

Wszechświat w mojej kieszeni



Pochodzimy
od gwiazd



Grażyna Stasińska
Obserwatorium Paryskie

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**.

Historia nukleosyntezy gwiazdowej:

W 1931 roku Robert d'Escourt Atkinson **A** opublikował artykuł „Synteza atomów i energia gwiazd”. W latach 1938 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 „Synteza pierwiastków w gwiazdach”. W tym samym roku, Alastair Cameron **C** opublikował artykuł „Reakcje jądrowe w gwiazdach i nukleogeneza”.



2



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 mniejszej ilości 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.

3

Wodór i hel

Proton: składa się z trzech cząstek elementarnych, kwarków. Posiada pozytywny ładunek elektryczny i masę $1.672\ 649 \times 10^{-24}$ g.

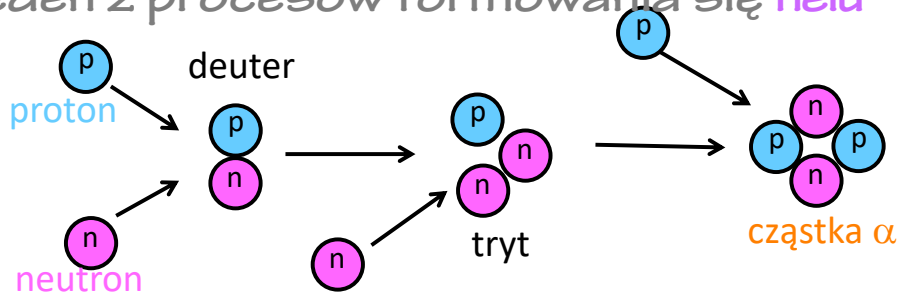
Neutron: składa się z trzech kwarków, nie ma ładunku elektrycznego. Jego masa wynosi $1.674\ 93 \times 10^{-24}$ g.

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.

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.

4

Kiedy Wszechświat był bardzo gęsty i gorący ($T = 10^{12}$ K), krótko po Wielkim Wybuchu*, składał się on jedynie z podstawowych cząstek materii i 'ziaren' światła zwanych fotonami.

Gdy ostygły, cząstki połączyły się w protony i neutrony w równych ilościach. Jednak gdy temperatura zmalała, 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 jąder wodoru pod koniec pierwotnej epoki.

