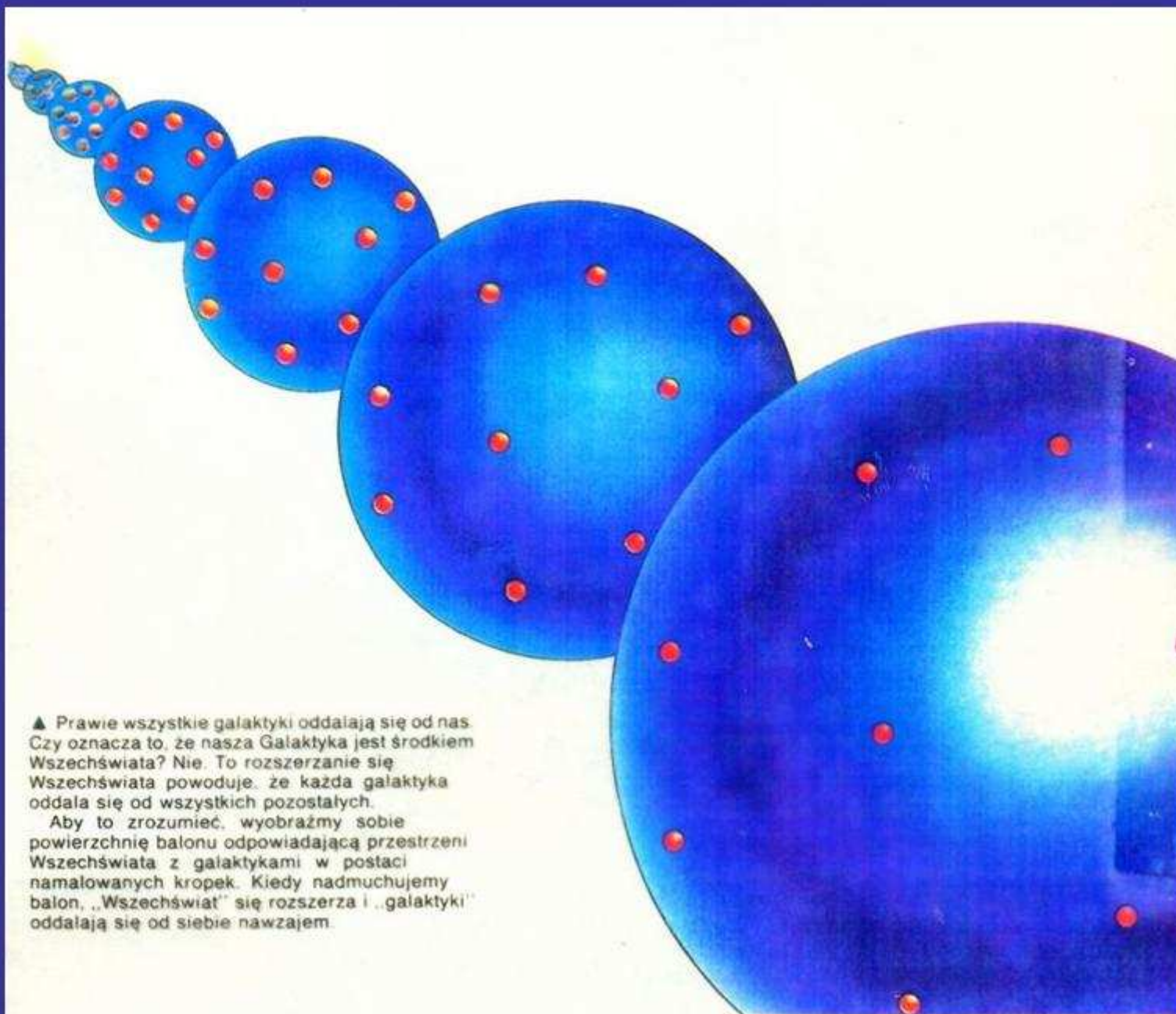


KU POCZĄTKOWI WSZECHŚWIATA

[CZ. 2]

SCENARIUSZ WIELKIEGO
WYBUCHU

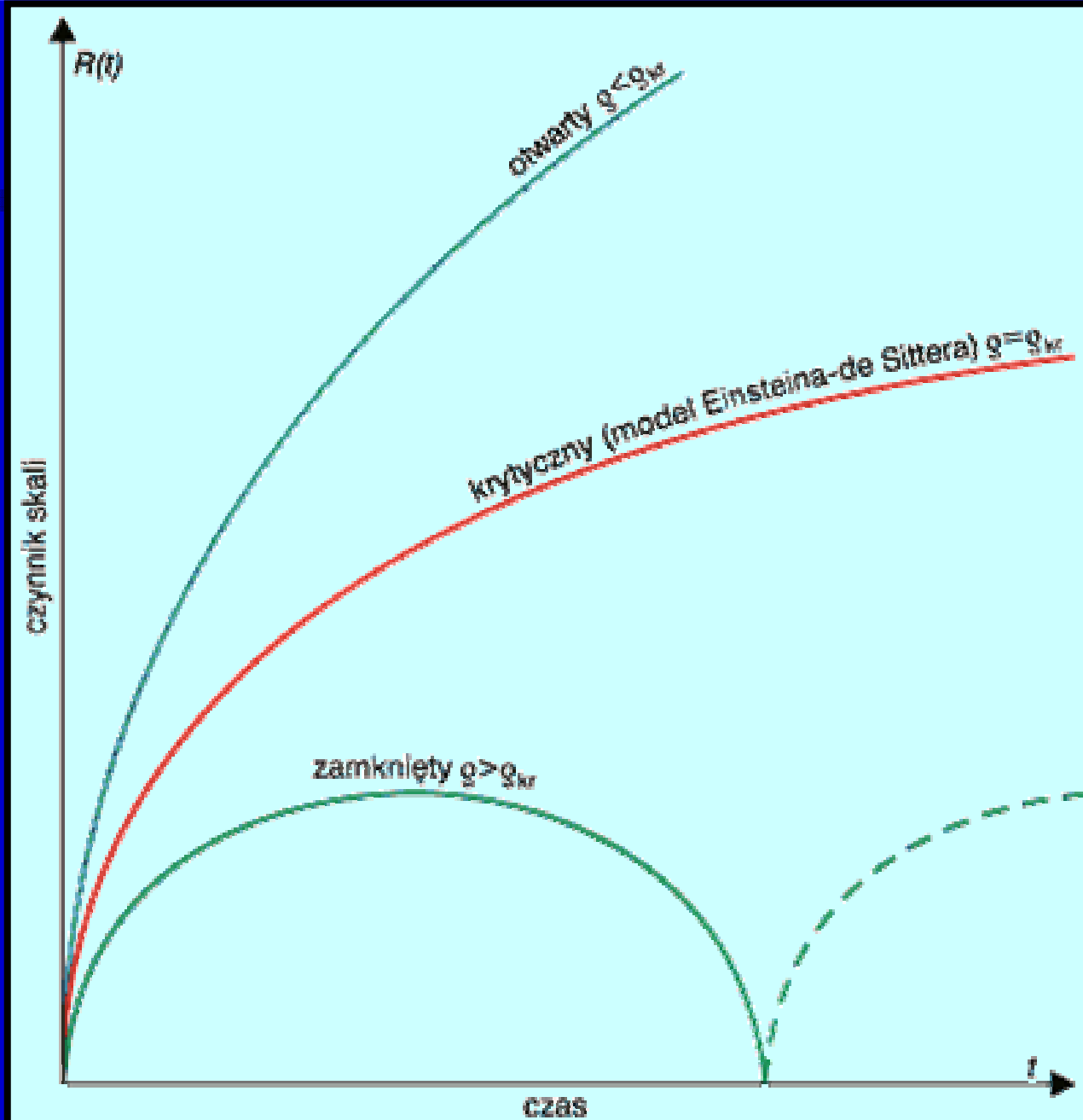
METAFORYCZNA ILUSTRACJA EKSPANSJI KOSMOLOGICZNEJ



▲ Prawie wszystkie galaktyki oddalają się od nas. Czy oznacza to, że nasza Galaktyka jest środkiem Wszechświata? Nie. To rozszerzanie się Wszechświata powoduje, że każda galaktyka oddala się od wszystkich pozostałych.

Aby to zrozumieć, wyobraźmy sobie powierzchnię balonu odpowiadającą przestrzeni Wszechświata z galaktykami w postaci namalowanych kropek. Kiedy nadmuchujemy balon, „Wszechświat” się rozszerza i „galaktyki” oddalają się od siebie nawzajem.

MODELE KOSMOLOGICZNE FRIEDMANA



**TRZY MOŻLIWE
PRZYSZŁE LOSY
WSZECHŚWIATA
I EKSPANSJI
KOSMOLOGICZNEJ**

**SKORO KOSMOLOGICZNA EKSPANSJA MIAŁA
POCZĄTEK PRZED OK. 14 MLD. LAT TO SPRÓBUJ-
MY W WYOBRAŹNI PUŚCIĆ TEN FILM WSTECZ
I PRZEŚLEDZIĆ (WEDŁUG DZISIEJSZEJ WIEDZY)
WCZESNE ETAPY EWOLUCJI WSZECHŚWIATA.**

TROCHE HISTORII [1]

ODKRYCIE HUBBLE'A ORAZ KOSMOLOGICZNE MODELE FRIEDMANA SUGERUJĄ, ŻE PRZED KILKUNASTOMA MILIARDAMI LAT PRZESTRZEŃ WSZECHŚWIATA BYŁA WYPEŁNIONA GĘSTĄ I GORĄCĄ MATERIĄ ZANURZONĄ W RÓWNIIE GORĄCYM PROMIENIOWANIU.

WSZECHŚWIAT ROZPOCZĄŁ WIĘC SWOJĄ EKSPANSJĘ OD TZW. „WIELKIEGO WYBUCHU”.

