

Historia najważniejszych idei w fizyce

Wykład 10

„BUDOWA WSZECHŚWIATA” (od Ptolemeusza po ciemną energię)

„Człowiek zajmujący się nauką nigdy nie zrozumie, dlaczego miałby wierzyć w pewne opinie tylko dlatego, że znajdują się one w jakiejś książce. (...) Nigdy również nie uzna swych własnych wyników za prawdę ostateczną”.

A.Einstein w liście do J.Lee, 1945



Marek Zrałek
Zakład Teorii Pola i Cząstek Elementarnych
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski

Katowice, 2004

CO WIEMY O OTACZAJĄCYM NAS WSZECHŚWIECIE

Klaudiusz Ptolemeusz (100 - 168 n.e.),

(system geocentryczny)



Mikołaj Kopernik (1473 - 1543),

(system heliocentryczny)

Izaak Newton (1643 - 1727),

(pierwszy model kosmologiczny)



Albert Einstein (1879 - 1955) oraz Friedman,

(Ogólna Teoria Względności, równanie Friedmana)



Edwin Powell Hubble (1889 – 1953),

(rozszerzający się Wszechświat, prawo Hubble'a)



George Anthony Gamow (1904 – 1968) oraz Alpher i Herman,

(pierwsza teoria nukleosyntezy)



Arno Penzias (ur. 1933) oraz Robert Wilson (ur. 1936),

(kosmiczne promieniowanie tła)



KOSMOLOGICZNY MODEL STANDARDOWY

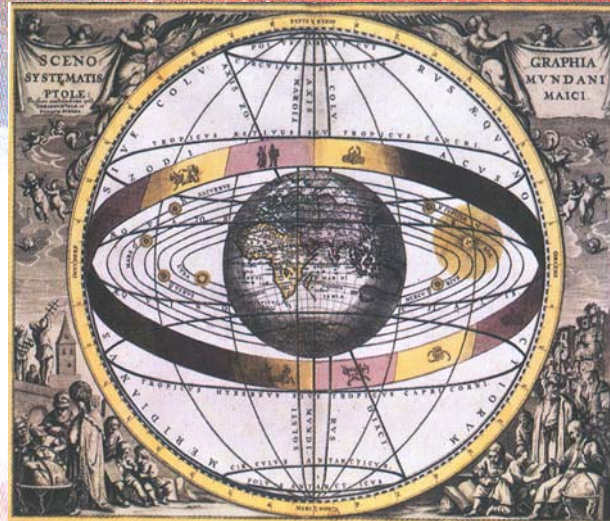
Wyobrażenia świata



Modele kosmologiczne były odbiciem koncepcji religijnych lub filozoficznych

Klaudiusz Ptolemeusz

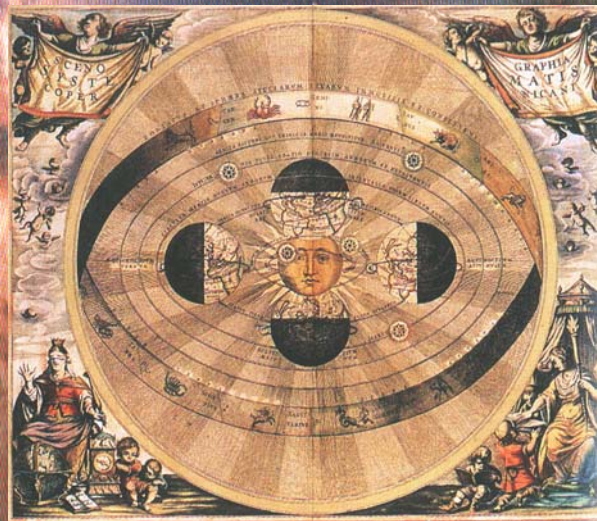
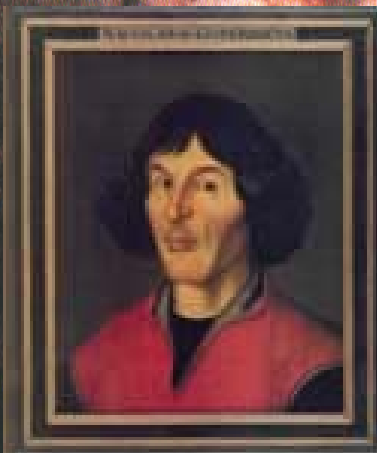
100-168n.e.



W systemie Ptolemeusza w centrum Wszechświata znajduje się Ziemia. Jest to koncepcja Geocentryczna.

Mikołaj Kopernik

1473-1543

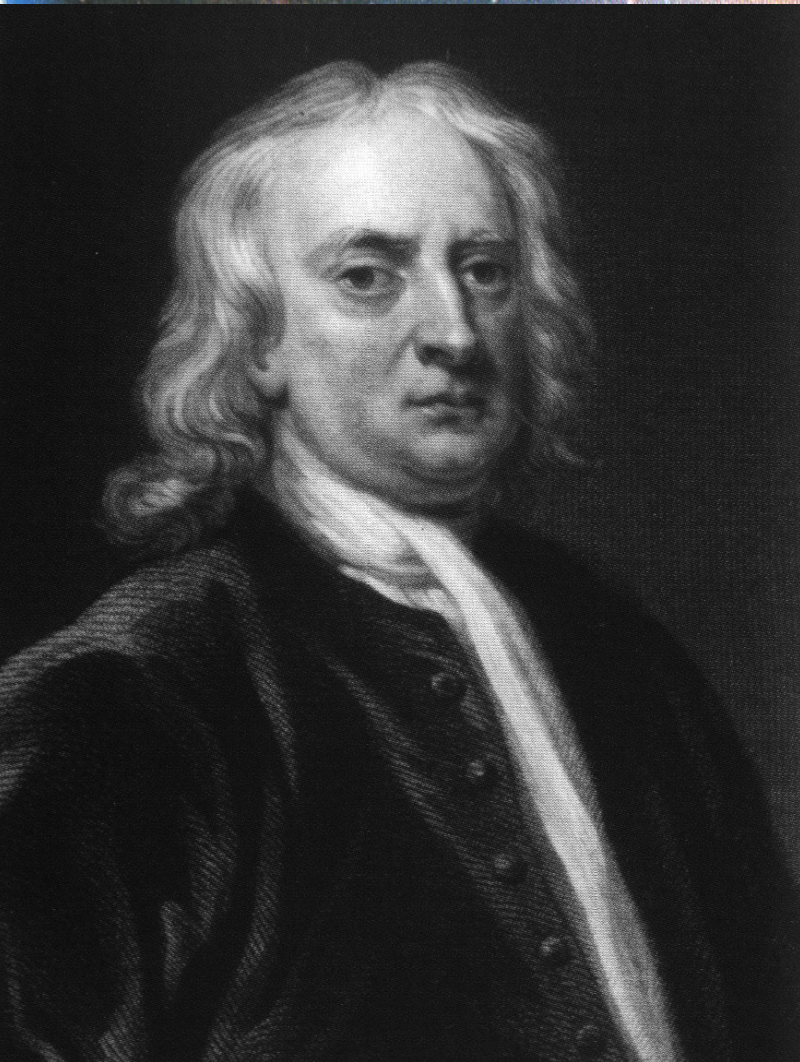


W systemie Kopernika w centrum Wszechświata znajduje się Słońce. Jest to koncepcja Heliocentryczna.

„Rewolucja newtonowska”



Izaak Newton
1643 - 1727

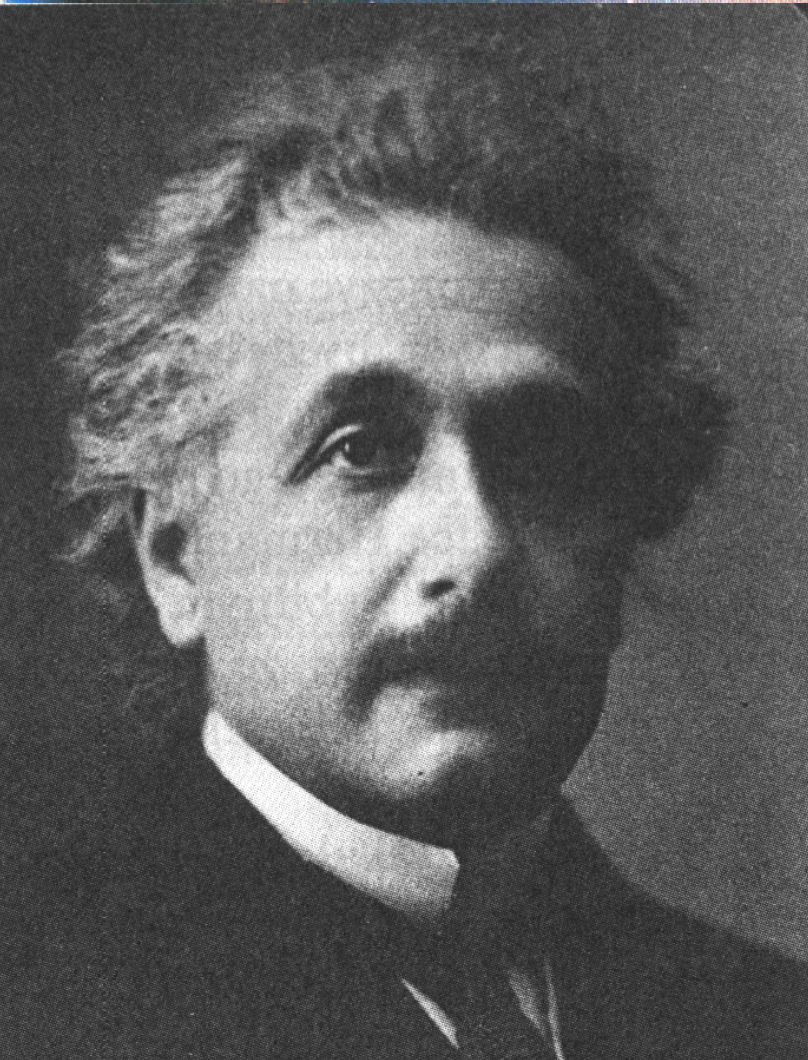


- Newtonowi zawdzięczamy trzy podstawowe zasady dynamiki i prawo ciążenia, dzięki którym wszystkie zjawiska fizyczne na Ziemi i niebie dawały się przewidzieć, uporządkować i uzasadnić zasadą przyczynowości.
- Przeprowadził szereg dokładnych doświadczeń i odkrył, że zwykłe białe światło jest mieszaniną wszystkich barw tęczy.
- Przeprowadził staranną analizę konsekwencji praw odbicia i załamania światła.
- Korzystając z prawa załamania i odbicia światła zaprojektował i zbudował pierwszy teleskop zwierciadlany.
- Ponadto odkrył rachunek różniczkowy i całkowy co jest jego największym wkładem do matematyki.

