

JAK POWSTAŁO



ZŁOTO WE WSZECHŚWIECIE

MIT O KRÓLU MIDASIE

Według opowieści Midas uratował Sylena z orszaku Dionizosa. W podziękę bóg wina obiecał spełnić jedno życzenie króla - ten poprosił o dar złotego dotyku. Szybko zorientował się, że grozi mu śmierć z głodu, gdyż nawet jedzenie zamieniało się w złoto. Przerażony wybłagał od Dionizosa utratę daru. Aby się go pozbyć, musiał się wykąpać w rzece Paktol, która od tego czasu jest złotonośna



POSZUKIWANIE KAMIENIA FILOZOFICZNEGO

KAMIEŃ FILOZOFICZNY – według alchemików od późnej starożytności – miał być substancją, za pomocą której metale nieszlachetne (na przykład rtęć, ołów) można by przekształcić w wyniku TRANSMUTACJI metali (łac. *transmutatio metallorum*) w metale szlachetne: złoto lub srebro

Kamień filozoficzny był kwintesencją (od łac. *quinta essentia*, „piąta esencja”), czyli jednością czterech żywiołów.



Ludzi już od zarania dziejów nurtowały pytania:

"Z czego zbudowany jest świat?"

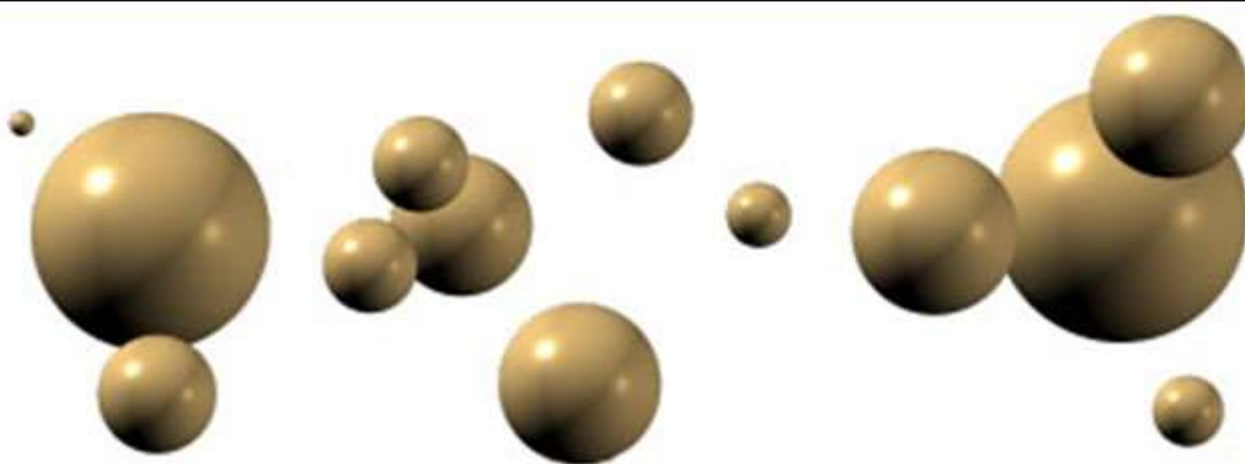
oraz

"Co go scala?"



WSTĘP HISTORYCZNY

STAROŻYTNA GRECJA



DEMOKRYT (460 - 370 pne)
i jego koncepcja atomistyczna.
Świat zbudowany jest z niepodzielnych
atomów [$\alpha \tau \omicron \mu \alpha$] oraz próżni.



W 1808 r. J. Dalton wprowadza pojęcia pierwiastków i związków chemicznych oraz rozróżnienie atomów i molekuł.



**Odkrycie promieniotwórczości (m. in. Rutherford ok. 1900r.) wskazało na złożoność atomu.
Ok. 1911 r. (Rutherford) pojawia się pojęcie jądra atomowego i chmury elektronowej.**

E. Rutherford



Ok. 1913 r Niels Bohr formułuje swój “planetarny” model atomu



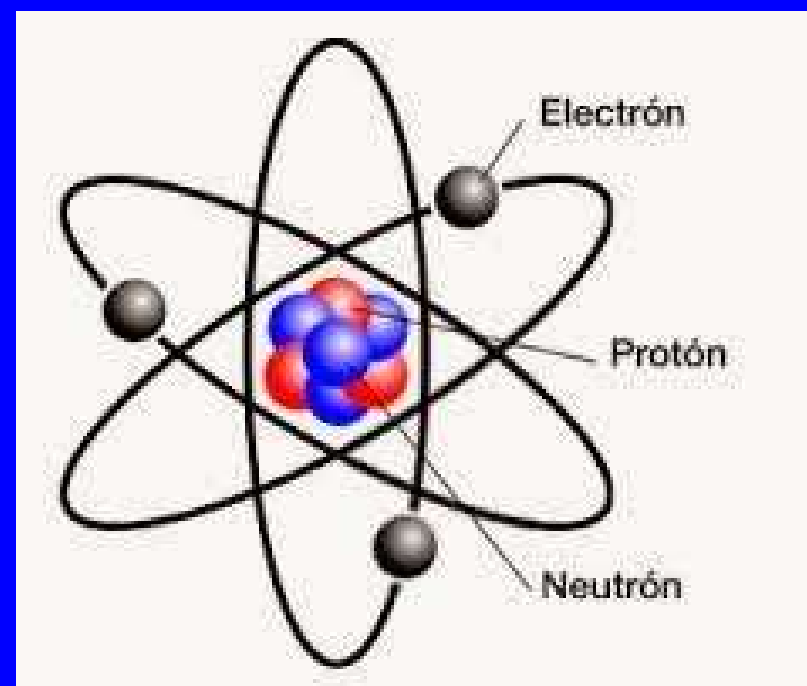
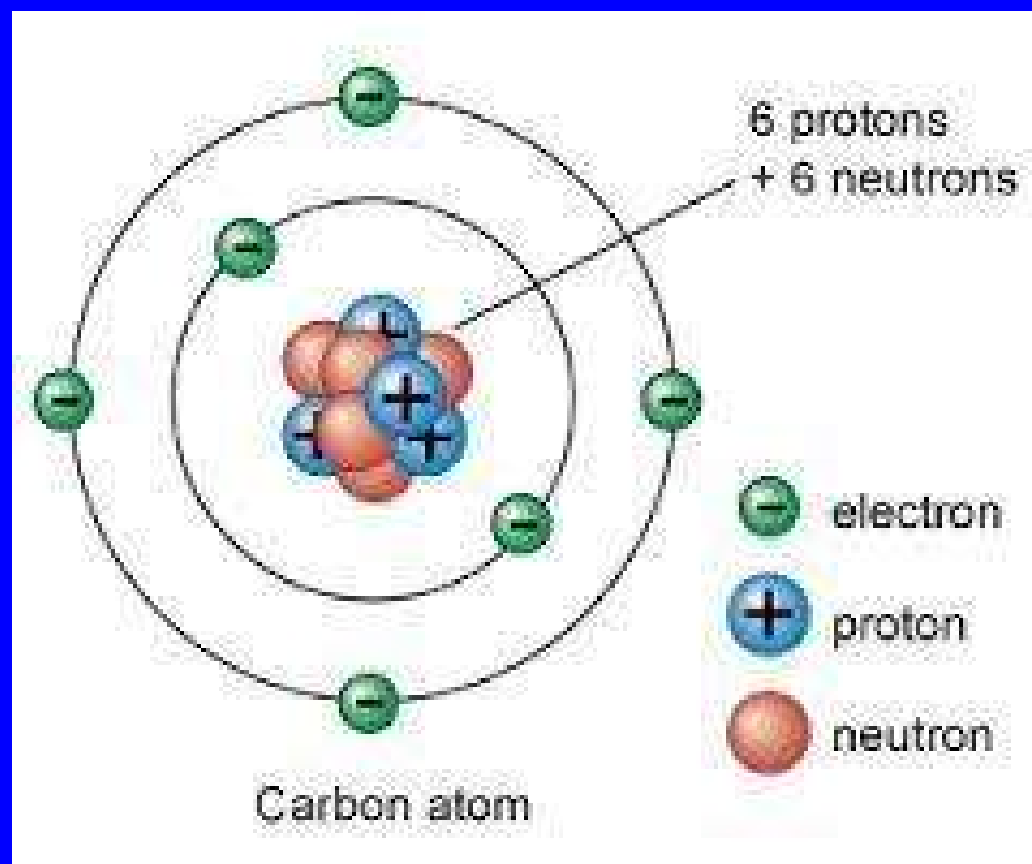
Lata 20-te i 30-te - ugruntowują się pojęcia protonu i neutronu jako składników jądra atomowego.



**Badania nad rozpadem β (np. W. Pauli) wskazują na konieczność istnienia jeszcze jednej cząstki - neutrino.
Pojawia się też pojęcie antymaterii (Dirac).**

UPROSZCZONY SCHEMAT BUDOWY ATOMU

Na przykładzie atomu węgla



O RODZAJU PIERWIASTKA CHEMICZNEGO
DECYDUJE LICZBA PROTONÓW (MAJĄCYCH
DODATNI ŁADUNEK ELEKTRYCZNY)
W JĄDRZE ATOMU

PRZYJĘTE OZNACZENIA W FIZYCE JADROWEJ

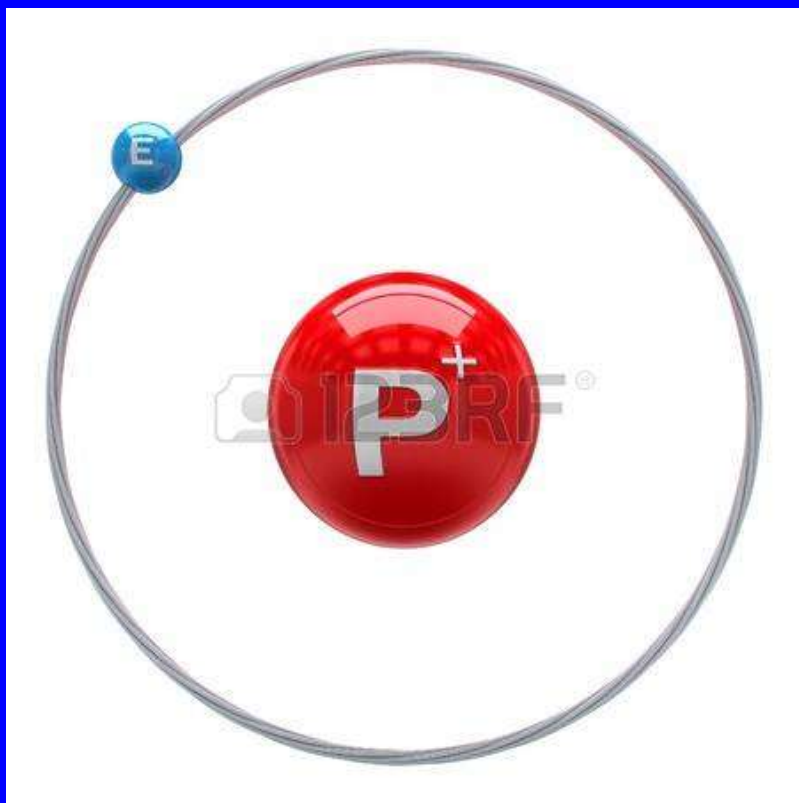
A – sumaryczna liczba protonów i neutronów w jądrze atomu

Z – liczba protonów w jądrze atomu
(decyduje o rodzaju pierwiastka)

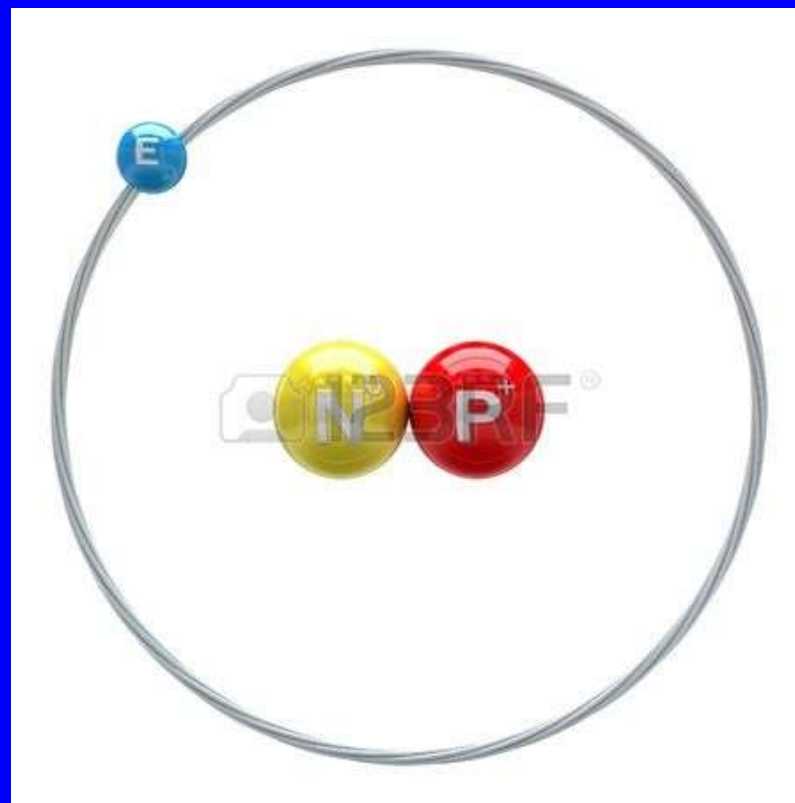


Symbol
pierwiastka

ATOM WODORU

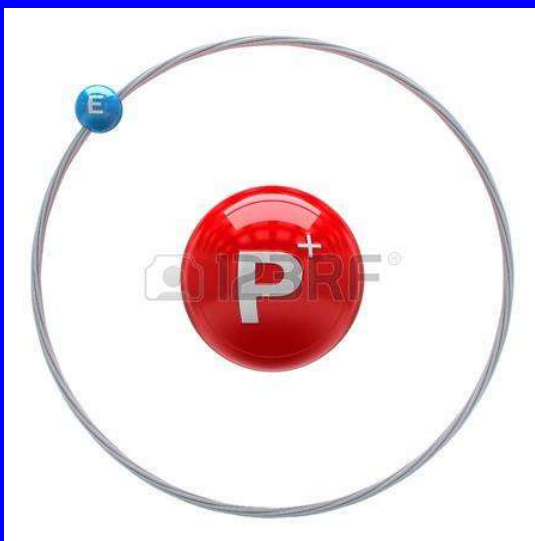


ATOM DEUTERU CZYLI TZW. „CIĘŻKIEGO WODORU”

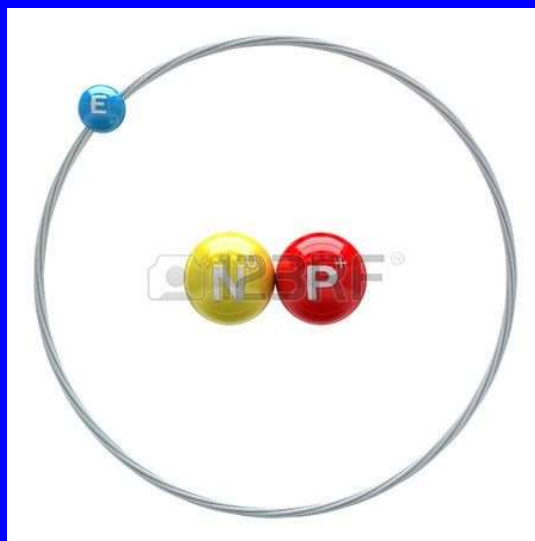


TRZY IZOTOPY WODORU

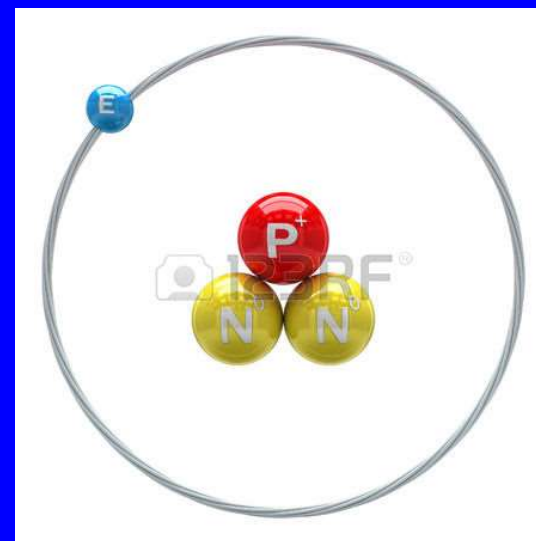
ATOM WODORU



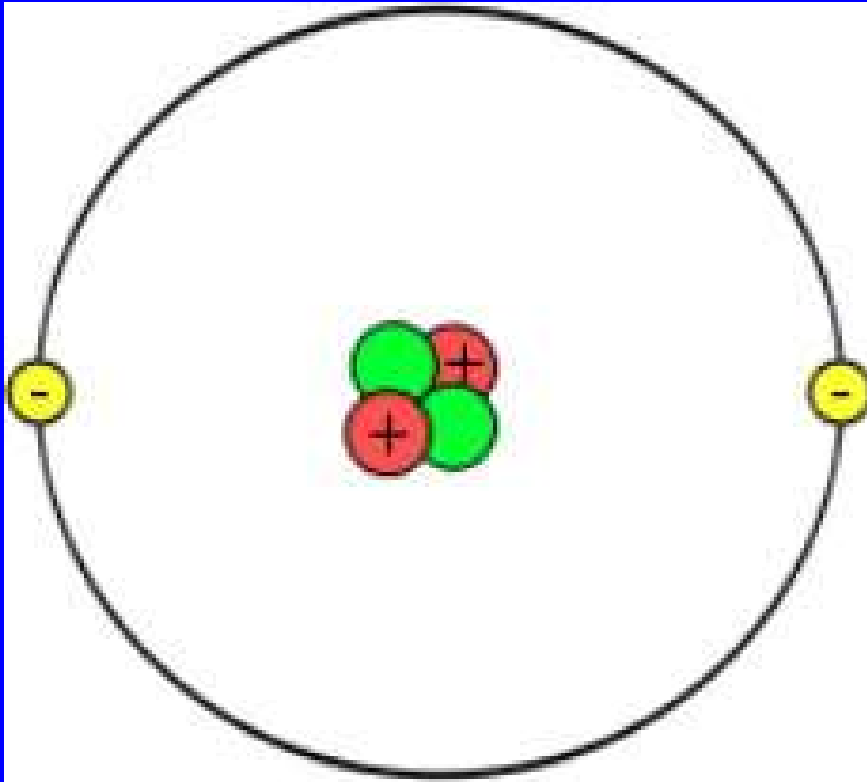
ATOM DEUTERU



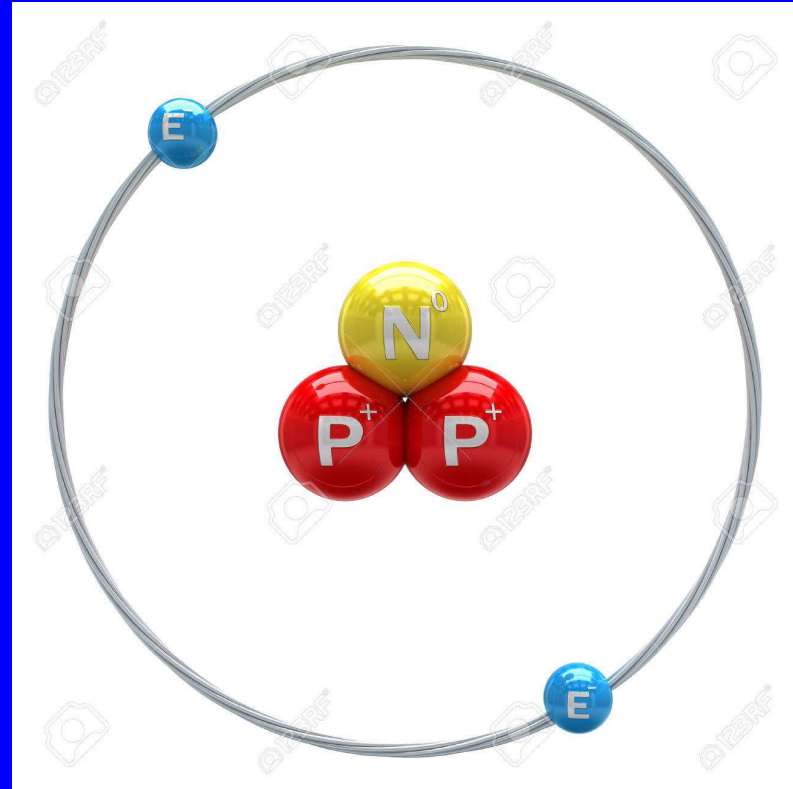
ATOM TRYTU



IZOTOPY HELU

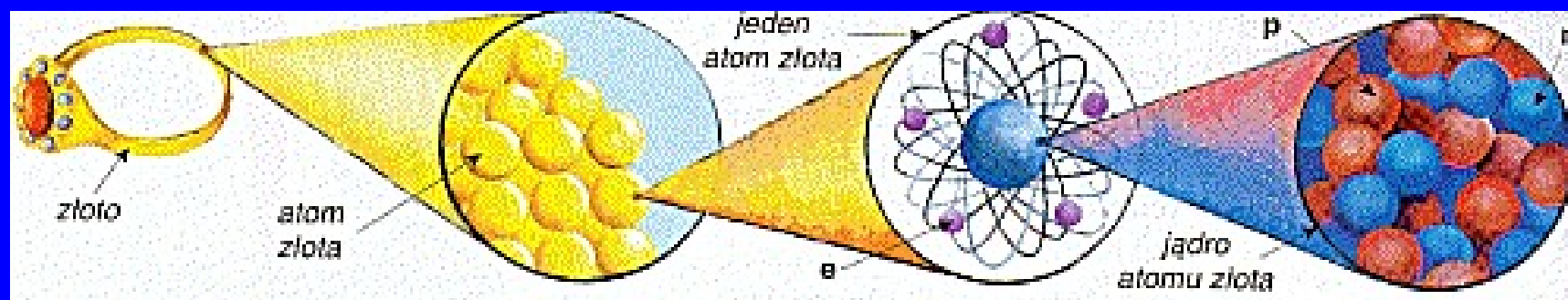


${}^4_2\text{He}$

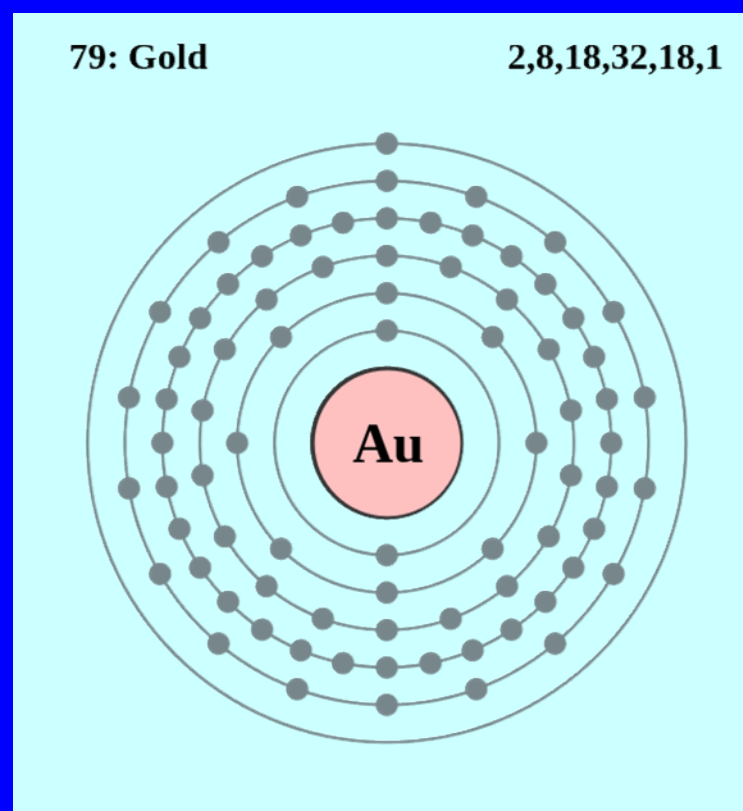


${}^3_2\text{He}$

ZŁOTO - *Au* {*Aurum*}



$^{197}_{79}\text{Au}$



Układ Okresowy Pierwiastków

Legend:

