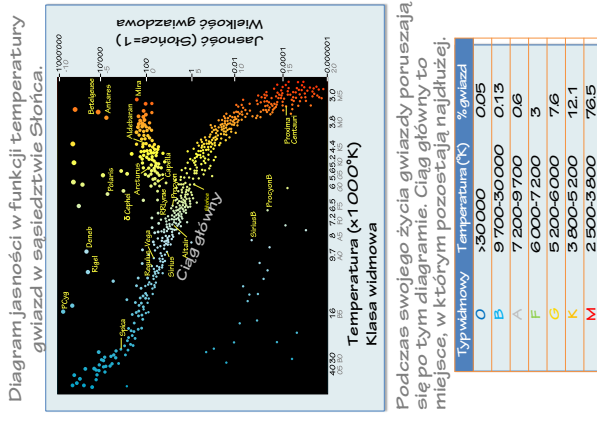
Wszelchświat w mojej kieszeni nr 29

Syria Ekström z Obserwatorium w Genewie jest autorką tej Księżyczki napisanej w 2025 roku. Księżyczka została zrealizowana przez Grażynę Stasińską z Obserwatorium w Paryżu oraz Stana Kurtza z IKyA (Morelia, Meksyk).

Zdjęcie na okładce: Rzut oka do wnętrza Słońca. Przechodząc przez generację energii poprzez reakcje jądrowe, Odczeka jest ponoszona przez konwekcję, jak woda w rondlu. Wszystkie zdjęcia w tej broszurze są autorstwa Syrii Ekström z wykorzystaniem latouchów reakcji na stronie B (Wikimedia Commons) i zdjęcia korta (<https://www.flickr.com/photos/amyppri/17800000000/>).

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

Tłumaczenie: Anna Wójciszcz TUMIP Creative Commons



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, wstrzymując atomy gwiazdy, wytwarzając ciśnienie, które przeciwdziała grawitacji. Im bardziej masywna gwiazda, tym silniejsza grawitacja, a tym silniejsza jej jądro gwiazda.

Wzrost, gorąca gwiazda jest **niedziękawa**, jak gwiazda Rigeli w konstellacji Oriona, podczas gdy "chłodna" gwiazda jest **czerwona**, jak Betelgeza, również w Orionie. Naeza gwiazda, Słońce, przy prawie 6000K, jest żółta.