

„Współczesne kontrowersje wokół początków Wszechświata”, 14.12.2007

Początek Wszechświata - najwspanialszy eksperyment fizyczny

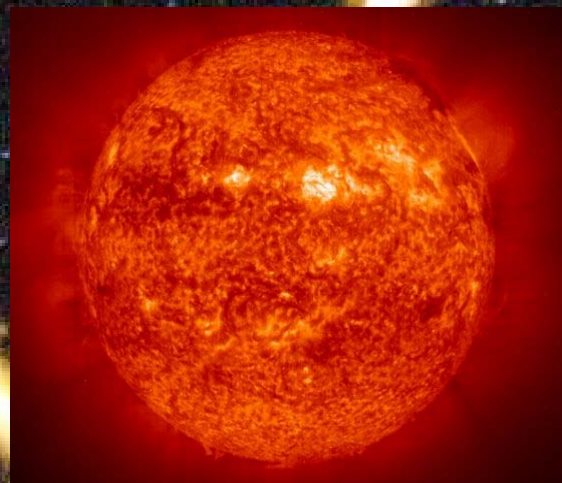
Grzegorz Wrochna

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana

Warszawa / Świerk

wrochna@ipj.gov.pl

Astronomia w minutę



Skale odległości w jednostkach świetlnych:

Ziemia – Księżyc

1 s

Ziemia – Słońce

8 min

krańce Układu Słonecznego

11 h

najbliższa Słońcu gwiazda

4 lata

średnica Galaktyki

100 000 lat

odl. do gal. w Andromedzie

2.5 mln lat

widzialny Wszechświat

14 mld lat

Fizyka w 2 minuty

We Wszechświecie występują 4 rodzaje sił:

grawitacyjne – spadanie, planety, galaktyki

elektromagnetyczne – atomy, cząsteczki, tarcie, sprężystość, światło

jądrowe słabe – źródło energii gwiazd (Słońca)

jądrowe silne – wiąże protony i neutrony w jądra atomowe

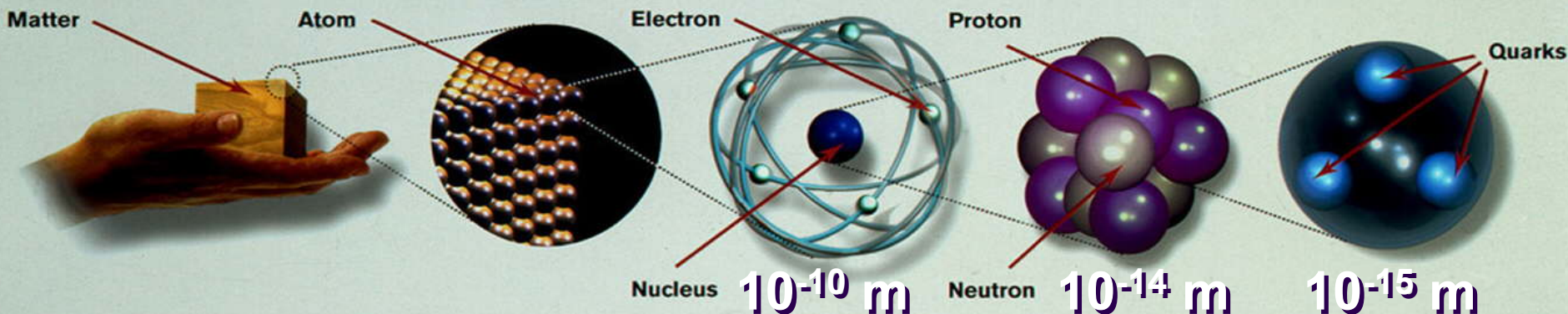
Struktura materii:

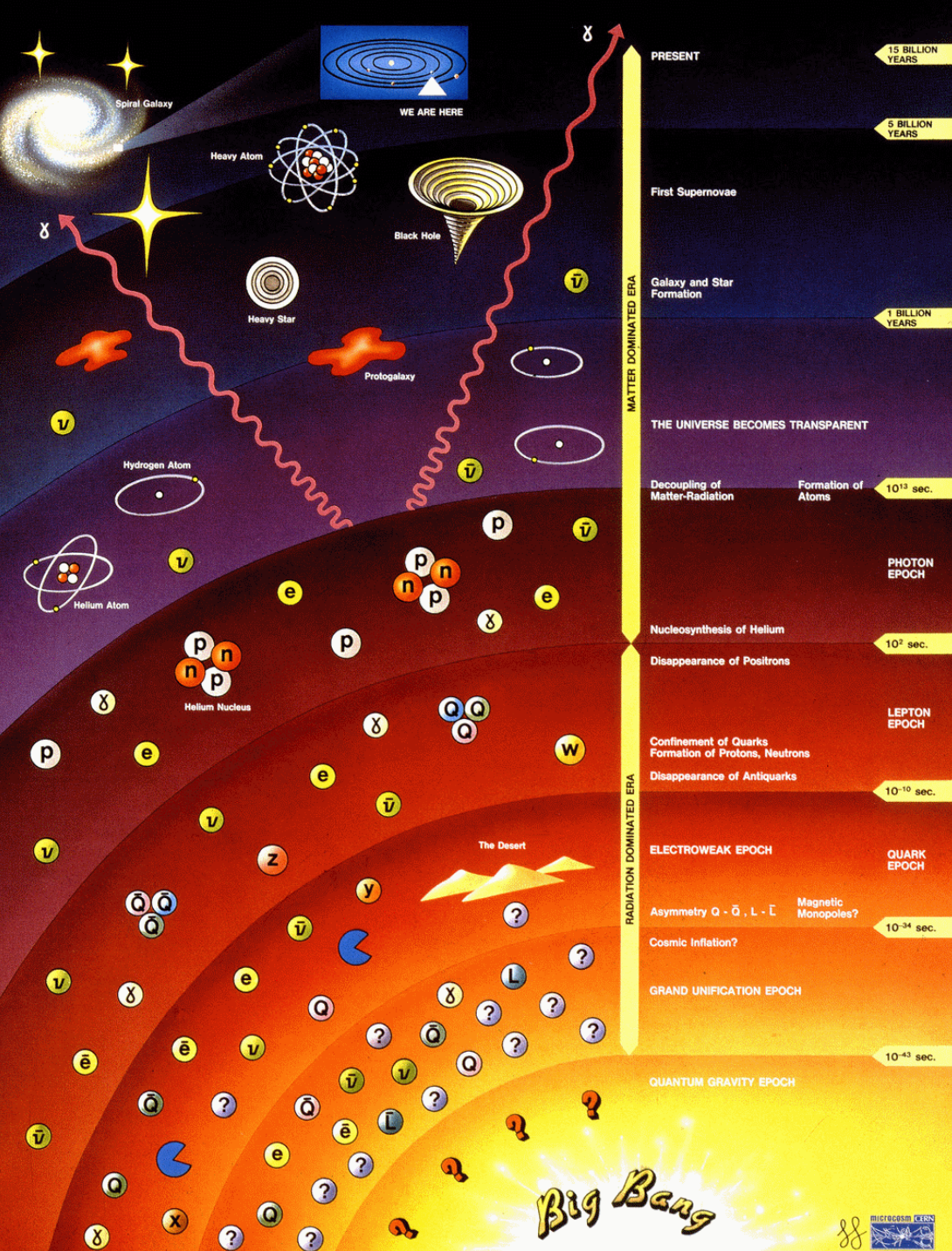
cząsteczki
atomy

jądra
elektrony

protony
neutrony

kwarki
gluony





14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

**Kosmologia
w 3 minuty**

Skąd my to wiemy?

