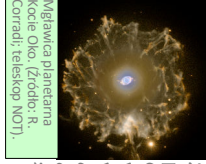




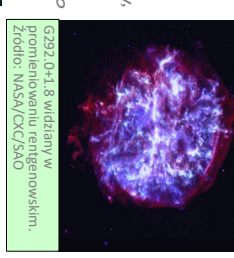
Pochodzimy od gwiazd

Wszechświat w mojej kieszeni



Złożone zdjęcie mgławicy planetarnej Kocie Oko. Obiekt ten powstał w wyniku kilku epizodów wiatrów gwiazdowych emanujących z gwiazdy centralnej, która obecnie zmienia się w białego karła.

G292.0+1.8: Pozostałość po supernowej pochodząca z masywnej gwiazdy, która wyrzuciła dużo tlenu, magnezu i neonu do otórka międzygwiazdowego.



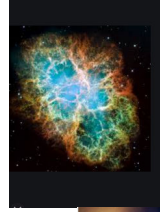
G292.0+1.8 widziany w promieniowaniu rentgenowskim. Źródło: NASA/CXC/SSO

Uważa się, że całe złoto Układu Słonecznego powstało podczas zderzenia dwóch gwiazd **neutronowych**.



8

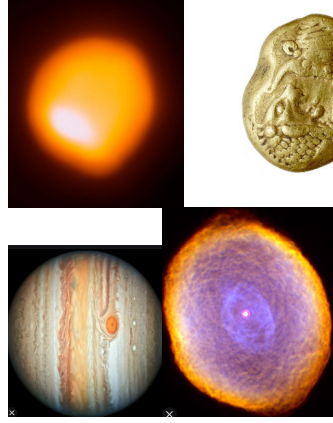
Odpowiedź na odwrócie



Skąd pochodzi złoto?



Quiz



Wiatry, zderzenia, wybuchy

Niektóre **piersiastki** powstałe w gwiazdach są wyrzucane do otórka międzygwiazdowego, podczas gdy reszta jest na zawsze zamknięta w „gwiazdnych ciastach”, czyli białych karłach, gwiazdach **neutronowych** i czarnych dziurach.

Gwiazdy o masie mniejszej niż 8 Słońc spokojnie rozpraszają swoje zewnętrzne warstwy, wyrzucając azot, węgiel i niektóre **piersiastki** cięższe od żelaza.

Bardziej masywne gwiazdy kończą swoje życie w spektakularnej eksplozji, tzw. supernowej, wyrzucając między innymi węgiel, tlen, neon, magnez i krzem. Podczas tej eksplozji powstają ciężkie **piersiastki**, na przykład uran. Inne ciężkie **piersiastki**, takie jak złoto, wymagają bardzo dużej gęstości **neutronów**.

9

13

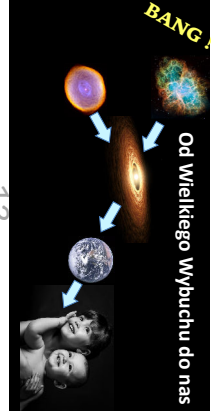
Od gwiazd do żywych istot

Zanim **piersiastki** staną się częścią żywej istoty, muszą przejść przez wiele etapów, które są nadal słabo poznane. Najpierw tworzą się chmury **molekuł** i pyłu, w których rodzą się gwiazdy. Gwiazdy te, jeszcze bardzo młode, są otoczone dyskiem protoplanetarnym, zbudowanym z grudek pyłu i lodu.

To z tego dysku powstają planety. Ich skład chemiczny różni się w zależności od odległości od gwiazdy: im mniejsza odległość, tym łatwiej jest rozproszyć lotne **piersiastki**. Zależy to również od masy planet: im mniejsza masa, tym łatwiej jest uciec lżejszym cząstkom. W miarę formowania się planety następuje segregacja **piersiastków**, tak że jądro ma inny skład niż skorupa. Wreszcie to z materiałów znajdujących się w skorupie powstają żywe istoty.

Masowy procent **piersiastków** chemicznych w różnych lokalizacjach

	Ilość protonów	Układ Słoneczny	Skorupa Ziemia	Ludzkie ciało
H	1	70.5	0.14	9.5
He	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006



12

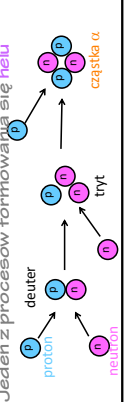
Wodór i hel

Kiedy Wszechświat był bardzo gęsty i gorący ($T = 10^{12}$ K), krótko po Wielkim Wybuchu, składał się on jedynie z podstawowych cząstek materii i zianen światła zwanych fotonami.