- Metale alkaliczne (Orange)
- Metale ziem alkalicznych (Yellow)
- Metale przejściowe (Pink)
- Lantanowce (Light Blue)
- Aktynowce (Light Purple)
- Metale grup głównych (Teal)
- Niemetale (Green)
- Gazy szlachetne (Light Blue)
- Solid (C)
- Liquid (Br)
- Gas (H)
- Synthetic (Tc)

Periodic Table Data:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 H Wodor. 1.00784	2 He Hel 4.002602											3 B Bor 10.811	4 C Węgiel 12.0107	5 N Azot 14.00674	6 O Tlen 15.9994	7 F Fluor 18.9984032	8 Ne Neon 20.1797
3 Li Lit 6.941	4 Be Beryl 9.012182											13 Al Glin 26.981538	14 Si Krzem 28.0855	15 P Fosfor 30.973761	16 S Siarka 32.059	17 Cl Chlor 35.453	18 Ar Argon 39.948
11 Na Sód 22.989770	12 Mg Magnez 24.3050											31 Ga Gal 69.723	32 Ge German 72.64	33 As Arsen 74.921595	34 Se Selen 78.96	35 Br Brom 79.904	36 Kr Krypton 83.796
19 K Potas 39.0983	20 Ca Wapń 40.078	21 Sc Skand 44.955910	22 Ti Tytan 47.887	23 V Wanad 50.9415	24 Cr Chrom 51.9961	25 Mn Mangan 54.938045	26 Fe Żelazo 55.8457	27 Co Kobalt 58.933205	28 Ni Nikiel 58.6934	29 Cu Miedź 63.546	30 Zn Cynk 65.409	49 In Ind 114.818	50 Sn Cyna 118.710	51 Sb Antymon 121.760	52 Te Tellur 127.60	53 I Jod 126.90447	54 Xe Ksenon 131.293
37 Rb Rubid 85.4678	38 Sr Beryl 87.62	39 Y Itr 88.90585	40 Zr Cykon 91.224	41 Nb Niob 92.90638	42 Mo Molibden 95.94	43 Tc Technet (98)	44 Ru Ruten 101.07	45 Rh Ród 102.90550	46 Pd Pallad 106.42	47 Ag Srebro 107.8682	48 Cd Kadm 112.411	81 Tl Tal 204.3833	82 Pb Ołów 207.2	83 Bi Bismut 208.98039	84 Po Polon (209)	85 At Astat (210)	86 Rn Radon (222)
55 Cs Cez 132.90545	56 Ba Baryt 137.327	57 to 71		72 Hf Hafn 178.49	73 Ta Tantal 180.9478	74 W Wolibram 183.84	75 Re Ren 186.207	76 Os Osm 190.23	77 Ir Iryd 192.217	78 Pt Platyna 195.078	79 Au Złoto 196.96657	80 Hg Rtęć 200.59	113 Uuh Ununthrium (286)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (292)	116 Uuh Ununhexium (293)	117 Uus Ununseptium (294)
87 Fr Franc (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103		104 Rf Rutherford (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborg (266)	107 Bh Bohr (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitner (268)	110 Ds Darmstadt (271)	111 Rg Roentgen (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uuh Ununthrium (286)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (292)	116 Uuh Ununhexium (293)	117 Uus Ununseptium (294)
118 Uuo Ununoctium (294)																	

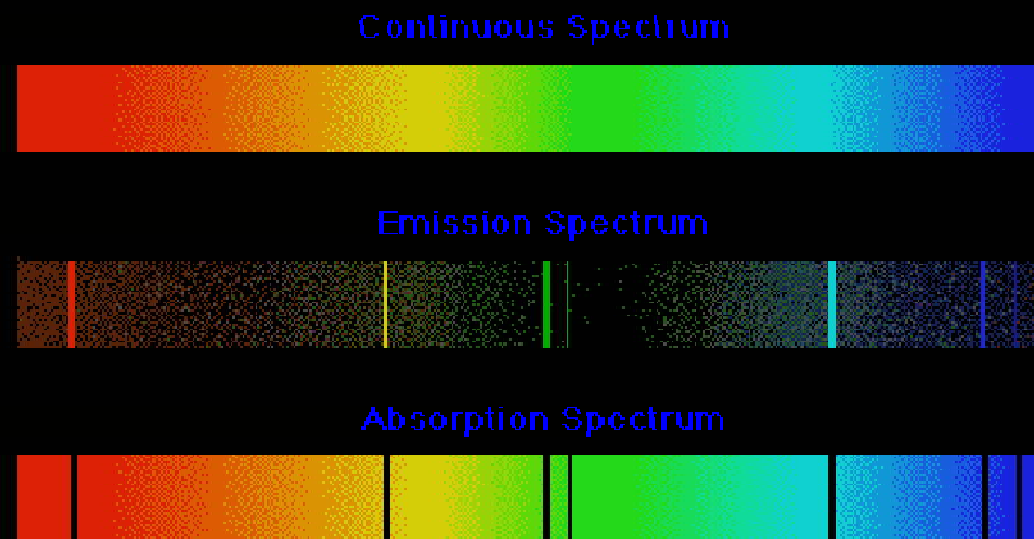
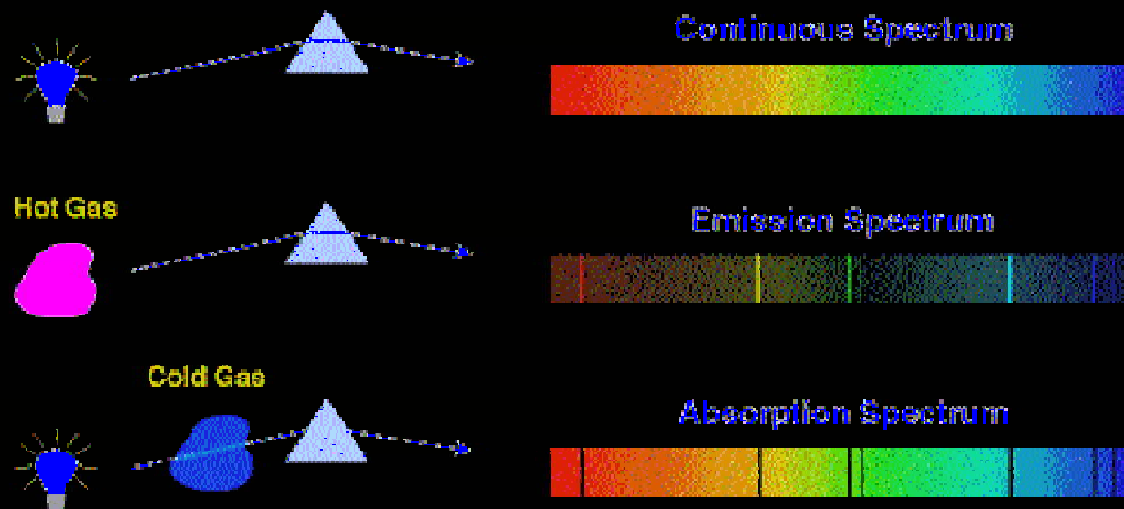
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope

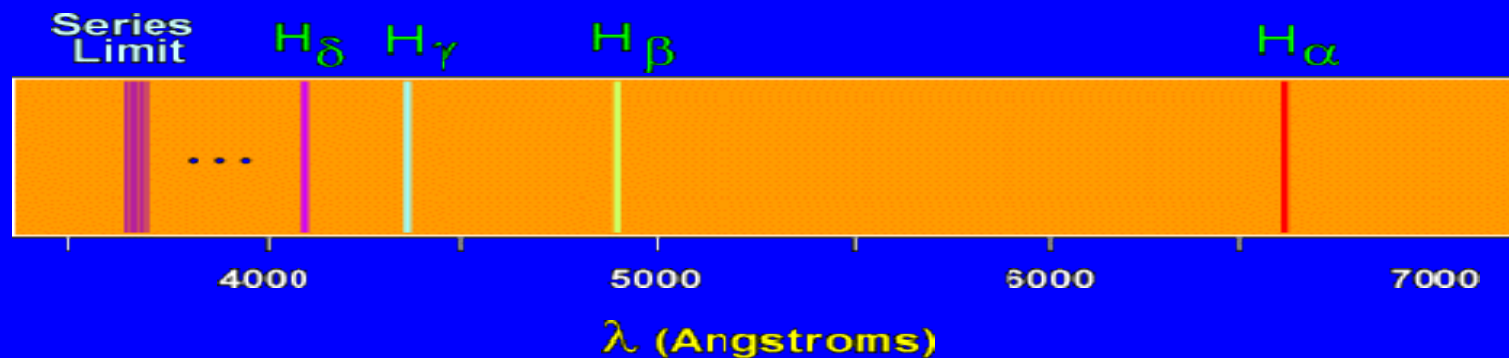
Design Copyright © 1997 Michael Owen michael@owen.com <http://www.owen.com>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 La Lanthan 138.9055	58 Ce Cer 140.118	59 Pr Praseodym 140.90768	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promet (145)	62 Sm Samar 150.36	63 Eu Europ 151.964	64 Gd Gadolin 157.25	65 Tb Terb 158.92534	66 Dy Dyspros 162.50	67 Ho Holm 164.93032	68 Er Erb 167.259	69 Tm Tul 168.93421	70 Yb Iterb 173.04	71 Lu Lutet 174.967
89 Ac Aktin (227)	90 Th Tor 232.0381	91 Pa Protaktin 231.03688	92 U Uran 238.02891	93 Np Neptun (237)	94 Pu Pluton (244)	95 Am Amerik (243)	96 Cm Kur (247)	97 Bk Berkel (247)	98 Cf Kaliforn (261)	99 Es Einstein (262)	100 Fm Ferm (267)	101 Md Mendelev (268)	102 No Nobel (269)	103 Lr Lorens (262)

WIELE INFORMACJI O SKŁADZIE CHEMICZNYM OBIEKTÓW KOSMICZNYCH DOSTARCZA ANALIZA ICH WIDM, ZWŁASZCZA LINIE ABSORPCYJNE PIERWIASTKÓW.

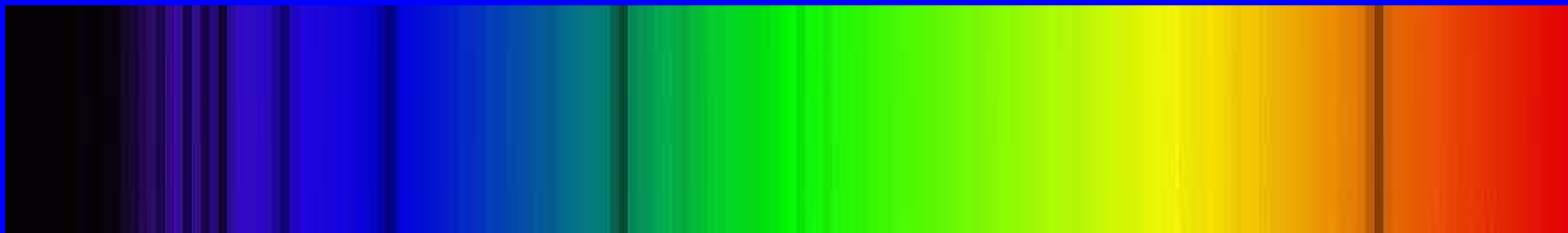




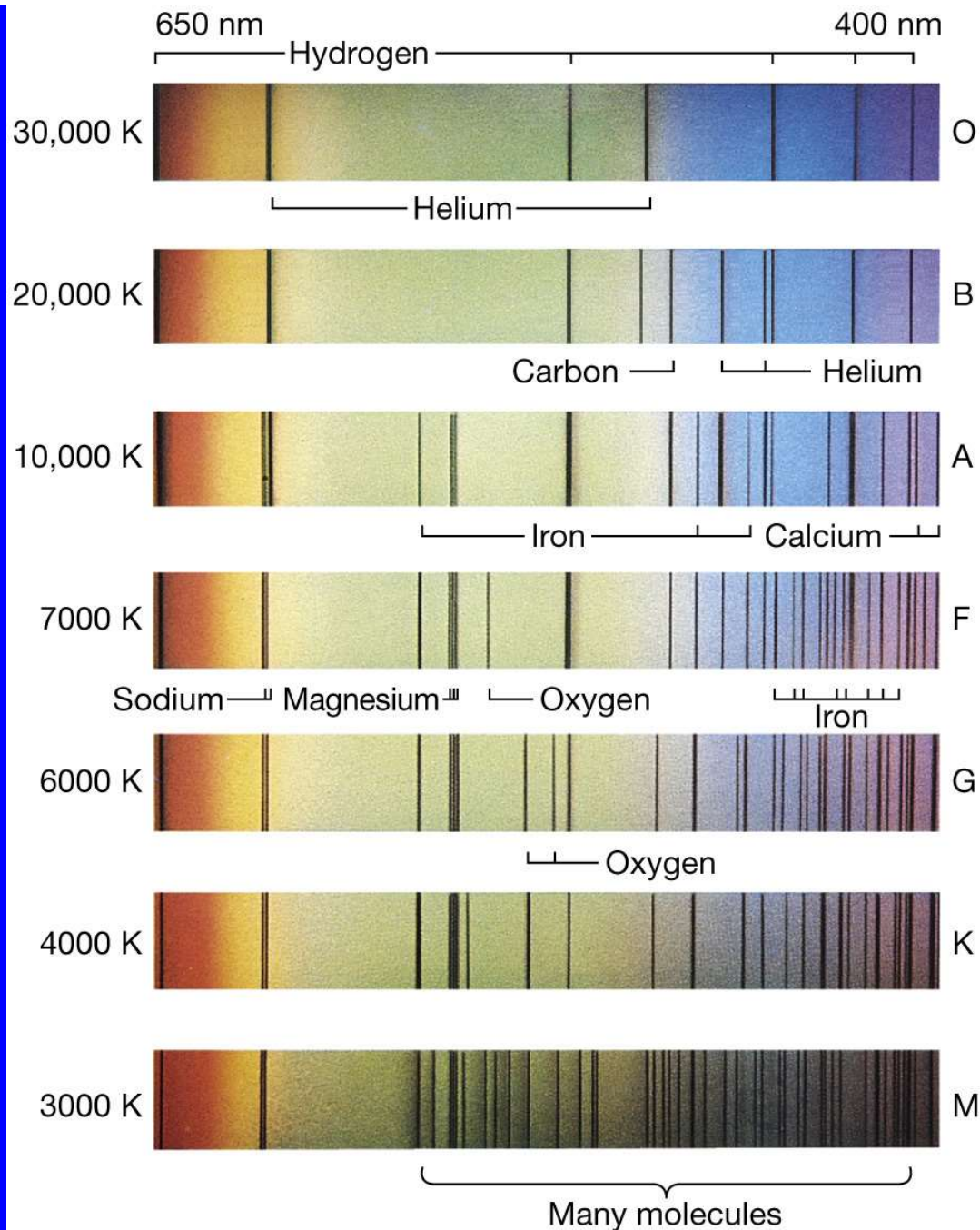
CHARAKTERYSTYCZNE LINIE WIDMOWE WODORU – TZW. SERIA BALMERA.

**KAŻDY PIERWIASTEK MA CHARAKTERYSTYCZNY DLA SIEBIE ZBIÓR
LINII WIDMOWYCH O DOBRZE ZNANYCH DŁUGOŚCIACH FALI
LINIE TE IDENTYFIKUJĄ PIERWIASTKI TAK JAK
KOD PASKOWY NA METCE IDENTYFIKUJE TOWAR**

**ZA POMOCĄ SPEKTROGRAFU WSPÓŁPRACUJĄCEGO Z TELESKOPEM
ROBI SIĘ WIDMA OBIEKTÓW KOSMICZNYCH I IDENTYFIKUJE W NICH
LINIE WIDMOWE PIERWIASTKÓW.**



(PRZYKŁADOWE WIDMO GWIAZDY)



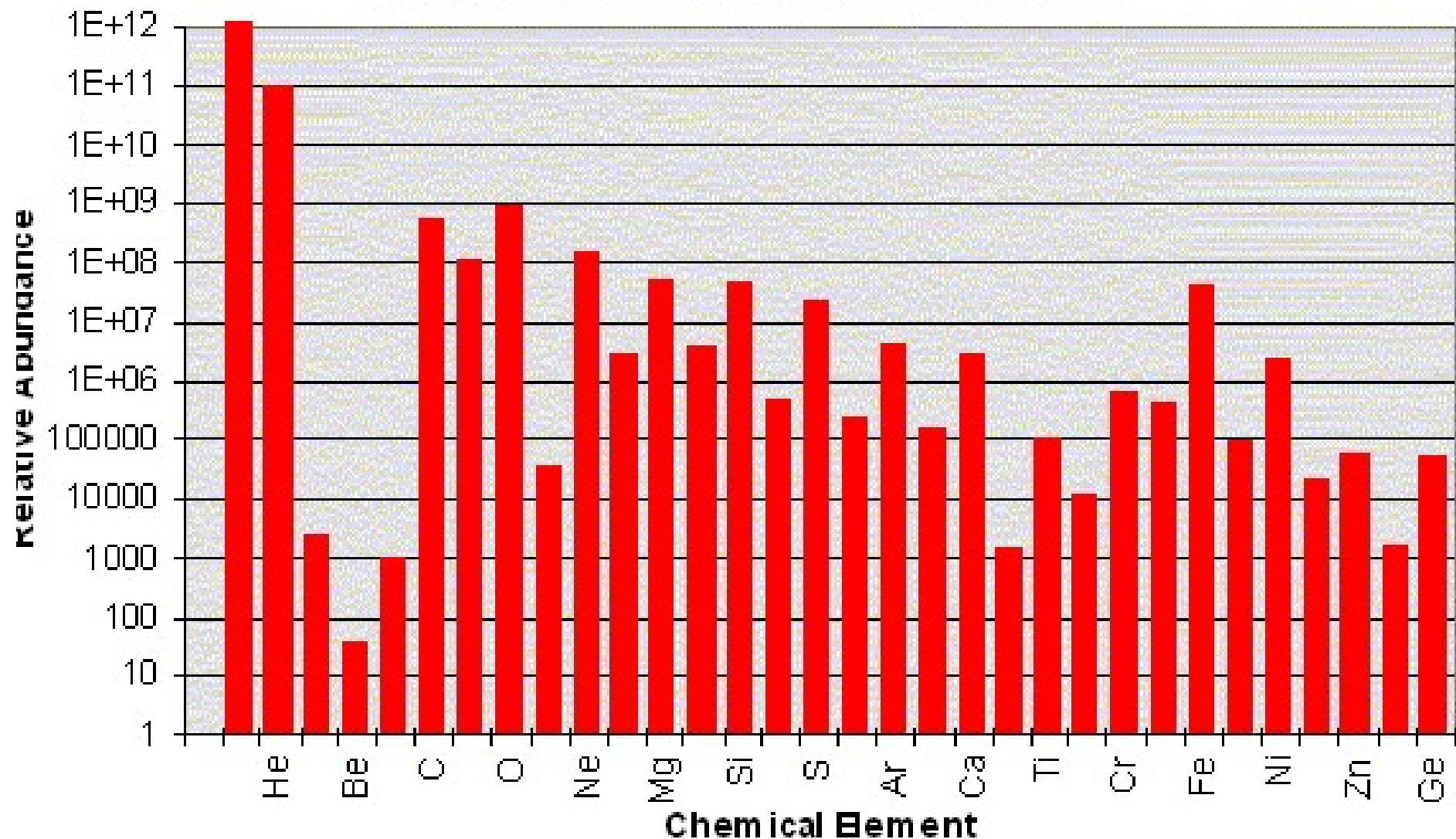
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

PRZYKŁADOWE WIDMA GWIAZD O RÓŻNYCH TEMPERATURACH.

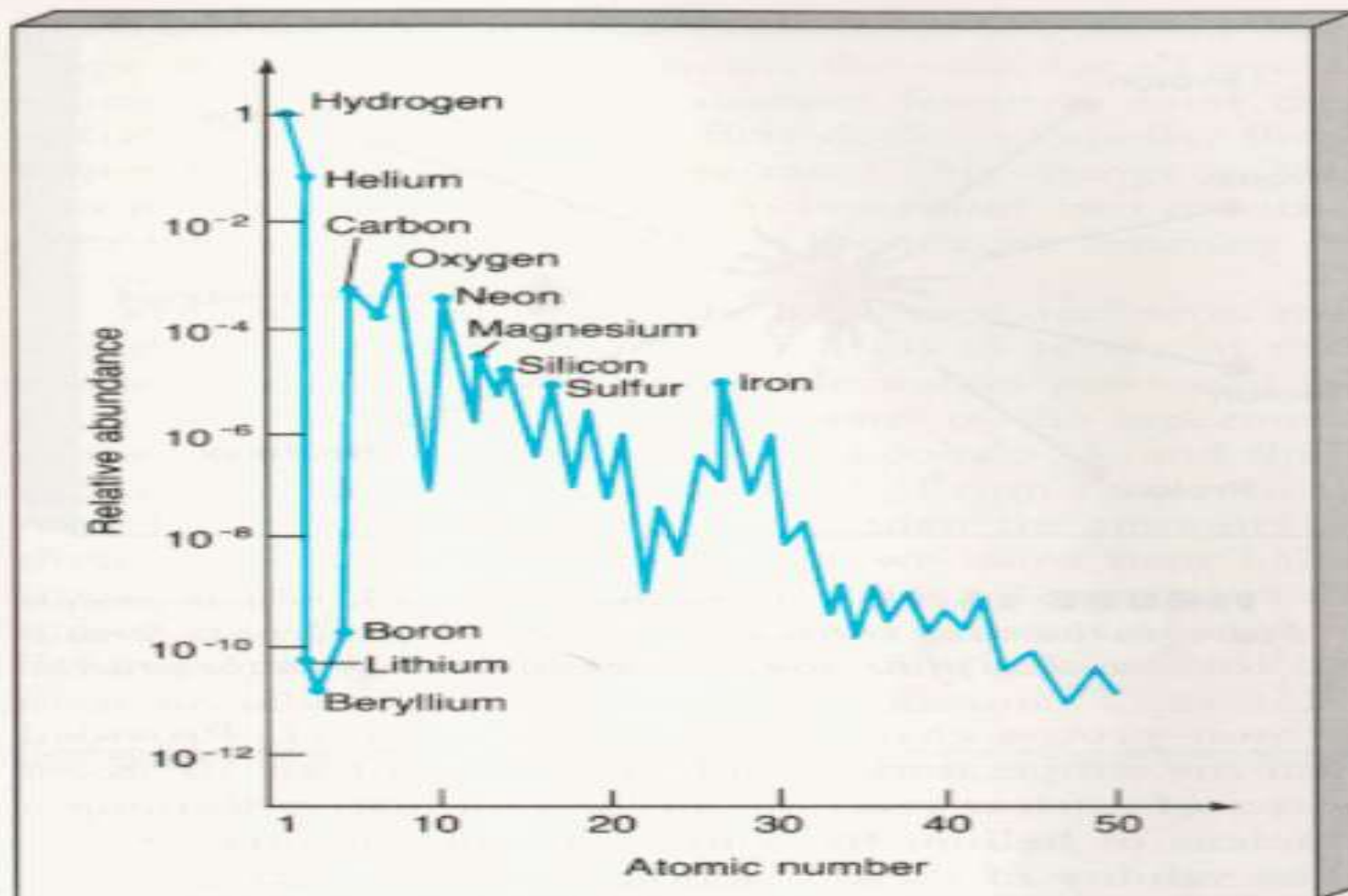
Widoczne linie widmowe różnych pierwiastków.