JUŻ W LATACH 40-TYCH ZASTANAWIANO SIĘ NAD EWENTUALNYMI ŚLADAMI OBSERWACYJNYMI PO TYM OSOBLIWYM WYDARZENIU.

TROCHĘ HISTORII [2]

1948 - G. GAMOW WYSUWA SUGESTIĘ O ISTNIENIU PROMIENIOWANIA BĘDĄCEGO RELIKTEM PO FAZIE GĘSTEGO I GORĄCEGO WSZECHŚWIATA. ALPHER I HERMAN OSZACOWALI JEGO OBECNĄ TEMPERATURĘ NA OK. 5 K.

1964 - 65 A. PENZIAS I R. WILSON KALIBRUJĄC ANTENĘ DO ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ PRZYPADKOWO ODKRYWAJĄ PROMIENIOWANIE TŁA O TEMPERATURZE OK. 3 K. IDĄC ZA SUGESTIĄ R. DICKE'A ZAPROPONOWALI KOSMOLOGICZNE POCHODZENIE TEGO PROMIENIOWANIA.
W 1978 r. OBAJ OTRZYMALI NAGRODĘ NOBLA ZA SWOJE ODKRYCIE.

A. PENZIAS I R. WILSON ORAZ ICH ANTENA



2009-02-25

MISJA SATELITY „COBE”

[**C**Osmic **B**ackground **E**xplorer] 1992.



MISJA SATELITY „COBE”

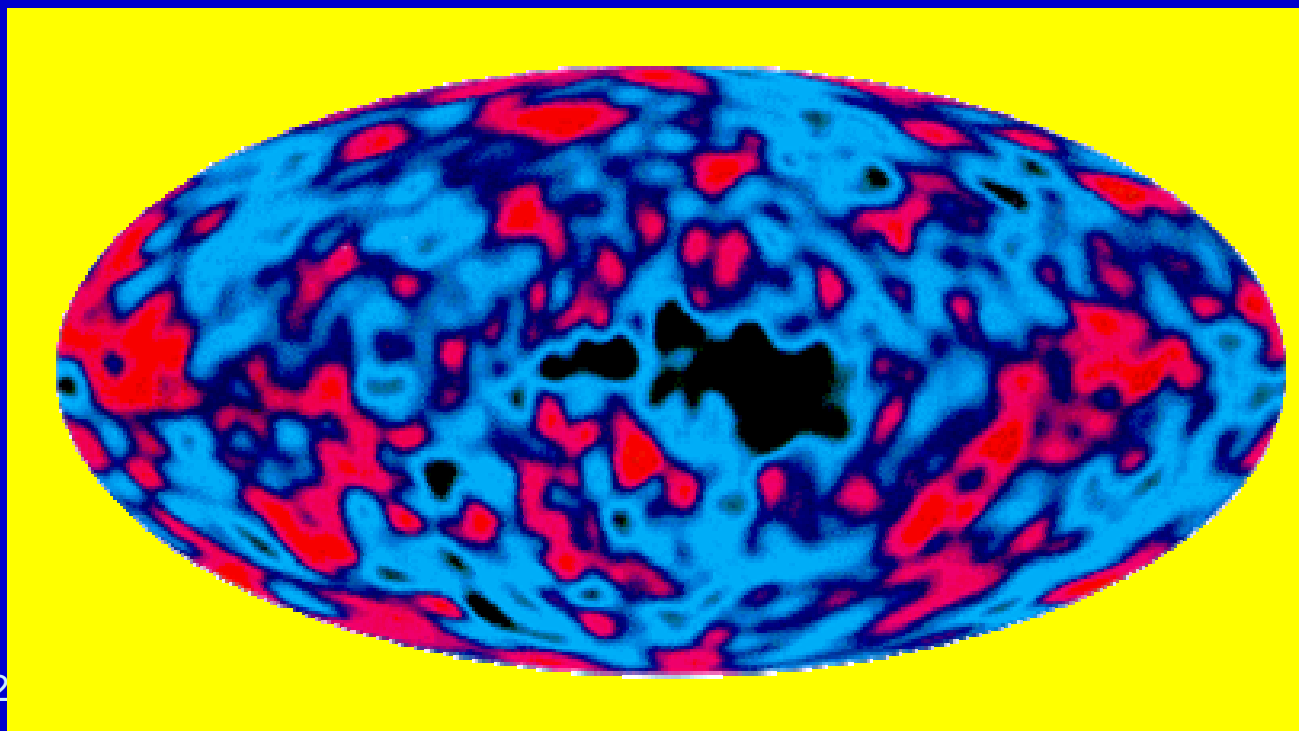
**SATELITA TEN WYKONAŁ TEMPERATUROWĄ
MAPĘ CAŁEJ SFERY NIEBIESKIEJ. WYZNA-
CZONO Z NIEJ ŚREDNIĄ TEMPERATURĘ PRO-
MIENIOWANIA RELIKTOWEGO $T = 2.73 \text{ K}$.**

**NA POZIOMIE DOKŁADNOŚCI 0.01 K . PROMIENIOWA-
NIE TO BYŁO IDEALNIE IZOTROPOWE
(JEGO TEMPERATURA NIE ZALEŻAŁA OD KIERUNKU
NA SFERZE NIEBIESKIEJ).**

MISJA SATELITY „COBE”

DALSZE REZULTATY

PRZY ANALIZIE DANYCH NA POZIOMIE DOKŁADNOŚCI OK. 0.00002 K. WYKRYTO TAKŻE (OCZEKIWANE) DROBNE FLUKTUACJE TEMPERATURY O AMPLITUDZIE RZĘDU 0.0001 K.

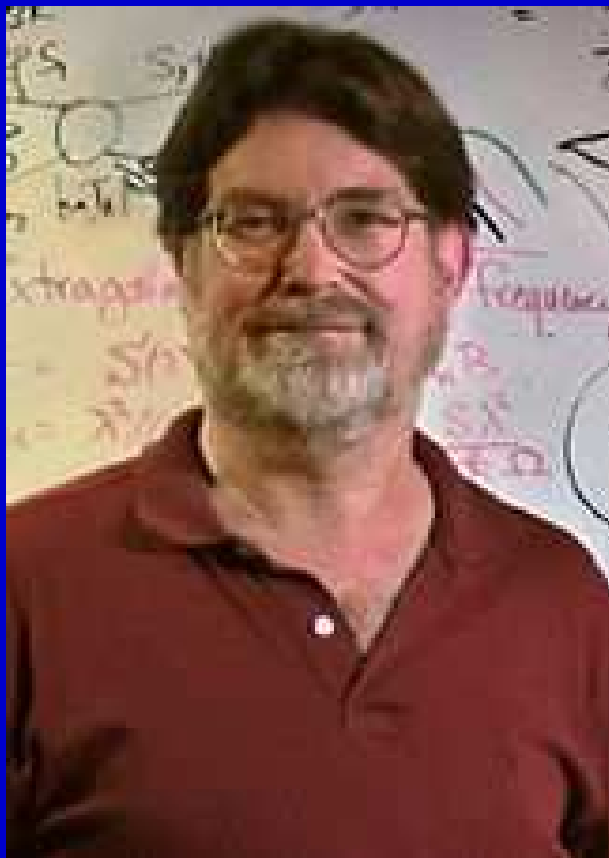


2009-02

**ODKRYTO WIĘC FAKT, ŻE JUŻ KILKA
TYSIĘCY LAT PO „WIELKIM WYBUCHU”
ISTNIAŁY W ROZKŁADZIE MATERII PEWNE
STATYSTYCZNE FLUKTUACJE GĘSTOŚCI
(A WIĘC I TEMPERATURY), KTÓRE W DALSZEJ
EWOLUCJI STAŁY SIĘ GRAWITACYJNYMI
‘ZARODKAMI’ PRZYSZŁYCH GALAKTYK I ICH
GROMAD.**

**W TRAKCIE DALSZEJ EKSPANSJI PROMIENIO-
WANIE RELIKTOWE STYGŁO LECZ ŚLAD PO
DAWNYCH FLUKTUACJACH POZOSTAŁ W NIM
DO DZIŚ JAK „ODCISK PALCA”.**

**ZA PROJEKT I PRZYGOTOWANIE MISJI SATELITARNEJ
COBE ORAZ ANALIZĘ I INTERPRETACJĘ REZULTATÓW
GEORGE F. SMOOT ORAZ JOHN C. MATHER OTRZYMALI
NAGRODĘ NOBLA Z FIZYKI W ROKU 2006.**



2009-02-25

G. F. SMOOT



J. C. MATHER

MISJA „BOOMERANG”