* patrz tuimp 12 5

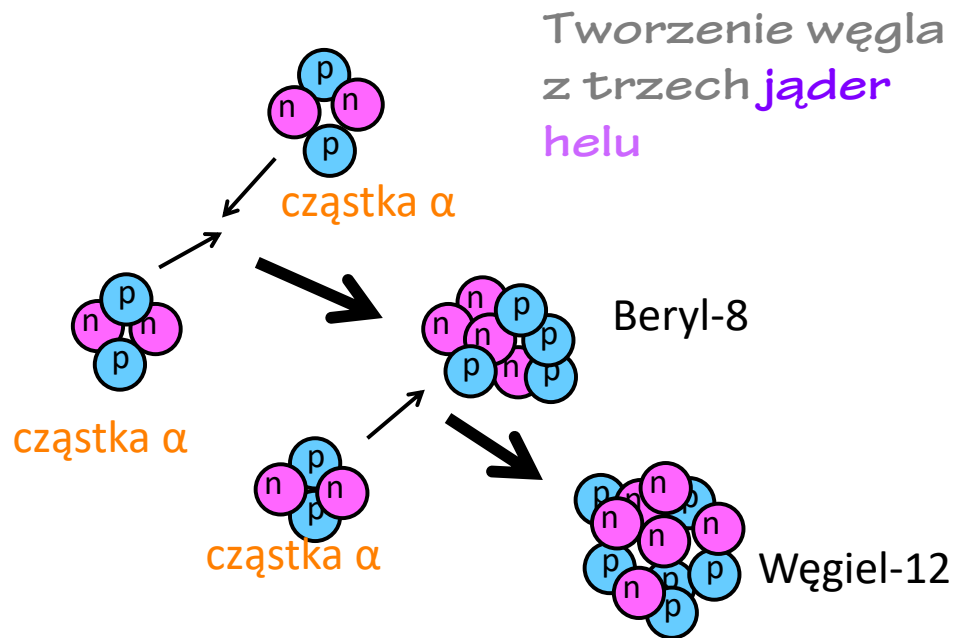


Diagram przedstawiający strukturę masywnej gwiazdy pod koniec jej ewolucji. Każda warstwa ma inny skład. Pierwiastki cięższe od żelaza są produkowane przez wychwytywanie neutronów.



Fuzja w gwiazdach

Bardzo gorące i gęste jądro gwiazdy zapewnia idealne warunki do produkcji większych i jeszcze większych jąder.

Początkowo atomy wodoru łączą się do helu, co odpowiada najdłuższemu etapowi życia gwiazdy. Prawie wszystkie świecące gwiazdy czerpią energię z tego procesu.

Gdy wodor zostanie zużyty, jądro helowe skrapla się, a jego temperatura wzrasta. Następnie jądra helu łączą się w grupy po trzy tworząc węgiel, podczas gdy wodor nadal wytwarza hel w zewnętrznych warstwach gwiazdy.

Następnie tworzą się cięższe jądra przez dalsze dodawanie cząstek α w różnych warstwach. Jeśli gwiazda jest wystarczająco masywna, proces ten trwa do momentu powstania żelaza.

Jądra cięższe od żelaza powstają w różnych warunkach przez dodanie neutronów.

7

Wiatry, zderzenia, wybuchy

Niektóre **pierwiastki** powstałe w gwiazdach są wyrzucane do ośrodka międzygwiazdowego, podczas gdy reszta jest na zawsze zamknięta w „gwiazdnych ciałach”, 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 **pierwiastki** 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 **pierwiastki**, na przykład uran. Inne ciężkie **pierwiastki**, takie jak złoto, wymagają bardzo dużej gęstości **neutronów**.

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.

Mgławica planetarna Kocie Oko. (Źródło: R. Corradi; teleskop NOT).

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



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

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



Wizja artystyczna (Dana Berry, SkyWorks Digital).

8

9

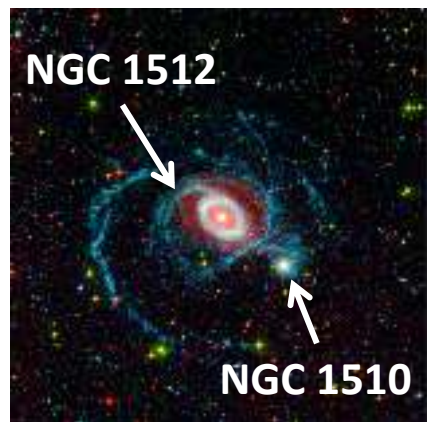
Kosmiczna Odyseja Pierwiastków

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.