SKŁAD CHEMICZNY TYPOWYCH GWIAZD I MATERII MIĘDZYGWIAZDOWEJ

Abundances of the Chemical Elements

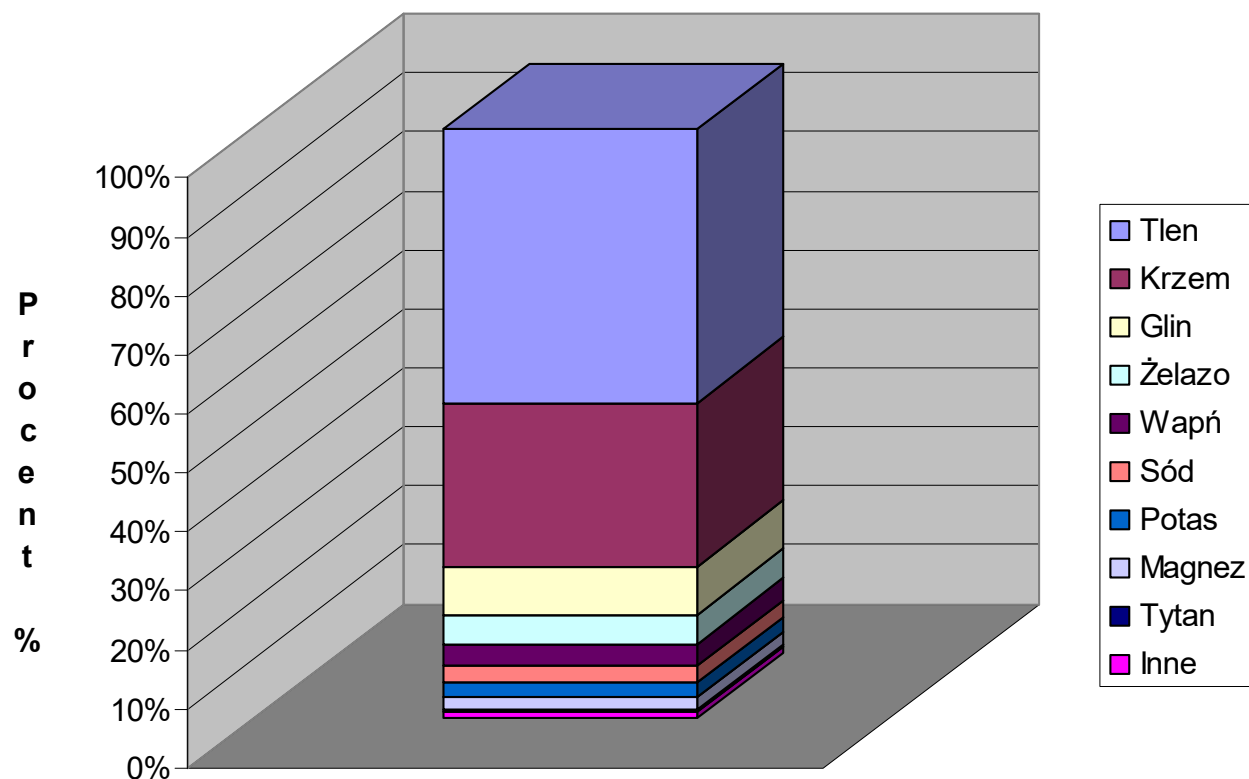


SKŁAD CHEMICZNY TYPOWYCH GWIAZD I MATERII MIĘDZYGWIAZDOWEJ



Dla porównania – skład chemiczny Ziemi istotnie różni się od średniego składu kosmicznego. Ziemię i nas samych tworzą pierwiastki, których w kosmosie jest mniej niż 1 promil (licząc na ilość atomów).

Pierwiastki w składzie chemicznym Ziemi



Tlen	46,5%
Krzem	27,72%
Glin	8,13%
Żelazo	5%
Wapń	3,63%
Sód	2,83%
Potas	2,59%
Magnez	2,09%
Tytan	0,4%
Inne pierwiastki razem	1,11%

Wykonane przez Artur dnia 17 września 2009 roku

**DZIŚ POTRAFIMY WYJAŚNIĆ ZARÓWNO POCHODZENIE
PIERWIASTKÓW JAK I ICH ILOŚCIOWE PROPORCJE
WE WSZECHŚWIECIE.
ZŁOŻYŁY SIĘ NA TO:**

**1) PIERWOTNA NUKLEOSYNTeza W PIERWSZYCH
MINUTACH PO TZW. KOSMOLOGICZNYM „WIELKIM
WYBUCHU” - powstały wówczas lekkie nuklidy od
wodoru do berylu i boru;**

**DZIŚ POTRAFIMY WYJAŚNIĆ ZARÓWNO POCHODZENIE
PIERWIASTKÓW JAK I ICH ILOŚCIOWE PROPORCJE
WE WSZECHŚWIECIE.
ZŁOŻYŁY SIĘ NA TO:**

**1) PIERWOTNA NUKLEOSYNTeza W PIERWSZYCH
MINUTACH PO TZW. KOSMOLOGICZNYM „WIELKIM
WYBUCHU” - powstały wówczas lekkie nuklidy od
wodoru do berylu i boru;**

**2) REAKCJE SYNTeZY TERMOJĄDROWEJ WE WNEĘ –
TRZACH GWIAZD (ZWŁASZCZA BARDZO MASYWNYCH
I WYBUCHAJĄCYCH \JAKO TZW. GWIAZDY SUPERNOWE)
- one wytworzyły większość pozostałych pierwiastków
tablicy Mendelejewa.**

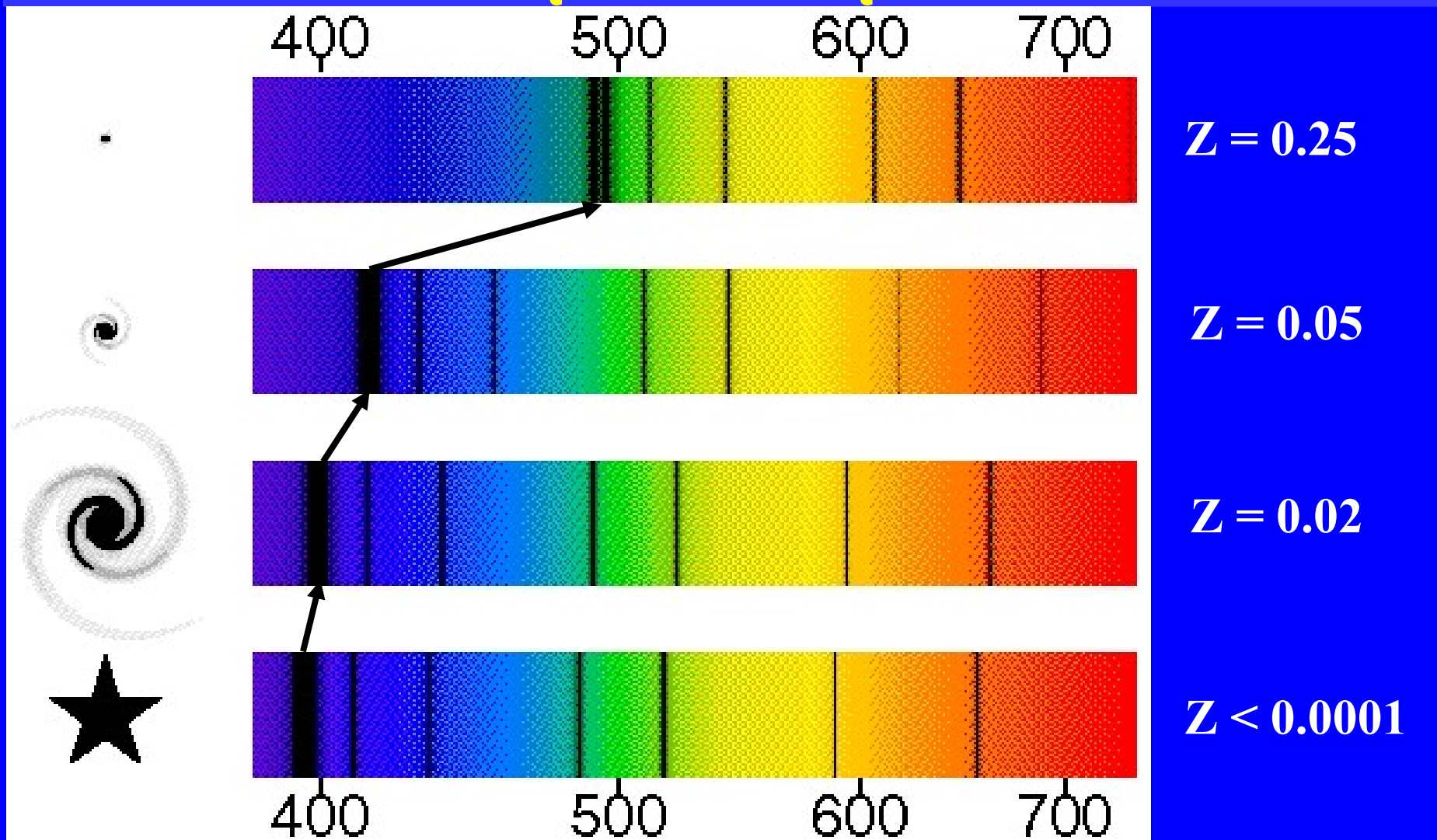
**3) OD ROKU 2017 WIEMY JESZCZE COŚ WAŻNEGO –
ZWŁASZCZA W SPRAWIE ZŁOTA I INNYCH NAJMASYW –
NIEJSZYCH PIERWIASTKÓW – ale o tym później.**

ODKRYCIE HUBBLE'A (1929)

- Hubble zauważył, że linie widmowe pierwiastków w widmach galaktyk są przesunięte względem laboratoryjnych długości fali w stronę fal dłuższych

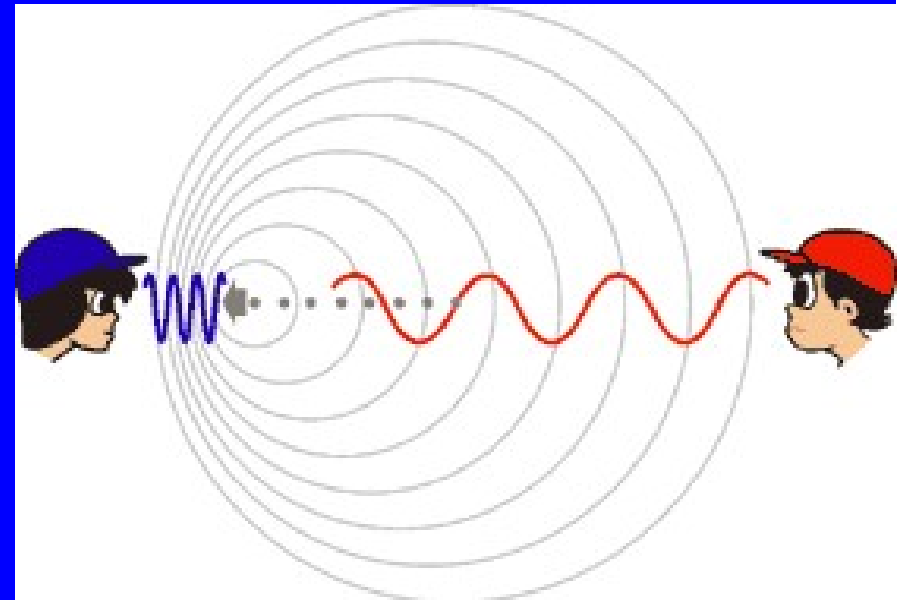
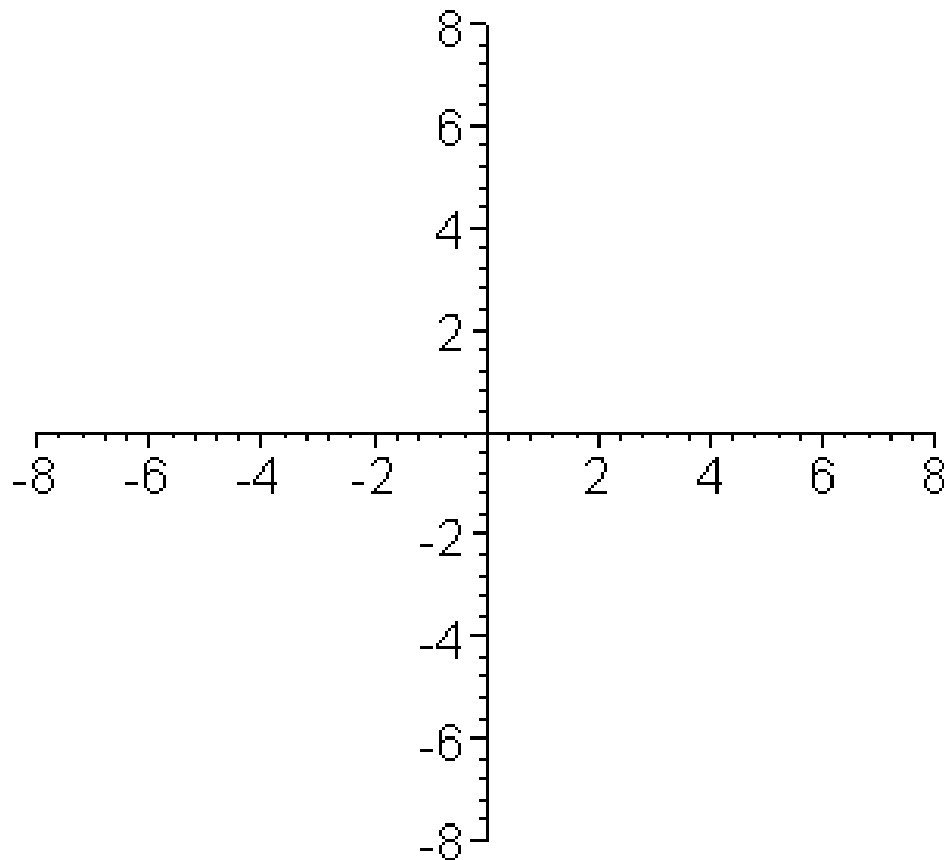
Wielkość tego przesunięcia okazała się wprost proporcjonalna do odległości „d” do badanej galaktyki

ILUSTRACJA PRZESUNIĘCIA LINII ABSORPCYJNYCH W WIDMACH ODDAŁAJĄCYCH SIĘ OBIEKTÓW



(c.d. ODKRYCIE HUBBLE'A.)

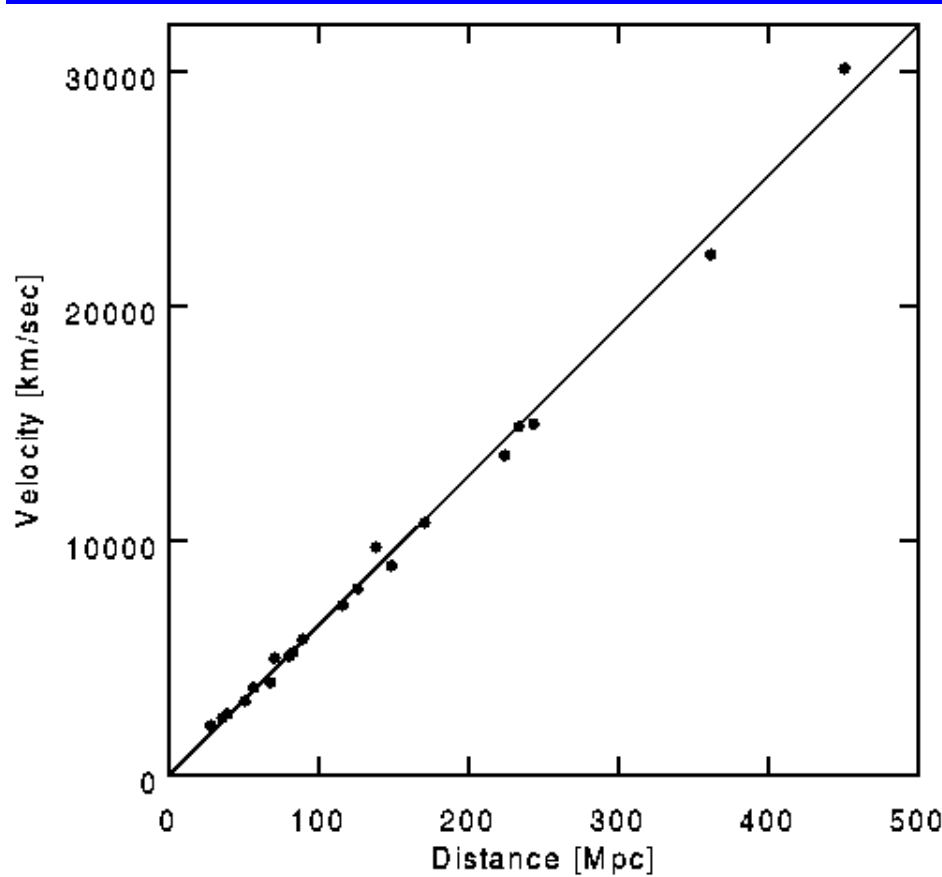
Przesunięcie to zinterpretowano jako efekt
Dopplera czyli jako oddalanie się galaktyk od nas.



Ch. Doppler

E. HUBBLE SFORMUŁOWAŁ SWOJE SŁYNNE PRAWO KOSMOLOGICZNEJ EKSPANSJI W 1929r:

GALAKTYKI ODDALAJĄ SIĘ WZAJEMNIE OD SIEBIE Z PRĘDKOŚCIĄ 'v' PROPORCJONALNĄ DO ODLEGŁOŚCI 'd' MIĘDZY NIMI, CZYLI:



$$v = H * d$$

współczynnik proporcjonalności
H nazwano stałą Hubble'a



E. Hubble

PRAWO HUBBLE'A [c.d.]

Z formuły Hubble'a $V = H \cdot d$ wynika, że parametr $H = V/r$ ma wymiar $[(m/s)/m] = [1/s]$.

W takim razie odwrotność parametru Hubble'a - $1/H$ ma wymiar czasu $[s]$ i jest co do rzędu wielkości równa wiekowi Wszechświata.

Według obecnych danych obserwacyjnych wartość parametru H pozwala oszacować wiek Wszechświata na ok. **14 mld.** lat.

Skoro kosmologiczna ekspansja miała początek przed ok. 14 mld. Lat to spróbujmy w wyobraźni puścić ten film wstecz i prześledzić (według dzisiejszej wiedzy) wczesne etapy ewolucji Wszechświata gdy nie było jeszcze gwiazd ani galaktyk zaś przestrzeń wypełniała gorąca i gęsta plazma złożona z cząstek elementarnych, z których dopiero za chwilę powstaną pierwiastki.

**W PIERWSZEJ MINUCIE PO „WIELKIM
WYBUCHU” PRZESTRZEŃ WSZECHŚWIATA
WYPEŁNIA MIESZANINA CZĄSTEK:**

protonów i neutronów - (p^+ , n)

elektronów i neutrin - (e^- , ν_e)

fotonów (promieniowanie) - γ

oraz mionów, taonów i ich neutrin

TEMPERATURA MIESZANINY - $T \approx 10^{10}$ K
JEJ GĘSTOŚĆ JEST RZĘDU $10^2 - 10^3$ g/cm³

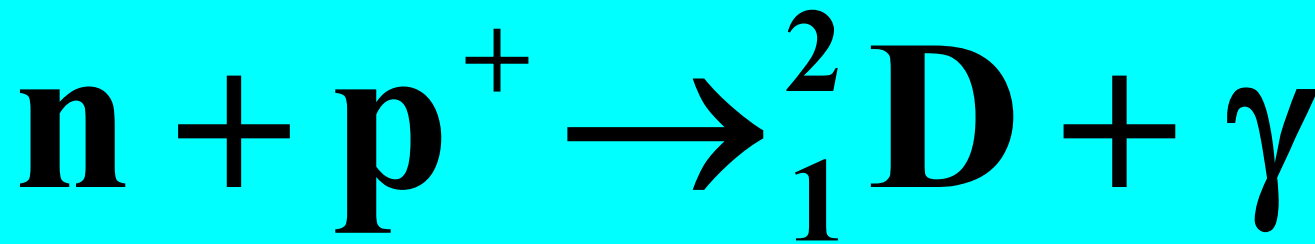
**PRZY TEMPERATURZE 10 mld. K
ENERGIA FOTONÓW γ ORAZ
CZĄSTEK PLAZMY JEST TAK DUŻA,
ŻE NATYCH-MIAST ROZBIJANE
SĄ WSZYSTKIE EWENTUALNE
PRODUKTY SYNTEZY
JĄDROWEJ**

PRZESTRZEŃ WYPEŁNIONA PLAZMĄ, CAŁY CZAS ROZSZERZA SIĘ ZAŚ GĘSTOŚĆ I TEMPERATURA STOPNIOWO MALEJĄ.