Gdy ozięły, cząstki połączyły się w **protony** i **neutrony** w równych ilościach. Jednak gdy temperatura spadła, **protony** przejęły kontrolę ze względu na ich mniejszą masę. Kiedy temperatura spadła poniżej 10^9 K, na każdy **neutron** przypadało 7 **protonów**.

Następnie **neutrony** i **protony** połączyły się tworząc jądra. Najstabilniejszym jądrem, jakie mogło powstać w tamtym czasie, był **hel**. Do utworzenia **helu** użyto wszystkie dostępne **neutrony**, dając jedno jądro **helu** na każde 12 jąderek **wodoru** pod koniec pierwotnej epoki.

5



Jeden z procesów formowania się **helu** W artykule z Alpher i Bethe z 1948 r., George Gamow zaproponował teorię powstawania pierwotnego **wodoru** i **helu**. Autorzy argumentowali, że wszystkie inne pierwiastki również powstały w Wielkim Wybuchu przez sukcesywne dodawanie **cząstek α** . Ale w tej kwestii się mylili.

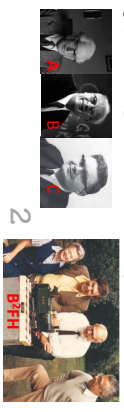
Proton: składa się z trzech cząstek elementarnych, kwarków. Posiada pozytywny ładunek elektryczny i masę 1.672×10^{-24} g.

Neutron: składa się z trzech kwarków, nie ma ładunku elektrycznego. Jego masa wynosi 1.674×10^{-24} g.

Elektron: cząstka o ujemnym ładunku elektrycznym, której masa stanowi około 1/2000 masy **protonu**.

Wodór: najlżejszy pierwiastek. Zbudowany jest z **protonu** i **elektronu**.

Hel: najlżejszy stabilny pierwiastek po **wodorze**. Składa się z **cząstki α** i dwóch **elektronów**.

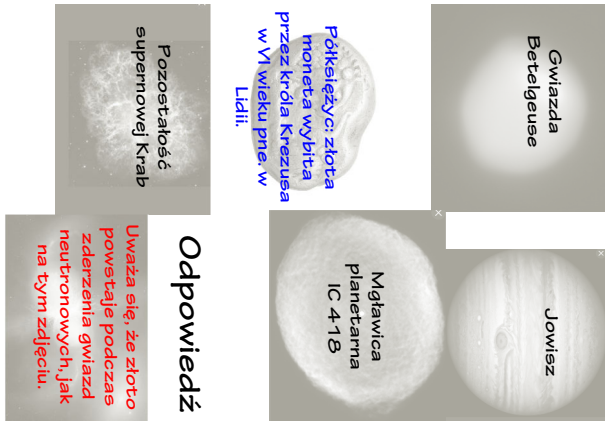


2

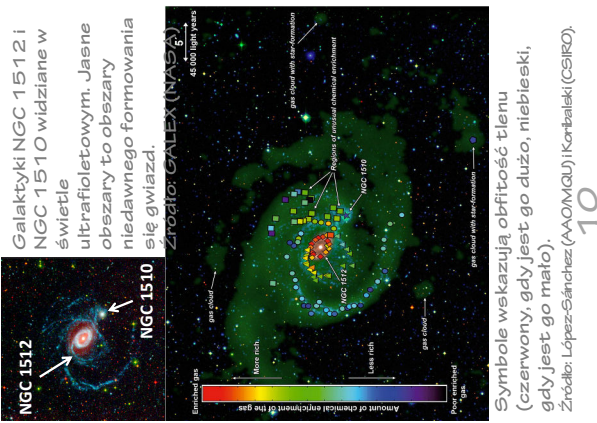
Historia nukleosyntezy gwiazdowej:
W 1931 roku Robert d'Escourt Atkinson **A** opublikował artykuł „Sintezą atomów i energia gwiazd”. W latach 1936 i 1939 Hans Bethe **B** zidentyfikował dwa mechanizmy transformujące wodór w hel w gwiazdach. W 1946 roku Fred Hoyle pokazał jak pierwiastki są syntezowane z wodoru. Margaret i Geoffrey Burbidge, William Fowler oraz Fred Hoyle **B²FH** opublikowali w 1957 szczegółowy artykuł „Sintezą pierwiastków w gwiazdach”. W tym samym roku, Alastair Cameron **C** opublikował artykuł „Reakcje jądrowe w gwiazdach i nukleosynteza”.