Odtwarzanie ewolucji Wszechświata

**Ucieczka
galaktyk**



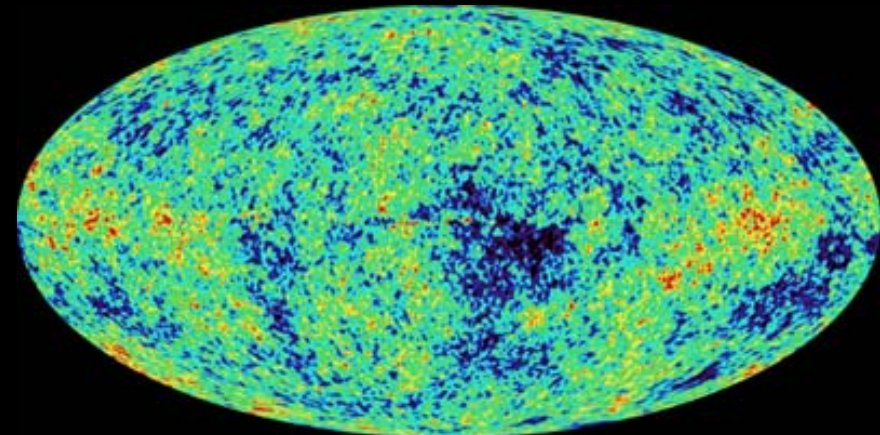
**Odległe
wybuchy supernowych**



**Rozpowszechnienie
pierwiastków**



**Kosmiczne
promieniowanie tła**



Początki nowoczesnej kosmologii

- ◆ **Kopernik 1543** – orbity planet
- ◆ **Newton 1687** – prawo powszechnego ciążenia
 - Dynamiczna przyczyna ruchów ciał niebieskich
- ◆ **Einstein 1915** – Ogólna Teoria Względności
 - Teoria grawitacji: równania Einsteina
- ◆ **Friedman 1917** – pierwszy model kosmologiczny
 - zastosowanie równań Einsteina do Wszechświata
 - ⇒ narodziny kosmologii teoretycznej
 - niestabilne rozwiązania
 - ⇒ Wszechświat musi się rozszerzać lub kurczyć

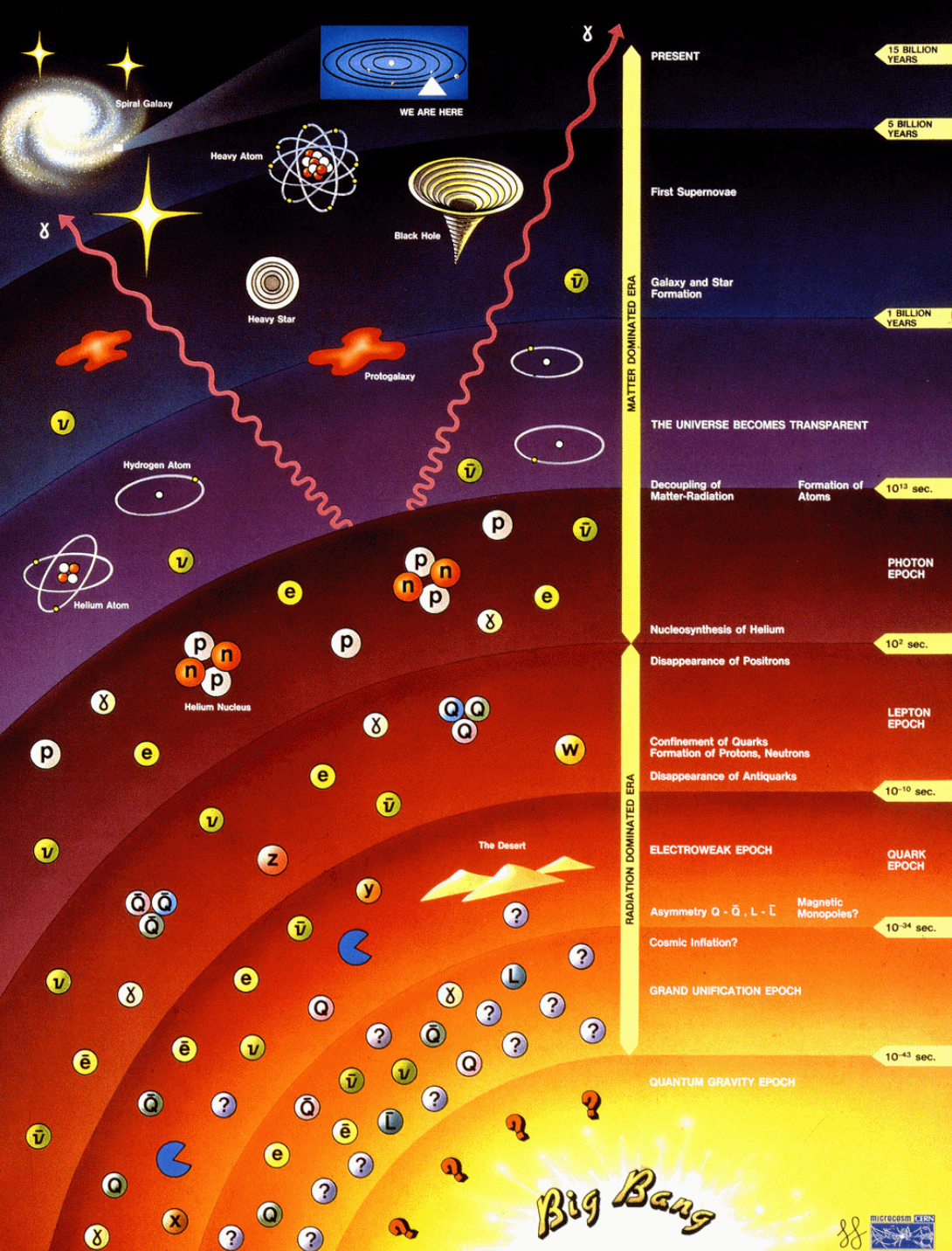
Narodziny kosmologii eksperymentalnej

W 1929 r. Edwin Hubble zauważył,
że im dalsza galaktyka, tym szybciej się oddala

⇒ **Wszechświat się rozszerza !**

⇒ zgodność z modelem Friedmana / równaniami Einsteina





14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

Pomiary ekspansji Wszechświata

◆ Czy Wszechświat zawsze się rozszerzał? W jakim tempie?