Nauka XX wieku



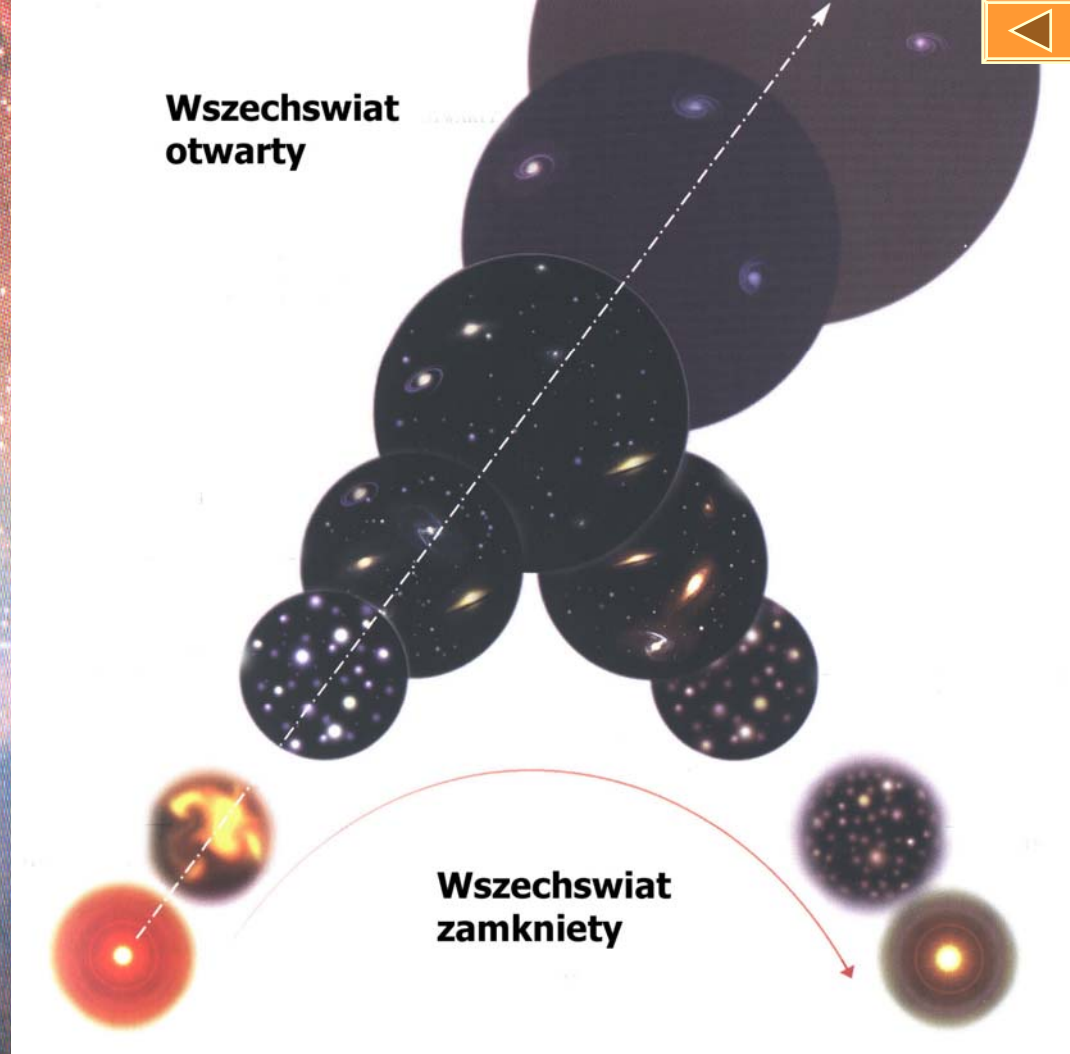
Albert Einstein
1879-1955



- Teorie Alberta Einsteina są źródłem dwudziestowiecznej fizyki.
- Szczególna teoria względności sformułowana w 1905 roku jest nieodzowna aby zrozumieć oddziaływania cząstek elementarnych.
- Ogólna teoria względności, która powstała 10 lat później otworzyła drogę do nowoczesnej kosmologii.
- Artykuł na temat ruchów Browna dowodził istnienia cząsteczek, nadal jeszcze kwestionowanych w pewnych kręgach naukowych.
- Praca na temat kwantów udowodniała, że światło to strumień cząstek. Hipoteza kwantów pozwoliła Einsteinowi wyjaśnić **zjawisko fotoelektryczne**, za co w **1921** roku otrzymał **Nagrodę Nobla**

Modele kosmologiczne

Aleksander Friedman
1888 - 1925



Scenariusze ewolucji Wszechświata
wynikające z równania Friedmana

- Na podstawie ogólnej teorii względności otrzymał matematyczny model Wszechświata, który ewoluje

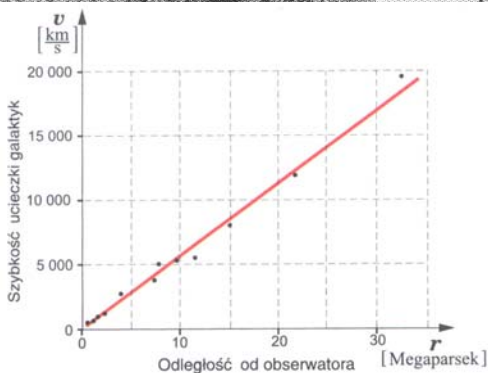
Nowoczesna Kosmologia

Edwin Hubble
1889-1953



- Korzystając z największego wówczas teleskopu, przygotował grunt do nowoczesnej kosmologii.
- W 1948 roku uruchomił olbrzymi pięciometrowy teleskop Caltech na Mount Palomar.
- Mierząc jasność galaktyk wykazał, że im dalej znajduje się galaktyka tym większa jest jej „pozorna prędkość”. Z obserwacji tych pochodzi „Prawo Hubble’a” wyrażające zależność prędkości galaktyki (V) od jej odległości (d): $V = Hd$, gdzie H jest stałą Hubble’a.
- Upamiętnia go satelita w przestrzeni kosmicznej

Kosmiczny Teleskop Hubble’a – wyniesiony na orbitę w 1990 roku, który sięga w kosmos dalej niż jakikolwiek instrument na Ziemi.



Koncepcja kreacji Wszechświata „Big Bang”



George Gamow
1904-1968



Gamow przyjął, że wszechświat „narodził się” jako niewyobrażalnie gorący obiekt, z którego podczas ekspansji najpierw powstały składniki atomów, potem najlżejsze atomy: atomy wodoru i helu.

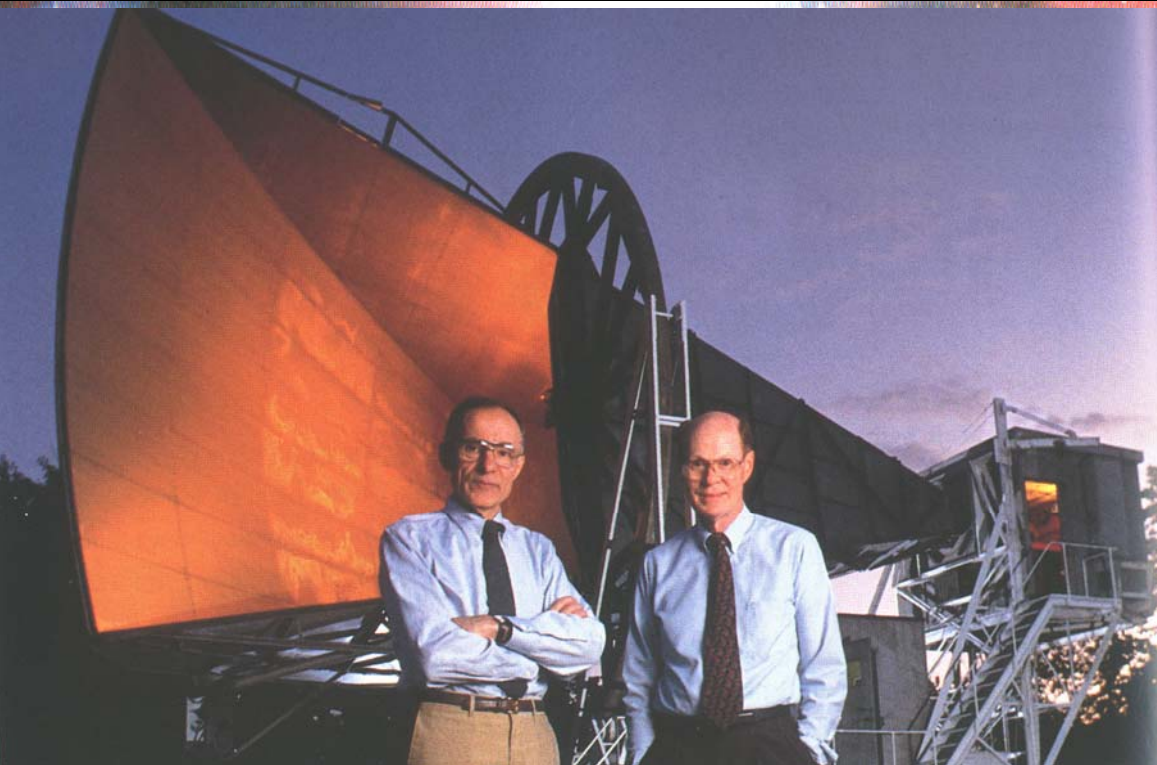
Opublikował on swoje prace w 1948 roku, a przeciwnicy tego modelu, starając się go ośmieszyć, rozpowszechnili nazwę:

„BIG BANG”
(Wielki Wybuch)

Kosmiczne promieniowanie reliktowe



W roku 1964 pracownicy Laboratoriów Bella w USA, badając szumy zakłócające pracę anten radiowych, odkryli przypadkowo istnienie w przestrzeni promieniowania elektromagnetycznego o średniej długości fali około 0.1cm. Okazało się, że jest ono emitowane izotropowo, z każdego kierunku odbioru, pory dnia ani pory roku, mimo, że Ziemia obraca się wokół swej osi i krąży dookoła Słońca, musiał więc pochodzić spoza Układu Słonecznego, a nawet spoza naszej Galaktyki, gdyż inaczej zmieniałby się wraz ze zmianą kierunku osi Ziemi.



Arno Penzias (z lewej) i Robert Wilson przed anteną w Holmdel w stanie New Jersey, za pomocą której przypadkowo odkryli mikrofalowe promieniowanie tła.

Zasada kosmologiczna

Miejsce we Wszechświecie, w którym się znajdujemy nie jest pod żadnym względem wyróżnione. Wszechświat wygląda tak samo niezależnie od tego kim jesteśmy i gdzie się znajdujemy.

Jak wiemy przez większą część swych dziejów człowiek przyjmował, że zajmujemy szczególne miejsce we Wszechświecie.

Arystoteles, Ptolemeusz --- Ziemia leży w centrum kosmosu,

Mikołaj Kopernik --- Ziemia kręci się wokół Słońca, które znajduje się w centrum Wszechświata (o tym wiedzieli już niektórzy starożytni Grecy),

Izaak Newton (po pomiarach **Tycho Brahe**, i sformułowaniu przez **Johannesa Keplera** trzech praw ruchu planet) stworzył prawo grawitacji opisujące ruch planet wokół Słońca. Sądził jednak, że wszystkie gwiazdy widoczne w nocy na niebie są statycznie rozmieszczonymi słońcami. Znacznie później uświadomiono sobie, że taka statyczna konfiguracja nie może być stabilna,

W ciągu następnych 200 lat zdano sobie sprawę, że pobliskie gwiazdy nie są równomiernie rozmieszczone, tworzą skupisko w formie dysku (Droga Mleczna),

William Herschel (pod koniec XVIII wieku) potrafił już wyznaczyć strukturę dysku, ale niezbyt dokładnie i dalej sądził, że Układ Słoneczny znajduje się w środku dysku,

Dopiero **Harlow Shapley** na początku XX wieku stwierdził, że znajdujemy się w odległości $2/3$ promienia od środka Galaktyki. Ale i on sądził że Droga Mleczna leży w centrum Wszechświata,

Dopiero w 1952 roku **Walter Baade** wykazał, że Droga Mleczna to dość typowa galaktyka

Informacje o Wszechświecie pochodzą z obserwacji :

- fal radiowych,
- mikrofal,
- podczerwieni,
- **światła widzialnego**,
- ultrafioletu,
- promieni rentgenowskich,
- promieni γ ,
- neutrin,
- promieni kosmicznych (głównie protony)

Prowadzimy obserwacje:

- teleskopy naziemne,
- teleskopy na pokładach satelitów

Cząstki, które obserwujemy (fotony, protony, neutrina), są wysyłane przez gwiazdy i zachodzące tam procesy syntezy jądrowej albo też przez tzw. wybuchy supernowych.

MASY

Słońce jest typową gwiazdą o masie 2×10^{30} kg ale są gwiazdy wielokrotnie bardziej masywne . Masy gwiazd zawierają się mniej więcej pomiędzy 1/10 do dziesiątek mas słońca.

ODLEGŁOŚCI

Światło porusza się z szybkością $v = 300\,000$ km/sek,

Średnia odległość Ziemia – Słońce ≈ 8 min ,

Rok świetlny = 1ly = 1 rok $\times v \approx 10^{16}$ m ,

Najbliższe gwiazdy ---- kilka ly,

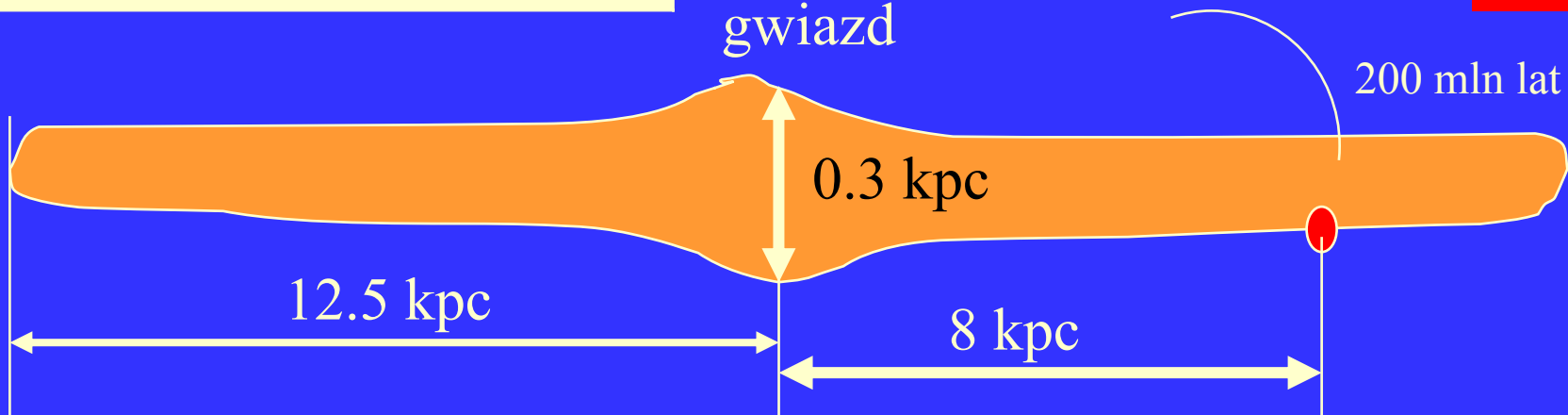
1 pc == 1 parsek = 3.261 ly,

kpc = 1000 pc,

Mpc = 1000000 pc.