ZALEŻNOŚĆ TEMPERATURY PLAZMY OD CZASU $T(t)$ czyli tempo stygnięcia OPISUJE NA TYM ETAPIE ZALEŻNOŚĆ TYPU:

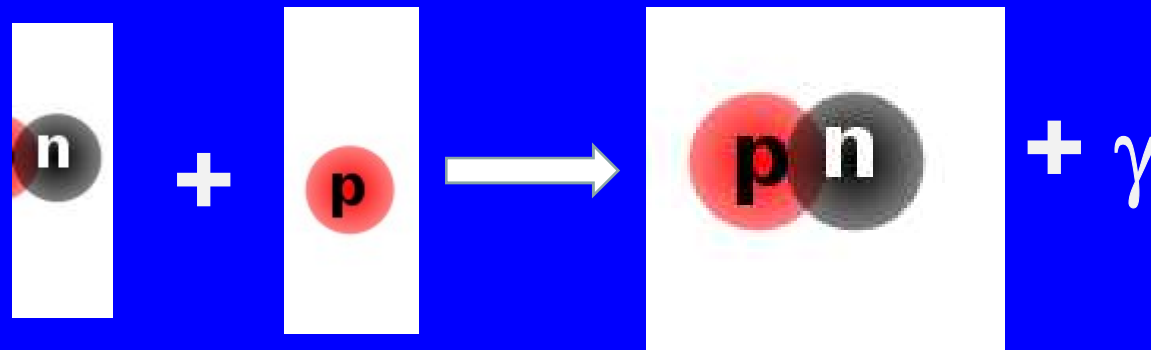
$$T(t) \sim \frac{1}{\sqrt{t}}$$

**GDY TEMPERATURA SPADNIE PONIŻEJ
10¹⁰ K TO MOGĄ JUŻ TWORZYĆ SIĘ I UTRZY-
MAĆ PIERWSZE PRODUKTY SYNTEZY:**



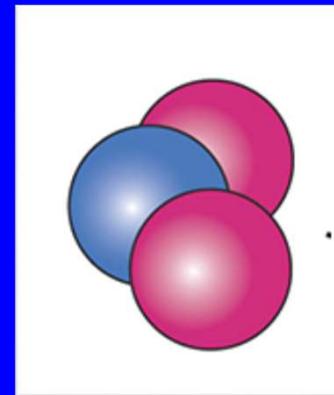
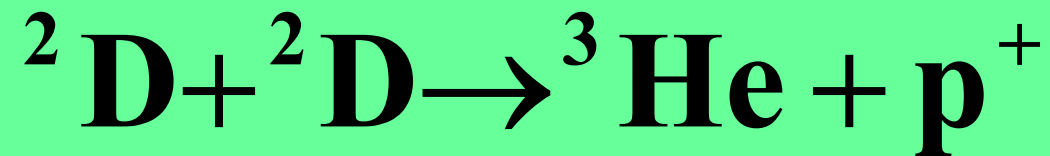
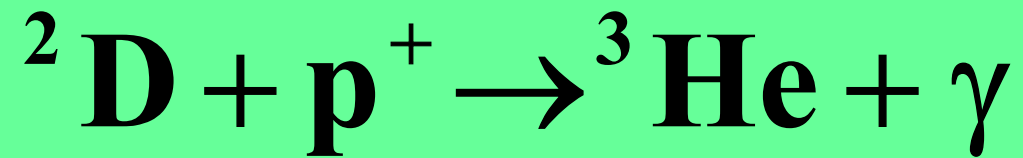
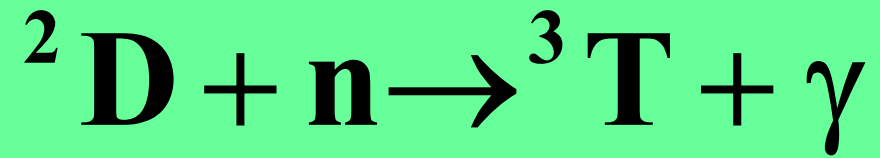
TEMPO PRODUKCJI DEUTERU ZALEŻY OD:

- (a) Temperatury ośrodka (częstotliwość i energia zderzeń),**
- (b) Ilości neutronów i protonów w jednostce objętości**

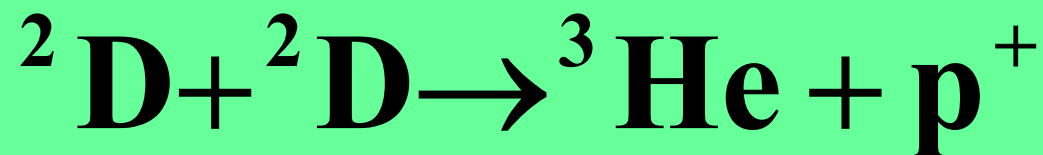
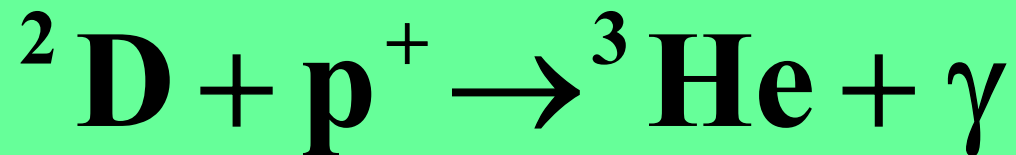
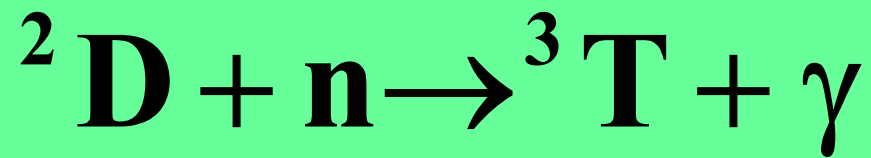


Przez pierwsze sekundy deuteru przybywa.
Gdy jego ilość osiągnie ok. 1/1000 ilości
całego wodoru to możliwe stają się kolejne
reakcje syntezy.

OTO KOLEJNE PROCESY NUKLEO-SYNTAZY:

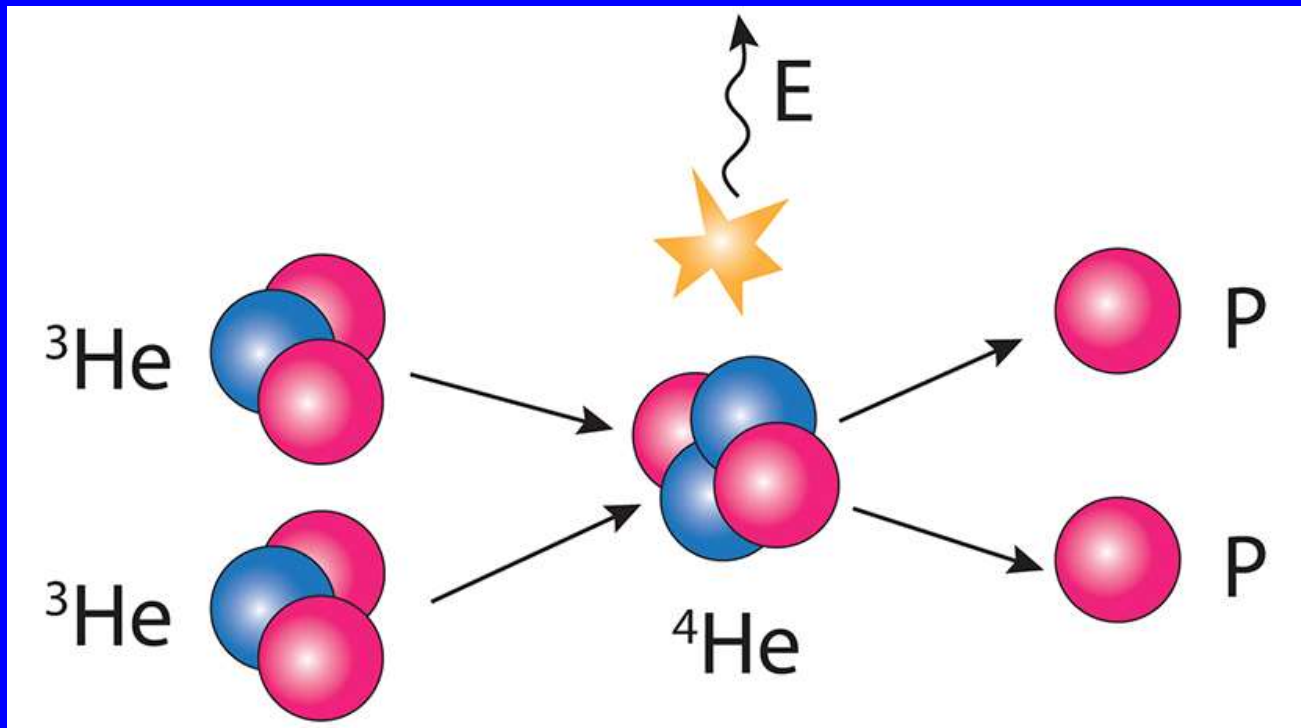
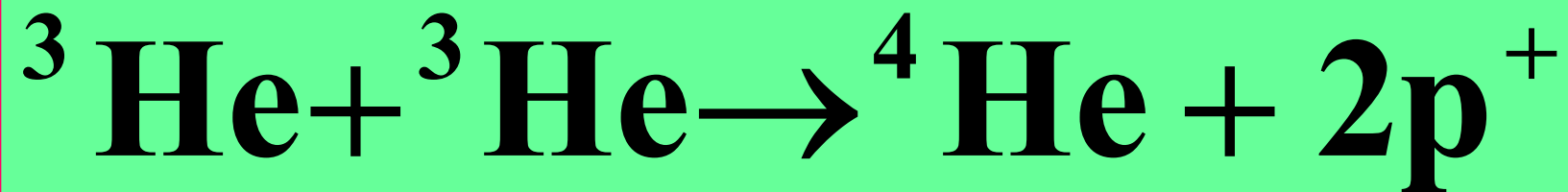


OTO KOLEJNE PROCESY NUKLEO-SYNTETY:

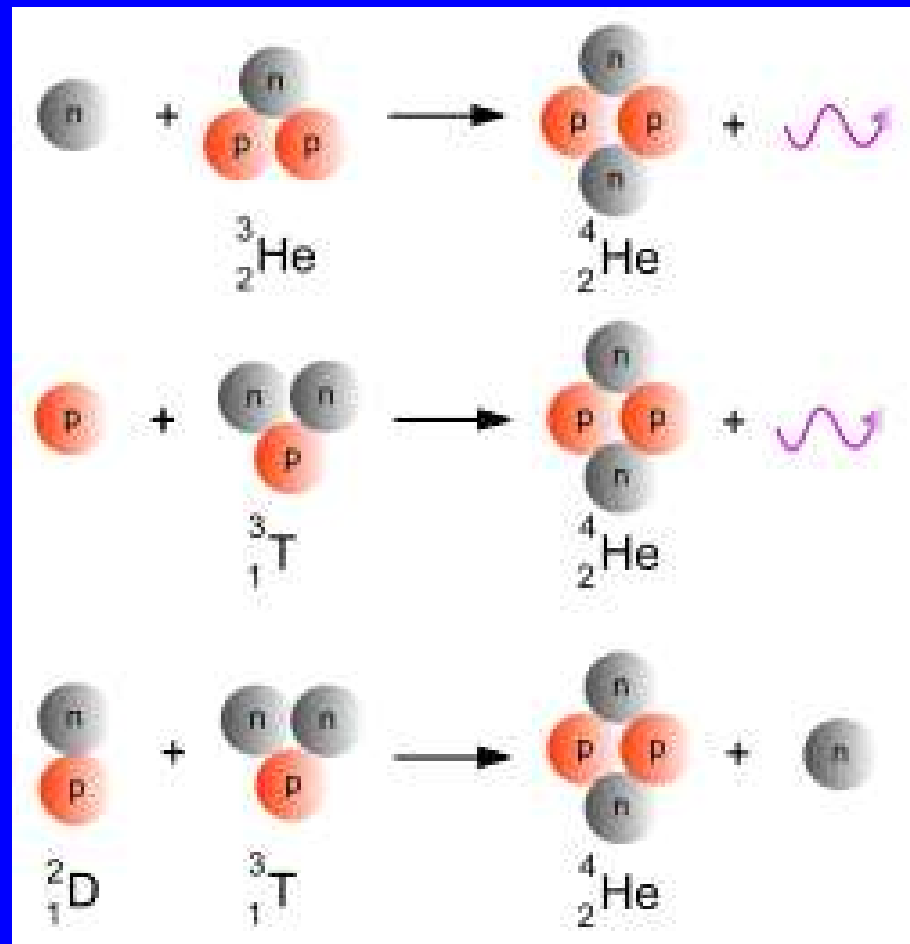
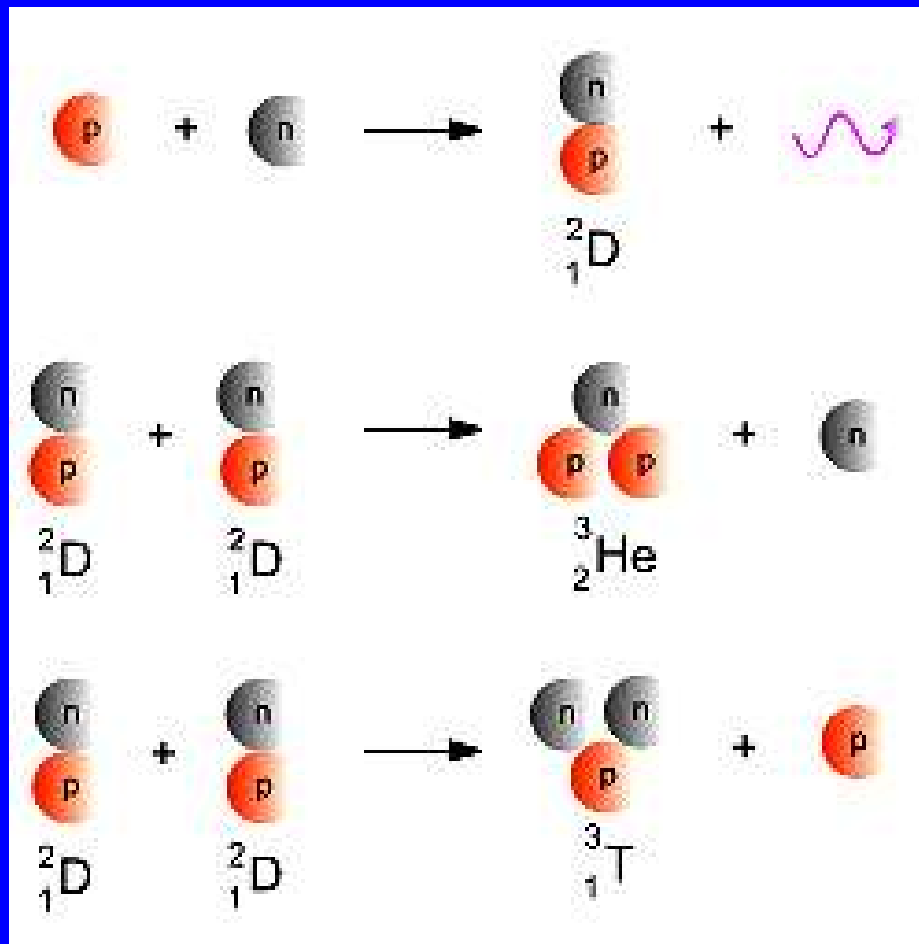


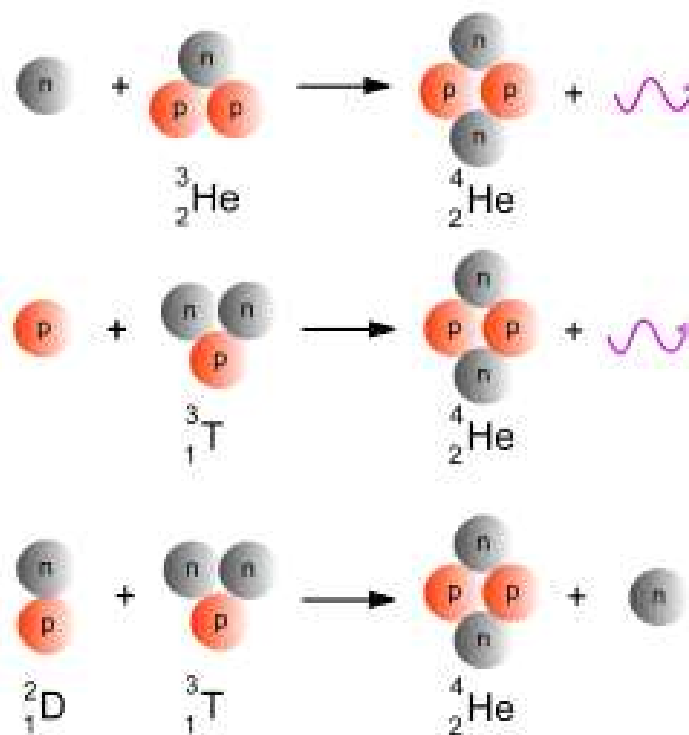
Na skutek tych reakcji deuteru zaczyna ubywać aż jego obfitość stabilizuje się na poziomie $5 \cdot 10^{-5}$ ilości wodoru. Taka z grubsza obfitość deuteru jest dziś obserwowana we Wszechświecie.

Gdy względna koncentracja izotopu ^3He osiągnie poziom ok. 10^{-5} (ilości wodoru) to zaczyna zachodzić proces:



OD WODORU DO HELU





W TYCH PROCESACH TRWAJĄCYCH ZALEDWIE KILKA MINUT POWSTAŁ NIEMAL CAŁY HEL OBECNY DZIŚ WE WSZECHŚWIECIE. PÓŹNIEJSZA EWOLUCJA GWIAZD DODAŁA JESZCZE KILKA PROCENT.

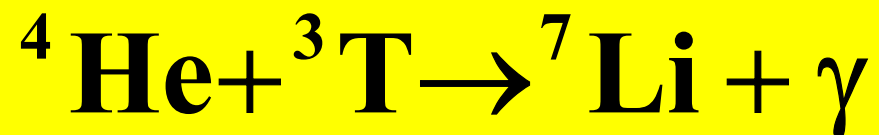
**OBECNIE ATOMY HELU STANOWIĄ OK. 10%
ILOŚCI ATOMÓW WE WSZECHŚWIECIE I
O TEJ OBFITOŚCI ZADECYDOWAŁO TEMPO
PIERWOTNEJ NUKLEOSYNTYZY.**

**MINUTY BIEGNĄ A WSZEŚWIAT CIĄGŁE
STYGNIE ZGODNIE Z FORMUŁĄ:**

$$T(t) \sim \text{const} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}}$$

**STOPNIOWO ROZPADOWI ULEGNĄ TEŻ RÓŻNE
NIETRWAŁE SKŁADNIKI PLAZMY**

**PEWNA NIEWIELKA CZĘŚĆ HELU ZDAŻY
JESZCZE WEJŚĆ W REAKCJE:**

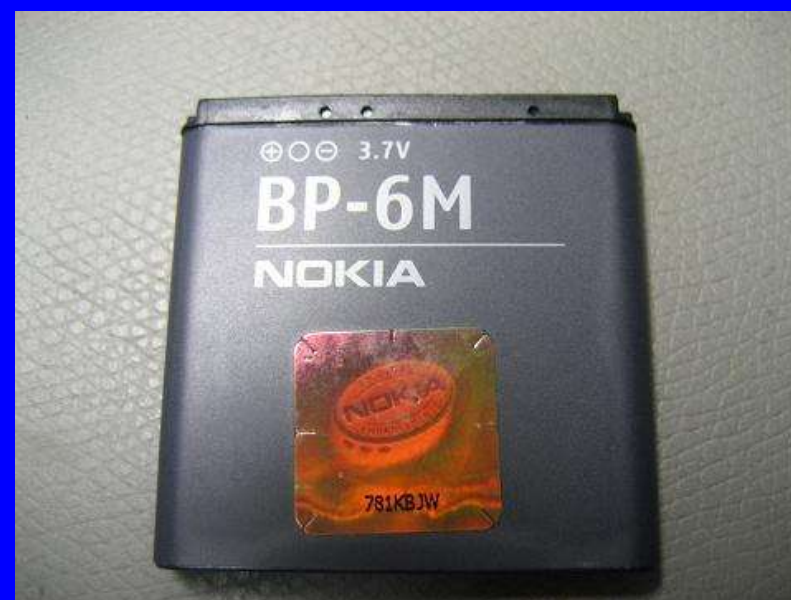


oraz



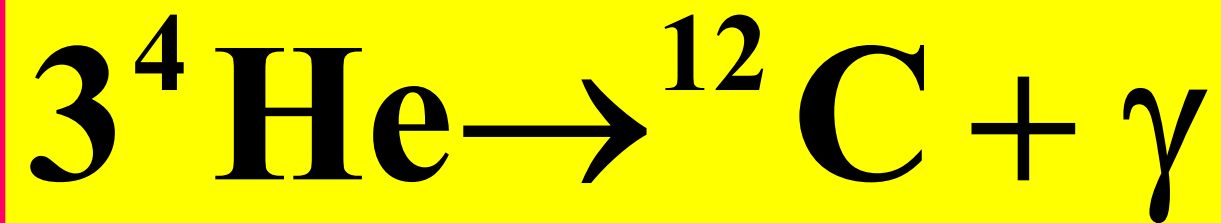
**Ta ostatnia reakcja daje nietrwały izotop
berylu. Nie ma trwałych nuklidów o
masach atomowych 5 i 8 .**

WARTO PRZY OKAZJI PODKREŚLIĆ ZNACZENIE
PIERWIASTKA LIT: ${}^7_3\text{Li}$.
MA ON ISTOTNE ZNACZENIE np. W BATERIACH
I AKUMULATORACH.



Poza tym związki tego pierwiastka mają wiele różnych zastosowań

KOLEJNA MOŻLIWA REAKCJA NUKLEOSYNTETY TO TZW. CYKL 3α PRODUKU – JĄCY WĘGIEL:



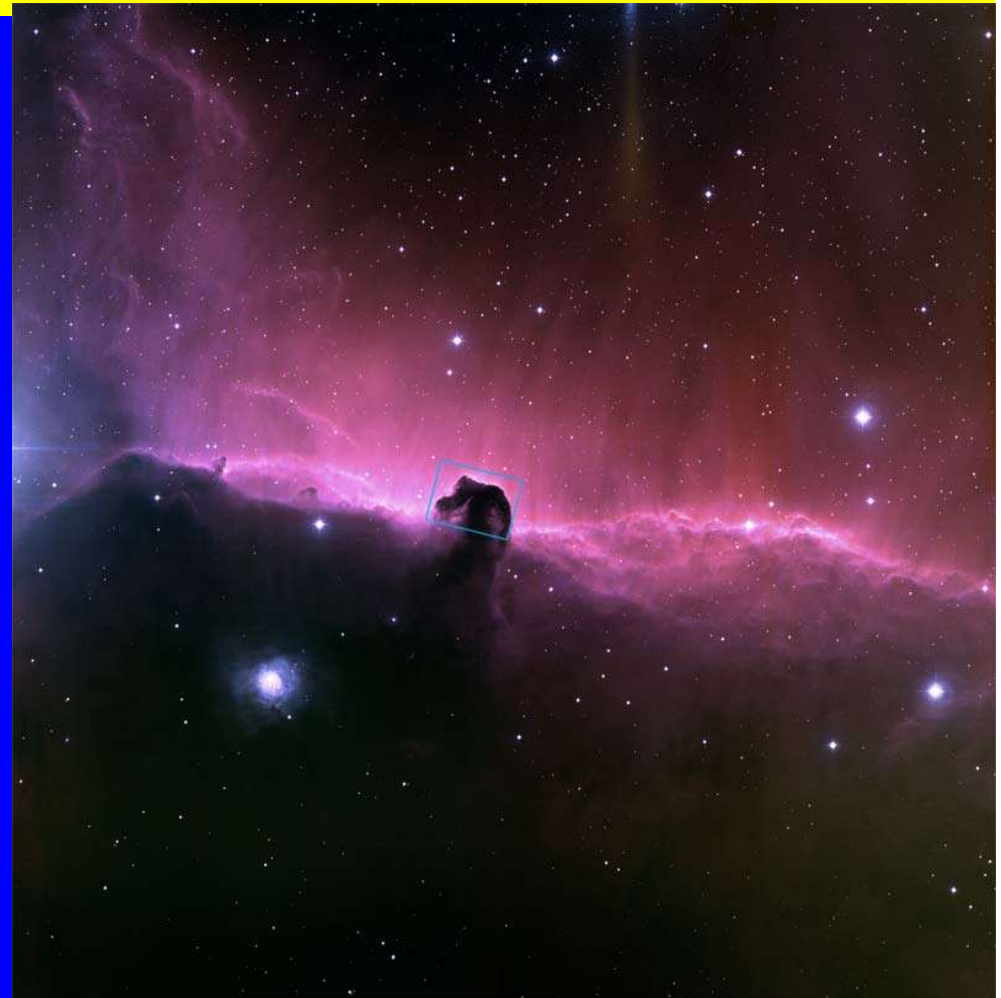
Reakcja ta wymaga jednak temperatury ok. 10^9 K a tymczasem temperatura Wszechświata spadła poniżej tej wartości. PIERWOTNA NUKLEOSYNTeza DOBIEGŁA KOŃCA.