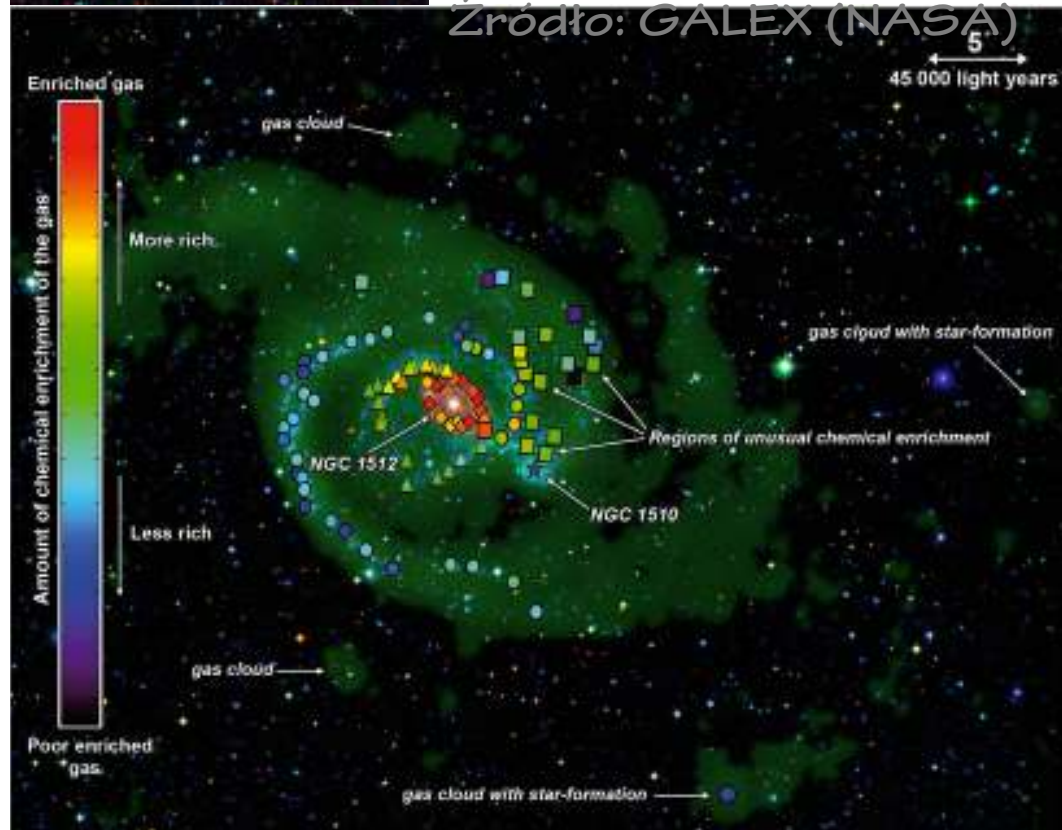
Pierwiastki uwolnione podczas wybuchów supernowych mogą nawet przedostać się do ośrodka międzygalaktycznego, a ostatecznie trafić do innych galaktyk.

Ostatnie symulacje numeryczne sugerują, że wiele **pierwiastków** obecnych w Drodze Mlecznej pochodzi z innych galaktyk. 1 1



Galaktyki NGC 1512 i NGC 1510 widziane w świetle ultrafioletowym. Jasne obszary to obszary niedawnego formowania się gwiazd.

Źródło: GALEX (NASA)



Symbole wskazują obfitość tlenu (czerwony, gdy jest go dużo, niebieski, gdy jest go mało).

Źródło: López-Sánchez (AAO/MQU) i Koribalski (CSIRO).

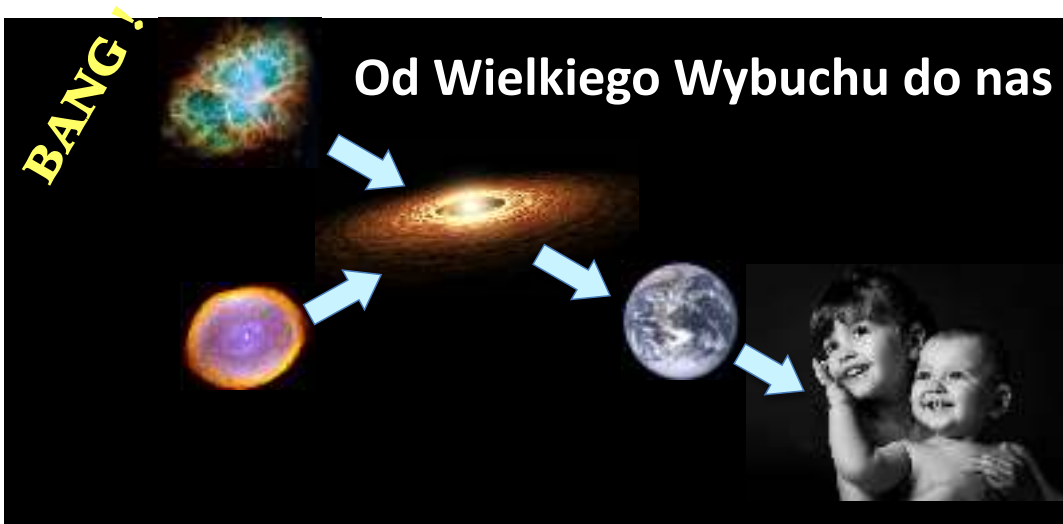
Masowy procent pierwiastków chemicznych w różnych lokalizacjach