- Obserwujemy odległe=wczesne obiekty

◆ Czy ekspansja kiedyś ustanie? Odwróci się?

- Mierzymy gęstość materii ρ (liczymy galaktyki)

$\rho < \rho_{\text{krytyczne}} \Rightarrow$ wieczne rozszerzanie

$\rho > \rho_{\text{krytyczne}} \Rightarrow$ zahamowanie ekspansji i zapaść

◆ Czy Wszechświat ma skończone rozmiary?

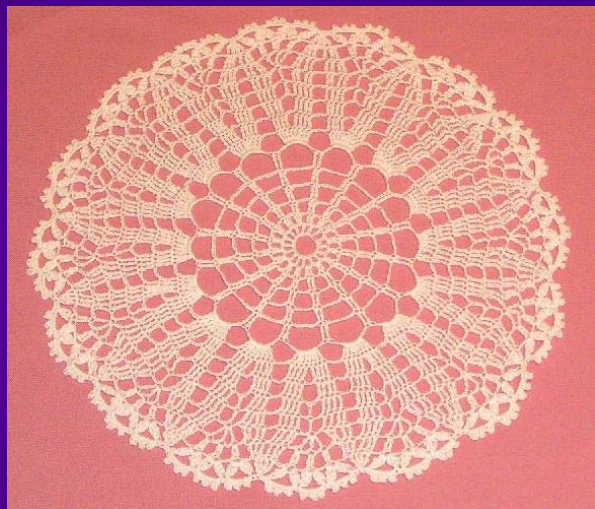
- Mierzymy krzywiznę przestrzeni

krzywizna $> 0 \Rightarrow$ skończony

krzywizna $\leq 0 \Rightarrow$ nieskończony

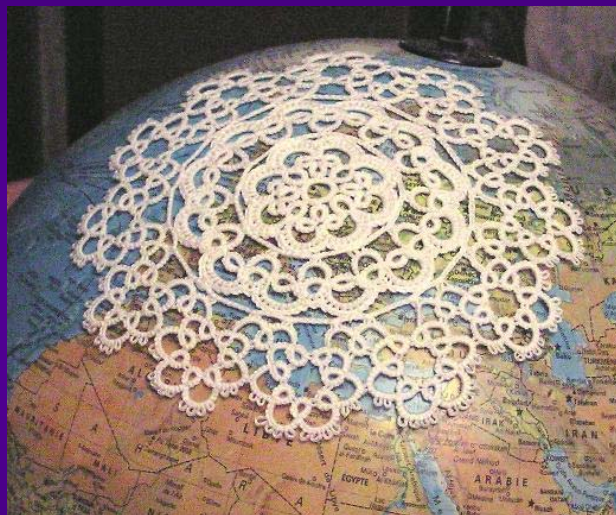
Pomiar geometrii Wszechświata

krzywizna
zerowa



$$=2\pi R$$

krzywizna
dodatnia



$$<2\pi R$$

krzywizna
ujemna



$$>2\pi R$$

obwód (liczba oczek)

Serwetki wykonała Małgorzata Wrochna: www.wrochna.art.pl

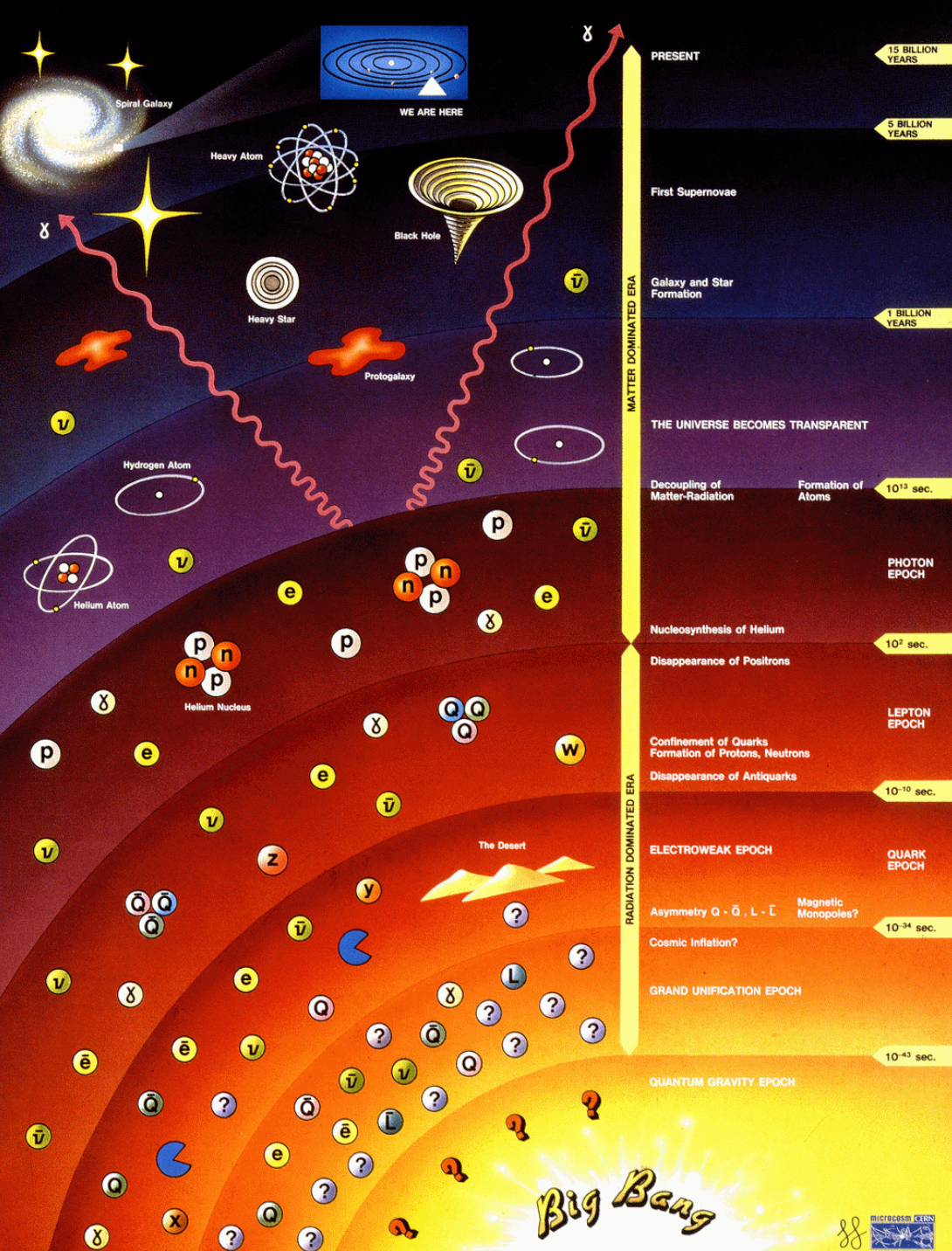
Odległe wybuchy supernowych

Znaleziono zależność między długością i jasnością wybuchu

1. Mierzymy czas wybuchu $\Rightarrow$ obliczmy jasność absolutną
2. Mierzymy jasność obserwowaną $\Rightarrow$ obliczamy odległość