Rozmiary naszej Galaktyki

Droga Mleczna zawiera około **10^{11}** gwiazd



Znajdujemy się w Grupie Lokalnej o rozmiarach ---- 1.5 Mpc,
najbliższe nam galaktyki to:

Wielki Obłok Magelana ---- 50 kpc od DM,

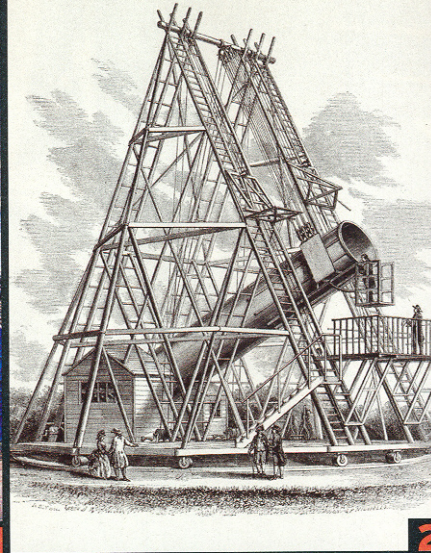
Wielka Mgławica w Andromedzie ---- 770 kpc od DM.

Na odległościach rzędu 100 Mpc dostrzegamy wielkoskalowe struktury. Galaktyki nie są rozłożone równomiernie, tworzone są **gromady galaktyk**, te grupują się tworząc **supergromady** powiązane **łańcuchami** i **ścianami galaktyk**. Pomiedzy nimi są **wielkie pustki** (50 Mpc).

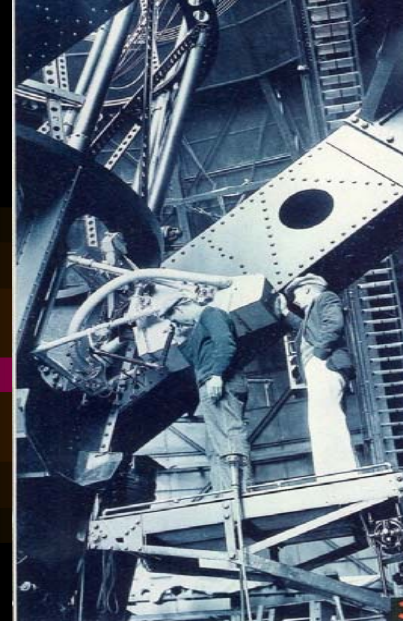
W małej skali Wszechświat nie jest izotropowy i jednorodny. O wielkoskalowej jednorodności możemy zacząć mówić dopiero na odległościach 500 – 1000 Mpc.



Pierwszy teleskop zbudowany przez Galileusza w 1609 roku.



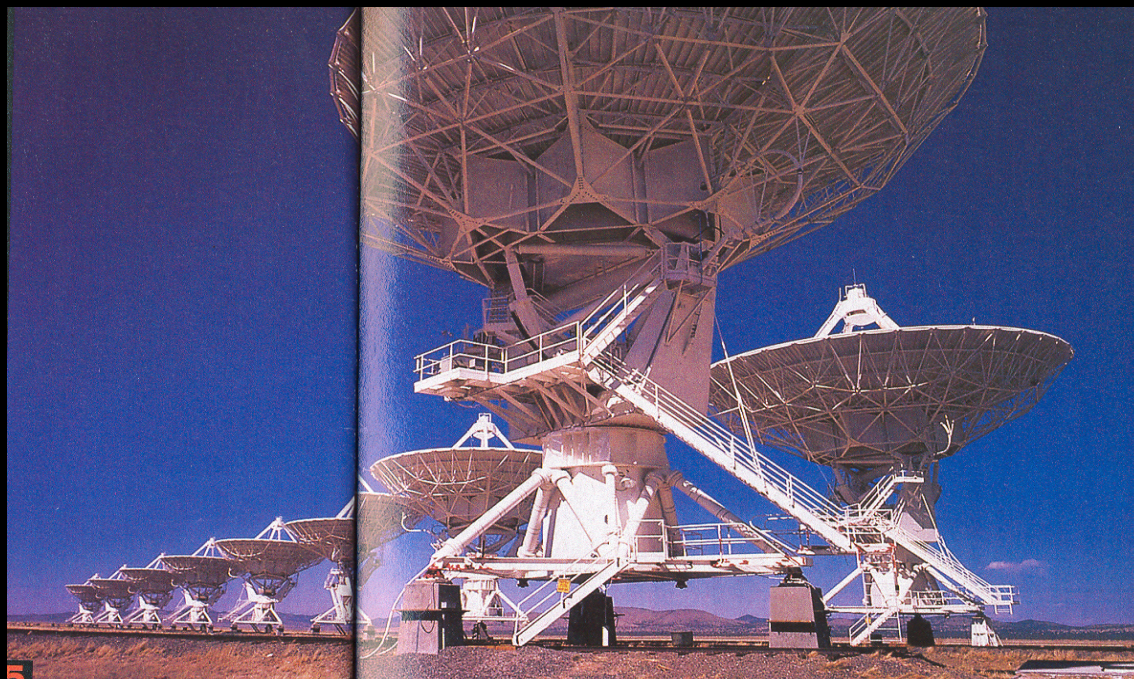
Teleskop ze zwierciadłami zaproponowany w 1781 roku przez Newtona.



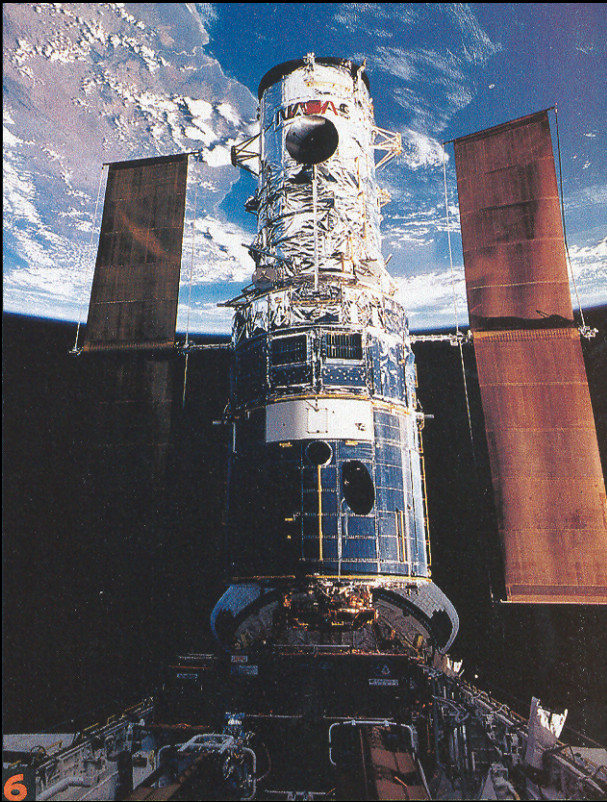
Teleskop ze zwierciadłami zbudowany w 1919 roku w Mount Wilson Observatory w Kalifornii



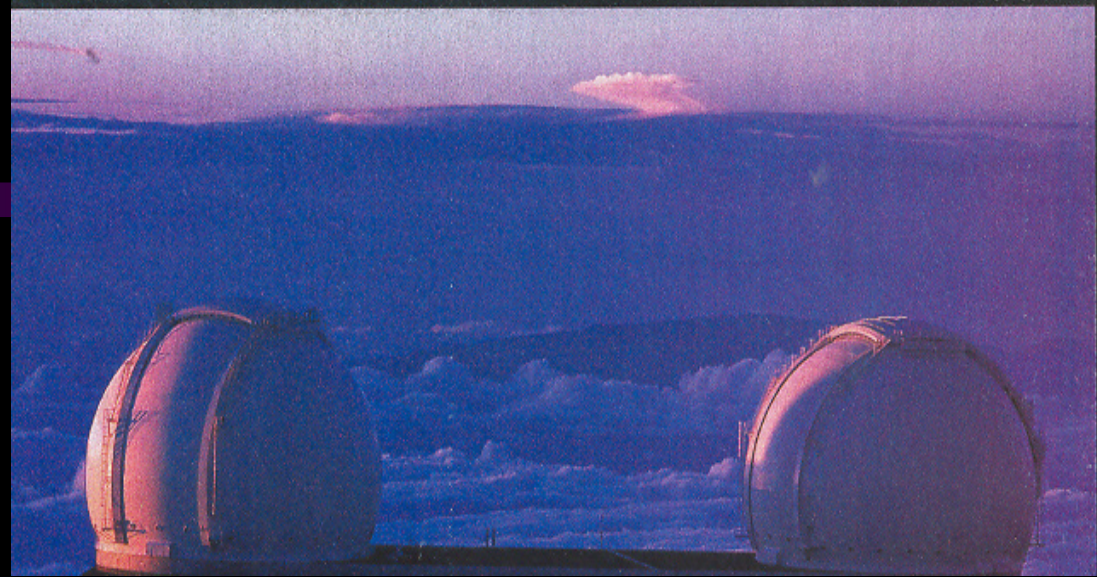
Największy na świecie teleskop do odbioru fal radiowych w Arecibo Observatory w Puerto Rico zbudowany w 1961 roku. Ma przeszło 300 m średnicy.



Zbudowany w 1980 roku w pobliżu Socorro najsilniejszy na świecie radio teleskop. Nazywa się „VLA” (skrót od Very Large Array).