Produkcją węgla i innych pierwiastków „zajmą się” w przyszłości masywne gwiazdy.

**OBSERWOWANA DZISIAJ OBFITOŚĆ
HELU, DEUTERU, LITU, BERYLU
I IZOTOPU He^3 JEST, OBOK EFEKTU
HUBBLE'A ORAZ PROMIENIOWANIA
RELIKTOWEGO, DODATKOWYM DO-
WODEM NA TRAFNOŚĆ SCENARIUSZA
ZWANEGO „WIELKIM WYBUCHEM”**

NARODZINY I „ŻYCIE” GWIAZD

TWORZYWEM, Z KTÓREGO FORMUJĄ SIĘ GWIAZDY JEST MATERIA MIĘDZYGWIAZDOWA – ZWŁASZCZA OBŁOKI GAZOWO PYŁOWE. SKŁADAJĄ SIĘ ONE Z WODORU I HELU ORAZ ŚLADOWYCH ILOŚCI „CIĘŻSZYCH” PIERWIASTKÓW.



„EMBRIONY” GWIAZD (*PROTOGWIAZDY*) W KOKONIE PYŁOWO GAZOWYM



DALSZY LOS
GWIAZDY ZALEŻY
OD JEJ MASY
WYJŚCOWEJ



EWOLUCJA GWIAZD

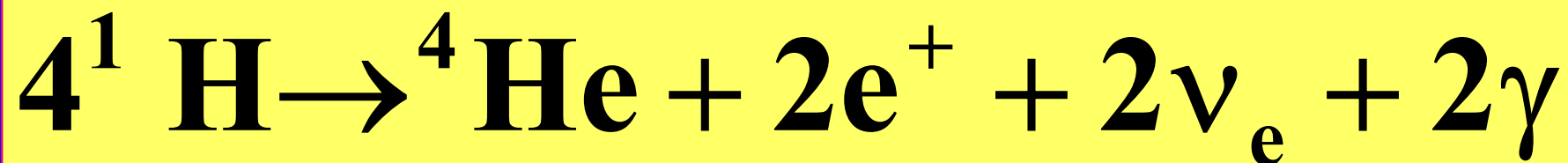
TEMPO I PRZEBIEG EWOLUCJI GWIAZDY ZALEŻY GŁÓWNIEM OD JEJ MASY POCZĄTKOWEJ (W CHWILI ROZPOCZĘCIA REAKCJI TERMOJĄDROWYCH W JEJ CENTRUM)

IM WIĘKSZA MASA TYM SZYBSZA EWOLUCJA!!!

PROTOGWIAZDY O MASACH **MNIEJSZYCH NIŻ 0.08 MASY_SŁOŃCA** (tzw. brązowe karły) NIE SĄ W STANIE ZAPOCZĄTKOWAĆ REAKCJI TERMOJĄDROWYCH W JĄDRZE. Z NICH NIE POWSTANĄ „PEŁNOPRAWNE” GWIAZDY.

Ewolucja gwiazd - 1

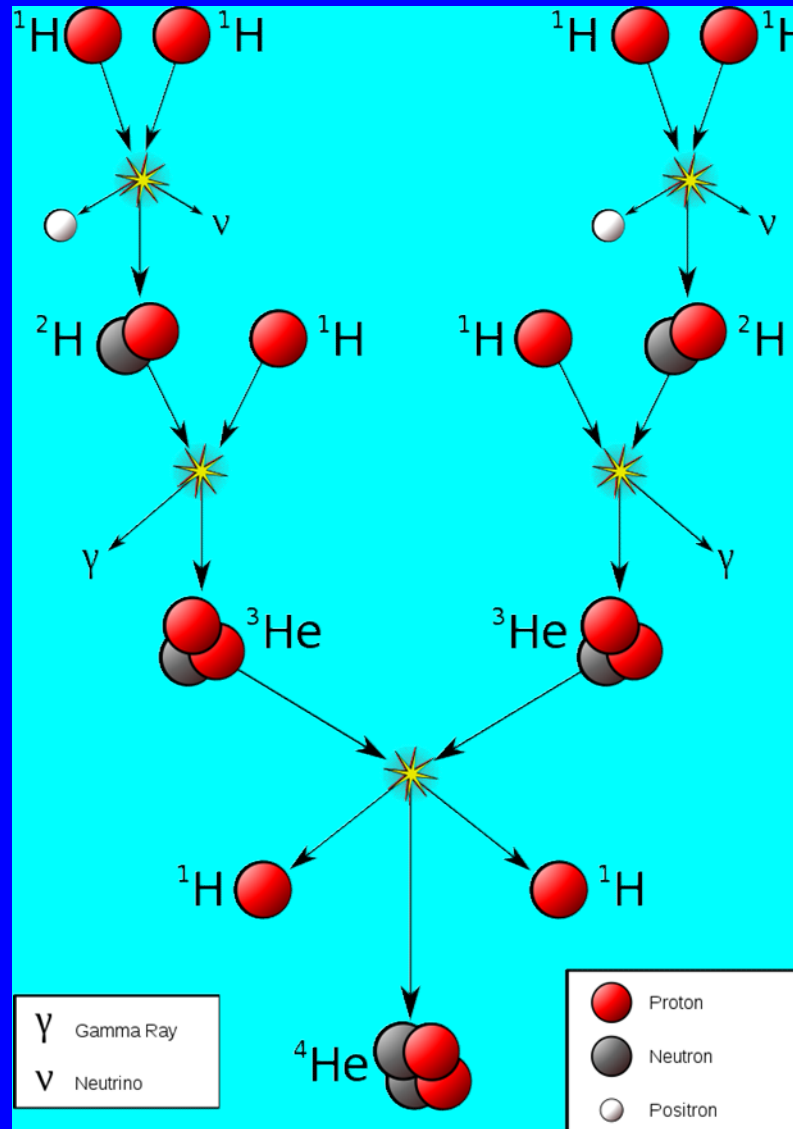
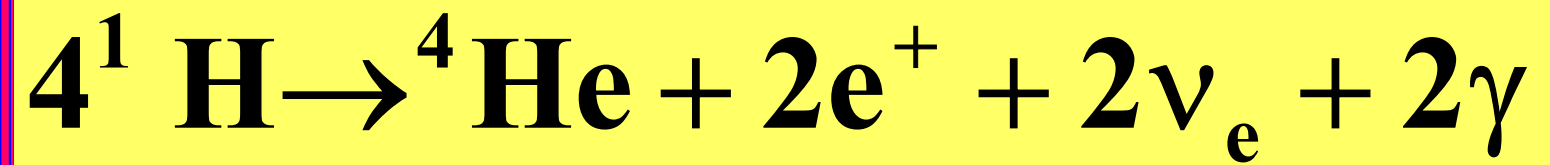
GDY TEMPERATURA W CENTRUM (W JĄDRZE) PROTOGWIAZDY OSIĄGNIĘ OK. 15 mln. K TO ZACZYNA SIĘ TAM REAKCJA TERMOJĄDROWA, KTÓRĄ SKRÓTOWO MOŻNA ZAPISAĆ :



W JEJ WYNIKU STOPNIOWO W JĄDRZE GWIAZDY UBYWA WODORU I PRZYBYWA HELU. TRWA TO - W ZALEŻNOŚCI OD POCZĄTKOWEJ MASY – OD KILKuset MILIONÓW LAT DO PONAD 10 MILIARDÓW LAT.

NA TYM ETAPIE EWOLUCJI JEST OBECNIE NASZE SŁOŃCE.

PRĘDZEJ LUB PÓŹNIEJ WODOROWE PALIWO WYCZERPIE SIĘ I GWIAZDA PRZEJDZIE DO KOLEJNEGO ETAPU SWOJEGO ŻYCIA.



Ewolucja gwiazd - 2

Dalszy przebieg ewolucji gwiazdy zależy głównie od jej masy w momencie rozpoczęcia reakcji termojądrowych w jej wnętrzu.

**Duża masa => szybsza ewolucja
krótsze życie
gwałtowny koniec**

TYLKO GWIAZDY O MASACH POCZĄTKOWYCH POWYŻEJ 4 MAS SŁOŃCA DOCHODZĄ W KOŃCU SWOJEGO ŻYCIA DO WYBUCHU SUPERNOWEJ.
TAKIMI GWIAZDAMI ZAJMIEMY SIĘ W DALSZYM CIĄGU NINIEJSZEJ PREZENTACJI.

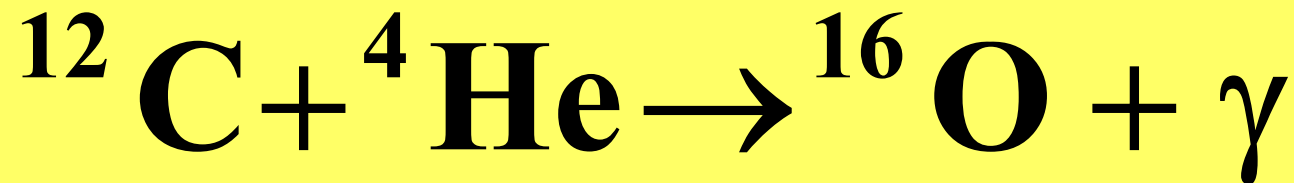
Ewolucja gwiazd - 3

GDY W JĄDRZE GWIAZDY WYCZERPIE SIĘ PALIWO WODOROWE TO HELOWE JĄDRO STOPNIOWO KURCZY SIĘ I NAGRZEWA ZAŚ POZOSTAŁE WARSTWY GWIAZDY ROZDYMają SIĘ TWORZĄC GWIAZDĘ – OLBRZYMA.

GDY TEMPERATURA JĄDRA OSIĄGNIĘ OK. 10^8 K ZACZNIE SIĘ PROCES TERMOJĄDROWEGO „SPALANIA” HELU W WĘGIEL - (cykl 3α):



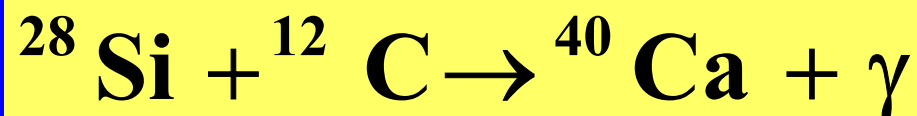
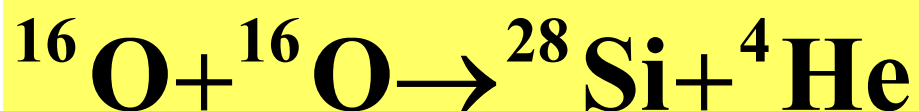
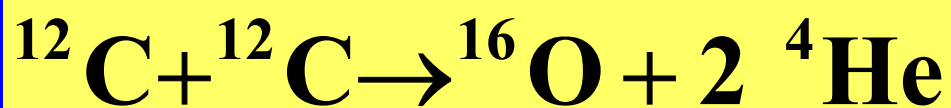
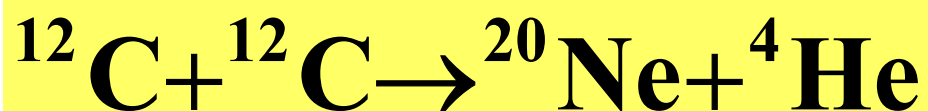
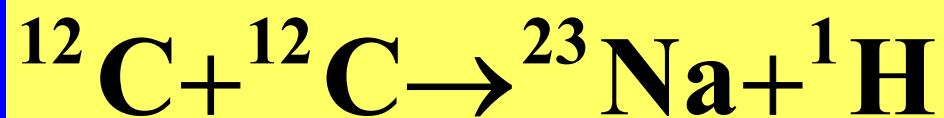
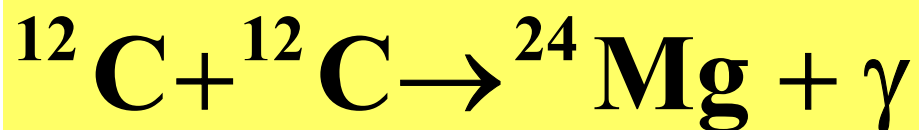
A W KOLEJNYM ETAPIE, W MIARĘ PRZYBYWANIA WĘGLA ZACZNIE SIĘ REAKCJA:



NA TYM ETAPIE GWIAZDA JEST ROZDĘTYM NADOLBRZYMEM O ROZMIARACH RZĘDU ORBITY ZIEMSKIEJ.

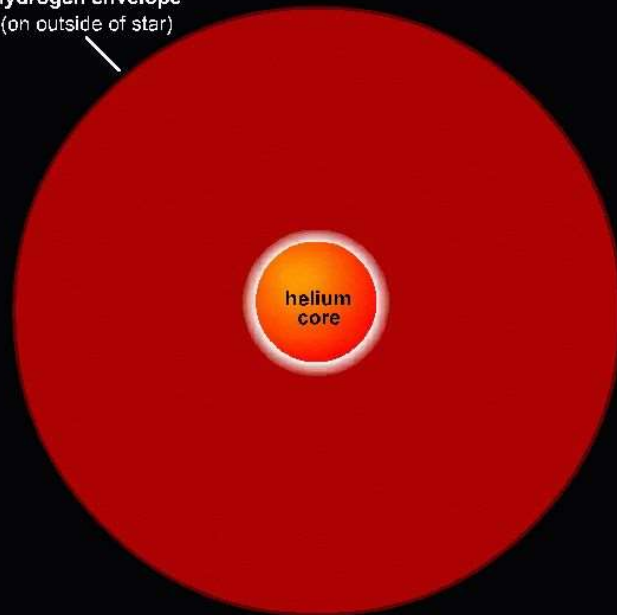
Ewolucja gwiazd - 4

GDY WYCZERPUJE SIĘ ZAPAS HELU JĄDRO GWIAZDY ZNÓW KURCZY SIĘ I NAGRZEWA. PRZY TEMPERATURZE OK. 800 mln. K ZACZNĄ SIĘ KOLEJNE REAKCJE TERMOJĄDROWE:



STOPNIOWO W KOLEJNYCH PROCESACH TERMOJĄDROWYCH POWSTAJĄ CORAZ CIĘŻSZE PIERWIASTKI, AŻ DO ŻELAZA WŁĄCZNIE.

hydrogen envelope
(on outside of star)

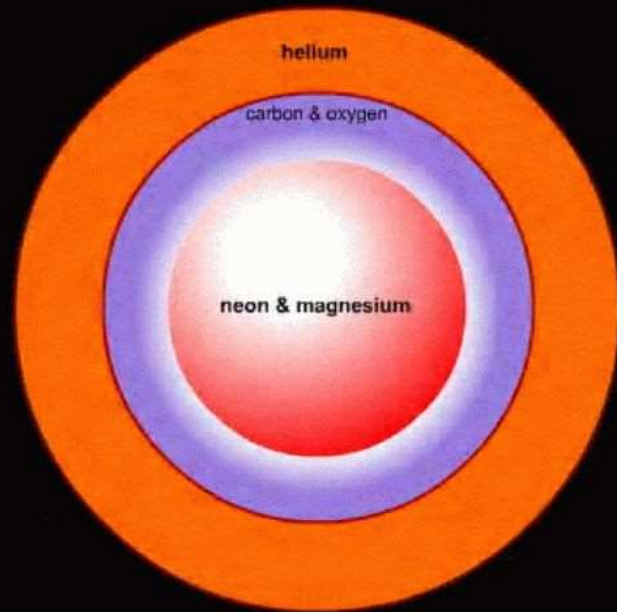


step 1

end of star's stable life

After all of the hydrogen atoms have been fused into helium, the nuclear reactions will cease inside the core of the star. Gravity is taking its toll on the core; the atoms inside of it are being pushed together, and the temperature is rising from the usual 40 million degrees C (Celsius) to 170 million degrees C. The new heat from the core makes the hydrogen envelope expand to about 100 times the size of the original star. The hydrogen envelope begins to weaken because of stellar wind.

next >

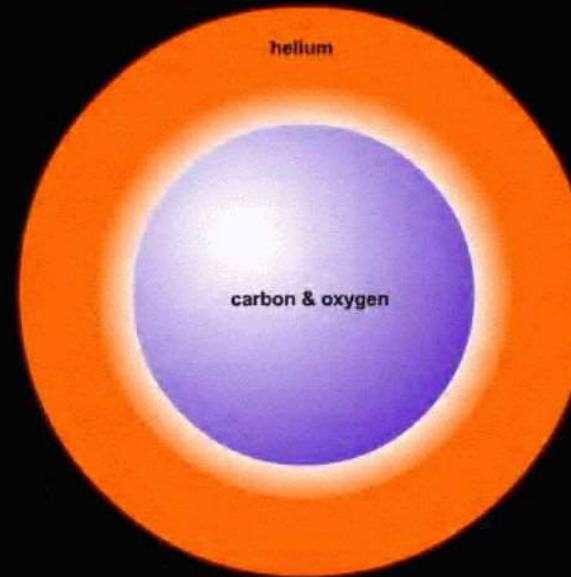


step 3

one thousand years to explosion

All of the helium in the inner core has been used up, and gravity is again forcing the star ever inward. The carbon core's temperature is again raised, now to 700 million degrees C, and the carbon is fusing into neon and magnesium. The surrounding layers are still converting helium to carbon and hydrogen to helium.

back next >

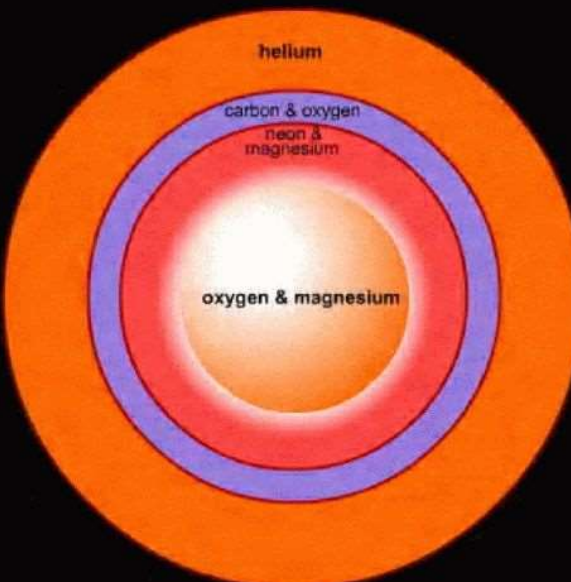


step 2

one million years to explosion

Everything taking place during the end of this star's life will occur inside of its core. A new sequence of fusions will happen. The helium atoms now fuse to make heavier elements, mainly oxygen and carbon. Each new layer formed from now on is hotter and denser than the previous.

back next >

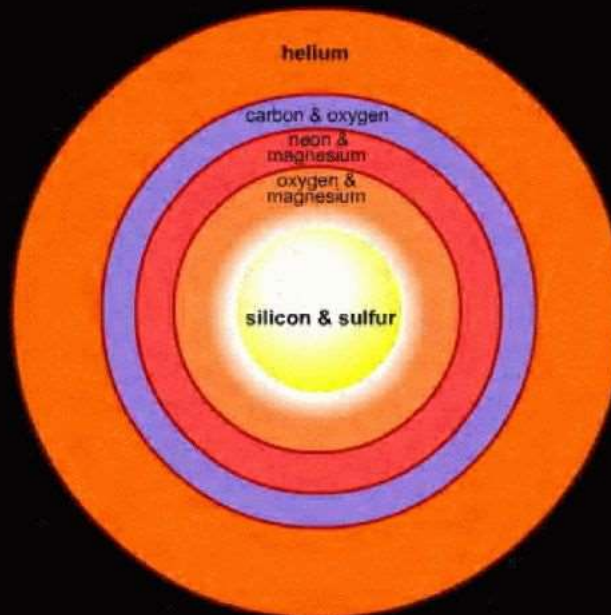


step 4

seven years to explosion

At the point that the core's temperature reaches 1.5 billion degrees C, the neon atoms are fused into oxygen and more magnesium. The different core layers keep getting denser and denser as the star continues to fuse new materials.

back next >

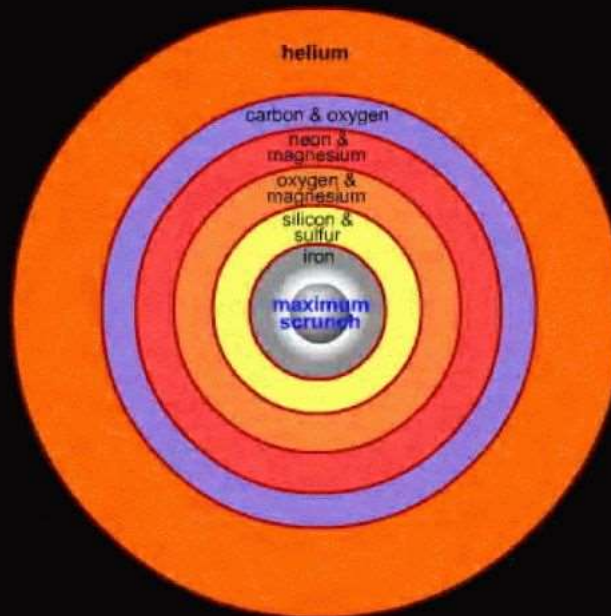


step 5

one year to explosion

As the core is compacted even more, the temperature reaches above two billion degrees C, the oxygen atoms fuse to form silicon and sulfur.