APARATURA DO POMIARU TEMPERATURY
PROMIENIOWANIA RELIKTOWEGO ZAINSTA-
LOWANA NA BALONIE STRATOSFERYCZNYM



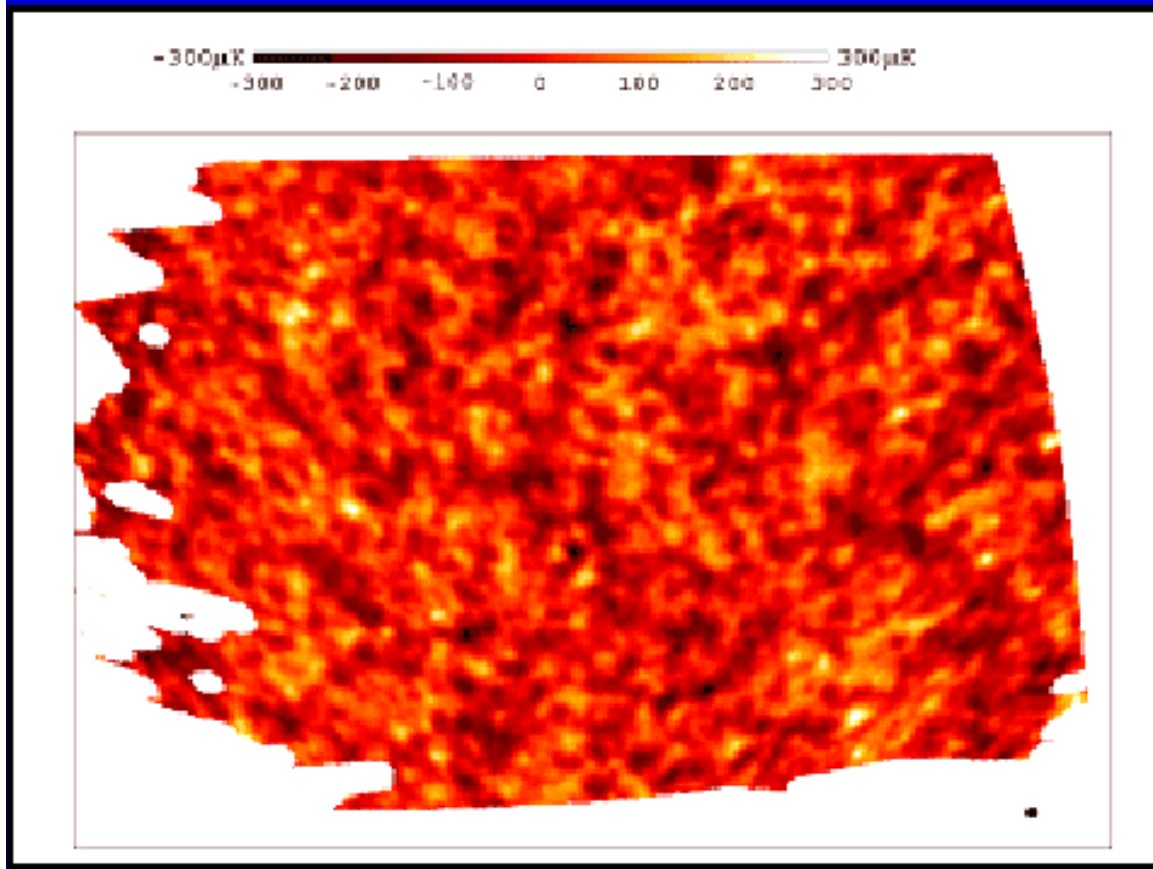
POMIARY WYKONYWANO
OD 29. XII. 1998
DO 09. I. 1999.

2009-02-25



MISJA „BOOMERANG” [c.d.]

POMIARY WYKONANO NA CZĘŚCI SFERY
NIEBIESKIEJ (ok. 3%) LECZ Z DUŻO LEPSZĄ
KĄTOWĄ ZDOLNOŚCIĄ ROZDZIELCZĄ NIŻ
SATELITA „COBE”



Mapka fluktuacji
temperatury pro-
mieniowania tła.

MISJA „BOOMERANG” [c.d.]

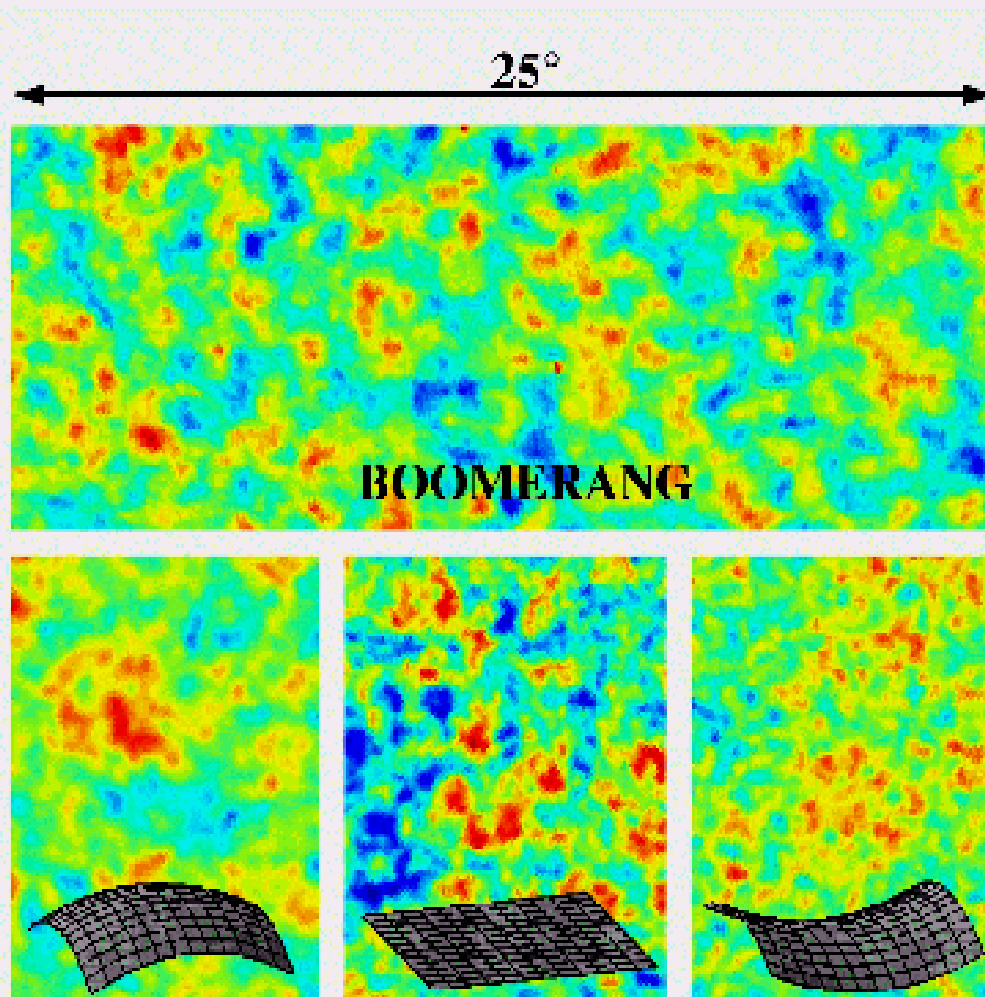
Analiza teoretyczna oraz symulacje komputerowe pozwalają oszacować najbardziej prawdopodobne rozmiary kątowe plamek fluktuacji temperatury dla trzech podstawowych typów modeli kosmologicznych

- (a) dla geometrii hiperbolicznej,
- (b) dla geometrii euklidesowej,
- (c) dla geometrii sferycznej.

Dla Wszechświata o geometrii euklidesowej najliczniejsze powinny być fluktuacje o rozmiarach kątowych ok. 1 stopnia.

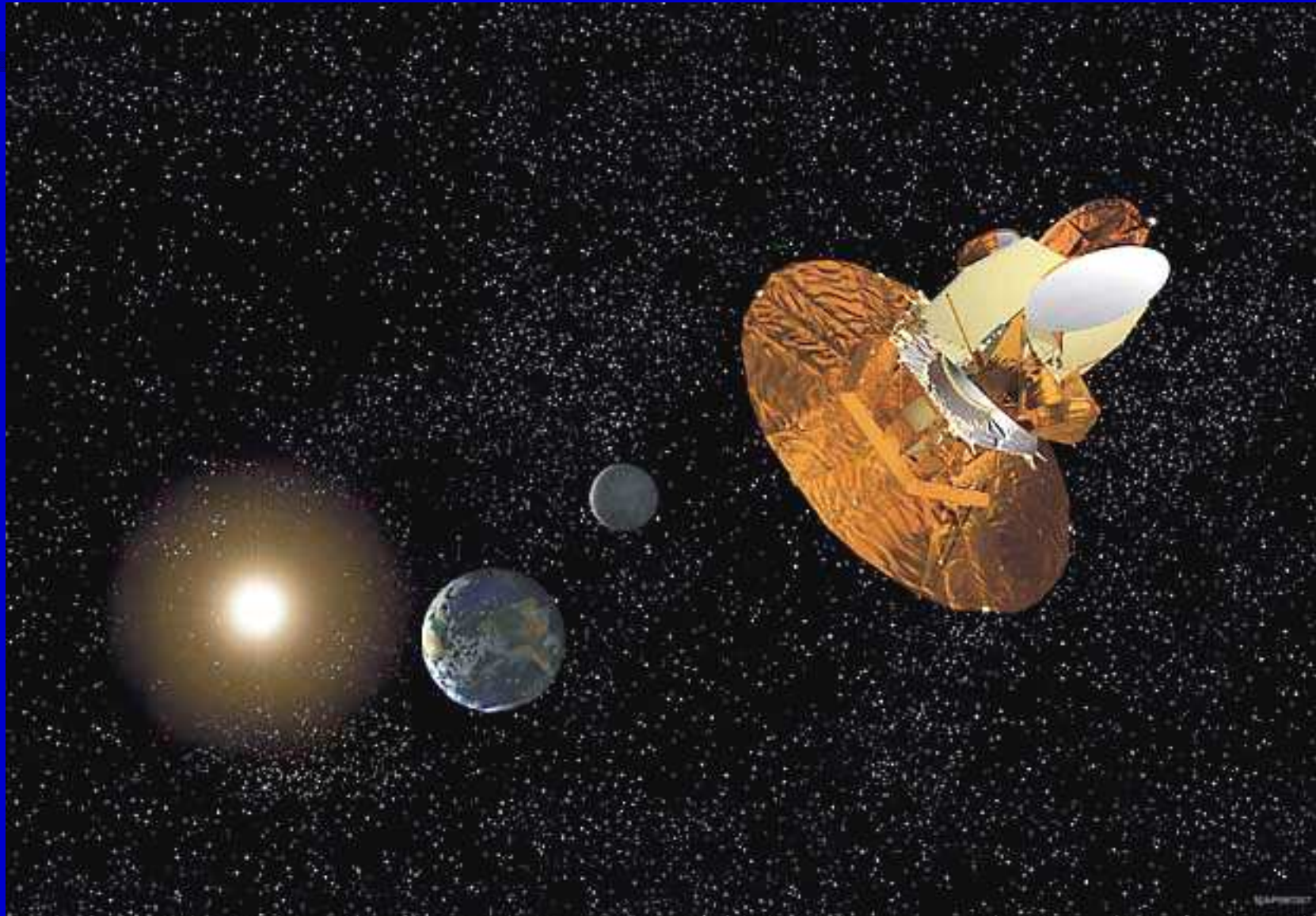
MISJA „BOOMERANG” [c.d.]

