

# Wczesny Wszechświat

Krzysztof A. Meissner

*CERN 1.04.2007*

# Kosmologia

- A. Einstein 1916 – model statyczny
- A. Friedmann 1922 – rozwiązania opisujące rozszerzający się Wszechświat
- E. Hubble 1929 – obserwacja rozszerzania się Wszechświata
- A. Penzias, R. Wilson 1965 - obserwacja promieniowania tła
- COBE 1989, WMAP 2001 – obserwacja fluktuacji promieniowania tła

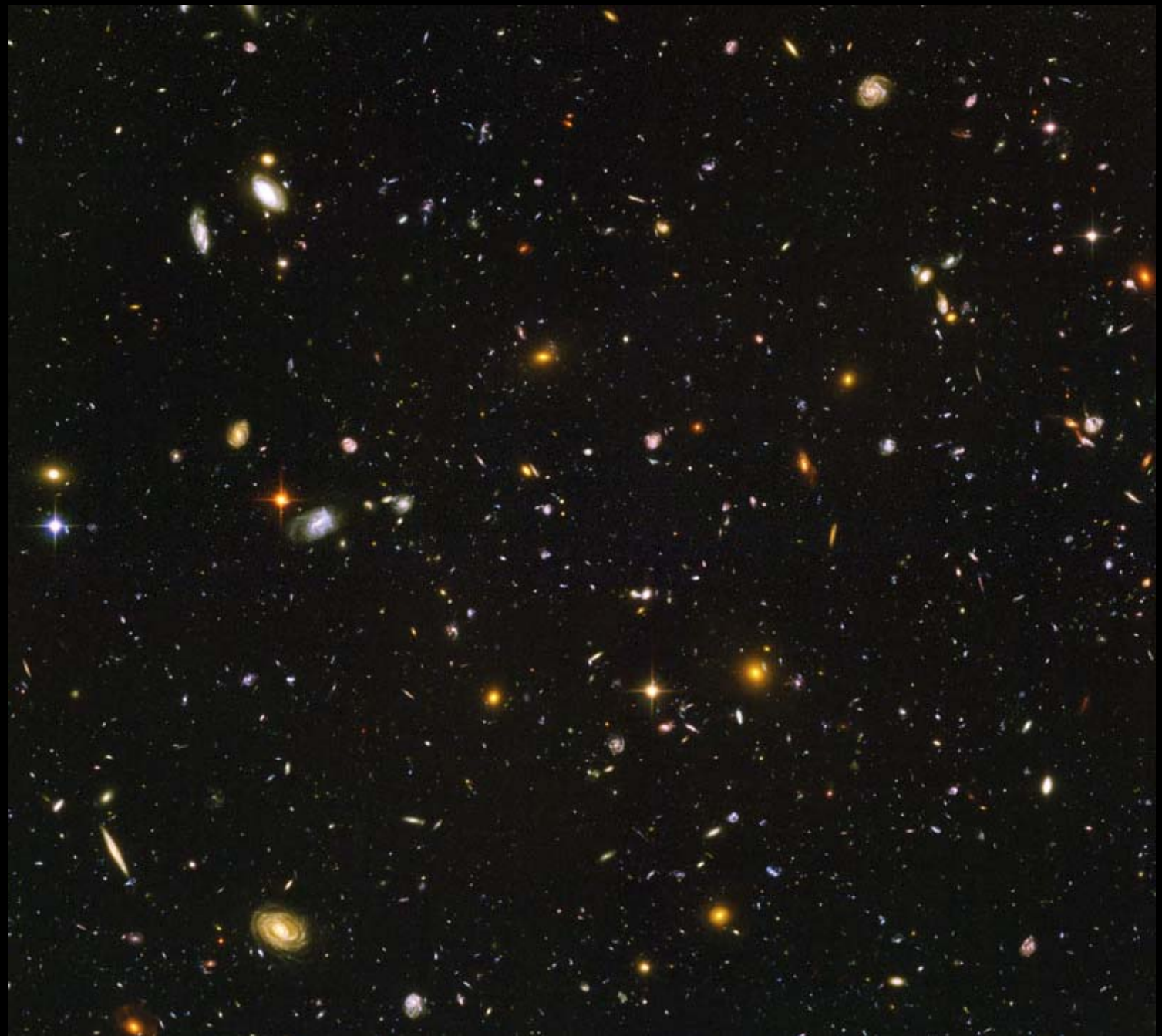
# Krótką historia Wszechświata

300 tys. lat  $\rightarrow$  13.7 mld lat (chwila obecna)

$$\rho = 10^{-20} \text{ g/cm}^3 \rightarrow 10^{-29} \text{ g/cm}^3,$$

$$T = 1 \text{ eV} \rightarrow 10^{-4} \text{ eV (2.73 K)}$$

- ◆ Materia świecąca 4%, ciemna materia 23%, ciemna energia 73%
- ◆ Materia świecąca – wodór (75%) + hel (25%)
- ◆ Wszechświat przezroczysty dla światła
- ◆ Tworzą się struktury (gromady galaktyk, galaktyki, gwiazdy...)
- ◆ Tworzą się cięższe pierwiastki