[back](#) [next](#) ›

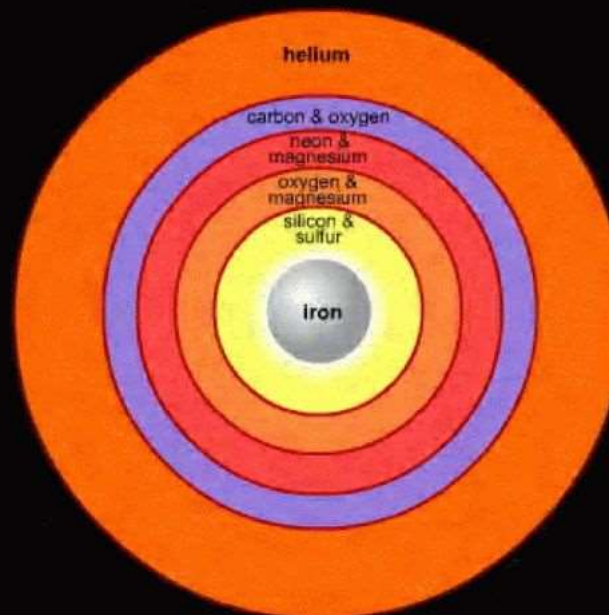


step 7

tenths of seconds to explosion

When the innermost iron core cannot fuse any more elements, then core collapses for the final time, at a speed of 45,000 miles per second, or one-quarter the speed of light! The temperature of the core rises to a blistering 100 billion degrees C. The iron sphere that used to be about the size of earth is now compacted into a sphere only a scant 10 miles across (Earth is about 8,000 miles across). The unimaginable heat produces what are called neutrinos, chargeless particles which are then trapped inside the iron core. Scientists called this point the "maximum scrunch" because the core cannot be compressed anymore, and until nuclei overcome gravity, there is a precarious balance between them being held in by gravity and breaking loose of gravity's grasp.

[back](#) [next](#) ›

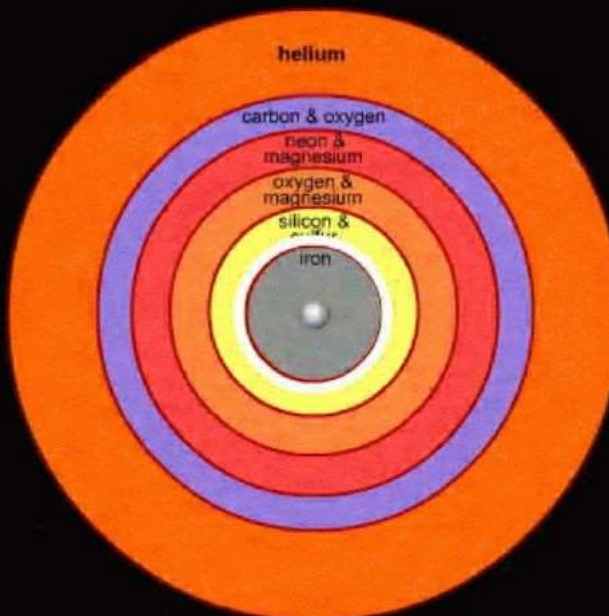


step 6

a few days to explosion

The ever collapsing core is pushed to three billion degrees, and silicon and sulfur is fused into a tightly compacted sphere of iron. The sphere is approximately 1.44 solar masses (1.44 x size of our sun). Iron does not allow its atoms to be fused into heavier elements, so this is the last possible fusion to take place inside the star.

[back](#) [next](#)



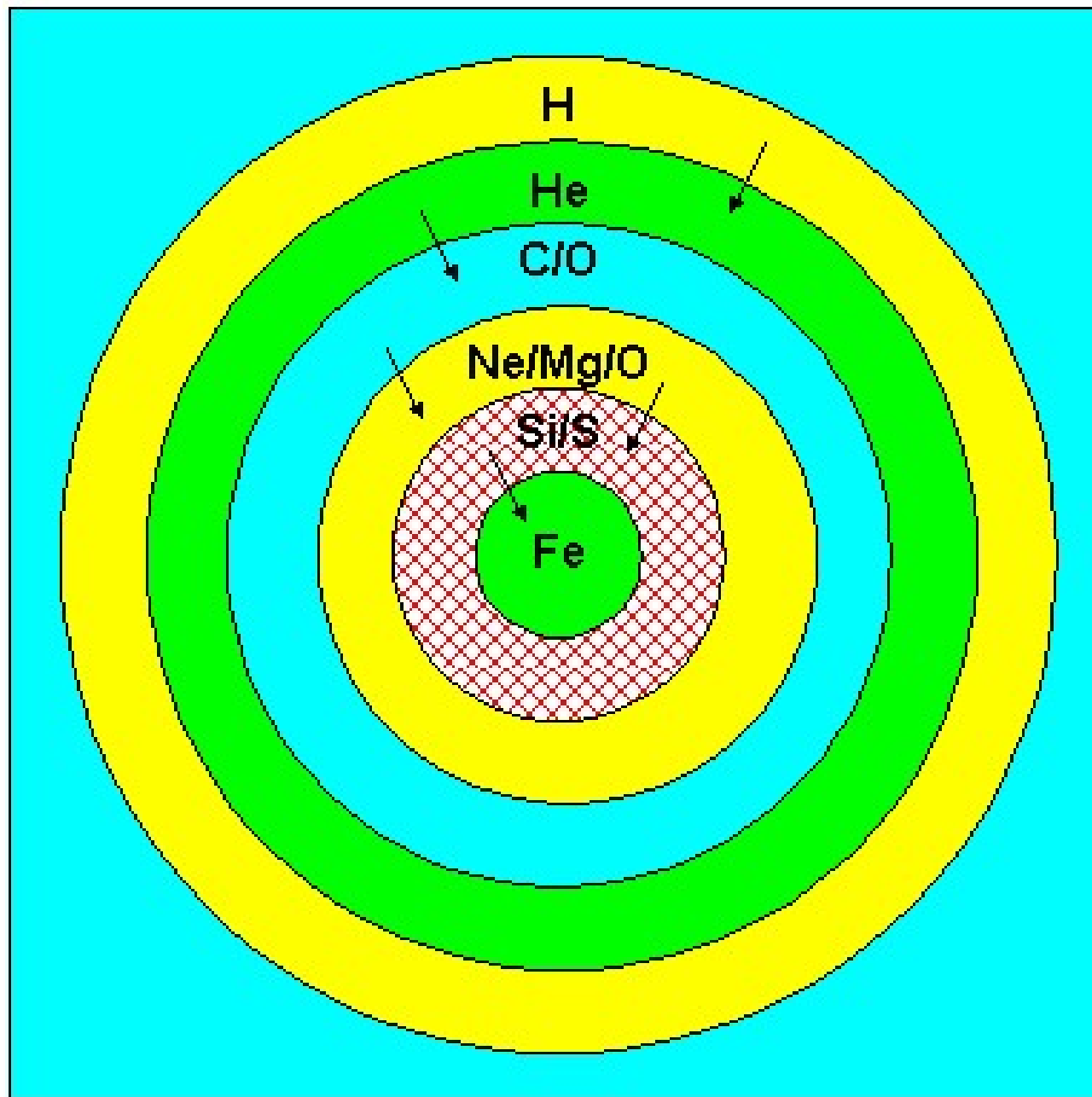
step 8

milliseconds into explosion

When the core's nuclei overcomes gravity, the center core hurls matter out from it into the silicon layer in a massive shock wave, causing some the silicon's nuclei to fuse into radioactive material. The shock wave will form more new materials as it blasts through the outer layers.

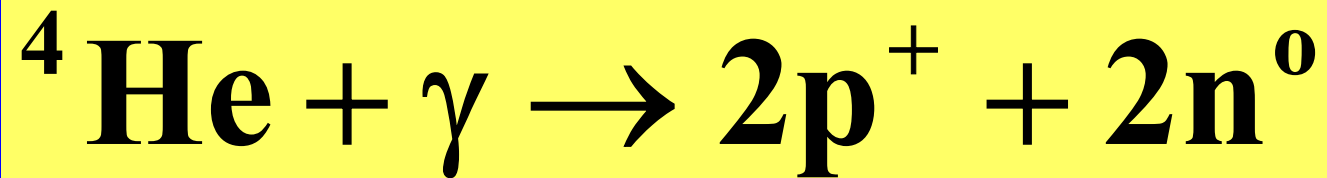
[back](#) [next](#) ›

JĄDRO MASYWNEJ GWIAZDY KRÓTKO PRZED KOLAPDEM

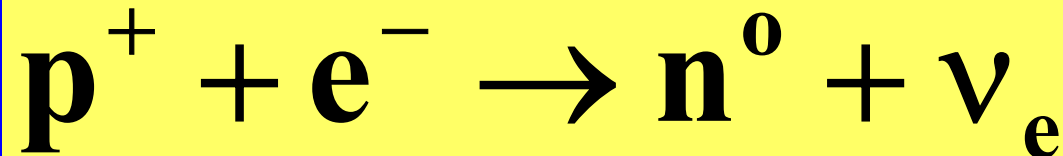


**GDY MASA ŻELAZNEGO
RDZENIA PRZEKROCZY
WARTOŚĆ KRYTYCZNĄ
ZACZYNA SIĘ JEGO
KATASTROFICZNY
KOLAPS (IMPLOZJA).
JEST TO MOMENT WY-
BUCHU SUPERNOWEJ.**

W TRAKCIE KOLAPSU ŻELAZNEGO RDZENIA, W TEMPERATURZE KILKU MILIARDÓW KELVINÓW, ZACZYNA SIĘ PROCES DEZINTEGRACJI JĄDER ATOMOWYCH:



NASTĘPNIE ZACHODZI PROCES NEUTRONIZACJI MATERII W REAKCJI TZW. ODWROTNEGO PROCESU β :



PRZY KTÓRYM WYDZIELA SIĘ OGROMNA ILOŚĆ ENERGII

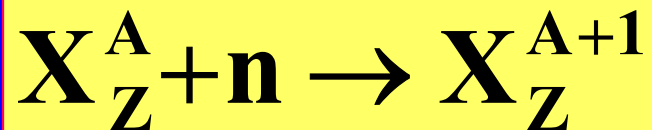
**IMPLOZJA ŻELAZNEGO RDZENIA GWIAZDY PROWADZI
DO POWSTANIA EGZOTYCZNEGO OBIEKTU - TZW.
GWIAZDY NEUTRONOWEJ.**

**NATOMIAST SPADAJĄCE NA TO NEUTRONOWE JĄDRO
ZEWNĘTRZNE WARSTWY GWIAZDY ODBIJAJĄ SIĘ
GWAŁTOWNIE I CAŁA DOTYCHCZASOWA GWIAZDA
ZOSTAJE ROZERWANA W WYBUCHU SUPERNOWEJ.**

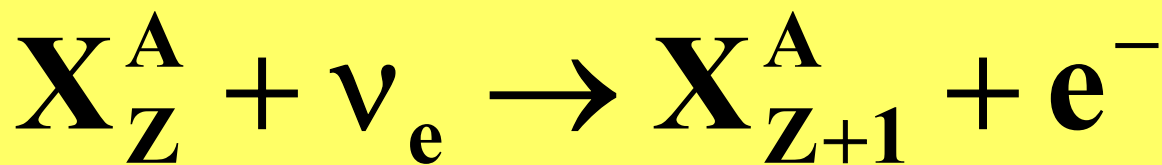


NUKLEOSYNTeza W TRAKCIE WYBUCHU SUPERNOWEJ

W CIĄGU KILKUNASTU MINUT WYBUCHU POPRZECZ KOLEJNE WYCHWYTY NEUTRONÓW I ROZPADY BETA POWSTAJĄ PIERWIASTKI CIĘŻSZE OD ŻELAZA:



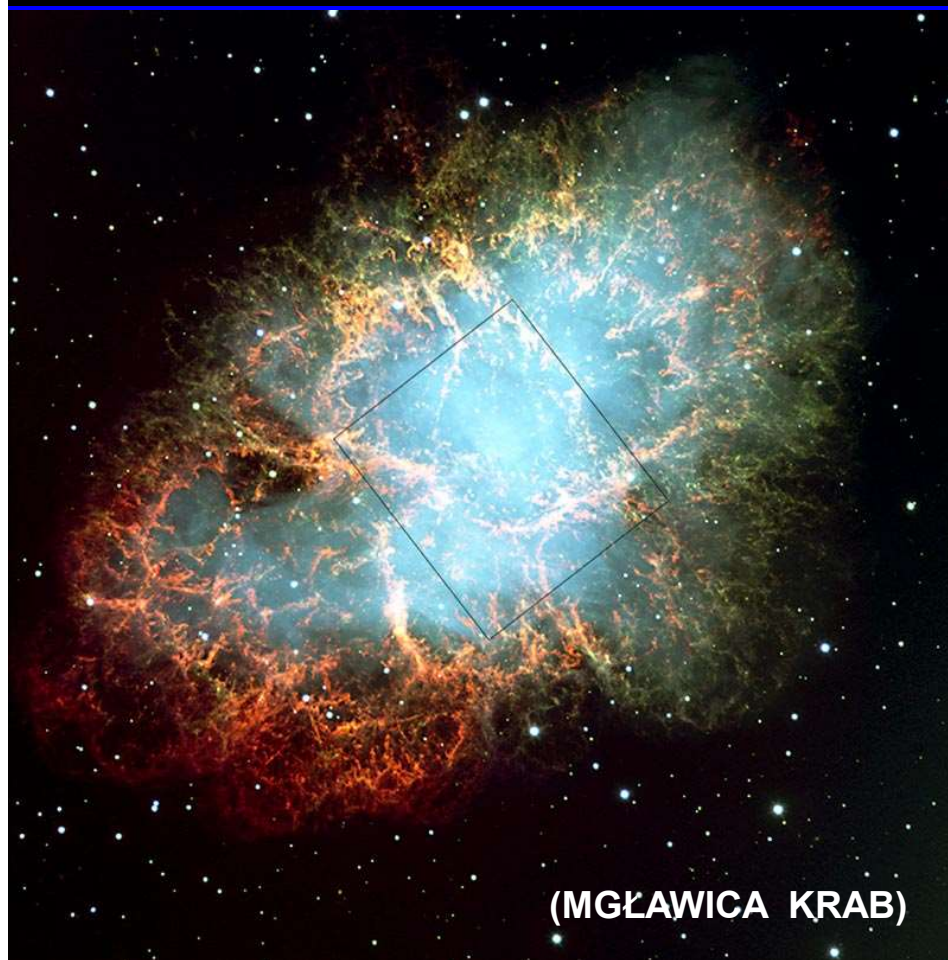
LUB PRZECZ WYCHWYTY NEUTRIN:



TO WYBUCHY SUPERNOWYCH WYPRODUKOWAŁY WIĘKSZOŚĆ ISTNIEJĄCYCH WE WSZECHŚWIECIE (W TYM TAKŻE NA ZIEMI) CIĘŻSZYCH PIERWIASTKÓW.

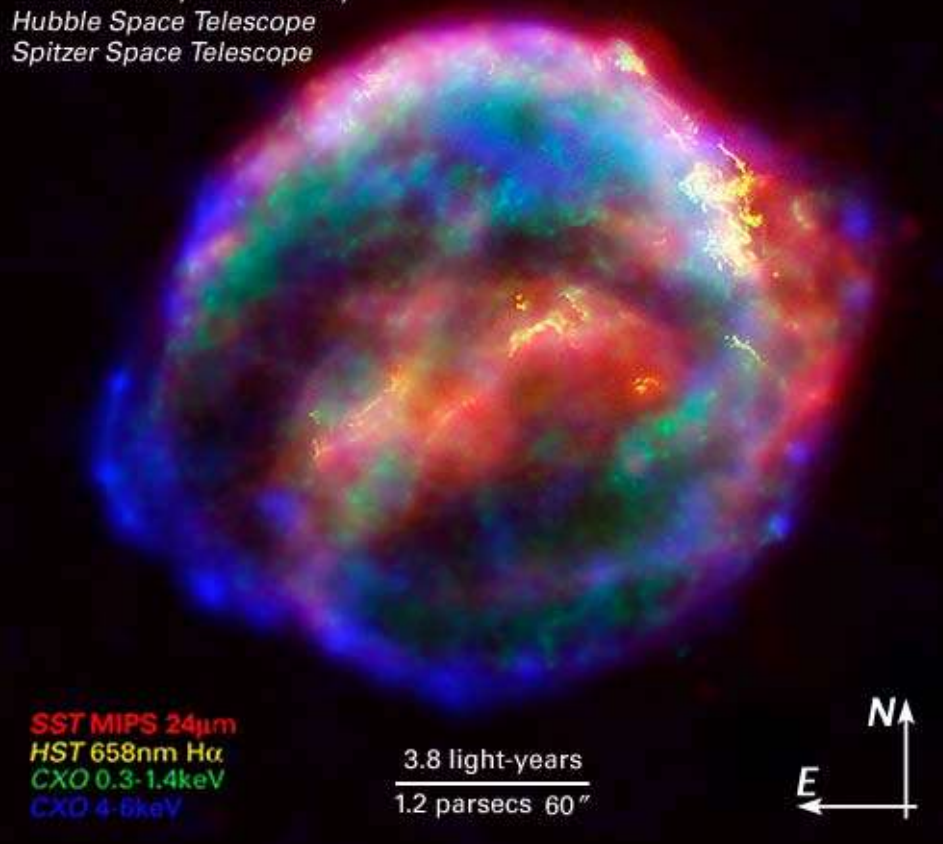
JESTEŚMY (POŚREDNIO) PRODUKTEM WYBUCHÓW SUPERNOWYCH.

KRAJOBRAZ PO KATAKLIZMIE (1)



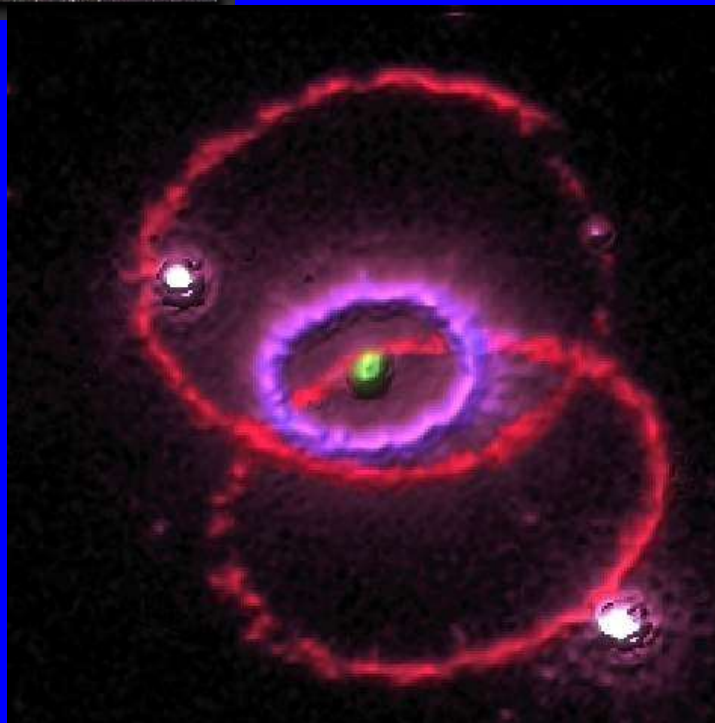
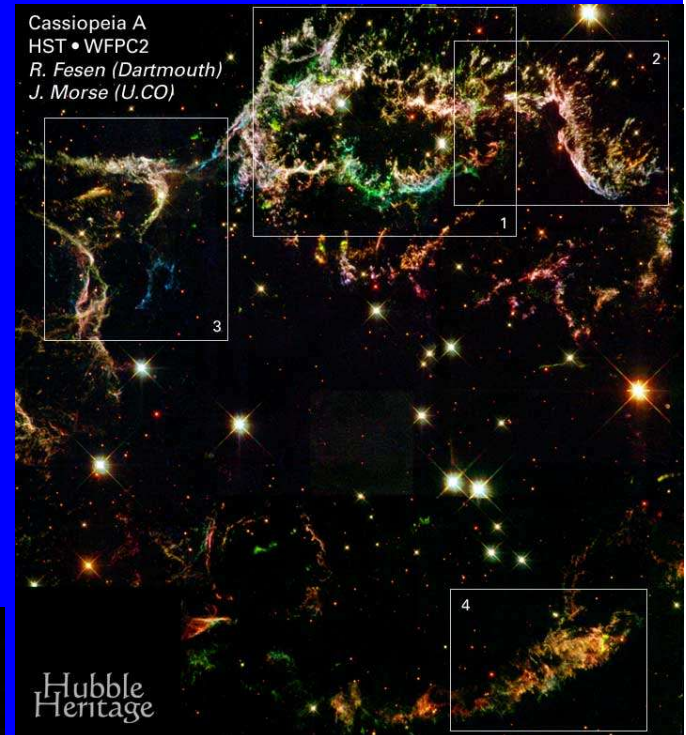
Kepler's Supernova Remnant
SN 1604

Chandra X-ray Observatory
Hubble Space Telescope
Spitzer Space Telescope



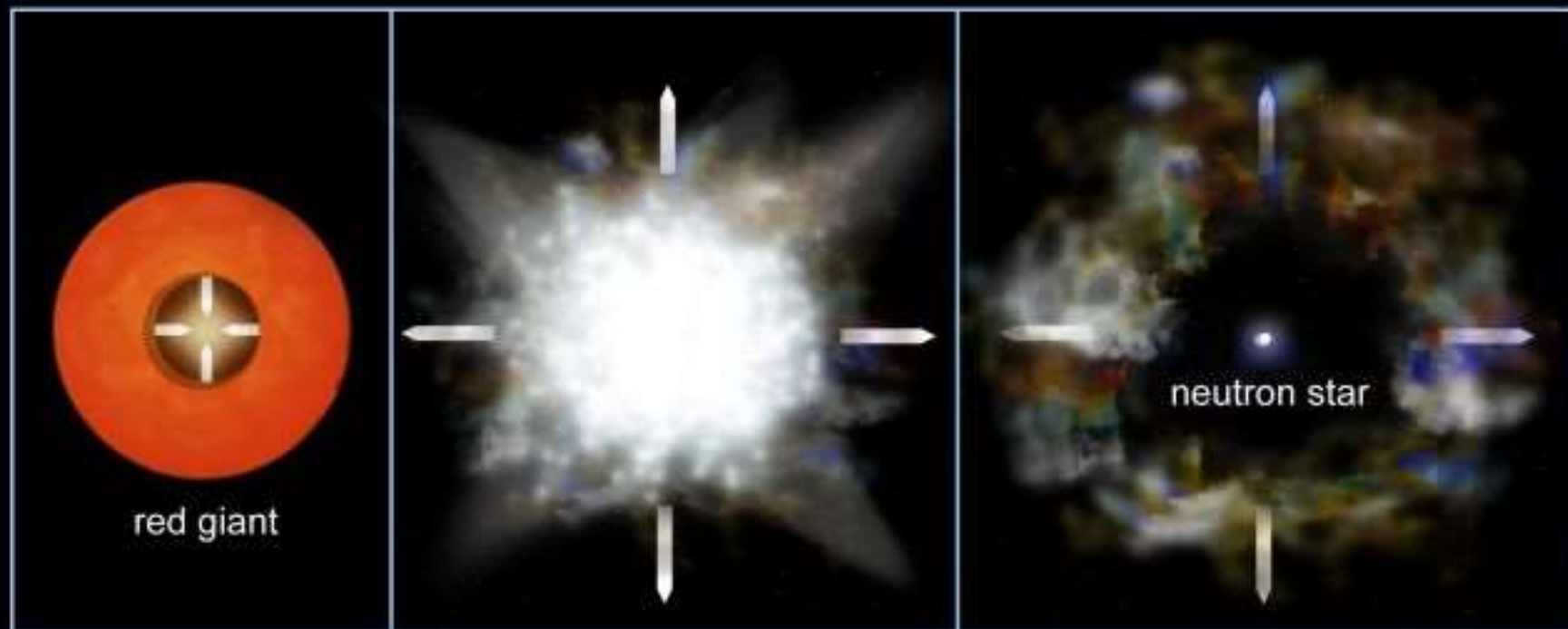
Pozostałość po wybuchu supernowej
z 1054 r.