A oto porównanie analiz teoretycznych z danymi pomiarowymi misji „BOOMERANG”



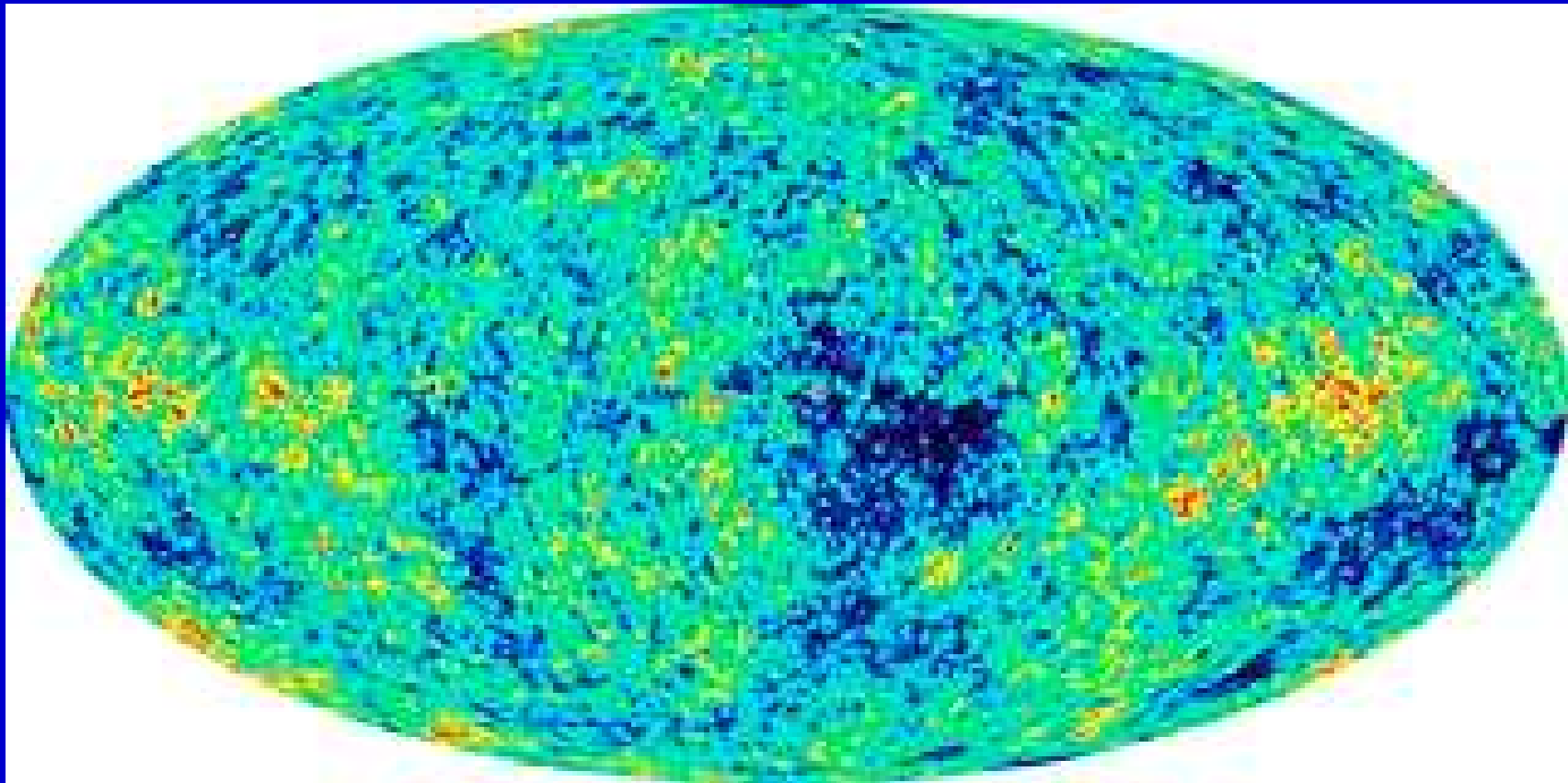
Rezultat
wyraźnie
preferuje
model
o geometrii
euklidesowej.

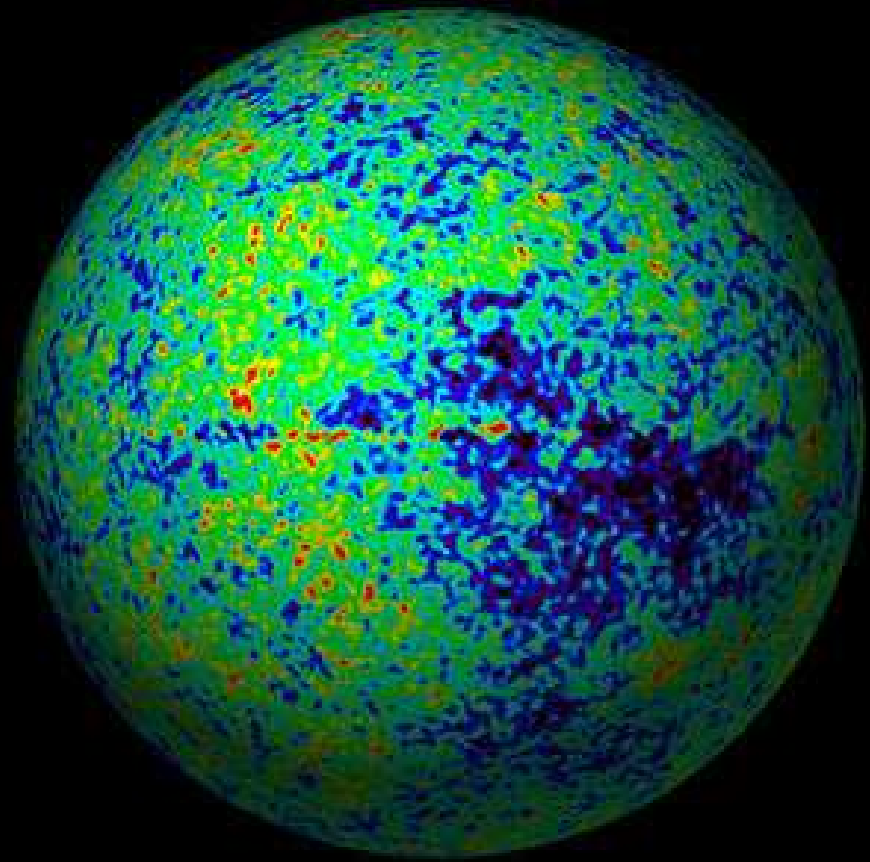
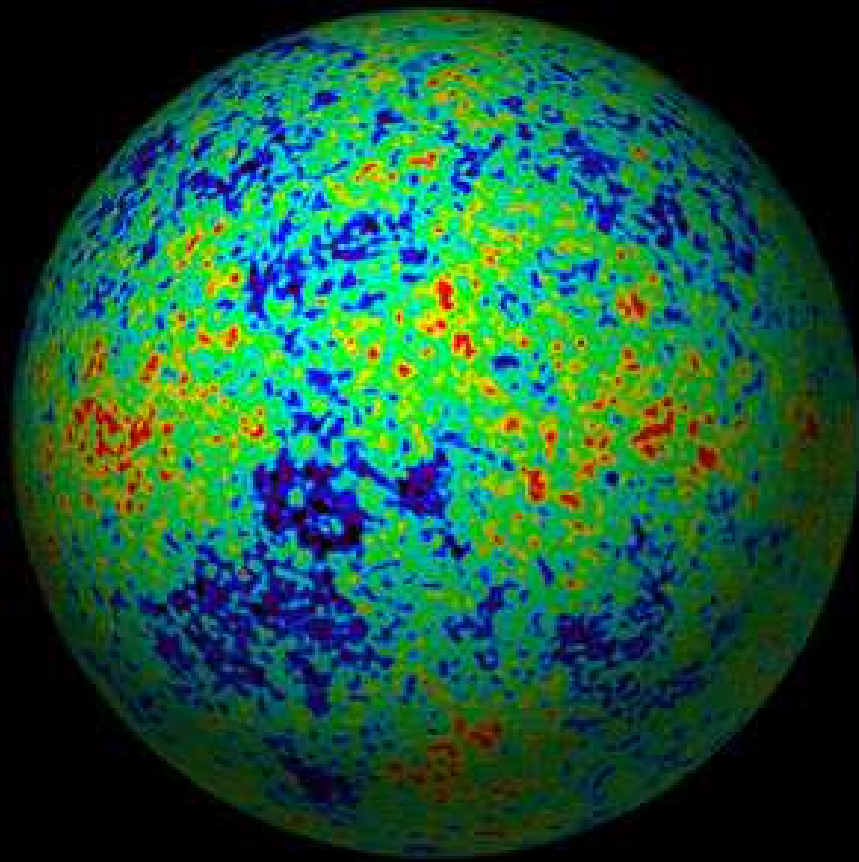
MISJA SATELITY **W_MAP** (2001 - 2002) [**M**icrowave **A**nisotropy **P**robe]