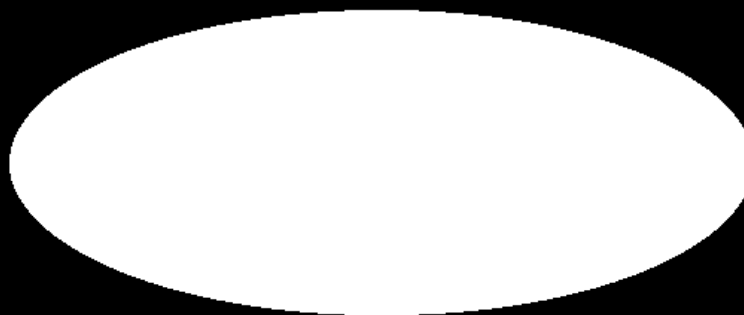




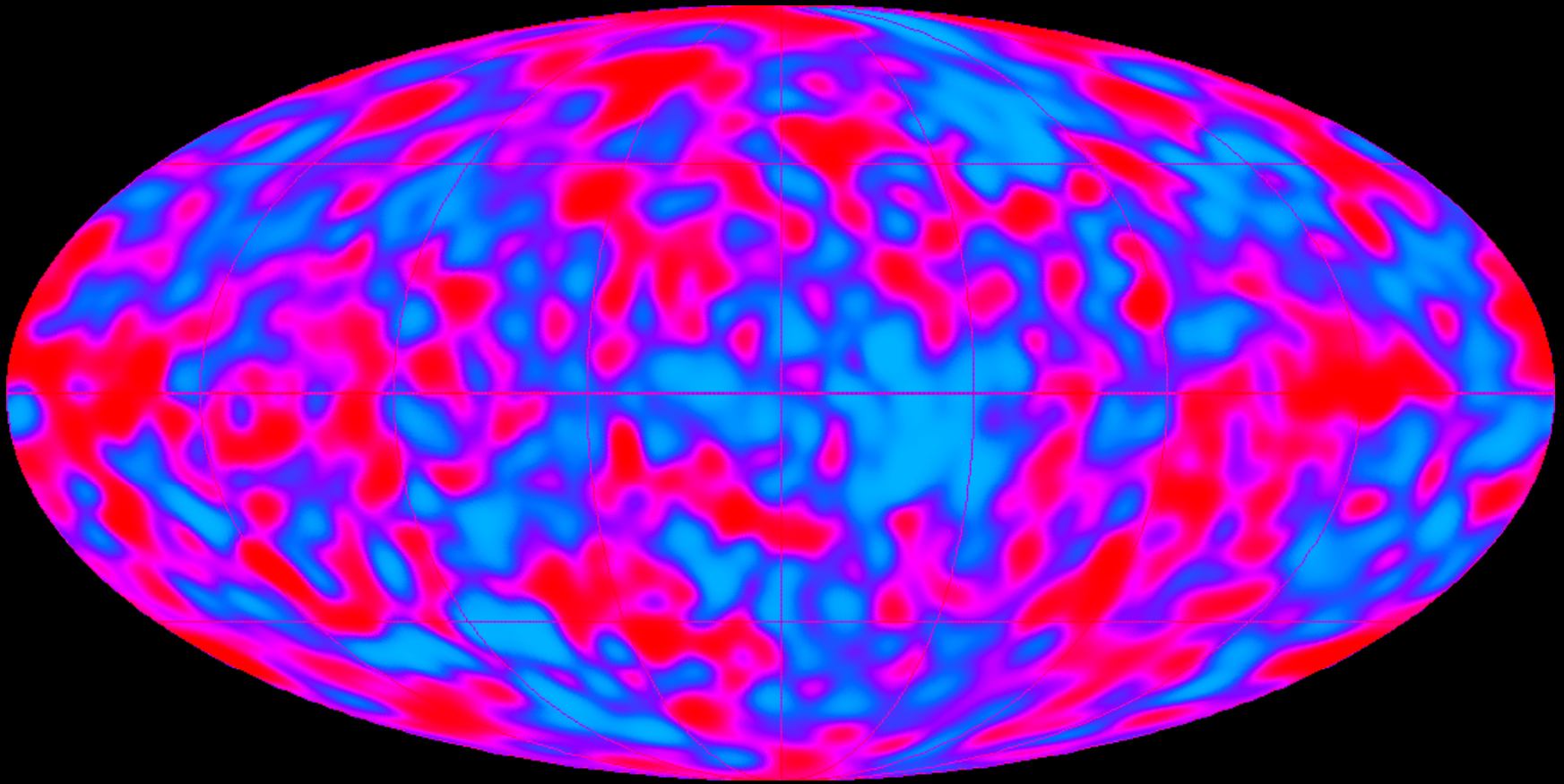
1 s  $\rightarrow$  300 tys. lat

$$T = 1 \text{ MeV} \rightarrow 1 \text{ eV}, \rho = 10^6 \text{ g/cm}^3 \rightarrow 10^{-20} \text{ g/cm}^3$$