Wynik: ekspansja Wszechświata przyspiesza





14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

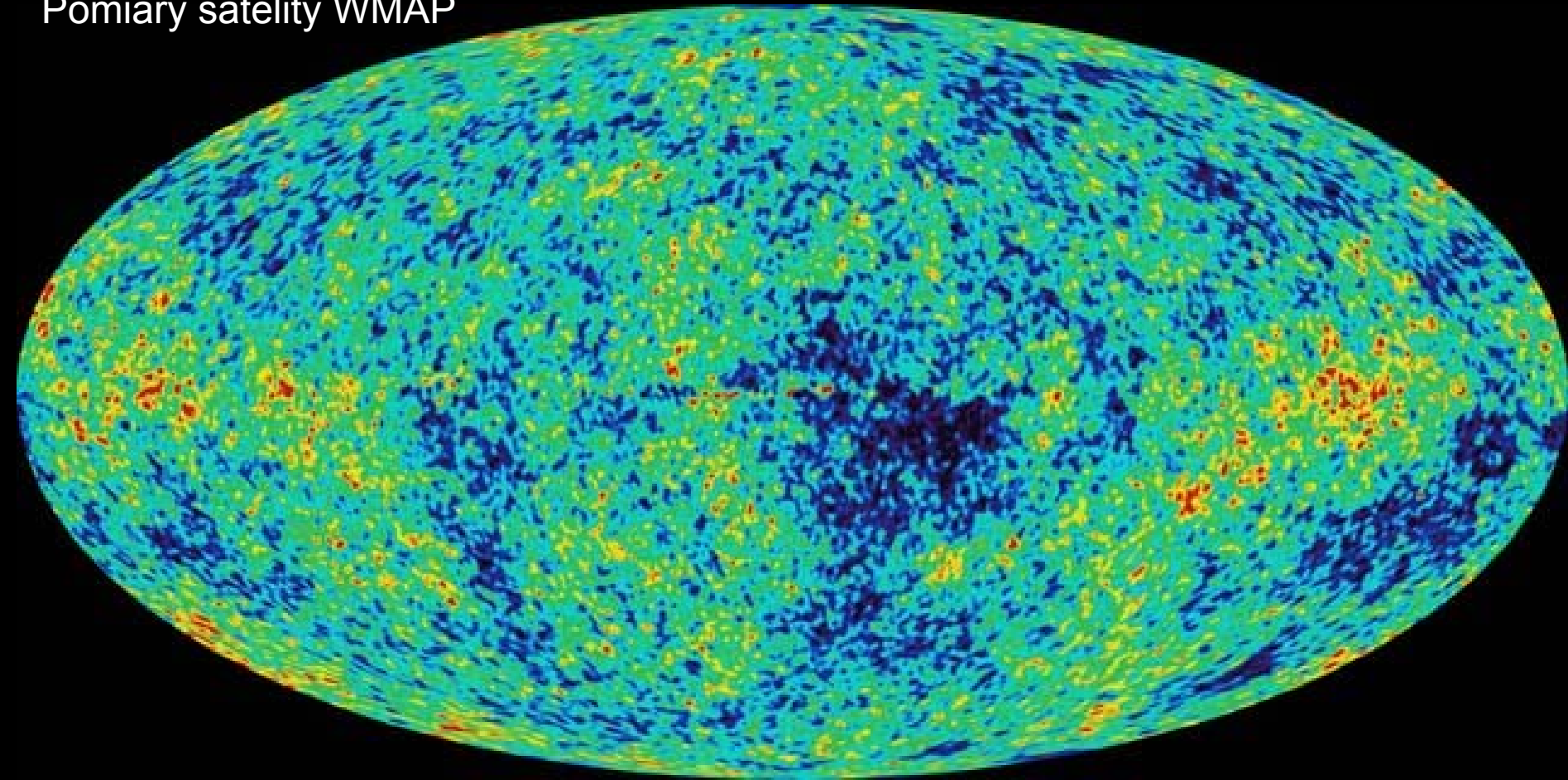
Promieniowanie reliktowe tła

- ◆ Przed powstaniem atomów elektrony i jądra oddziaływały z fotonami
⇒ **Wszechświat nieprzeźroczysty dla światła**
- ◆ Kiedy jądra wychwyciły elektrony to fotony uzyskały swobodę i podróżują przez Wszechświat do dziś
- ◆ Odkryli je Penzias i Wilson anteną radiową w 1964r
- ◆ Dziś mierzą je satelity COBE, WMAP, Planck