MISJA SATELITY W_MAP

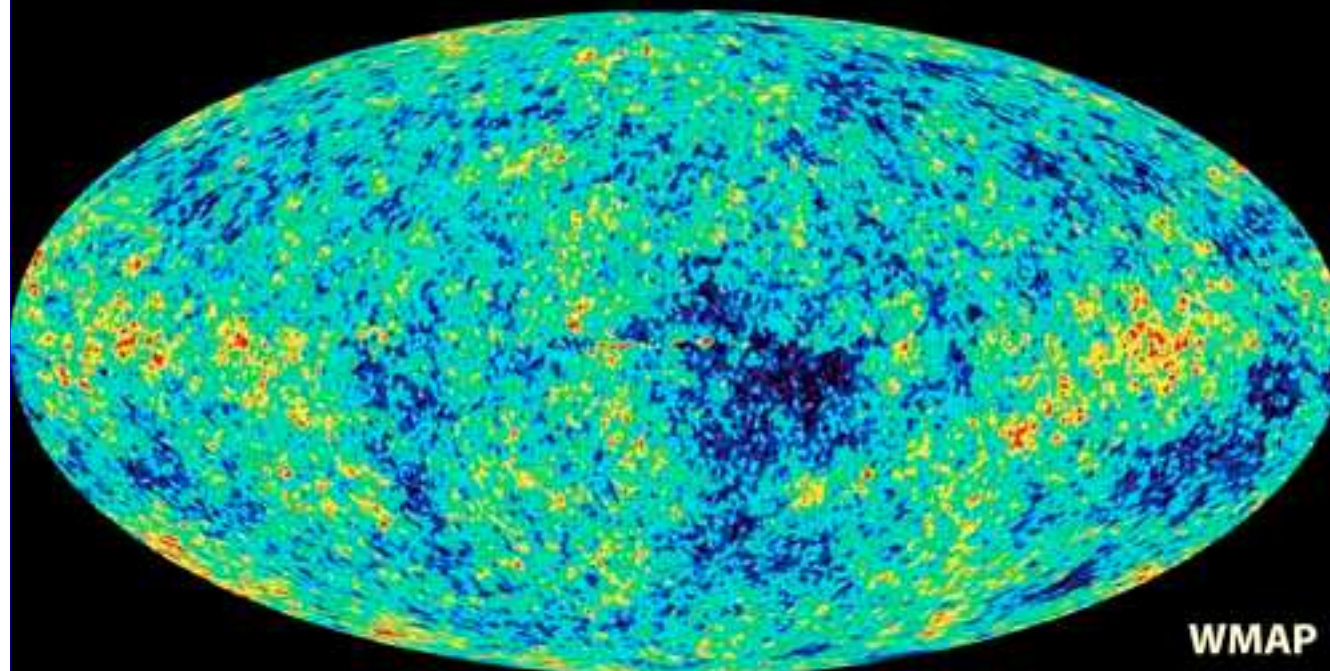
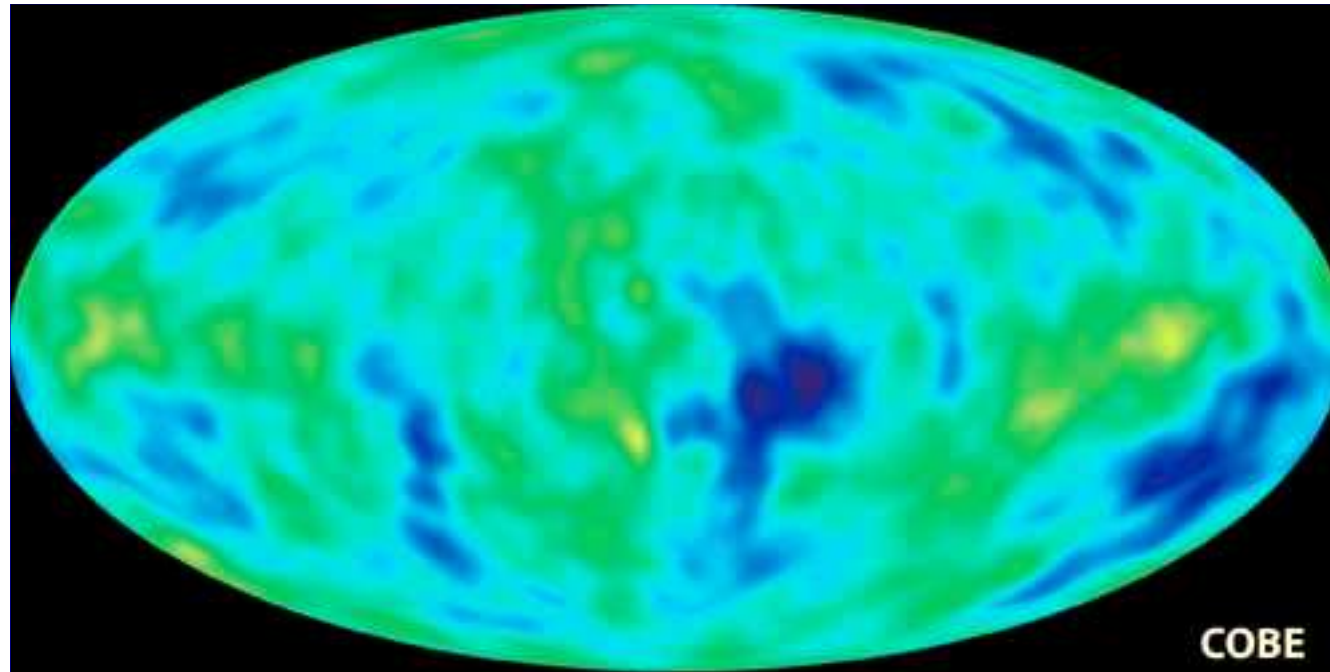
Wykonano tu mapę fluktuacji temperaturowych z dużą kątową zdolnością rozdzielczą dla całej sfery niebieskiej.