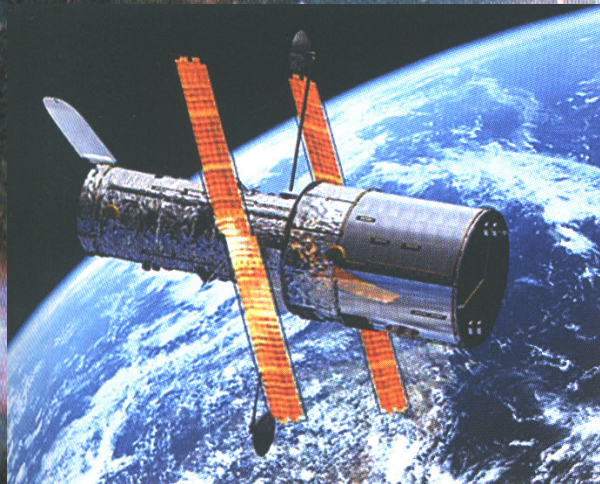


Teleskop Hubble'a z 1990 roku



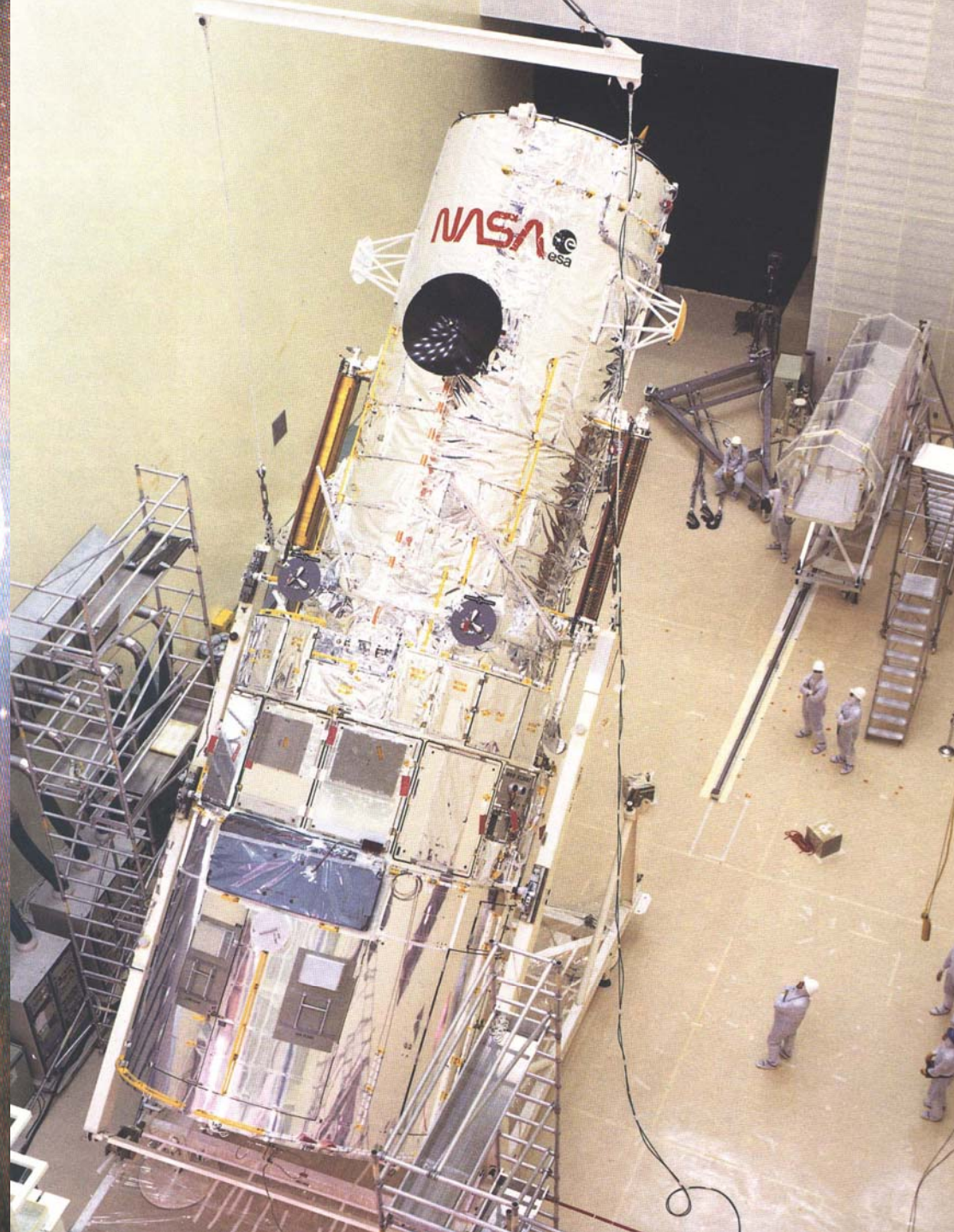
Największy na świecie 400 – calowy wielo - zwierciadłowy teleskop optyczny zbudowany na szczycie Mauna Kea na Hawajach w 1992 roku

Kosmiczny Teleskop Hubble'a



Kosmiczny Teleskop Hubble'a
wyniesiony na orbitę
w 1990 roku
i umieszczony na wysokości
480 km nad Ziemią
Jest wolny od zakłóceń
przez atmosferę planety.

Za przygotowanie wielu slajdów dziękuję
Pani dr Anecie Strzygielskiej

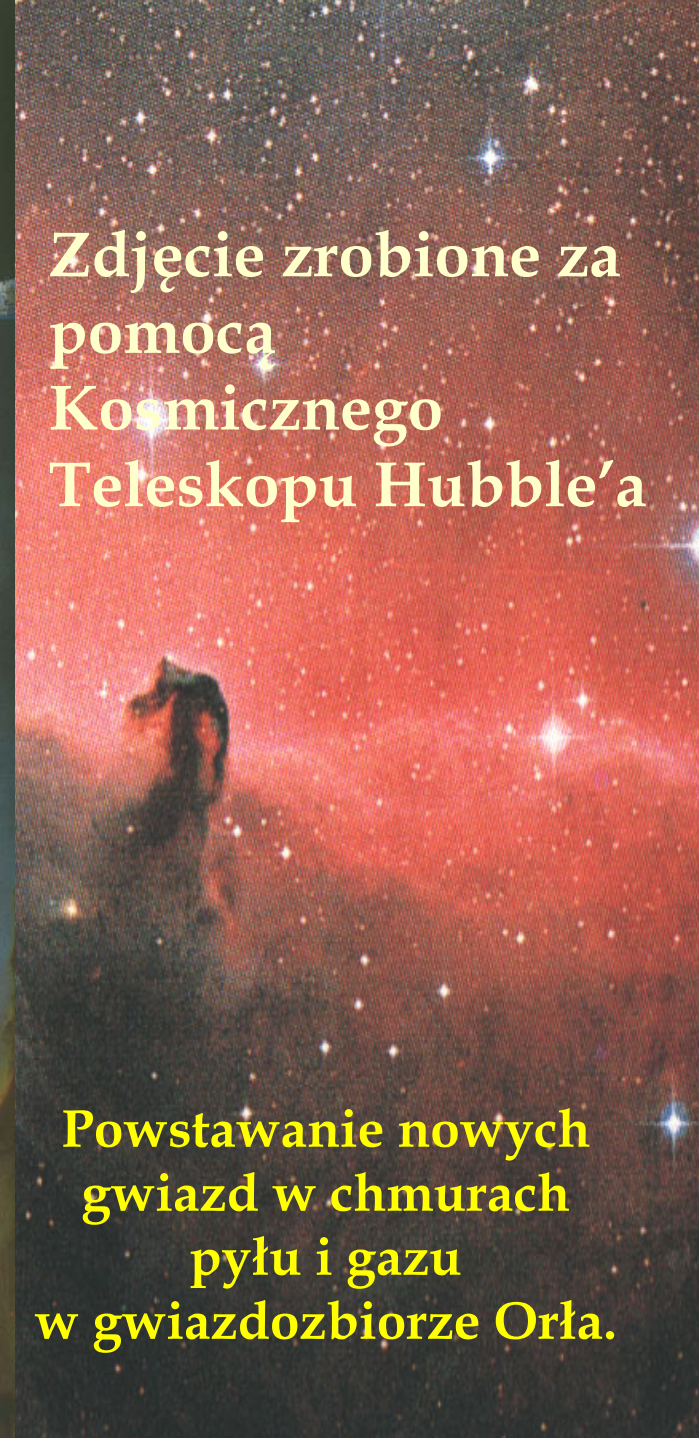




Zdjęcie zrobione za
pomocą
Kosmicznego
Teleskopu Hubble'a

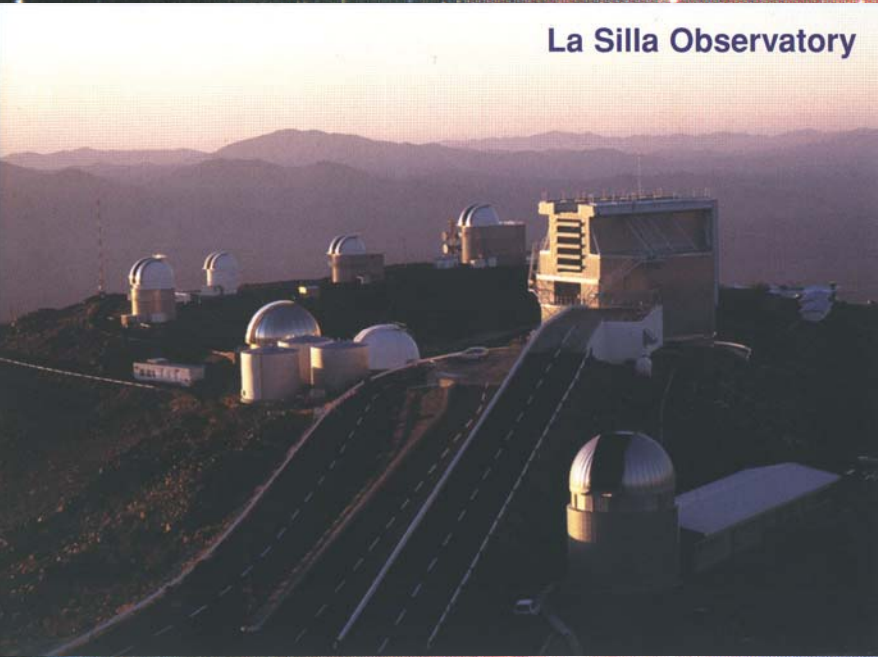


Powstawanie nowych
gwiazd w chmurach
pyłu i gazu
w gwiazdozborze Orła.



Teleskopy - liczne okna na Wszechświat

La Silla Observatory



Pierwsze Obserwatorium
należące do ESO
(The European Southern Observatory)
położone na górze La Silla
(2400m.n.p.m) na pustyni Atacama.

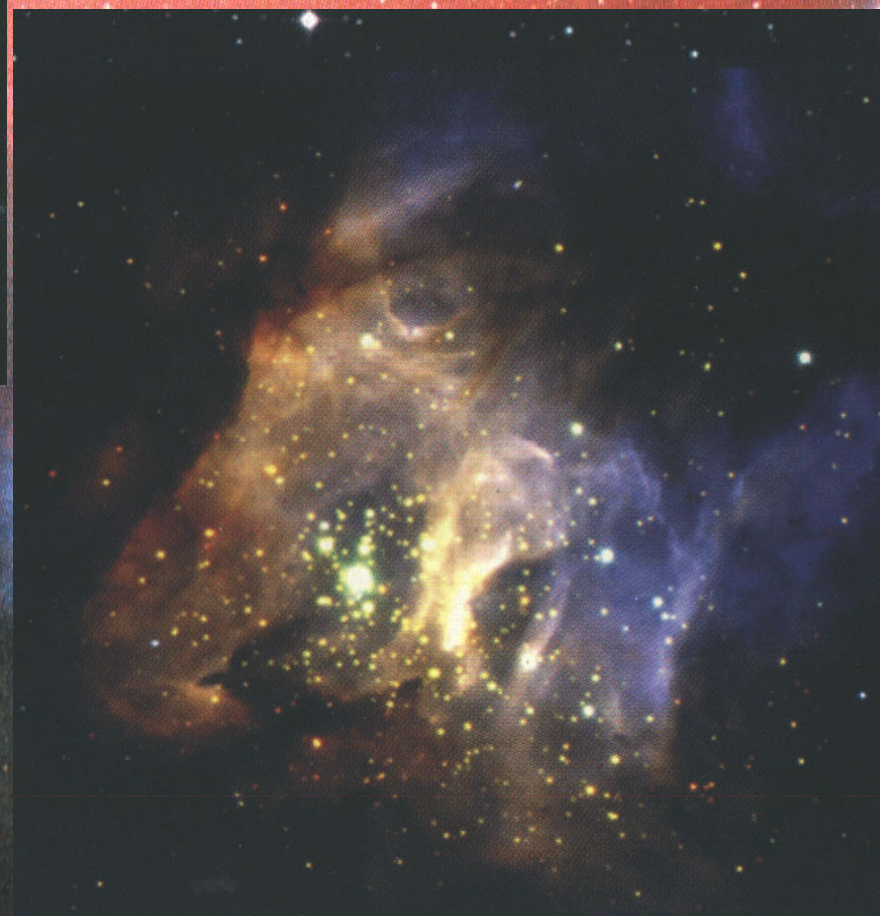
Cztery europejskie teleskopy
VLT (Very Large Telescope)
umieszczone na szczycie
Cerro Paranal (2640m n.p.m.)
w Chile
Ostatni zamontowano
pod koniec 2000r.