KRAJOBRAZ PO KATAKLIZMIE (2)



PODSUMOWANIE ETAPÓW: OD MASYWNEGO CZERWONEGO OLBRZYMA POPRZECZ WYBUCH SUPERNOWEJ DO GWIAZDY NEUTROOWEJ

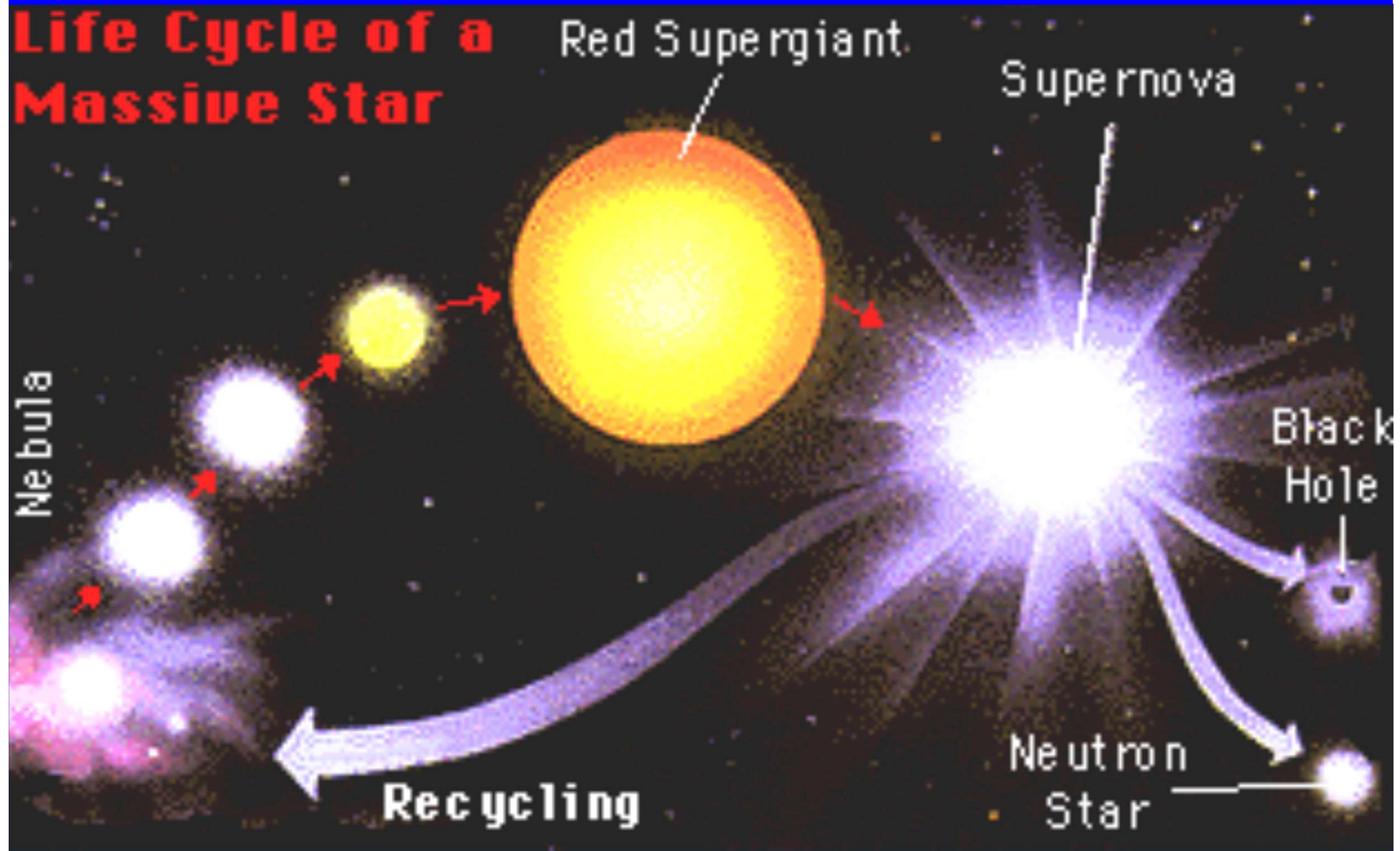
Birth of a Neutron Star and Supernova Remnant (not to scale)

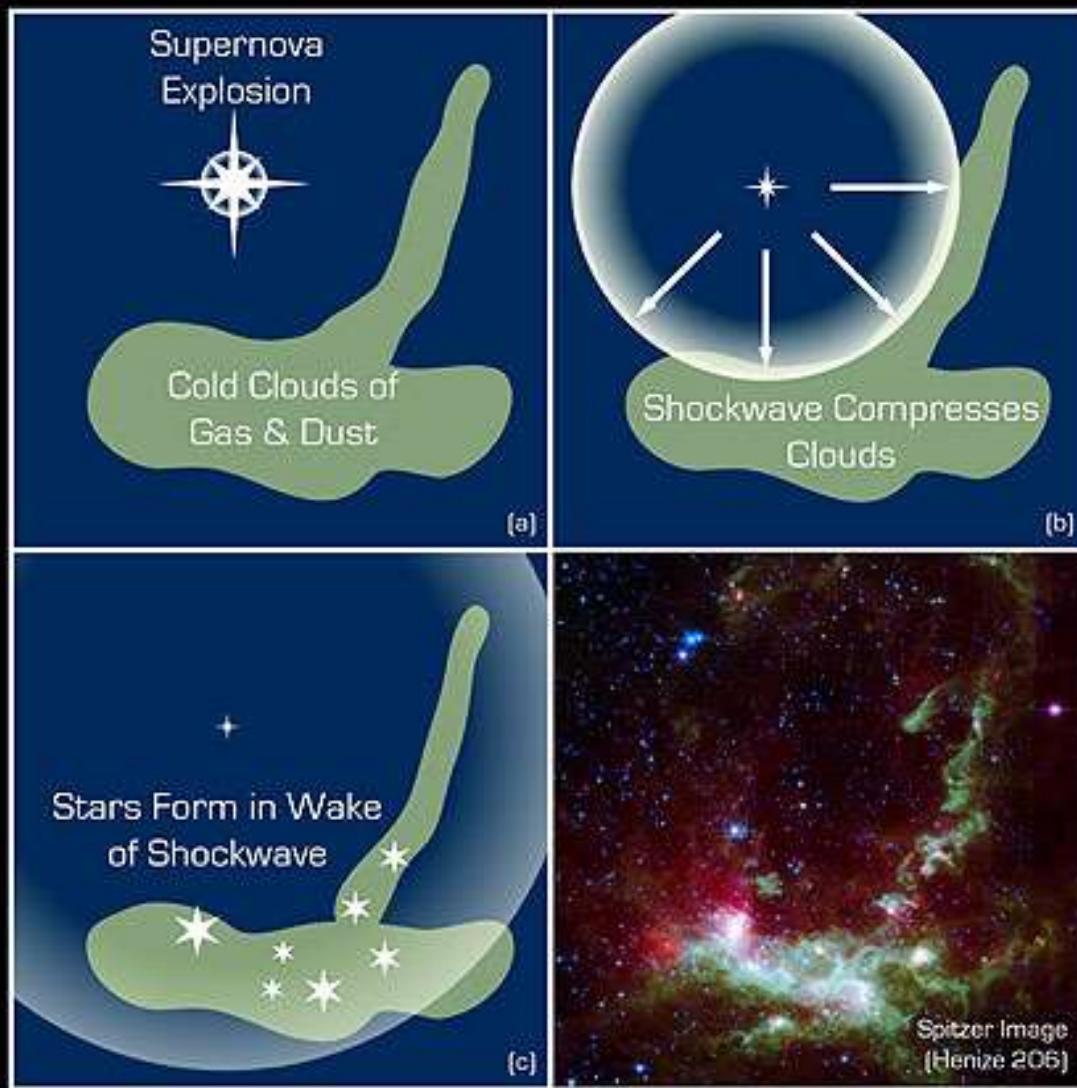


Core Implosion → Supernova Explosion → Supernova Remnant

DO MATERII MIĘDZYGWIAZDOWEJ WRACA GAZ WZBOGAČONY O
SPORĄ DOMIESZKĘ „CIĘŻSZYCH” PIERWIASTKÓW.

Zarys ewolucji supermasywnej gwiazdy – „KRAŻENIE MATERII W KOSMOSIE”



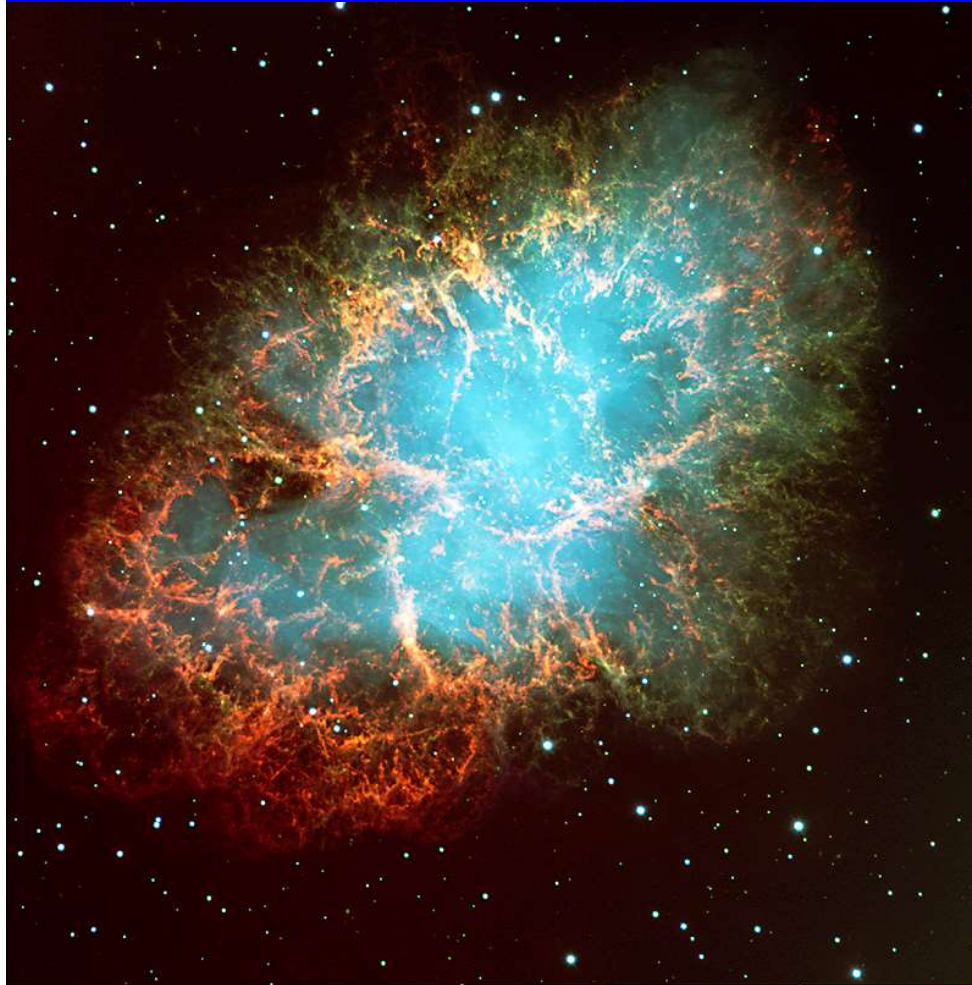


**EKSPLOZJE GWIAZD
SUPERNOWYCH MOGĄ
SPRZYJAĆ POWSTAWA-
NIU ZAGĘSZCZEŃ W
OBŁOKACH MIĘDZY-
GWIAZDOWYCH
PRZYSPIEWSZAJĄC
PROCESY KONDENSACJI**

**UMIERAJĄC WYBUCHO-
WO MASYWNA GWIAZDA
MOŻE WIĘC UŁATWIAĆ
POWSTAWANIE KOLEJ-
NEGO POKOLENIA
GWIAZD.**

**MY TEŻ ISTNIEJEMY DZIĘKI WYBUCHAJĄCYM
GWIAZDOM SUPERNOWYM.**

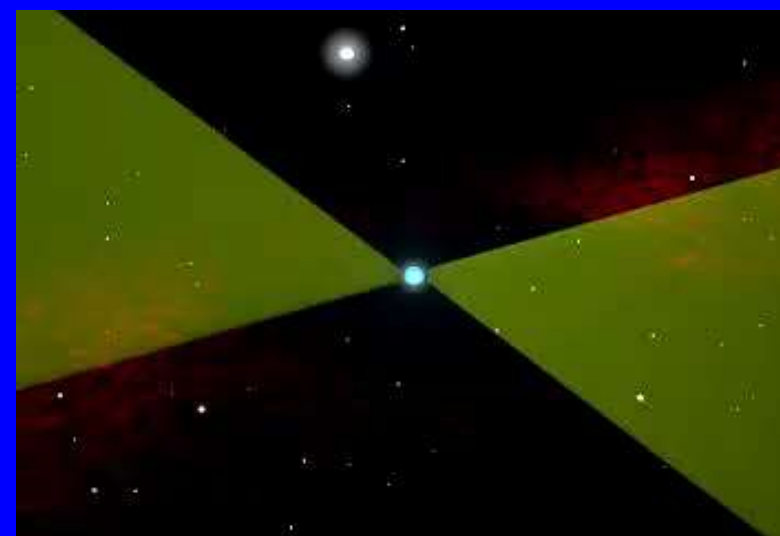
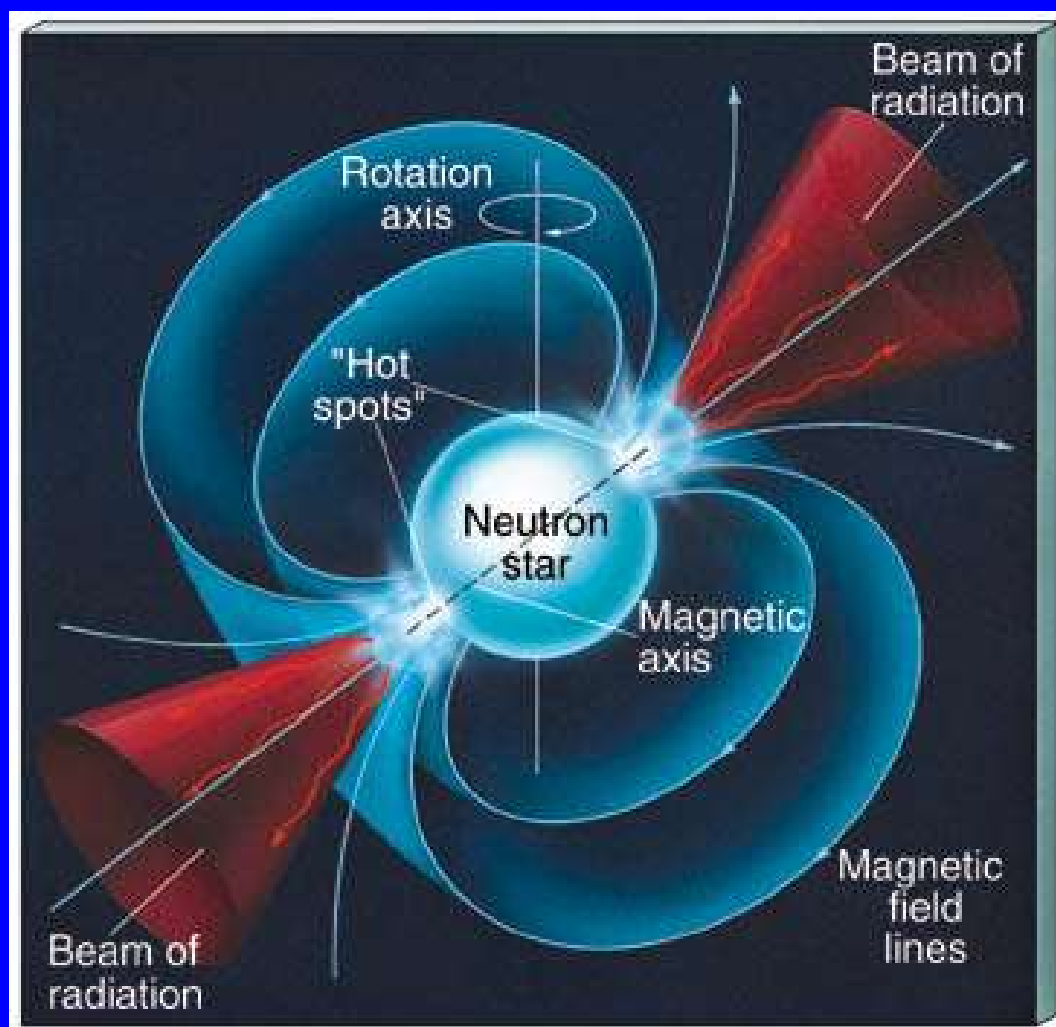
Po wybuchu tzw. gwiazdy supernowej prawie cała materia rozprasza się i jest tworzywem dla kolejnych powstających gwiazd.



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

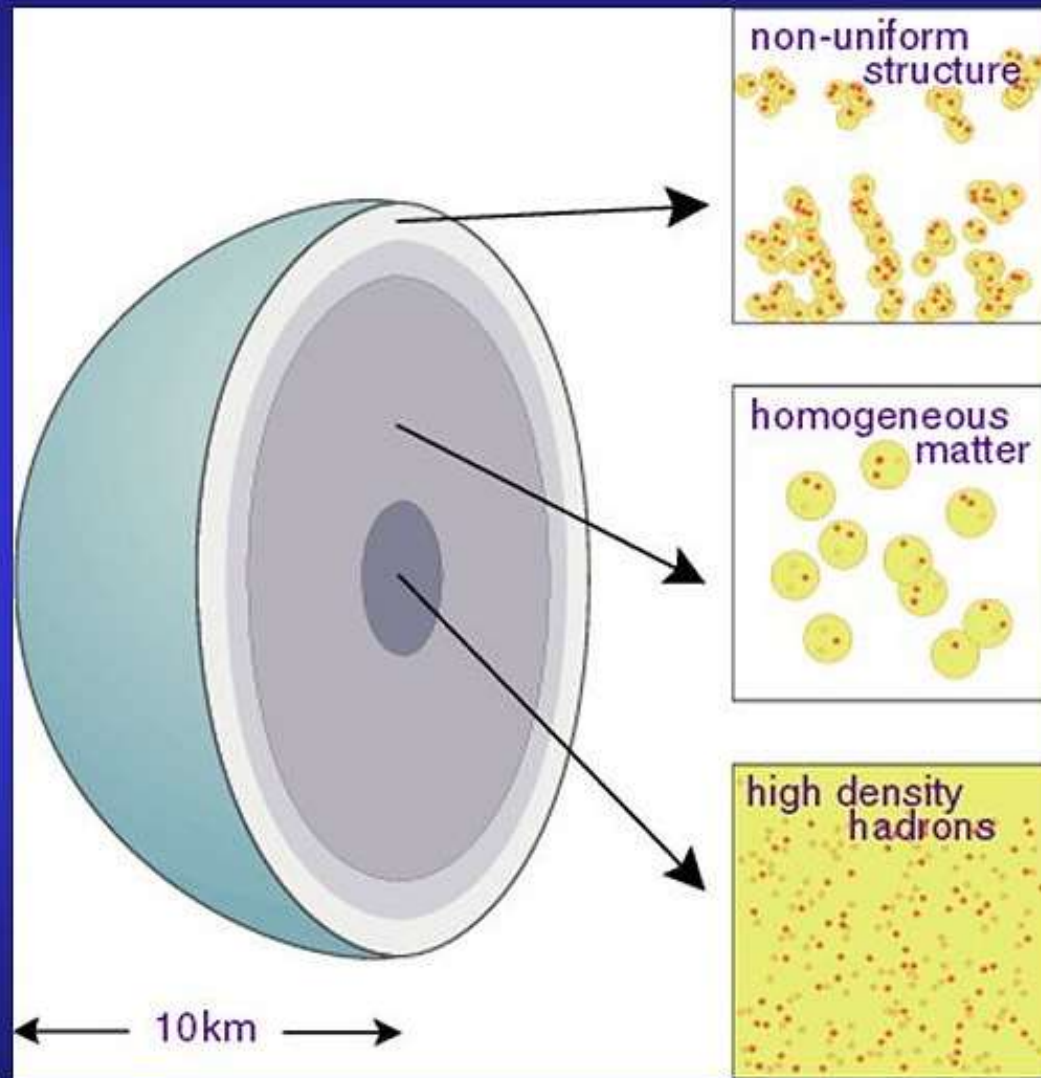


POZOSTAJE GWIAZDA NEUTRONOWA O ŚREDNICY KILKUNASTU DO KILKUDZIESIĘCIU KILOMETRÓW I OTACZAJĄCĄ JĄ SILNE POLE MAGNETYCZNE



**GWIAZDA NEUTRONOWA JAKO
TZW. PULSAR**

STRUKTURA WEWNĘTRZNA GWIAZDY NEUTRONOWEJ

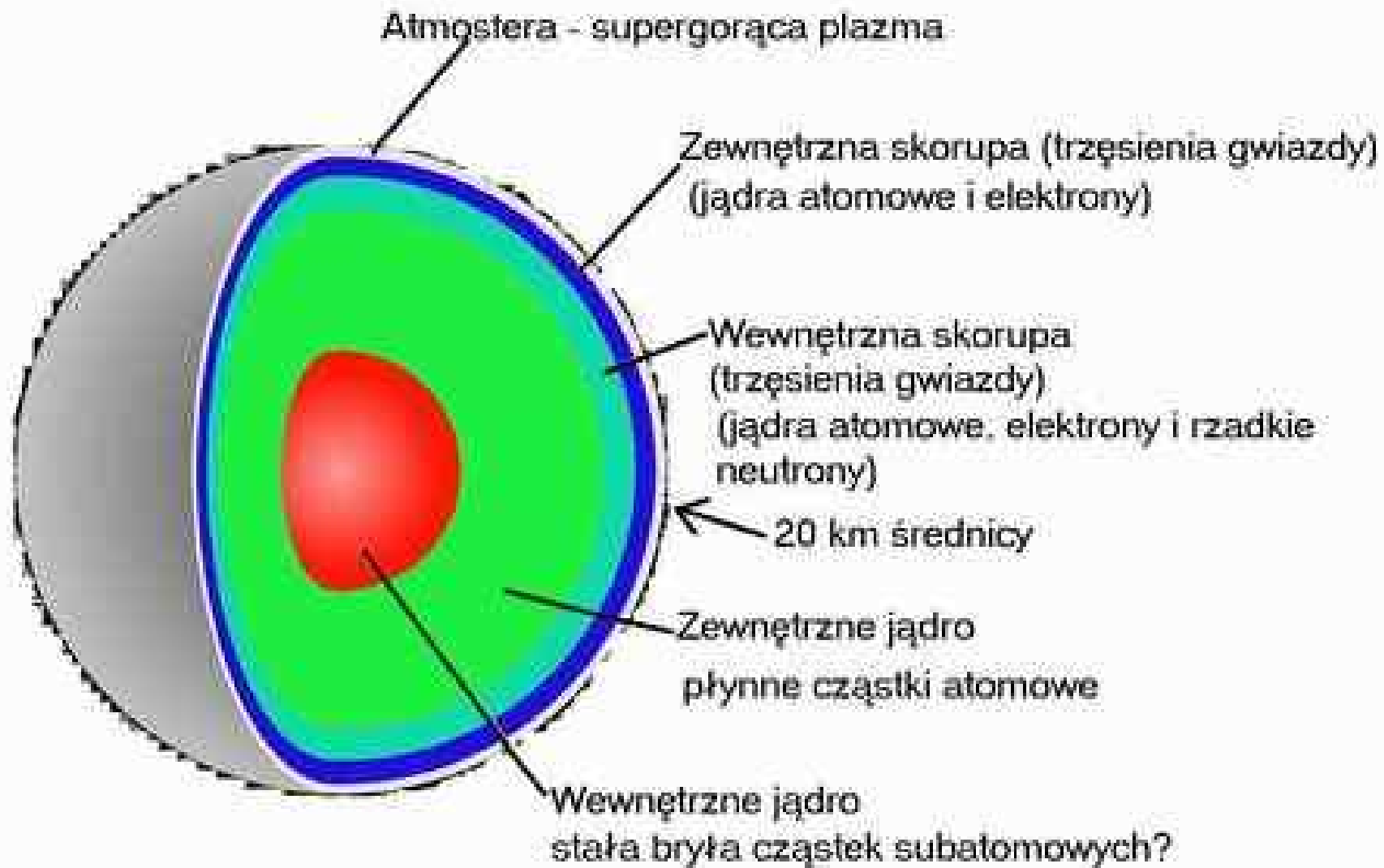


Neutrony tworzą skomplikowane struktury - gęstość jest mniejsza niż normalna gęstość jądrowa.