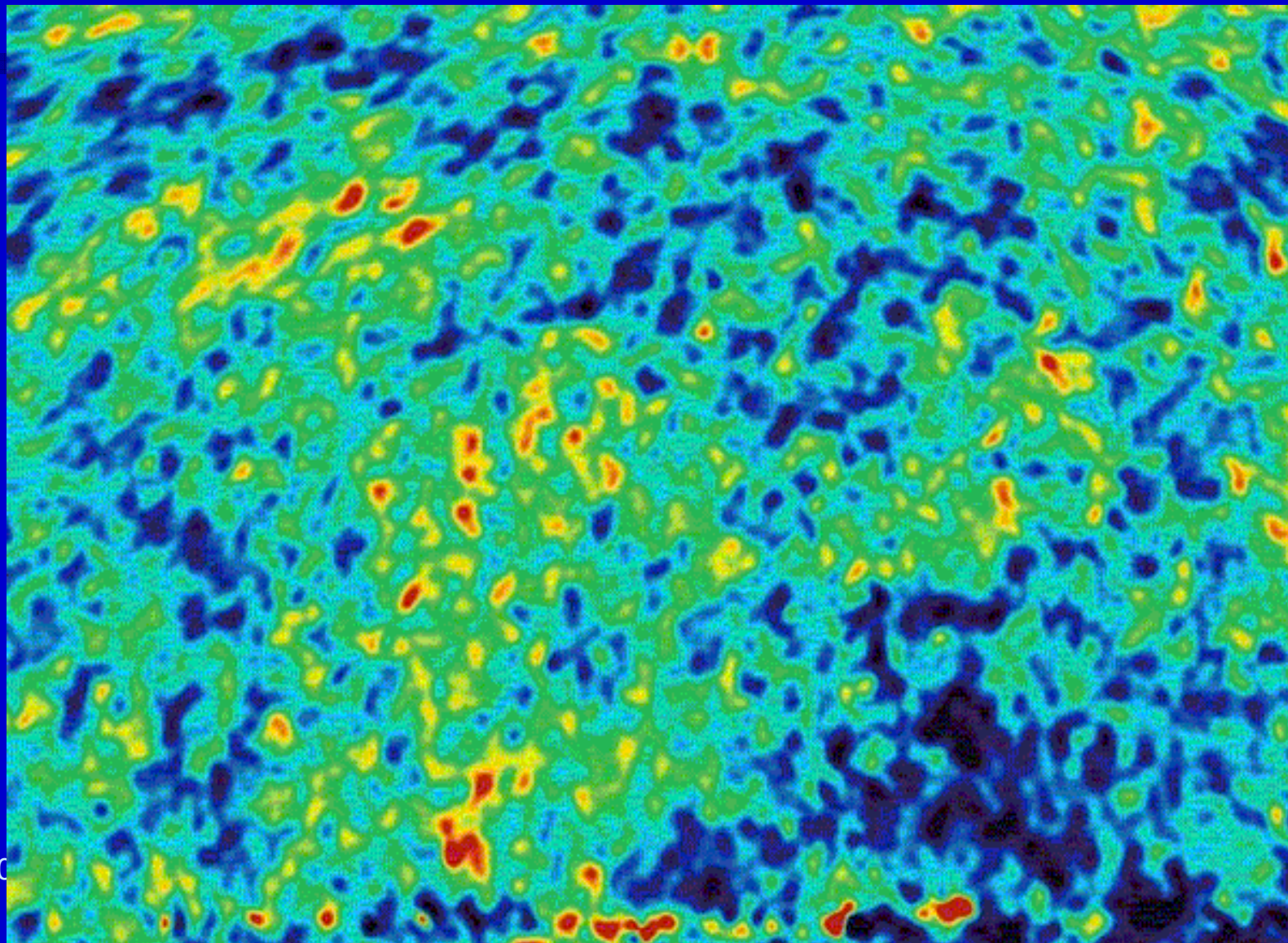


2009-02-25

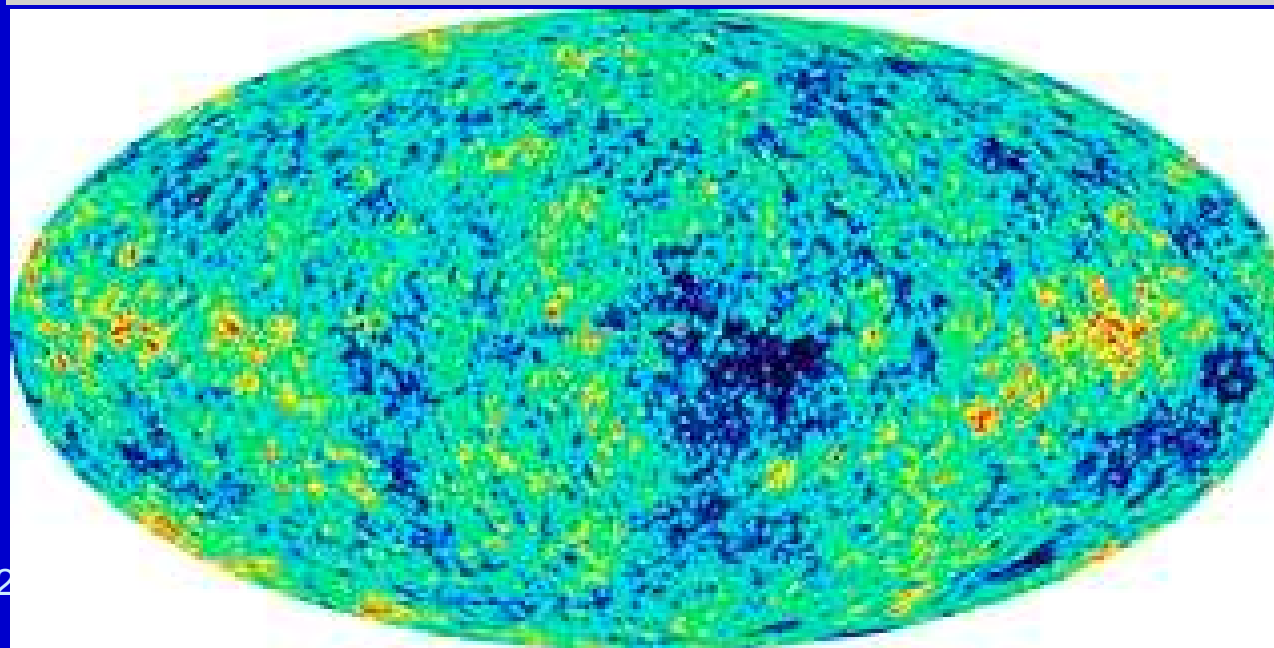
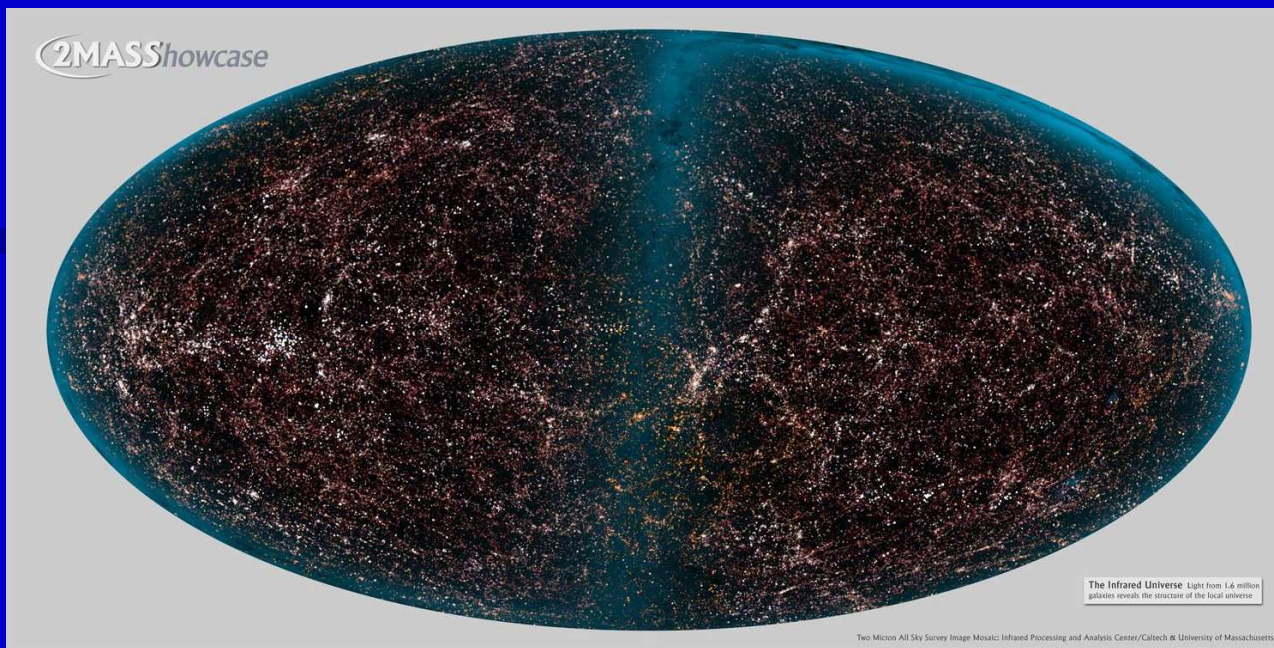
Porównanie
rozdzielczości
kątowej satelity
COBE oraz
satelity MAP



Fragment mapy fluktuacji z satelity MAP ilustrujący jego zdolność rozdzielczą i wyrazistość plamek fluktuacyjnych



WSPÓŁCZESNA MAPA ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO PONAD MILIONA GALAKTYK ORAZ MAPA FLUKTUACJI PROMIENIOWANIA RELIKTOWEGO



2009-02-2

**A CO BYŁO JESZCZE WCZEŚNIEJ?
W PIERWSZYCH MINUTACH, SEKUNDACH
ORAZ UŁAMKACH SEKUND?**

**Z PEWNOŚCIĄ PRZESTRZEŃ WYPEŁNIA OŚRODEK O
CORAZ WIĘKSZEJ GĘSTOŚCI I CORAZ WYŻSZEJ
TEMPERATURZE.**

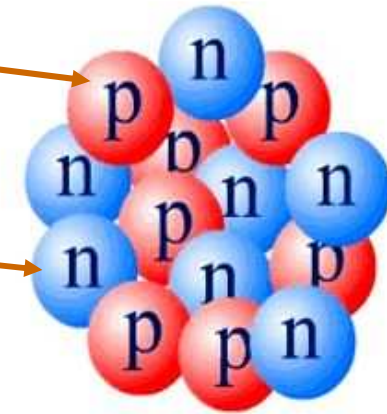
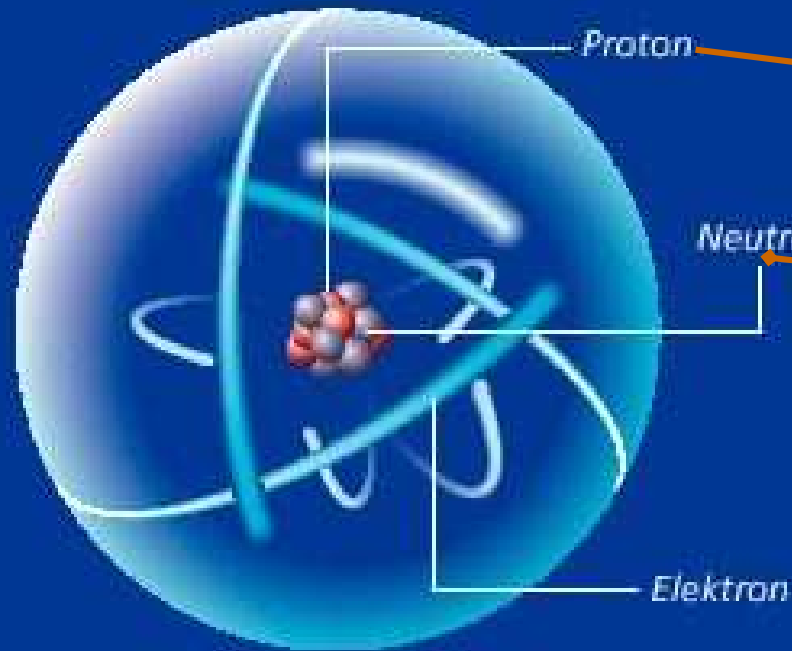
**PRZYPOMNIJMY WIĘC SOBIE W WIELKIM SKRÓCIE DZISIEJSZY
STAN WIEDZY O NAJGŁĘBSZEJ STRUKTURZE MATERII.**



1900



Czasy współczesne
To ja jestem obecnie
najmodniejszym
modelem atomu!