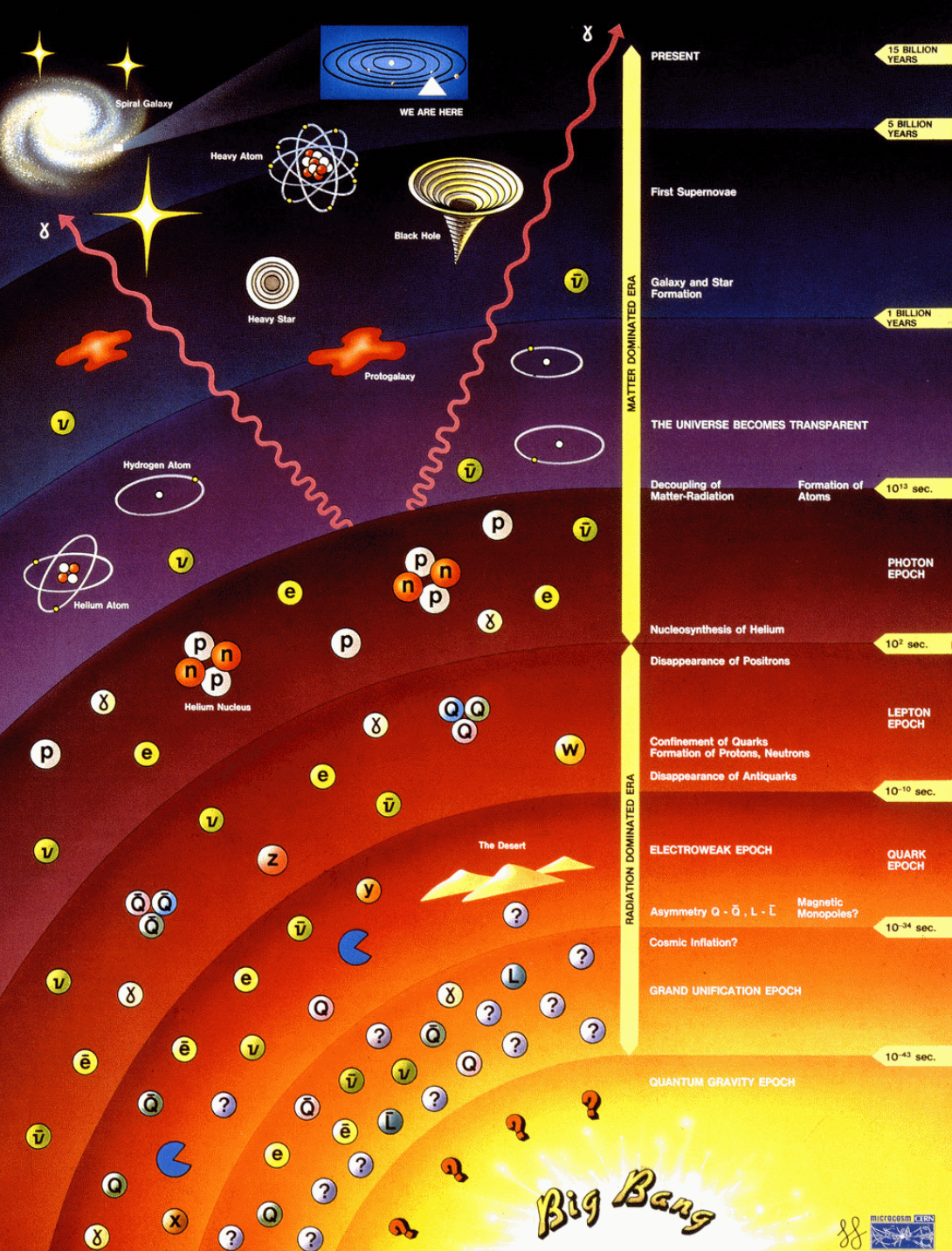


Fotografia młodego Wszechświata

Pomiary satelity WMAP



**Mikrofalowe promieniowanie reliktowe
powstało kiedy Wszechświat miał 380 000 lat
< 3% obecnego wieku**



14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

Pochodzenie pierwiastków

◆ W Wielkim Wybuchu powstały najlżejsze pierwiastki:

H, ^2H , ^4He , ^3He , ^7Li

● Alpher, Bethe, Gamow, 1948

◆ Cięższe, np. azot ^{14}N , tlen ^{16}O , powstają w gwiazdach

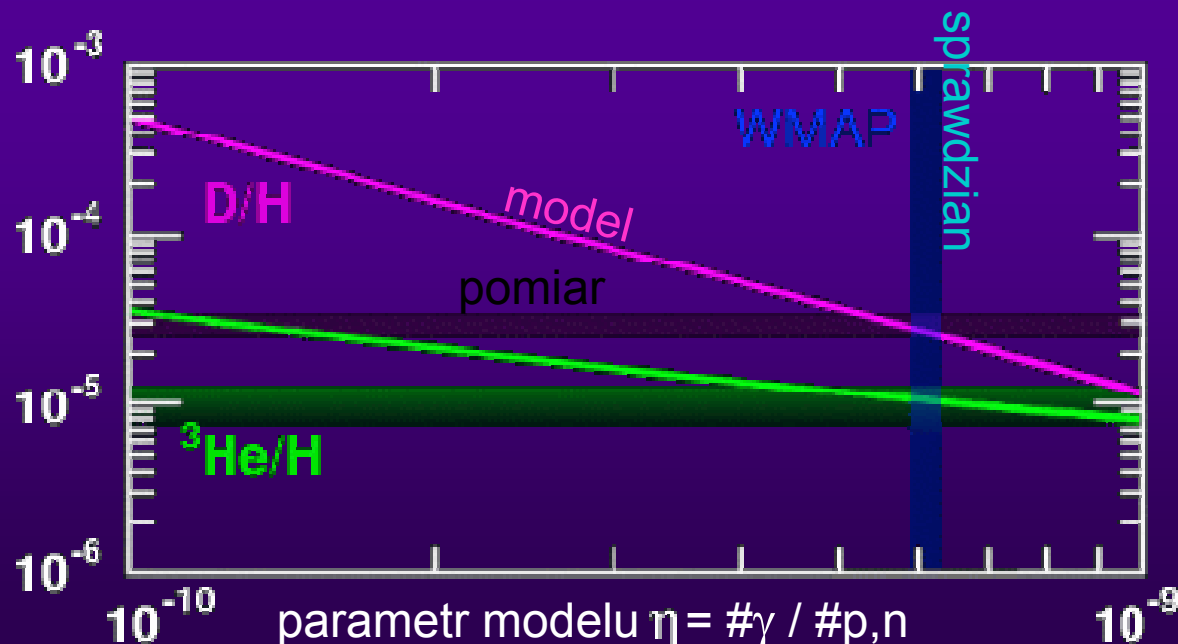
◆ Cięższe od żelaza

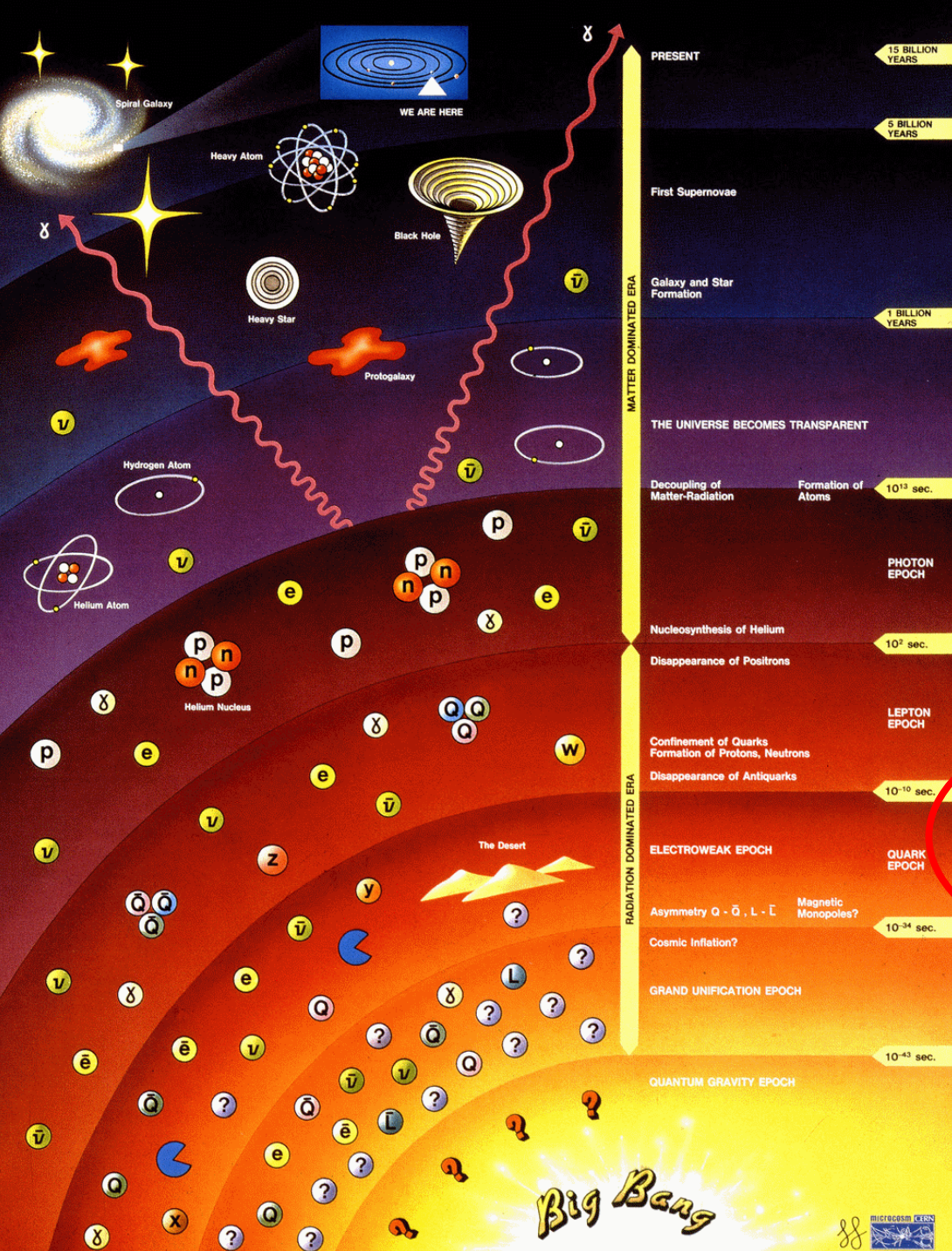
– w wybuchach supernowych

wodór	H	73,9 %
hel	He	24,0 %
tlen	O	0,101 %
węgiel	C	0,046 %
neon	Ne	0,013 %
żelazo	Fe	0,011%
azot	N	0,009 %

Rozpowszechnienie pierwiastków

- ◆ Pierwiastki rozpoznajemy po barwie wysyłanego lub pochłanianego światła (linie widmowe)
- ◆ Pierwotne proporcje mierzymy w obszarach
 - odległych = wczesnych, np. kwazary
 - ubogich w ^{14}N , ^{16}O = słabo ewoluujących, np. Galaktyki karłowate





14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

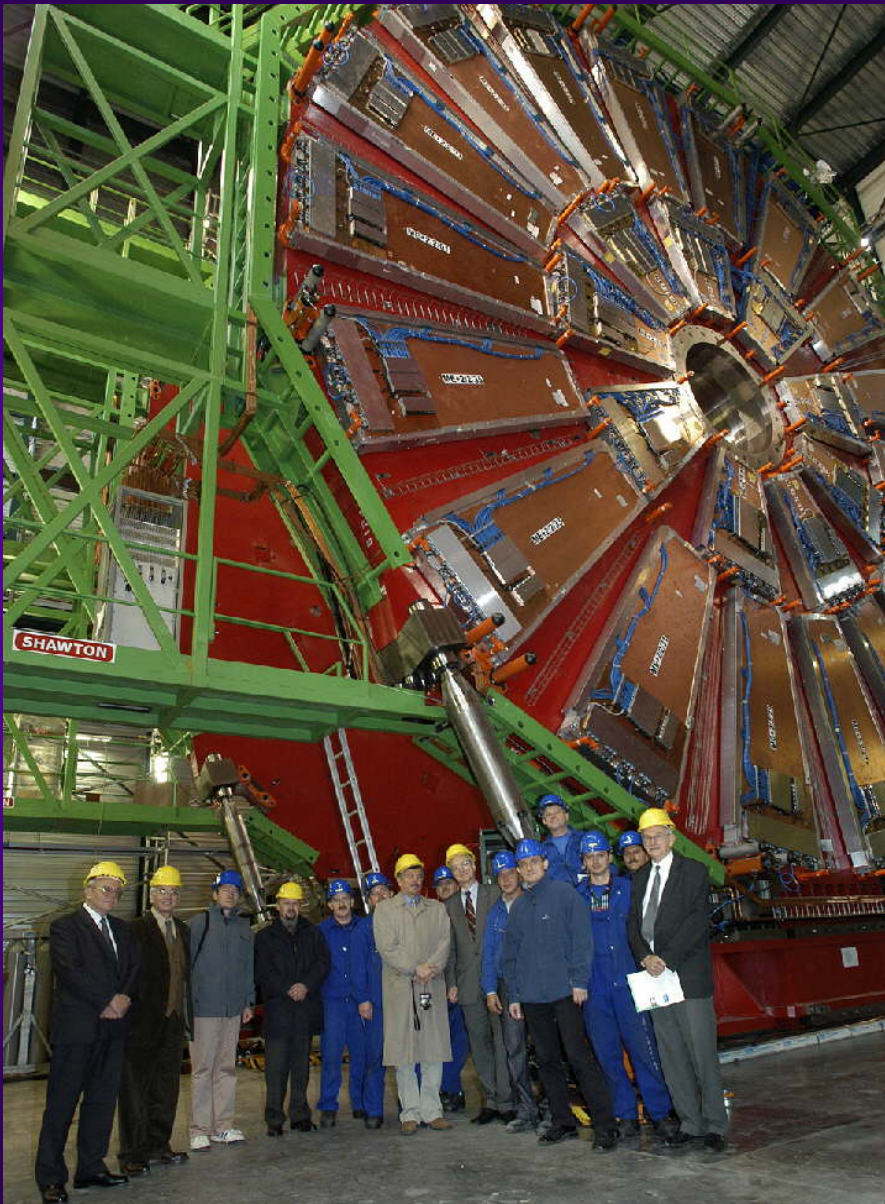
??? - kwarki

??? - ???