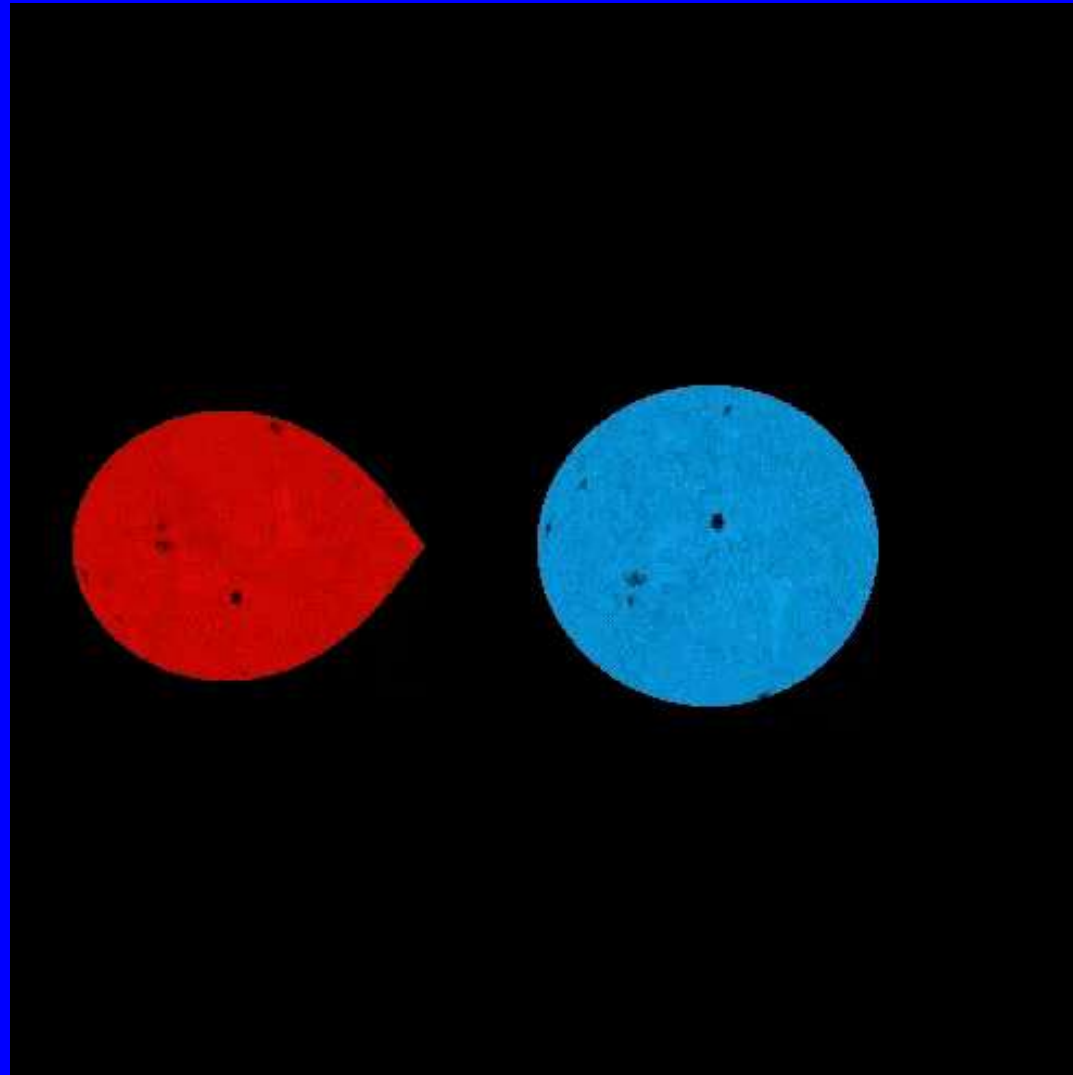
Jednorodna materia

Bardzo gęsta materia hadronowa – gęstość znacznie przewyższa normalną gęstość jądrową.

STRUKTURA WEWNĘTRZNA GWIAZDY NEUTRONOWEJ



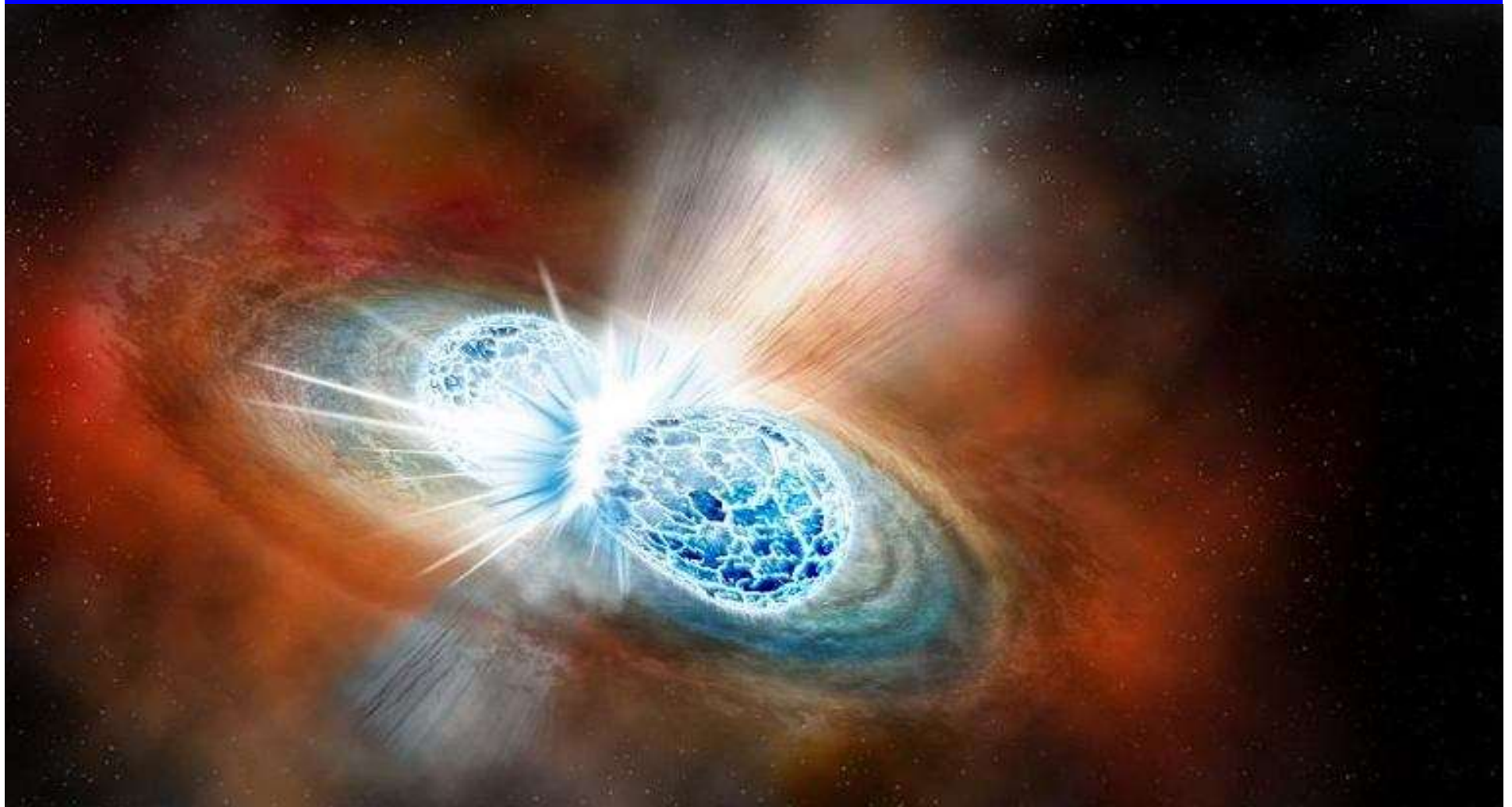
GWIAZDY CZĘSTO TWORZĄ TZW. UKŁADY PODWÓJNE



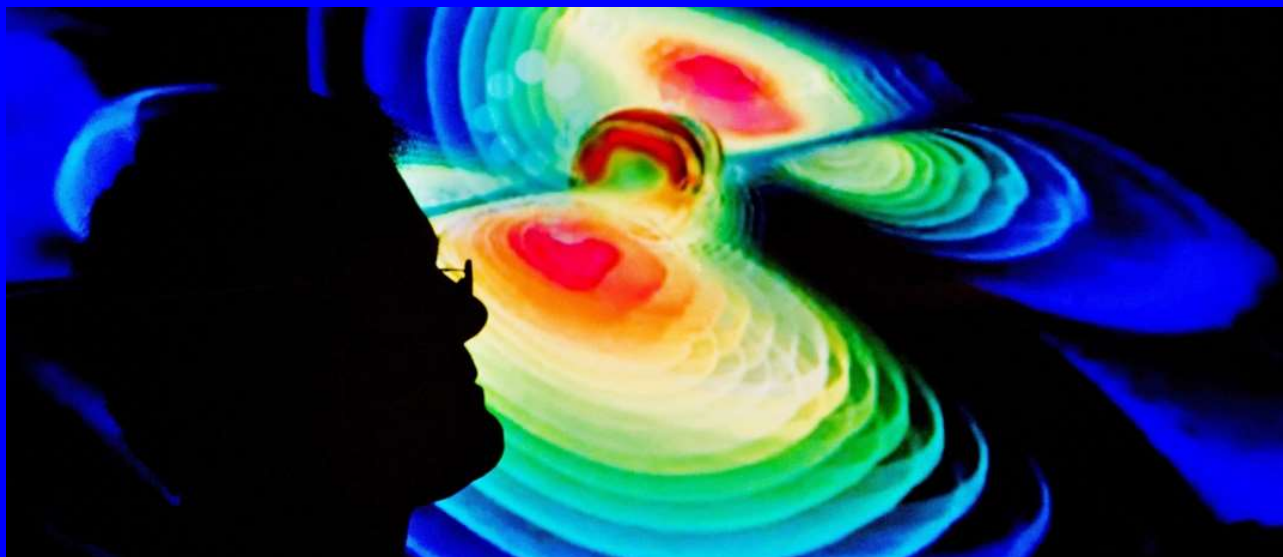
**JEŚLI OBIE GWIAZDY UKŁADU PODWÓJNEGO BYŁY
BARDZO MASYWNE I PRZESZŁY WYBUCH SUPERNOWEJ
TO POWSTANIE UKŁAD PODWÓJNY GWIAZD NEUTRO-
NOWYCH, KTÓRE PO PEWNYM CZASIE WYKONAJĄ TO
CO NA PONIŻSZEJ ANIMACJI**



TAKIE ZDERZENIE (ZLEWANIE RAZEM) PARY GWIAZD
NEUTRONOWYCH PROWADZI TAKŻE DO WYDAJNEGO
PROCESU NUKLEOSYNTYZY ZWŁASZCZA WIELU
MASYWNYCH PIERWIASTKÓW - W TYM ZŁOTA



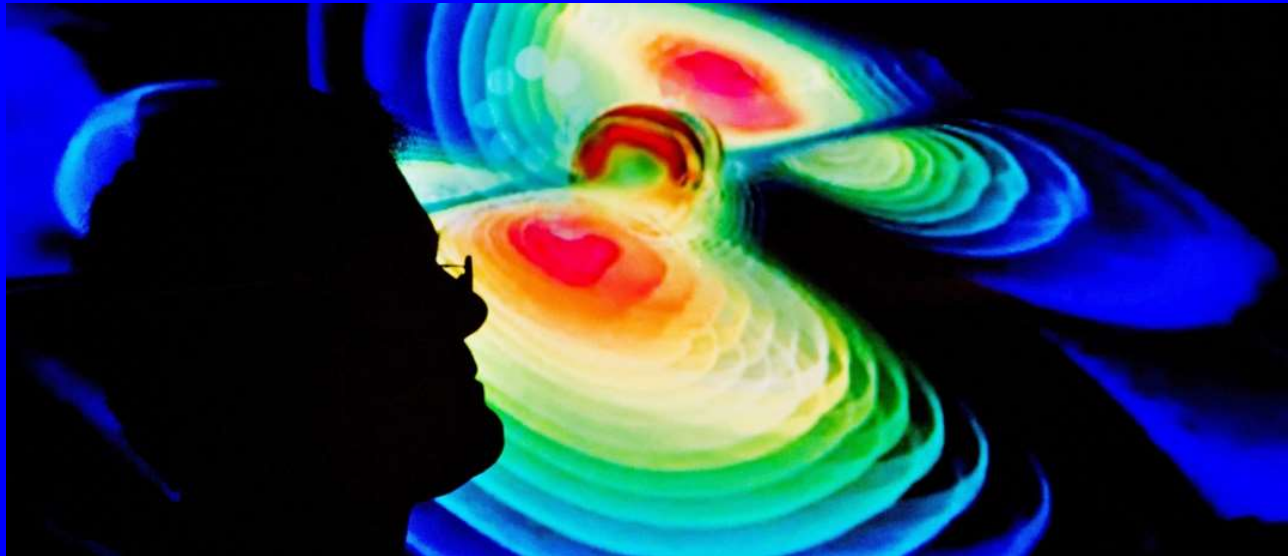
ODKRYCIE Z 15/16 SIERPNIA 2017 r



W GALAKTYCE NGC 4993 ODLEGŁEJ O OK. 130 mln LAT ŚWIETLNYCH ZAREJESTROWANO ZDERZENIE PARY GWIAZD NEUTRONOWYCH O MASACH OK. 1 ORAZ 1.6 MAS SŁOŃCA. ZAOBSERWOWANO ZARÓWNO ROZBŁYSK OPTYCZNY JAK I SILNY IMPULS FAL GRAWITACYJNYCH.

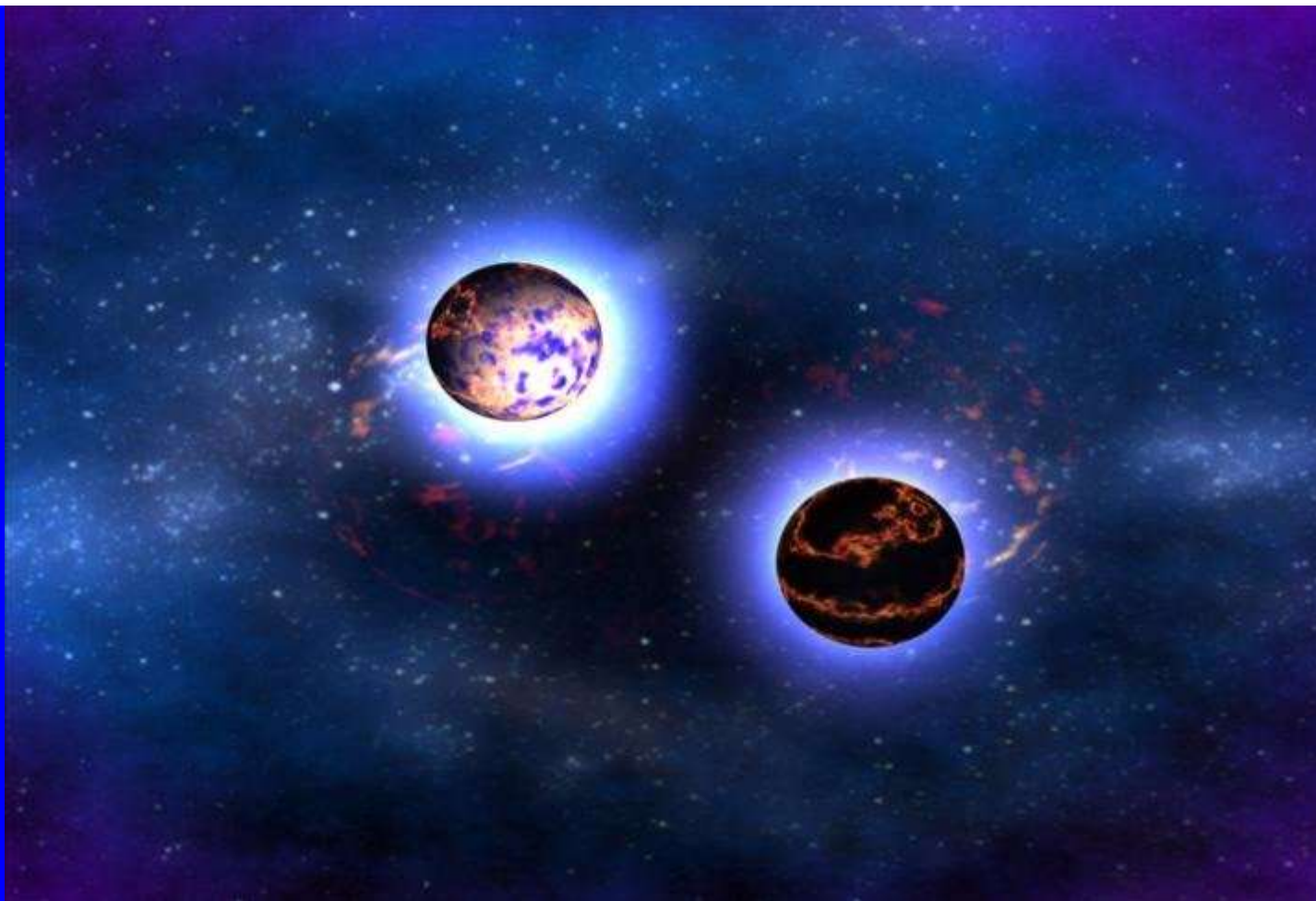
W ODKRYCIU UCZESTNICZYŁO TEŻ KILKU POLAKÓW PRACUJĄCH AKURAT ZA GRANICĄ W PROJEKCIE VIRGO (m. in. Prof. ANDRZEJ KRÓLAK z PAN).

ODKRYCIE Z 15/16 SIERPNIA 2017 r



W GALAKTYCE NGC 4993 ODLEGŁEJ O OK. 130 mln LAT ŚWIETLNYCH ZAREJESTROWANO ZDERZENIE PARY GWIAZD NEUTRONOWYCH O MASACH OK. 1 ORAZ 1.6 MAS SŁOŃCA.

**SZACUJE SIĘ, ŻE W TYM KATAKLIŹMIE
MOGŁA POWSTAĆ ILOŚĆ ZŁOTA O MASIE
KILKUDZIESIĘCIU MAS ZIEMI !!!!**



OSTATNIE ODKRYCIA SUGERUJĄ WYRAŹNIE, ŻE WIĘKSZOŚĆ TZW. „CIĘŻKICH” PIERWIASTKÓW JAK ZŁOTO, PLATYNA A TAKŻE URAN MOŻE POCHODZIĆ ZE ZDERZEŃ (FUZJI) GWIAZD NEUTRONOWYCH.

PODSUMOWANIE SKĄD POCHODZĄ RÓŻNE PIERWIASTKI CHEMICZNE

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

H HYDROGEN																	He HELIUM				
Li LITHIUM	Be BERYLLIUM															B BORON	C CARBON	N NITROGEN	O OXYGEN	F FLUORINE	Ne NEON
Na SODIUM	Mg MAGNESIUM															Al ALUMINUM	Si SILICON	P PHOSPHORUS	S SULFUR	Cl CHLORINE	Ar ARGON
K POTASSIUM	Ca CALCIUM	Sc SCANDIUM	Ti TITANIUM	V VANADIUM	Cr CHROMIUM	Mn MANGANESE	Fe IRON	Co COBALT	Ni NICKEL	Cu COPPER	Zn ZINC	Ga GALLIUM	Ge GERMANIUM	As ARSENIC	Se SELENIUM	Br BROMINE	Kr KRYPTON				
Rb RUBIDIUM	Sr STRONTIUM	Y YTIUM	Zr ZIRCONIUM	Nb NIOBIUM	Mo MOLYBDENUM	Tc TECHNETIUM	Ru RUTHENIUM	Rh RHODIUM	Pd PALLADIUM	Ag SILVER	Cd CADMIUM	In INDIUM	Sn TIN	Sb ANTIMONY	Te TELLURIUM	I IODINE	Xe XENON				
Cs CESIUM	Ba BARIUM		Hf HAFNIUM	Ta TANTALUM	W TUNGSTEN	Re RHENIUM	Os OSMIUM	Ir IRIDIUM	Pt PLATINUM	Au GOLD	Hg MERCURY	Tl THALLIUM	Pb LEAD	Bi BISMUTH	Po POLONIUM	At ASTATINE	Rn RADON				
Fr FRANCIUM	Ra RADIUM																				

La LANTHANUM	Ce CERIUM	Pr PRASEODYMIUM	Nd NEODYMIUM	Pm PROMETHIUM	Sm SAMARIUM	Eu EUROPIUM	Gd GADOLINIUM	Tb TERBIUM	Dy DYSPHOSIUM	Ho HOLMIUM	Er ERBIUM	Tm THULIUM	Yb YTTERIUM	Lu LUTETIUM
Ac ACTINIUM	Th THORIUM	Pa PROTACTINIUM	U URANIUM											

**BIG BANG
FUSION**

**DYING
LOW MASS
STARS**

**EXPLODING
MASSIVE
STARS**

**COSMIC
RAY
FISSION**

**MERGING
NEUTRON
STARS**

**EXPLODING
WHITE
DWARDS**

MY I NASZA ZIEMIA POCHODZIMY Z „POPIOŁÓW” PO
WYBUCHACH GWIAZD LECZ
NASZA BIŻUTERIA ZE ZDERZEŃ
GWIAZD NEUTRONOWYCH !!!



Download from
Dreamstime.com

This watermark image is for previewing purposes only.



ID 25828709



Olga Yastremka | Dreamstime.com





K O N I E C