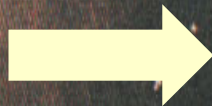


Zdjęcia z VLT

← Mglawica Kraba



Droga Mleczna



Nasłuchiwanie Wszechświata

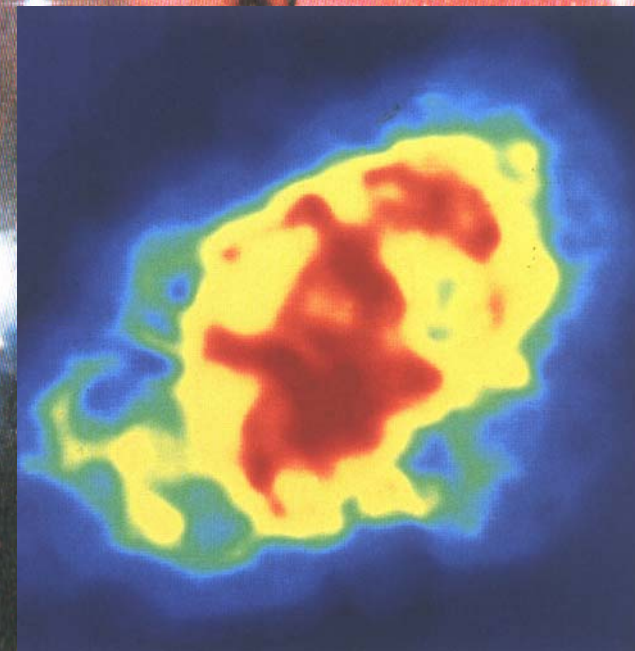
radiowe fale kosmosu

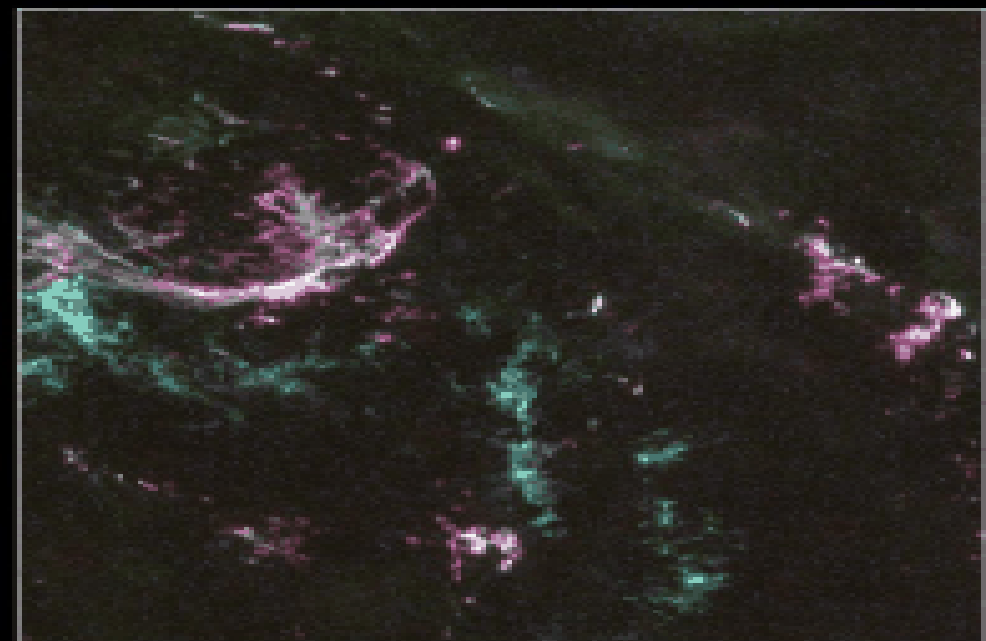


Radioteleskop Arecibo w Puerto Rico przeznaczony do odbierania ewentualnych komunikatów pochodzących od inteligencji pozaziemskich

To dzięki niemu Aleksander Wolszczan odkrył pierwszy układ planetarny poza Układem Słonecznym

Dzięki falom radiowym zostały odkryte kwazary i pulsary.
Fale radiowe wykryły gigantyczny strumień energii ukryty w centrum Drogi Mlecznej

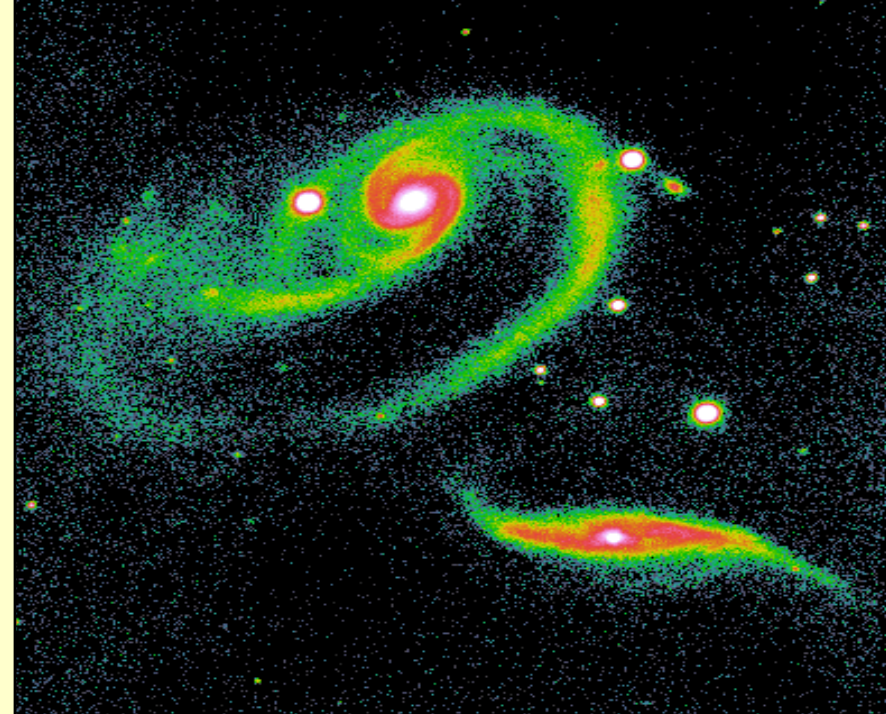




N132D
SN Remnant in LMC

HST - WFPC2

Pozostałość po wybuchu supernowej w Obłoku Magelana



Zbiór gwiazd w konstalacji Andromeda około 200 mln lat świetlnych



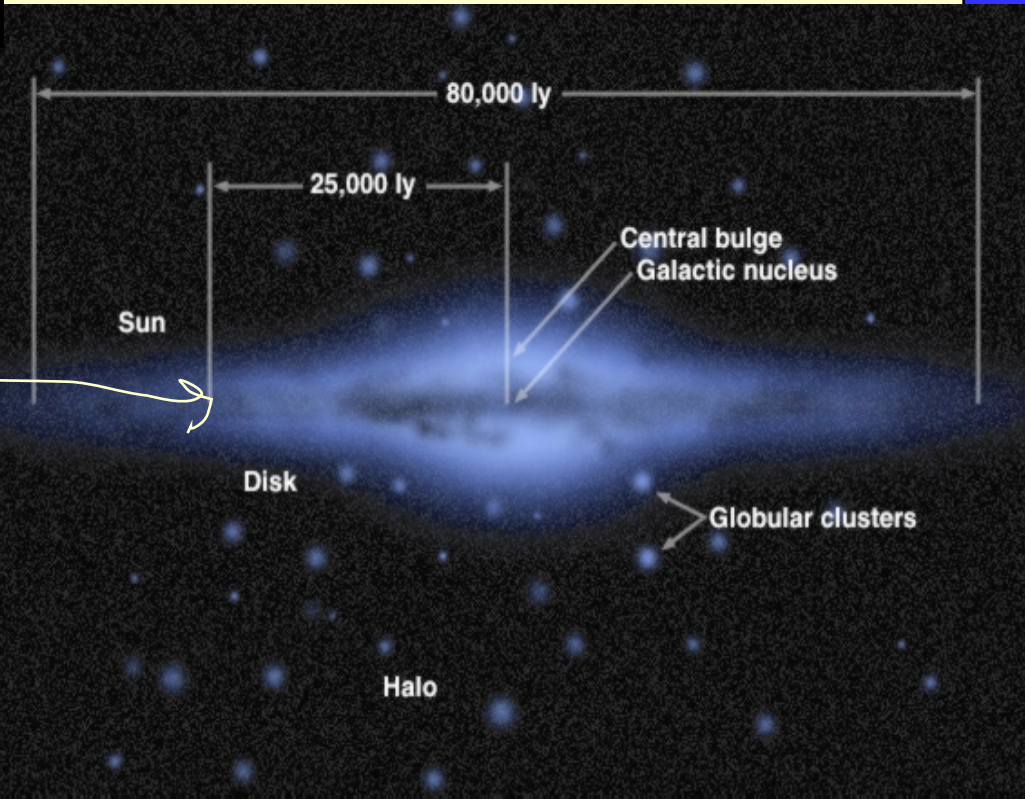
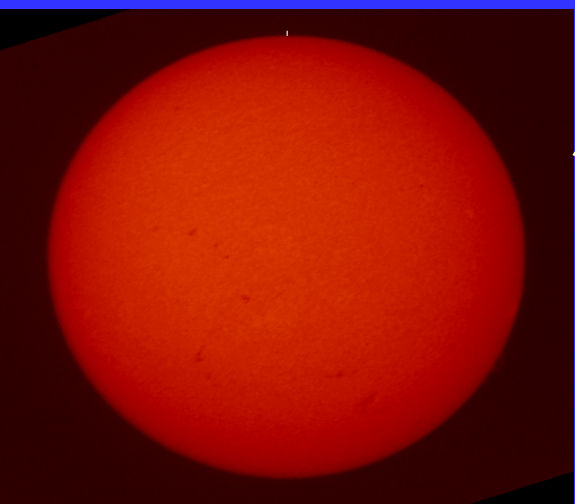
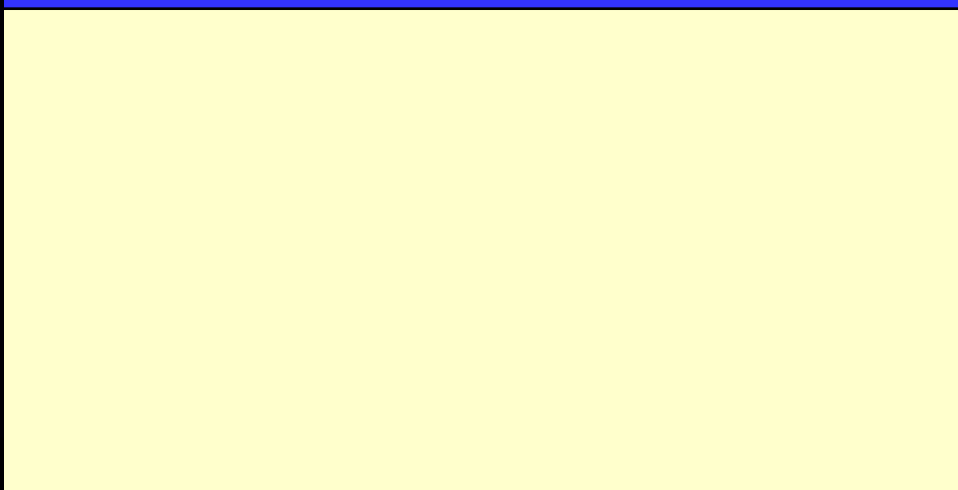
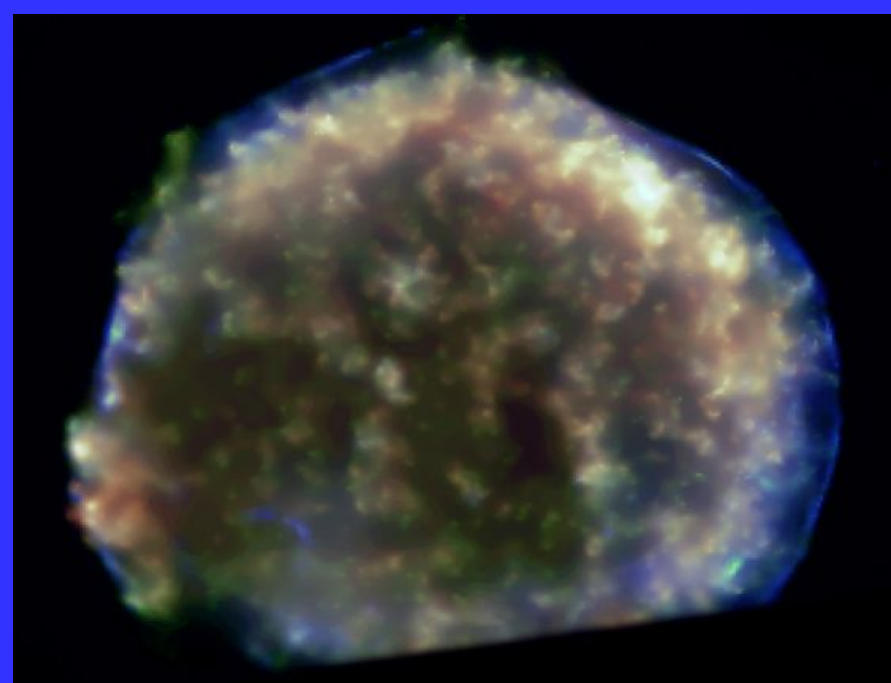
Mgławica „Oko kota”



Galaktyka spiralna
NGC 2997

Zdjęcia ze strony internetowej <http://www.windows.ucar.edu/>

Windows to the Universe



Galaktyki



Droga Mleczna

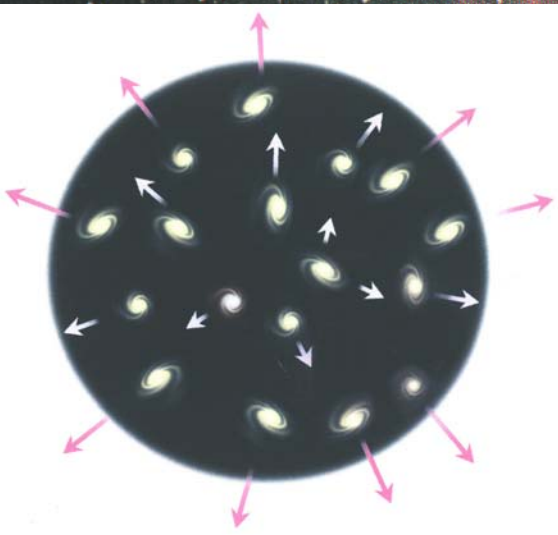
Zgrupowanie galaktyk (żółta plama w środku zdjęcia), które wraz ze zgromadzoną w nich czarną materią stanowi potężną soczewkę grawitacyjną.