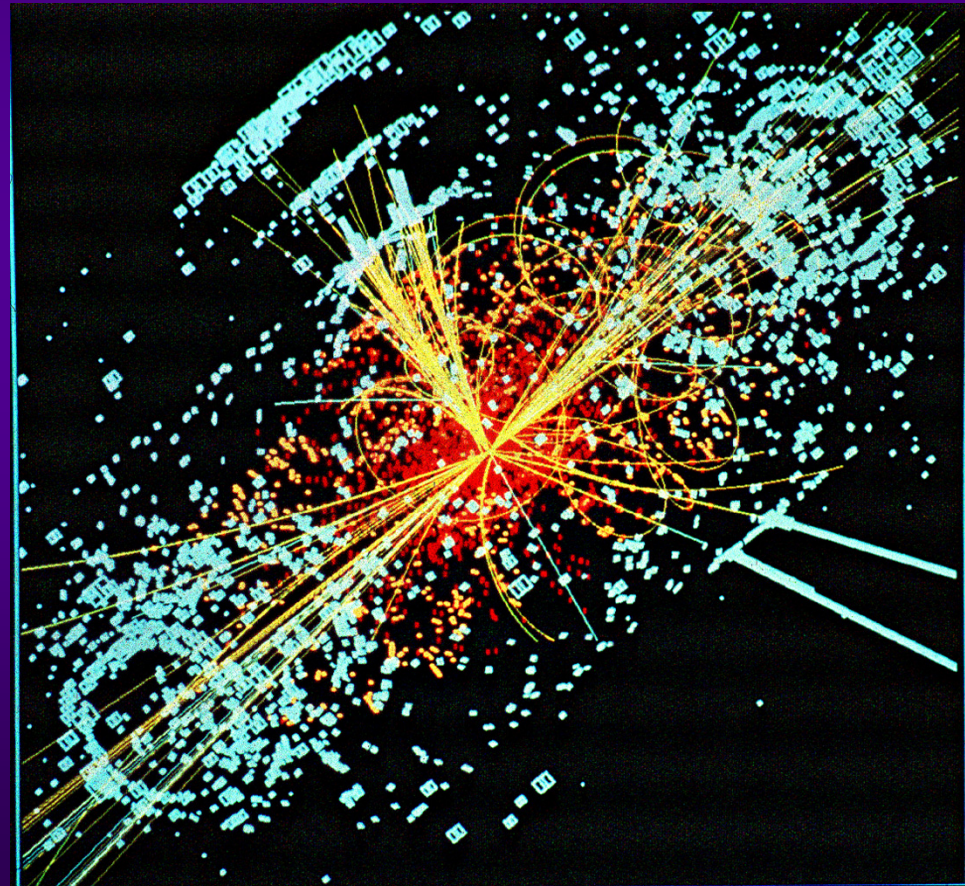
0 - ?!

Pierwsza miliardowa sekundy

Warunki panujące we
wczesnym Wszechświecie
odtworzamy zderzając cząstki
rozpędzone w akceleratorach



Detektor rejestrujący cząstki



Odtworzone tory cząstek



Akcelerator LHC
27 km obwodu

CERN
Genewa

Akcelerator LHC w CERN (Genewa)



Obwód = 27 km

Wszechświat na dłoni

Kosmologia z dziedziny czysto spekulatywnej przerodziła się w naukę eksperymentalną.

◆ **Znamy wiek Wszechświata**

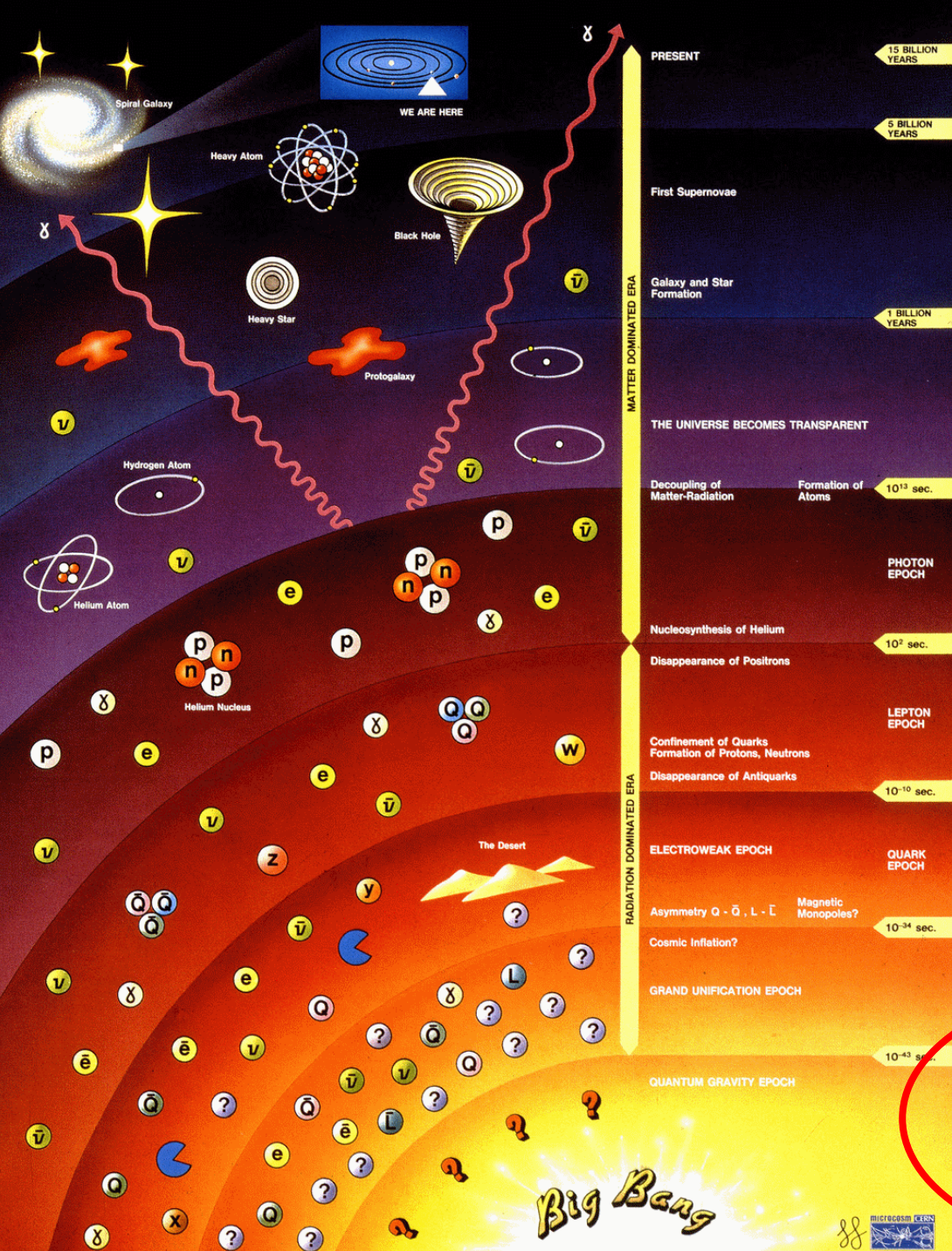
◆ **Odtworzyliśmy jego historię od 0,000 000 001 sekundy**

- W tej epoce nie dokonujemy już odkryć, tylko walczymy o precyzję pomiarów

◆ **Zagadką pozostaje ta pierwsza nanosekunda**

- czas w jaki światło przebiega 3 cm ...