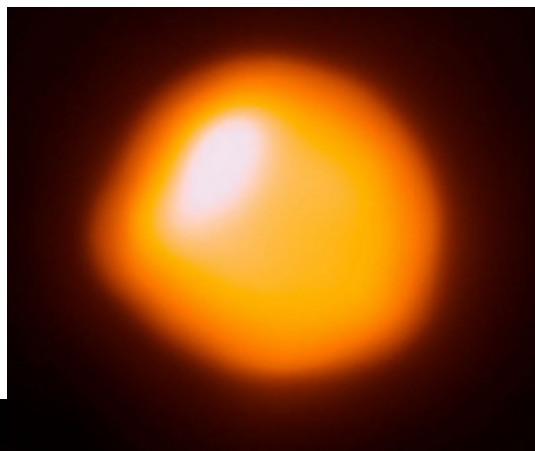
	Ilość protonów	Układ Słoneczny	Skorupa Ziemska	Ludzkie ciało
H	1	70.5	0.14	9.5
He	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006

Od gwiazd do żywych istot

Zanim **pierwiastki** 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 rozproszyc lotne **pierwiastki**. Zależy to również od masy planet: im mniejsza masa, tym łatwiej jest uciec lżejszym cząstkom. W miarę formowania się planety następuje segregacja **pierwiastków**, tak że jądro ma inny skład niż skorupa. Wreszcie to z materiałów znajdujących się w skorupie powstają żywe istoty.

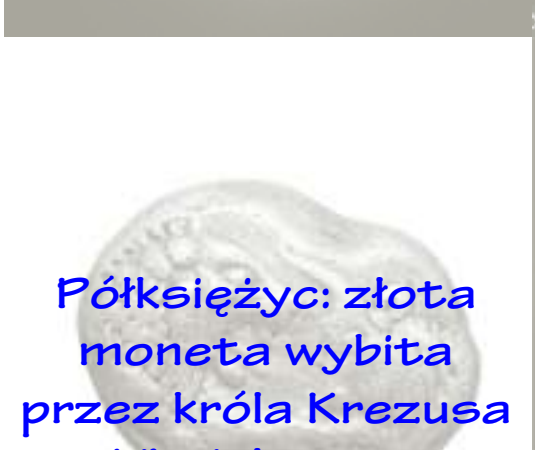




Gwiazda
Betelgeuse



Jowisz



Półksiężyc: złota
moneta wybita
przez króla Krezusa
w VI wieku pne. w
Lidii.



Mgławica
planetarna
IC 418

Quiz

Skąd pochodzi
złoto?



Odpowiedź na
odwrocie



Pozostałość
supernowej Krab

Odpowiedź

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



Wszechświat w mojej kieszeni Nr 14

Niniejsza książeczka została napisana w 2020 przez Grażynę Stasińską z Obserwatorium Paryskiego (Francja) i sprawdzona przez Nikos Prantzios z Instytutu Astrofizyki w Paryżu.

Obrazek na okładce: fragment obrazu japońskiego artysty KAGAYA



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

Tłumaczenie: Natalia
Żywucka-Hejzner
TUIMP Creative Commons