Gromada galaktyk - Abell 2218, oddalona o 3 mld lat świetlnych w konstelacji Smoka.



Ewolucja Wszechświata



W latach 1922 – 1929 Hubble zebrał bardzo bogaty materiał doświadczalny świadczący o tym, że Wszechświat się rozszerza, unosząc ze sobą gromady galaktyk niczym rodziny w rosnącym cieście drożdżowym.

Hubble wykazał, że tzw. szybkość „ucieczki” galaktyk jest proporcjonalna do ich odległości od obserwatora. Sposób ekspansji wygląda tak samo z dowolnego punktu we Wszechświecie

Model
rozszerzającego
się Wszechświata



Powierzchnie nadmuchiwanego balonu – doskonale ilustruje rozszerzający się Wszechświat Plamy na powierzchni balonu imitują gromady galaktyk

Standardowy model kosmologiczny

POZYTYWY

Najlepszy model Wszechświata jakim dysponujemy,

Ekspansja galaktyk,

Mikrofalowe promieniowanie tła,

Pierwotna nukleosynteza,

Formowanie wielkich struktur.

PROBLEMY

Ciemna materia,

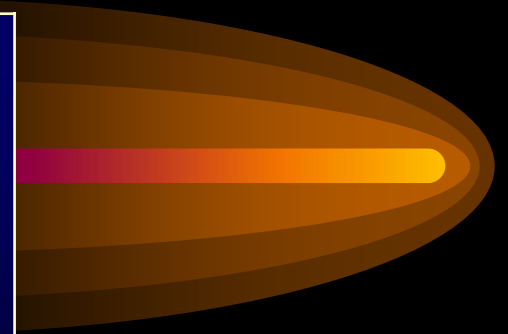
Ciemna energia,

Asymetria materia – antymateria,

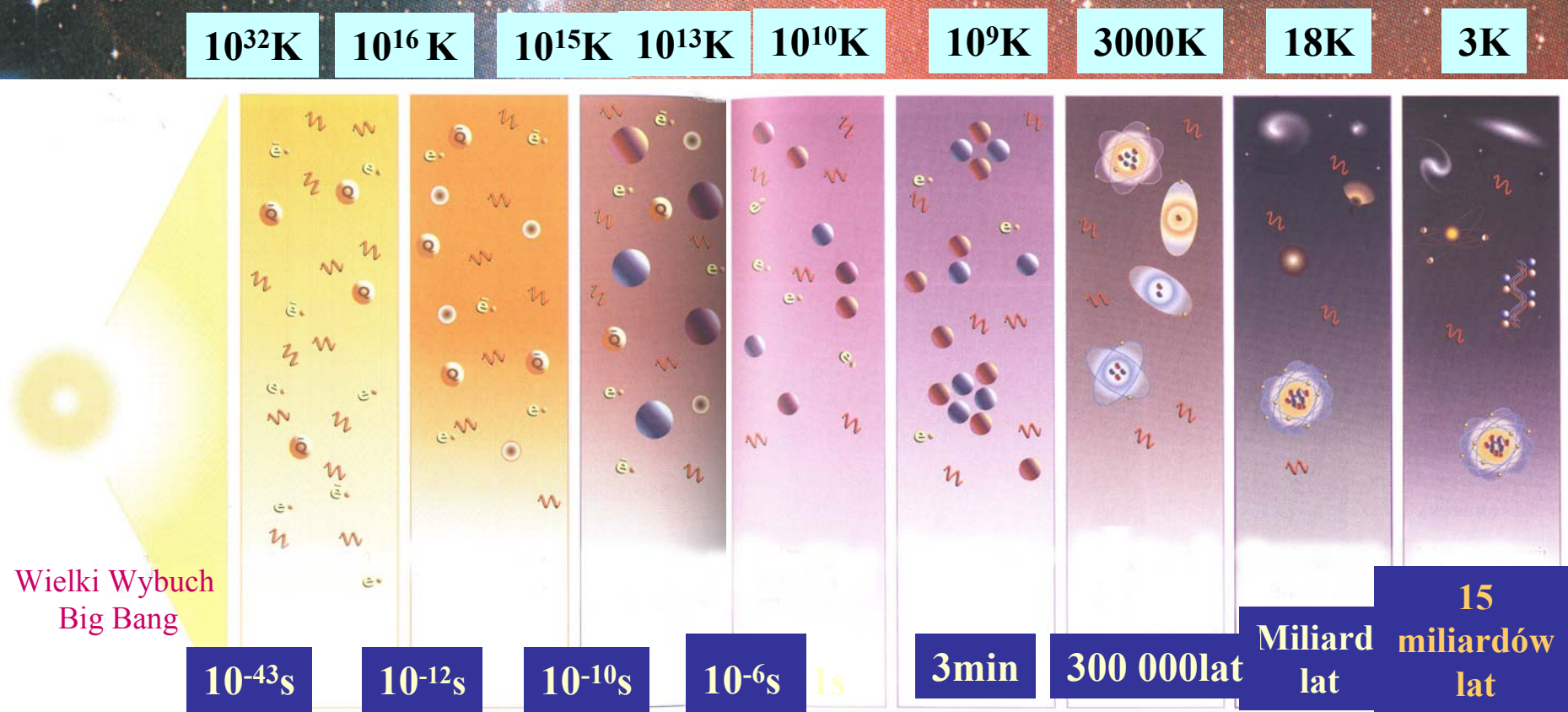
Promieniowanie kosmiczne o wielkiej energii,

Rozbłyski gama,

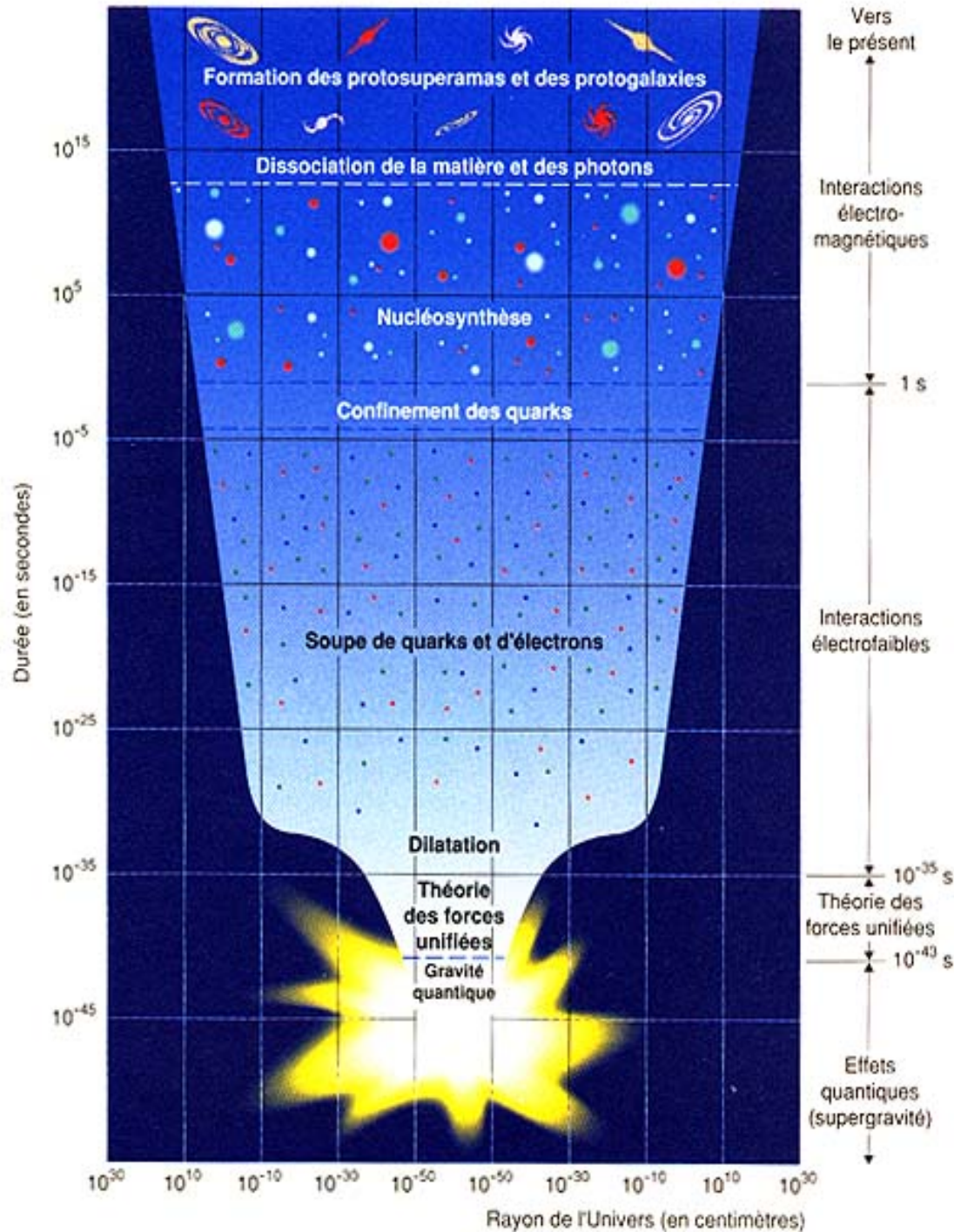
Inflacja.



Krótką Historia Wszechświata (model gorącego wybuchu)



W chwili Wielkiego Wybuchu Wszechświat miał zerowy promień, a zatem nieskończenie wysoką temperaturę. W miarę jak wzrastał promień temperatura promieniowania spadała. Gdy promień Wszechświata wzrasta dwukrotnie temperatura spada o połowę



Co działo się zaraz po Wielkim Wybuchu?

Związek pomiędzy energią i temperaturą:

$k T = E$ gdzie k – stała Boltzmana

$$k = 8.6 \times 10^{-5} \text{ GeV}/1^{\circ} \text{K},$$

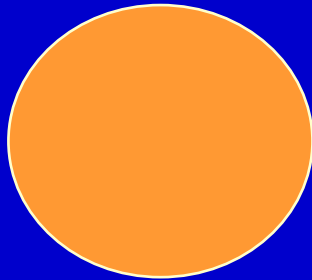
$\Delta E = k (T + 1) - k T = k/1^{\circ} \text{K}$, stąd

$$1^{\circ} \text{K} = 8.6 \times 10^{-5} \text{ GeV},$$

$$10^{10}^{\circ} \text{K} = 0.86 \times 10^6 \text{ eV} = 0.86 \text{ MeV},$$

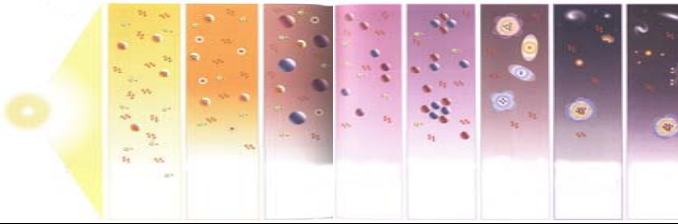
$$1 \text{ GeV} = 1000 \text{ MeV},$$

$$1000 \text{ GeV} = 10^{16}^{\circ} \text{K} \rightarrow t = 10^{-12} \text{ sek}$$



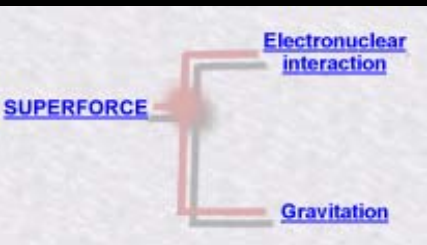
1000 GeV – energia zderzenia pp
w Batavii w FermiLab,