14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

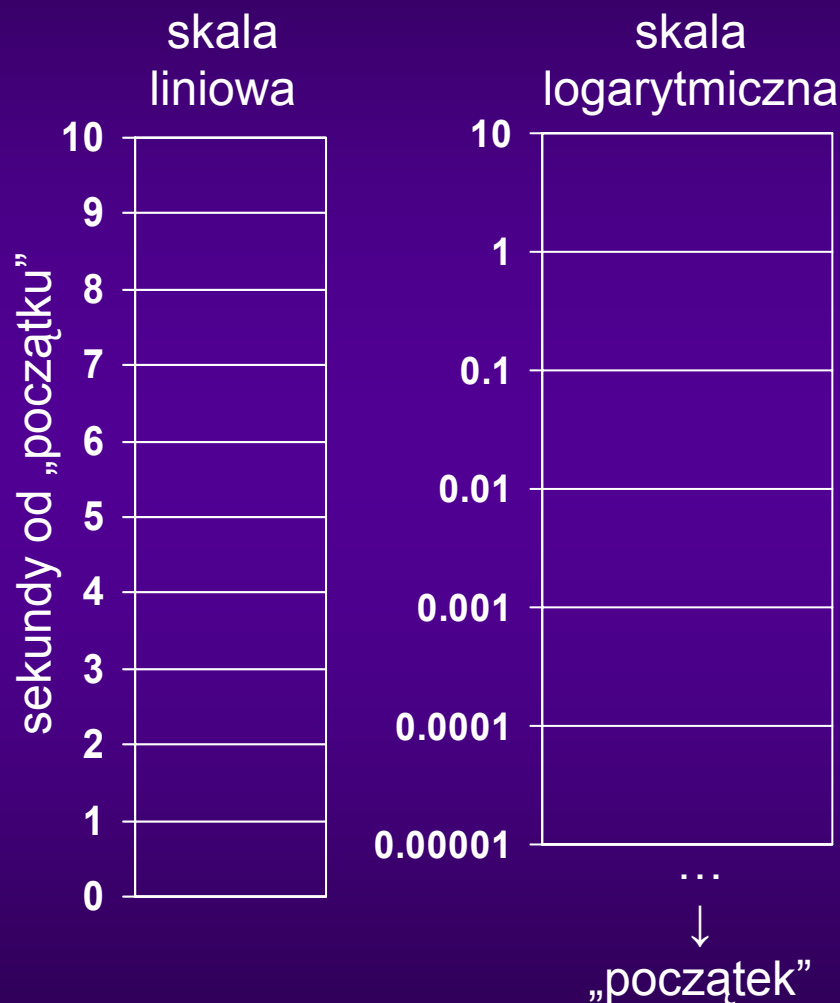
miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

Podróż do początku Wszechświata



Cofając się wstecz kolejne epoki trwają coraz krócej:

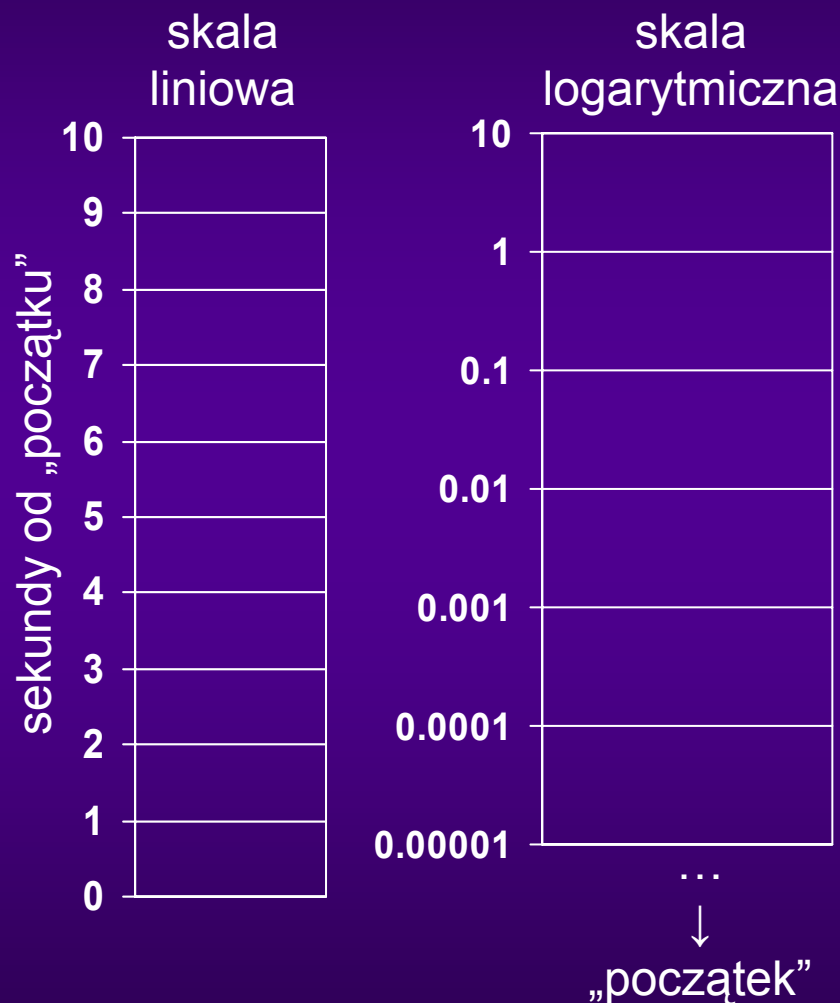
- 13 mld lat,
- 200 mln lat,
- 380 tys. lat,
- 3 minuty,
- miliardową sekundy,
- ...

a w każdej dzieje się tyle co w poprzedniej.

Ile jeszcze takich epok odkryjemy?

Czy ta hierarchia ma kres?

Pytanie o początek Wszechświata



Wszechświat jest odwieczny
czy miał początek?

Trzecia odpowiedź:

ma skończony wiek (14 mld lat),
ale jego początek wymyka się
nam w ciągu kolejnych, coraz
krótszych epok, gdzie samo
pojęcie początku traci sens.