A OTO MIKROSKOPOWA STRUKTURA MATERII:

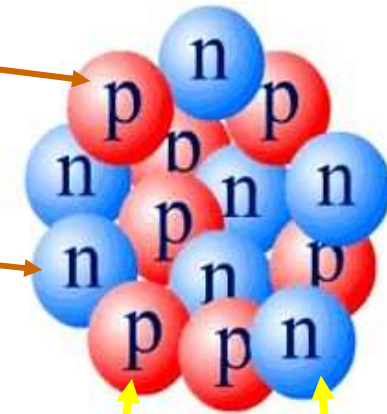
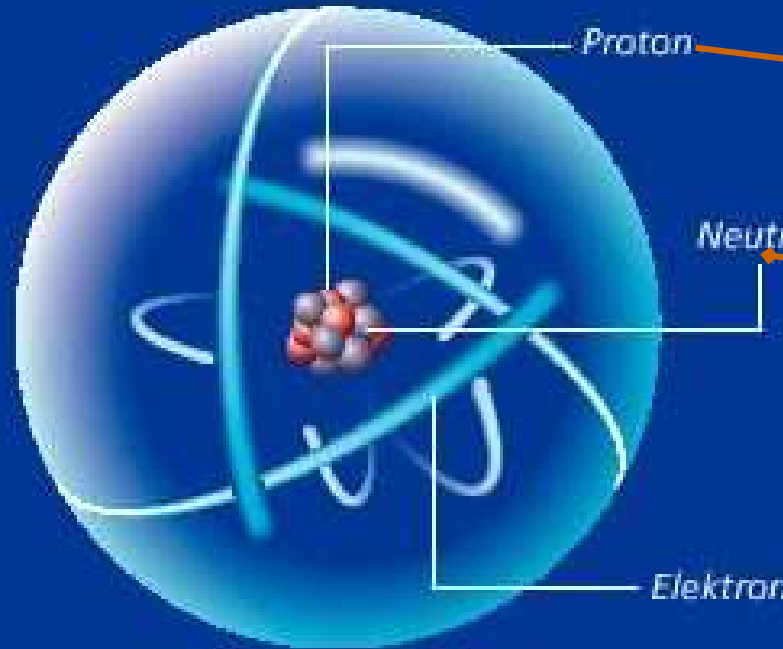
2009-02-25



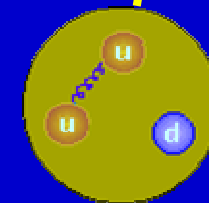
1900



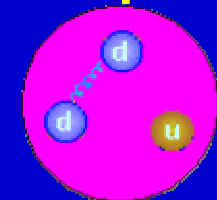
Czasy współczesne
To ja jestem obecnie
najmodniejszym
modelem atomu!



A OTO MIKROSKOPOWA STRUKTURA MATERII



PROTON

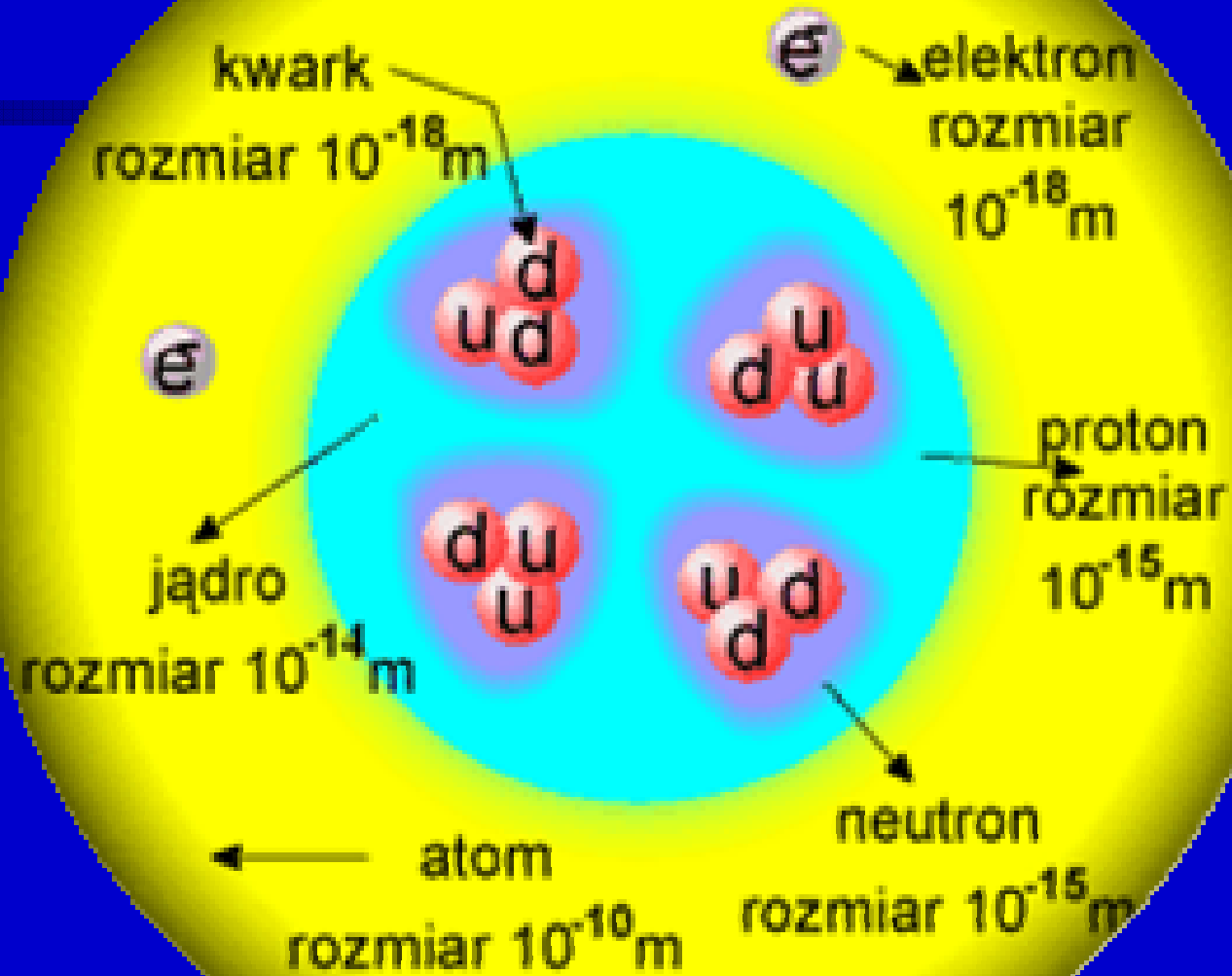


NEUTRON

**KWARKI
TO SKŁADNIKI
PROTONÓW I NEUTRONÓW**

2009-02-25

Struktura atomu



Rozmiar
w atomach

1

Rozmiar
w metrach

10^{-10}

**SKALE ROZMIARÓW
OD ATOMÓW DO
KWARKÓW I
LEPTONÓW.**

**Jądro atomowe w atomie to
jak moneta leżąca na środku
stadionu piłkarskiego**

$\frac{1}{10\ 000}$



10^{-14}

$\frac{1}{100\ 000}$



10^{-15}

$\frac{1}{100\ 000\ 000}$



nie więcej niż
 10^{-18}

**Kwarki w protonie to jak
ziarenka maku w kuli
średnicy jednego metra**

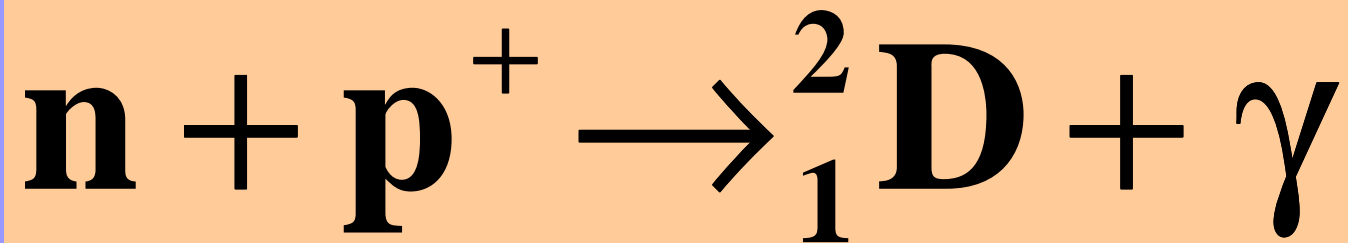
**WRACAMY WIĘC DO PYTANIA:
CO BYŁO JESZCZE WCZEŚNIEJ?**

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

protonów i neutronów - (p^+ , n) [bariony]
elektronów i neutrin - (e^- , ν_e) [leptony]
mionów i taonów oraz - (μ^- , ν_μ) [cięższe
ich neutrin (τ^- , ν_τ) leptony]
a także fotonów - γ

**TEMPERATURA MIESZANINY - T ok. 10^{10} K
JEJ GĘSTOŚĆ JEST RZĘDU $10^2 - 10^3$ g/cm³**

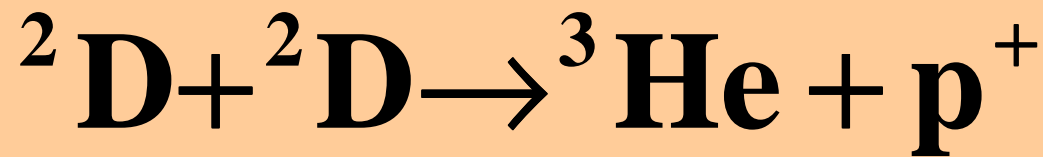
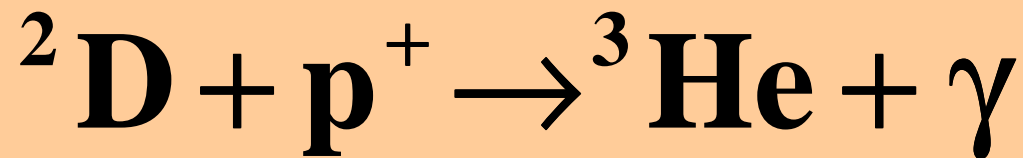
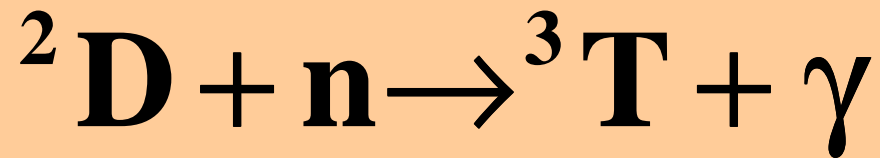
GDY TEMPERATURA SPADNIE PONIŻEJ 10^{10} K TO MOGĄ JUŻ TWORZYĆ SIĘ I UTRZYMAĆ PIERWSZE PRODUKTY SYNTETY:



TEMPO PRODUKCJI DEUTERU ZALEŻY OD:

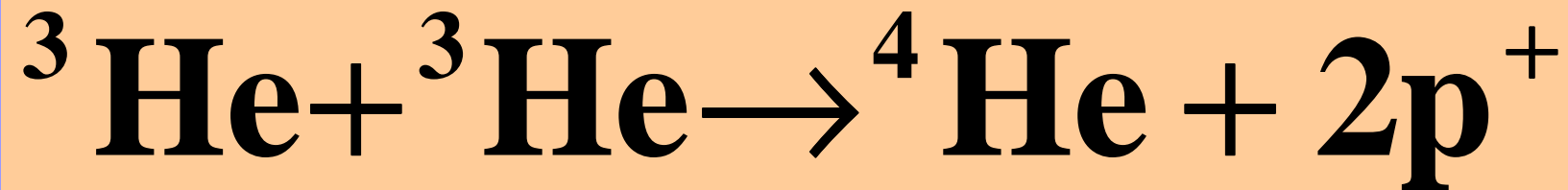
- (a) Temperatury ośrodka (częstotliwość i energia zderzeń),**
- (b) Gęstości neutronów i protonów.**

OTO KOLEJNE PROCESY NUKLEO-SYNTAZY:



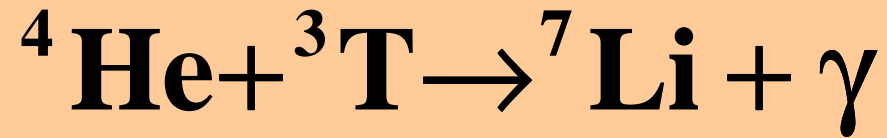
Na skutek tych reakcji deuteru zaczyna ubywać aż jego obfitość stabilizuje się na poziomie $5 \cdot 10^{-5}$ ilości wodoru. Taka z grubsza obfitość deuteru jest dziś obserwowana we Wszechświecie.

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

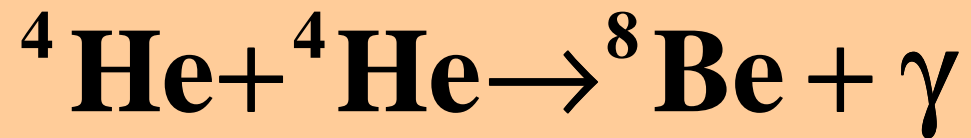


W tym procesie trwającym zaledwie kilka minut powstał niemal cały hel obecny we Wszechświecie. Późniejsza ewolucja gwiazd produkująca hel nie zmieniła jego obfitości w istotny sposób.

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

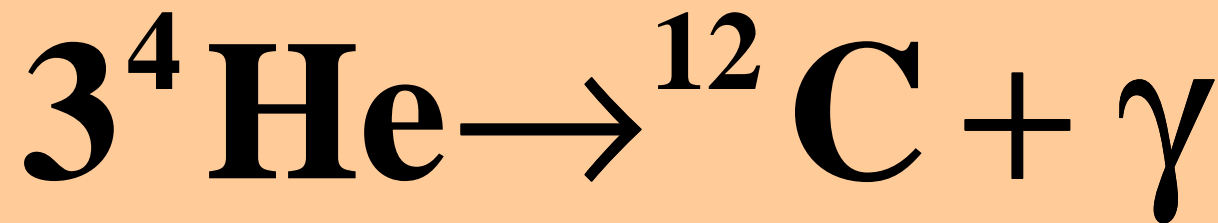


oraz



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

KOLEJNA MOŻLIWA REAKCJA NUKLEOSYNTETY TO TZW. CYKL 3α :



Reakcja ta wymaga jednak temperatury ok. 10^9 K a tymczasem temperatura Wszechświata spadła poniżej tej wartości. PIERWOTNA NUKLEOSYNTYZA 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 WYBUCEM*”**

A CO BYŁO JESZCZE WCZEŚNIEJ?

ERA HADRONOWA

TEMPERATURA: OD 10^{15} DO 10^{13} K

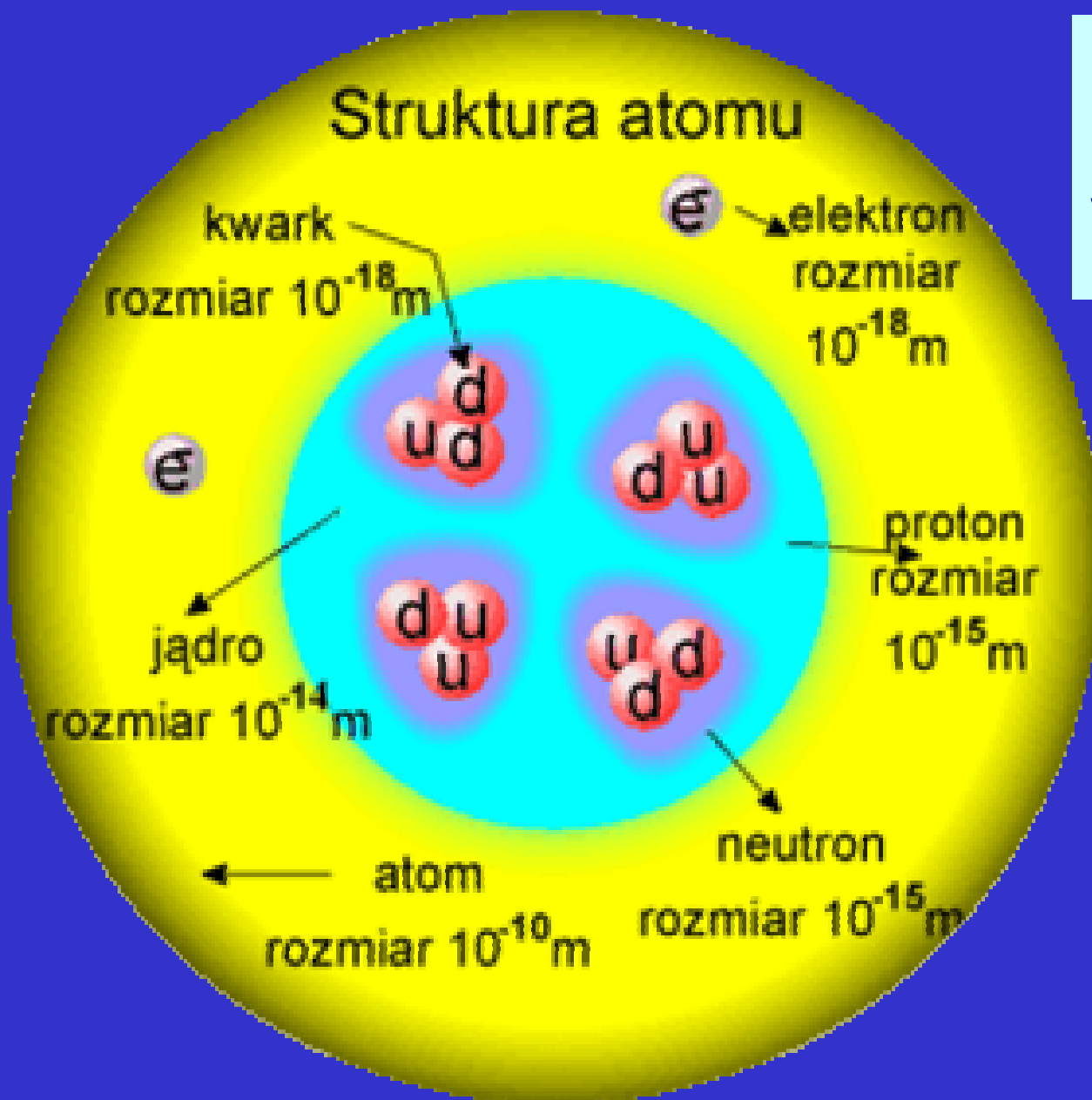
CZAS TRWANIA: OK. 10^{-4} s.

W tym okresie są wszystkie cząstki tworzące supergęstą i gorącą plazmę są tzw. gazem relatywistycznym (poruszają się chaotycznie z prędkościami relatywistycznymi).

Gdy temperatura (na skutek rozszerzania się Wszechświata) obniży się do ok. 10^{10} K to zacznie się omawiana wcześniej pierwotna nukleosynteza.

ERA KWARKOWA [1]

PRZYPOMNIENIE
NAJGŁĘBSZEJ
STRUKTURY
MATERII



ERA KWARKOWA [2]

**PRZY TEMPERATURACH POWYŻEJ 10^{15} K
I GĘSTOŚCIACH ok. 10^{18} g/cm³ OTRZYMUJE
SIĘ PLAZMĘ KWARKOWO LEPTONOWĄ.**

**PO CZASIE ok. 10^{-9} s. TEMPERATURA
SPADA PONIŻEJ 10^{15} K I NASTĘPUJE
„UWIĘZIENIE” KWARKÓW W HADRONACH.
PRZECHODZIMY W TEN SPOSÓB DO ERY
HADRONOWEJ.**

ERA PLANCKA - 10^{-44} s. $T > 10^{32}$ K

O tej fazie wiemy dziś (a raczej domyślamy się), że sama czasoprzestrzeń powinna być opisywana kwantowo.

Nie mamy zadawalającej teorii kwantowej grawitacji. Jedną z poważniejszych kandydatek jest obecnie tzw. „teoria superstrun”.

Nie wiemy co zainicjowało „Wielki Wybuch” choć i na ten temat zaczynają pojawiać się pierwsze pomysły.

KONIEC CZ. 2

J. SIKORSKI, IFD
UNIWERSYTET GDAŃSKI