Śledzimy „eksperymentalnie” Wielki
Wybuch po $t = 10^{-12}$ sek

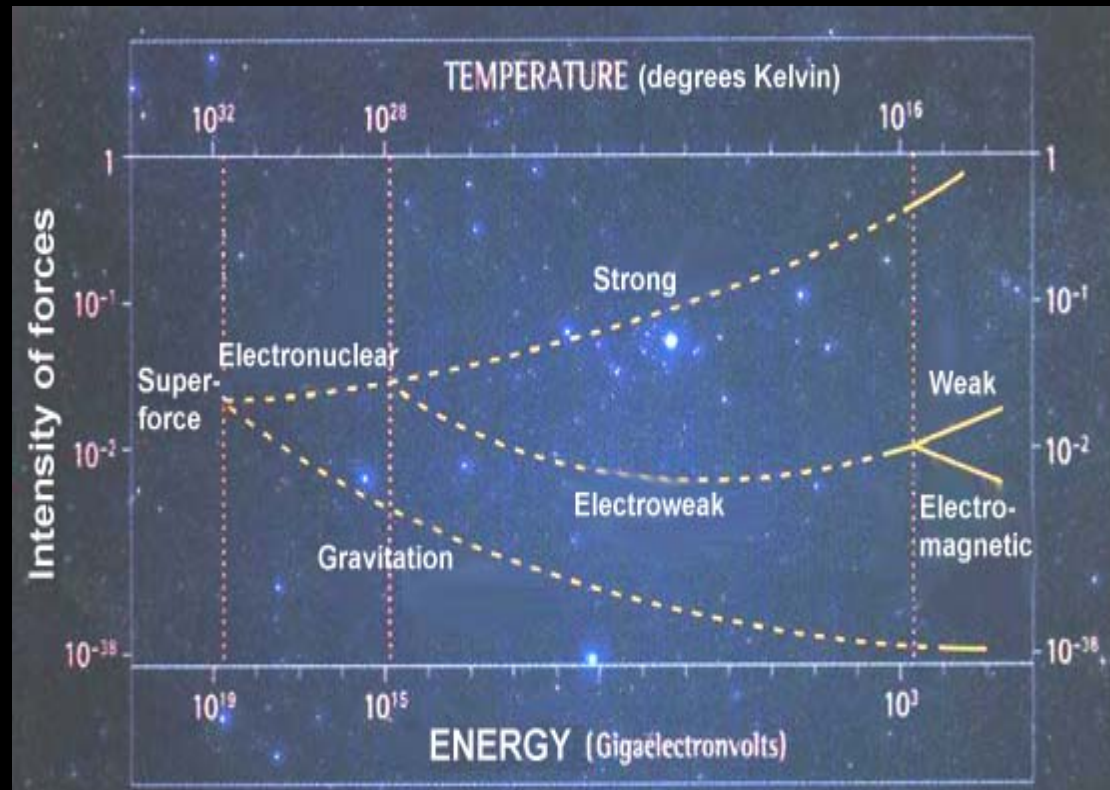
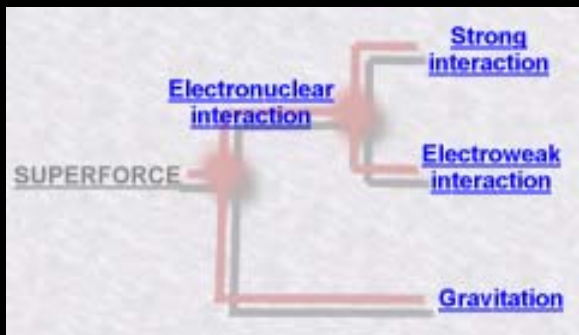


Zupełną tajemnicą jest okres zaraz po wielkim wybuchu, do czasu 10^{-43} sek, nie znamy supersiły. Wtedy temperatura wynosiła 10^{32} stopni Kelvina, a rozmiary 10^{-33} cm. Cały Wszechświat był znacznie mniejszy od obecnego atomu.

Później po czasie 10^{-35} sek, przy temperaturze 10^{28} stopni Kelvina grawitacja przestała się chwilowo liczyć, zaczęły oddzielnie grać rolę oddziaływania silne i elektroslabe. Po tym czasie nastąpiło gwałtowne rozszerzenie Wszechświata o czynnik 10^{27} (a niektórzy mówią nawet, że 10^{50}). Nosi to nazwę **INFLACJI**. Warto wspomnieć, że następnie przez prawie 15 miliardów lat Wszechświat rozszerzył się tylko 10^9 razy.



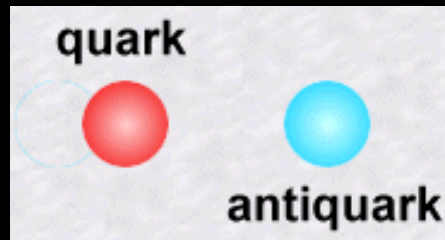
Alan Guth



0

$$10^{12} \text{ GeV} \text{ --- } T = 10^{25} \text{ } ^0\text{K} \text{ --- } 10^{-32} \text{ sek}$$

Po inflacji w czasie około 10^{-32} sek. Wszechświat miał wielkość piłki do golfa i temperaturą rzędu 10^{25} stopni Kelvina. Wtedy też zaczęły pojawiać się pierwsze kwarki, które kreowały się i natychmiast anihilowały. Taka zupa fermionowo-bozonowa trwała mniej więcej do czasu 10^{-12} sekundy. W tym czasie też pojawiła się pierwsza asymetria materia – antymateria. Na każdy milion antycząstek rodziło się milion +1 cząstek. To łamanie symetrii materia – antymateria, które zaczęło się w tym okresie jest powodem obecnej zupełnej asymetrii obserwowanej we Wszechświecie.



Po okresie Bariogenezy ??????

1

1000 GeV --- 10^{16} °K --- $t = 10^{-12}$ sek

▶ $e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ oraz u, d, c, s, t, b

a także $W^+, W^-, Z_0, \gamma, \text{gluony}$,

▶ nie ma równowagi cząstki- antycząstki

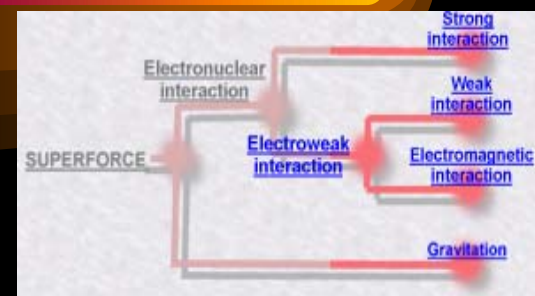
▶ rozpad i kreacja par

Wszechświat rozszerza się → maleje
temperatura → maleje energia zderzeń

2

$$E = 100 \text{ GeV} \text{ --- } 10^{15} \text{ } ^0\text{K} \text{ --- } 10^{-10} \text{ sek}$$

- ▶ Elektrosłabe przejście fazowe \rightarrow Kwarki, leptony, cząstki W i Z nabywają masę,
- ▶ Te same cząstki co poprzednio ale już posiadające masę.



3

$$E = 1 \text{ GeV} \text{ --- } 10^{13} \text{ } ^0\text{K} \text{ --- } 10^{-6} \text{ sek}$$

- ▶ Rozpadły się ciężkie kwarki i leptony,
- ▶ $u, d, e^+, e^-, \gamma, \nu_e,$
- ▶ Powstają nukleony, nie ma swobodnych kwarków,
 $p = uud, n = ddu$

- ▶ $n \rightarrow p + e^- + \nu$, zmniejsza się liczba neutronów, ale
- ▶ $n + e^+ \rightarrow p + \nu$, $p + \nu \rightarrow n + e^+$
- ▶ Jądra jeszcze nie powstają.

4

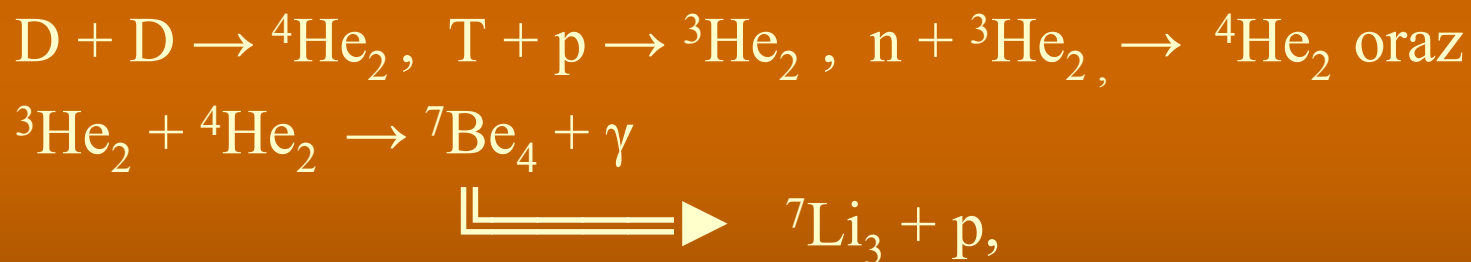
$E = 1 \text{ MeV} \text{ --- } 10^{10} \text{ } ^\circ\text{K} \text{ --- } 1 \text{ sek}$

- ▶ Reakcje zmiany $n \leftrightarrow p$ przestają zachodzić,
- ▶ Neutrino zaczynają się zachowywać jak cząstki swobodne,
- ▶ 75 % protonów, 25% neutronów

► Proces $e^+ e^- \rightarrow 2 \gamma$ zachodzi, proces odwrotny $2 \gamma \rightarrow e^+ e^-$ już nie,

► Zaczyna się tworzyć deuter (D = pn) oraz tryt (T = nnp):
 $n + p \rightarrow D$, $D + n \rightarrow T$ a także $D + p \rightarrow {}^3\text{He}_2$,

► Powstaje Hel i Lit:



► Nie istnieją stabilne jądra z $A = 5$ i $A = 8$, energia zbyt mała aby pokonać barierę kulombowską $\text{====} \text{►}$ koniec pierwotnej nukleosyntezy,

Mamy:

H, (H-2),(H-3),

He,(He-3),

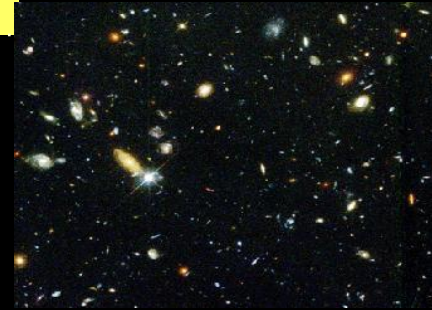
Li, (Li-6).

Wszystkie neutrony są włączone w jądra helu i trochę litu,
Było 87% protonów i 13% neutronów, stąd
 $13\% + 13\% =$ jąder helu oraz $\quad\quad\quad\%$ protonów,
Mamy dużo fotonów (miliard na każdy nukleon),
Elektrony i jądra nie tworzą jeszcze atomów.

Długi okres nic się specjalnego nie dzieje, dopiero gdy

6 $E = 13.6 \text{ eV} \text{ --- } 2500 \text{ }^{\circ}\text{K} \text{ ---- } 300000 \text{ lat}$

Fotony przestają oddziaływać z jądrami i elektronami \implies
mikrofalowe promieniowanie tła,
Mamy wodór oraz hel (trochę deuteru, trytu, helu 3 i litu).



- Obecny Wszechświat wygląda trochę inaczej \implies obserwujemy we Wszechświecie całą tablice Mendelejewa,



(rozpowszechnienie pierwiastków)

- Wszystkie inne pierwiastki powyżej **LITU** powstały w gwiazdach
- Jak powstały gwiazdy, galaktyki, gromady galaktyk? ----- na arenę wkracza oddziaływanie **GRAWITACYJNE**,

- Małe fluktuacje gęstości materii:

COBE (1992) - pierwsze fluktuacje,



WMAP (2003) - promieniowanie mikrofalowe nie jest izotropowe,

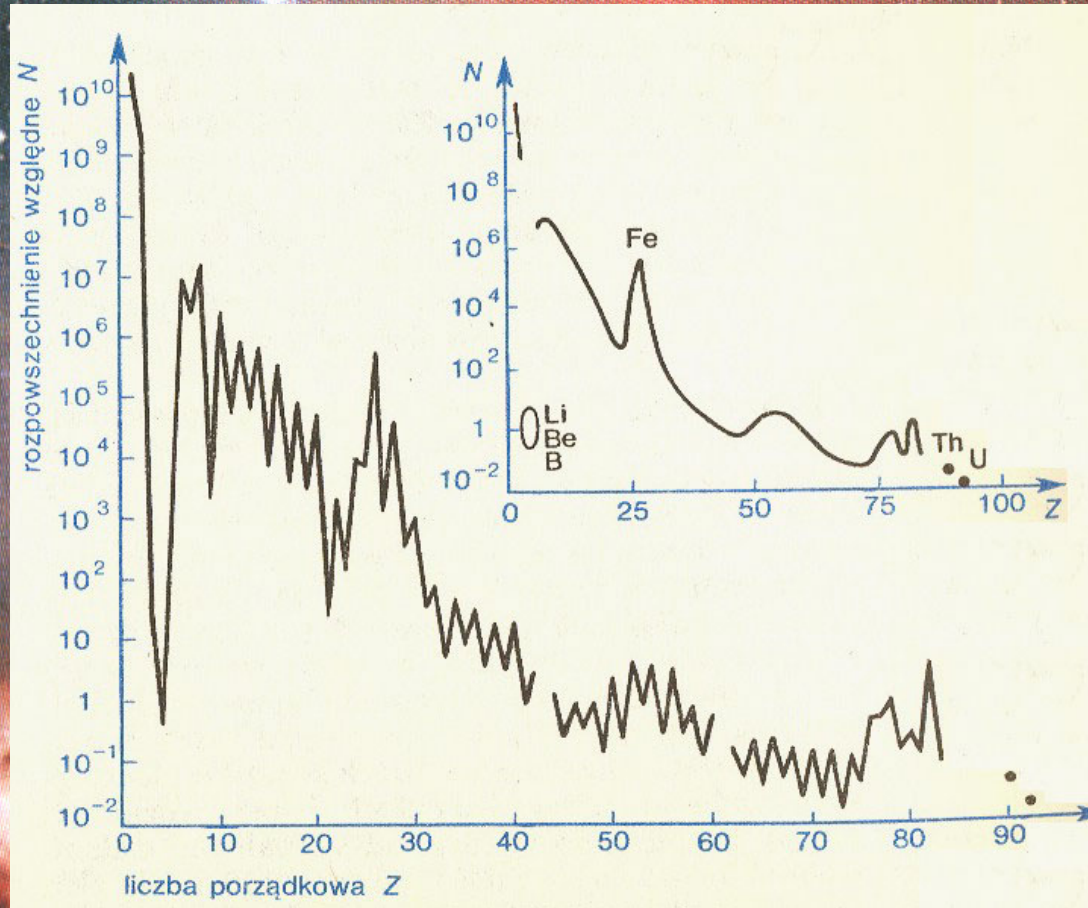
- Pierwiastki od litu do żelaza powstawały w gwiazdach,