Atomy są podstawowymi składnikami materii. Składają się z **jądra** (zawierającego **protony** i **neutrony**) oraz **elektronów**. Atomy łączą się w **molekuły** poprzez dzielenie własnych elektronów. Komórki ludzkiego ciała składają się z miliardów **molekuł**.

Fuzja w gwiazdach
Bardzo gorące i gęste jądro gwiazdy zapewnia idealne warunki do produkcji większych i jeszcze większych **jąderek**. Początkowo atomy **wodoru** łączą się do **helu**, co odpowiada najdłuższemu etapowi życia gwiazdy. Prawie wszystkie świecące gwiazdy czerpią energię z tego procesu.
Gdy **wodór** zostanie zużyty, jądro **helowe** skrapla się, a jego temperatura wzrasta. Następnie **jądra helu** łączą się w grupy po trzy tworząc węgiel, podczas gdy **wodór** nadal wytwarza **hel** w zewnętrznych warstwach gwiazdy. Następnie tworzą się cięższe **jądra** przez dalsze dodawanie **cząstek α** w różnych warstwach. Jeśli gwiazda jest wystarczająco masowna, proces ten trwa do momentu powstania żelaza. **Jądra** cięższe od żelaza powstają w różnych warunkach przez dodanie **neutronów**.



Odpowiedź
Uważa się, że złoto powstaje podczas zderzenia gwiazd neutronowych, jak na tym zdjęciu.



Symbolikę wskazują obfitość tlenu (czerwony, gdy jest go dużo, niebieski, gdy jest go mało).
Źródło: López-Sánchez (A&M&G) i Korbaleki (CSIRO).



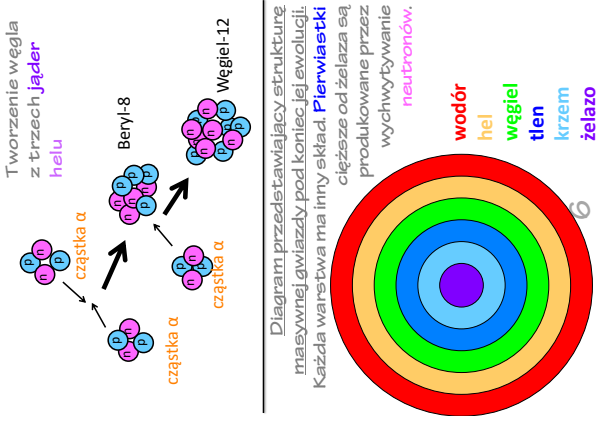
Aby dowiedzieć się więcej o tej serii i o temacie przedstawionym w tej książeczce odwiedź:
<http://www.tuimp.org>

Wszelchświat w mojej kieszeni Nr 14
Niniejsza książeczka została napisana w 2020 przez Grzywnę Stasińską z Obserwatorium Paryskiego (Francja) i sprawdzona przez Nikos Prantzios z Instytutu Astrofizyki w Paryżu.

Kosmiczna Odyseja Pierwiastków
Po uwolnieniu do ośrodka międzygwiazdowego, **pierwiastki** rozpoczynają długą podróż przez galaktyki, zanim zostaną uwięzione podczas formowania się nowych gwiazd. W ten sposób kolejne generacje gwiazd stają się bogatsze w węgiel, azot, tlen i inne pierwiastki.
Podróż **pierwiastków** przez ośrodek międzygwiazdowy bywa kręta, a perturbacje są powiązane ze zderzeniami między galaktykami. **Pierwiastki** uwolnione podczas wybuchów supernowych mogą nawet przedostać się do ośrodka międzygalaktycznego, a ostatecznie trafić do innych galaktyk.

Ostatnie symulacje numeryczne sugerują, że wiele **pierwiastków** obecnych w Drodze Mlecznej pochodzi z innych galaktyk.

Nasze ciała składają się z wody (63%), białek (20%), tłuszczu (10%), cukrów (2%) i wielu różnych minerałów (5%).
Od końca XVIII wieku, czyli od czasu intensywnego rozwoju chemii wiemy, że wszystkie te materiały składają się ze złożonych **molekuł** zawierających **atomy** wodoru, węgla, tlenu i mniej liczności innych **pierwiastków**.
Pierwiastki te są dokładnie tymi samymi co znalezione w roślinach, skorupie ziemskiej, jak również w atmosferze.
Używając spektroskopii astronomowie pokazali, że takie same **pierwiastki** są znajdowane w gwiazdach. Jednakże dopiero w połowie XX wieku astronomom udało się zrozumieć pochodzenie tych **pierwiastków** i odkryć bardzo ściśle powiązanie, które łączy nas z gwiazdami.



wodór
hel
węgiel
tlen
krzem
żelazo

3

10

11

6