(energia wiązania na nukleon)

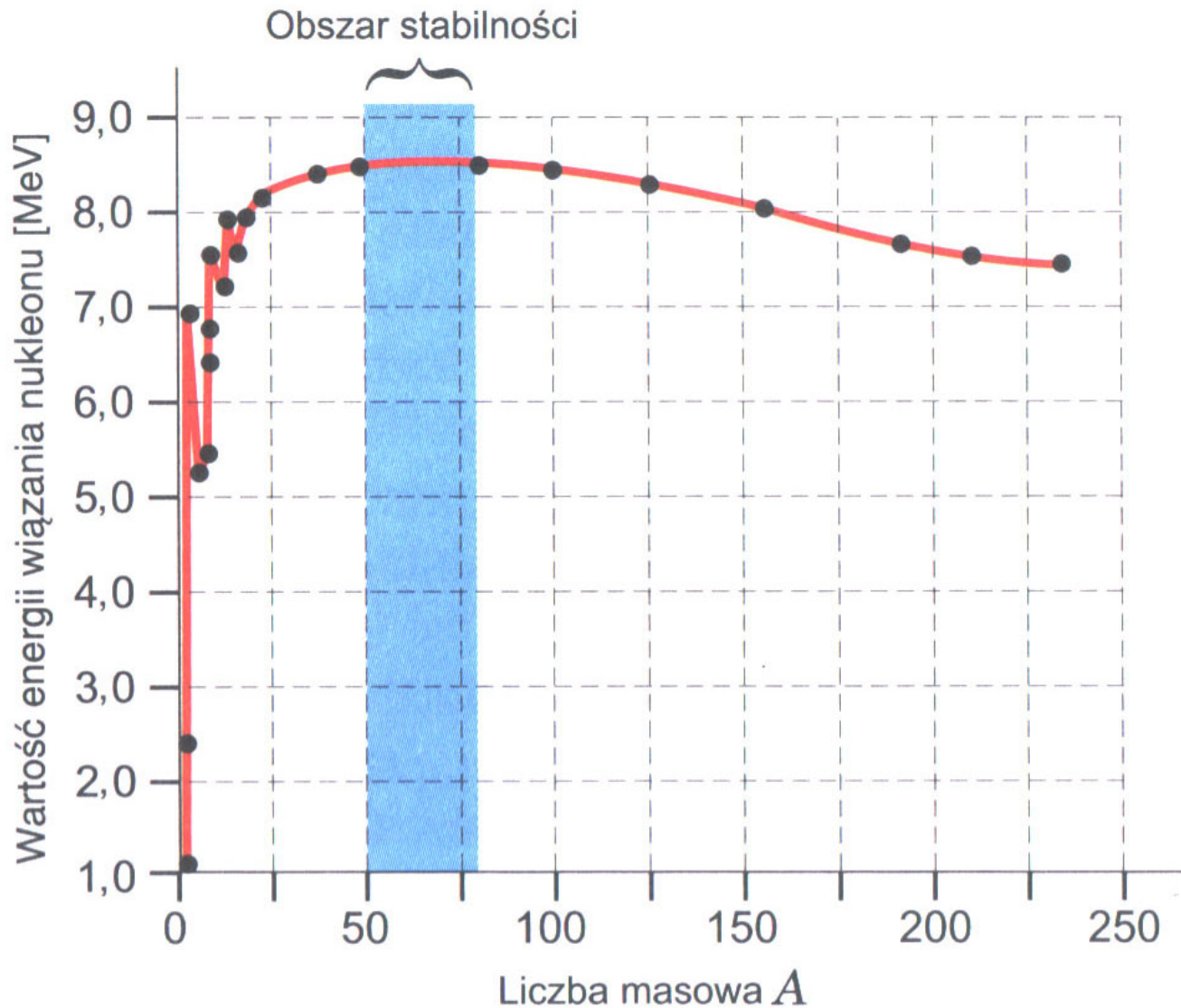
- Pierwiastki cięższe od żelaza powstawały w trakcie wybuchów supernowych.

Krzywa rozpowszechniania pierwiastków chemicznych



Krzywa rozpowszechniania pierwiastków chemicznych wg Camerona (1973),
w górze na prawo – schematyczny kontur krzywej z zaznaczeniem lokalnych
maksimów i minima Li-Be-B

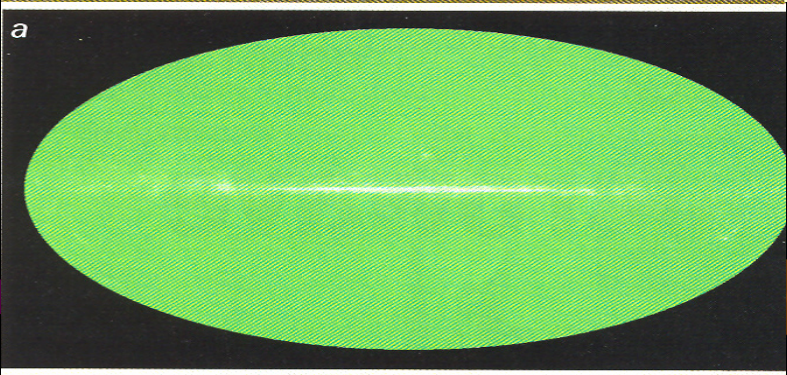
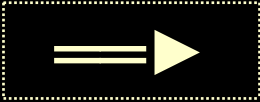
Energia wiązania nukleonu



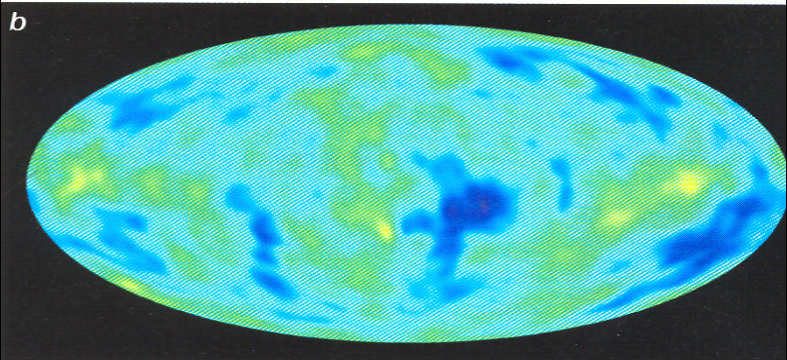
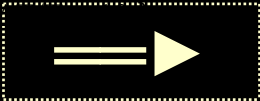
Zależność
średniej energii
wiązania
przypadającej
na jeden
nukleon
w jądrze
w funkcji
liczby masowej
 A jądra



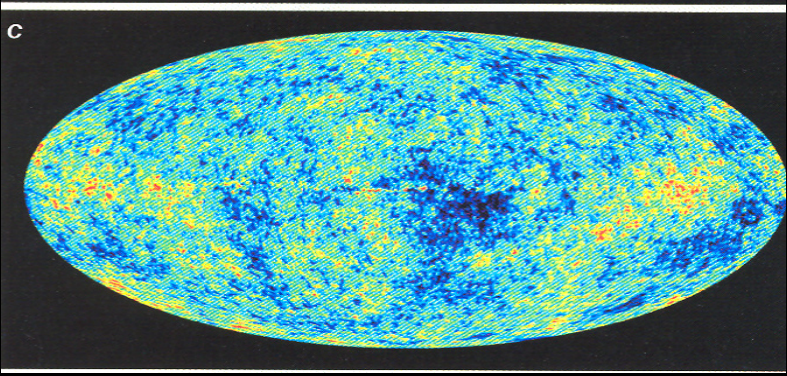
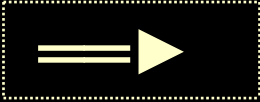
Penzias i Wilson
(1965)



COBE (1992)



WMAP (2003)

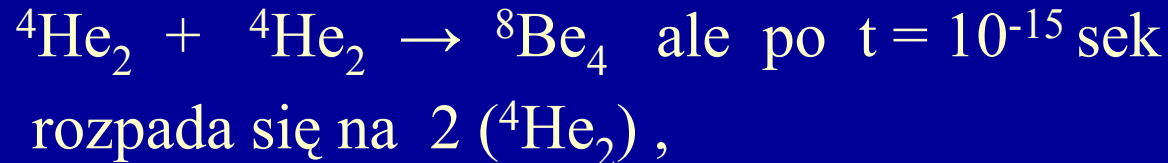


$\Delta T/T = 10^{-5}$

Gwiazdy pierwszej generacji ---- paliwo wodór i hel,
Grawitacyjne przyciąganie ----- rośnie temperatura wnętrza,
Zapala się wodór:



Gdy $T > 10^8 \text{ } ^0\text{K}$ zapala się hel:



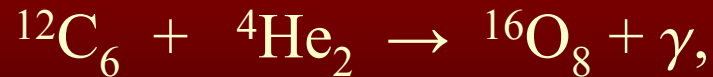
Duża gęstość, może powstać węgiel:



szansa jest duża bo istnieje stan wzbudzony węgla o energii
7.644 MeV.

Bardzo mało Litu (L), Berylu (Be) oraz Boru (B),

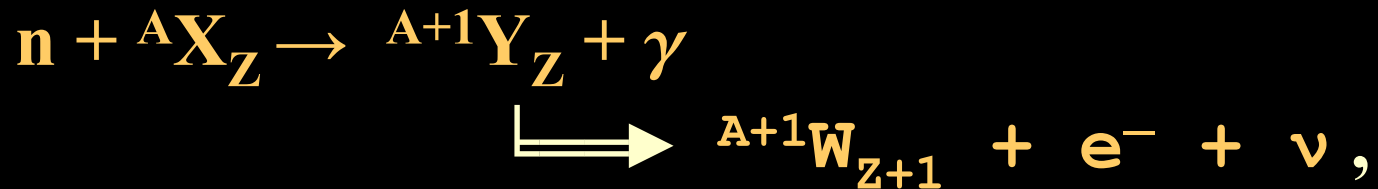
Mając stabilny węgiel powstają tlen, azot i neon:



Dalej zapala się węgiel i tlen:

$^{12}\text{C}_6 + ^{12}\text{C}_6$,, $^{12}\text{C}_6 + ^{18}\text{O}_8$, powstają
sód (Na), magnez (Mg), krzem (Si), fosfor (P) i siarka (S),
Dla cięższych jąder bariera kulombowska jest zbyt duża

Jądra powyżej żelaza produkowane są w inny sposób



Wybuchy supernowych roznoszą ciężkie pierwiastki.

Mówiliśmy o gwiazdach I generacji, gwiazdy II generacji powstają w trochę inny sposób → są już ciężkie pierwiastki rozrzucone przez wybuchy supernowych,
Dalej pracują siły grawitacji dając galaktyki, gromady galaktyk i planety wokół gwiazd,
Na planetach powstało życie, znamy przynajmniej jedną taką Planetę

Co działo się po Wielkim Wybuchu do czasu $t = 10^{-12}$ sek pozostaje niewyjaśnione,

Plany doświadczalne:

LHC , $p + p$, $E = 14000 \text{ GeV}$ ($t = 10^{-15}$ sek),
sonda PLANCK , promieniowanie reliktowe,
teleskopy np. ALMA (Atacama)