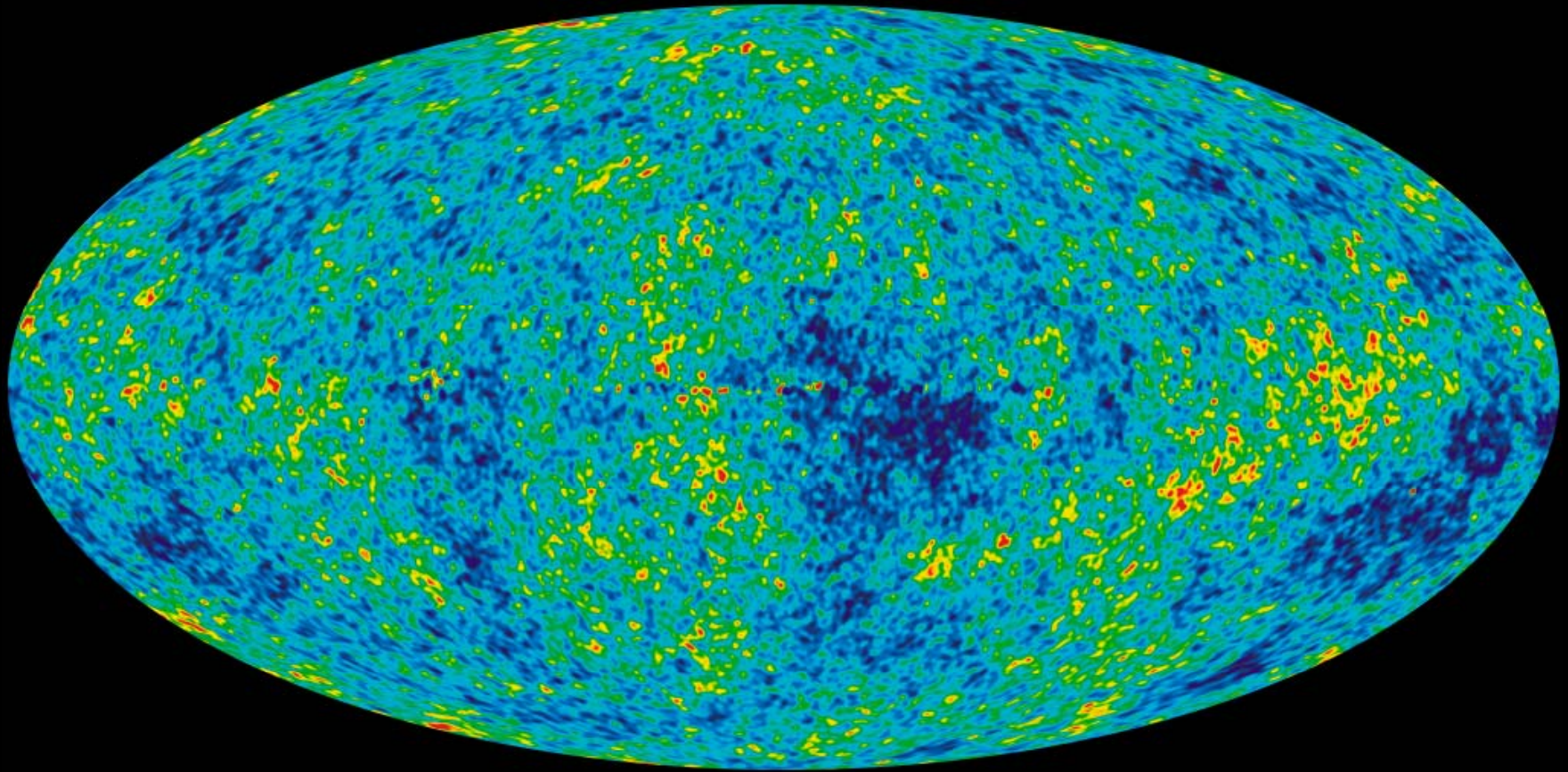
- ◆ Era promieniowania
- ◆ Materia w formie plazmy  
(protony + cząstki  $\alpha$  + elektrony)
- ◆ na koniec tworzą się atomy wodoru i helu
- ◆ Światło całkowicie rozpraszane



**COBE**



# WMAP





$$10^{-6} \text{ s} \rightarrow 1 \text{ s}$$

$$T = 1 \text{ GeV} \rightarrow 1 \text{ MeV}$$

$$\rho = 10^{18} \text{ g/cm}^3 \rightarrow 10^6 \text{ g/cm}^3$$

- protony i neutrony swobodne
- na koniec tworzą się najlżejsze jądra
- pary elektron-pozyton
- neutrina całkowicie rozpraszane

$$10^{-10} \text{ s} \rightarrow 10^{-6} \text{ s}$$

$$T = 100 \text{ GeV} \rightarrow 1 \text{ GeV}$$
$$\rho = 10^{26} \text{ g/cm}^3 \rightarrow 10^{18} \text{ g/cm}^3$$

- Plazma kwarkowo-gluonowa
- na koniec tworzą się protony i neutrony

$$10^{-43} \text{ s} \rightarrow 10^{-10} \text{ s}$$

$$T = 10^{18} \text{ GeV} \rightarrow 100 \text{ GeV},$$
$$\rho = 10^{92} \text{ g/cm}^3 \rightarrow 10^{26} \text{ g/cm}^3$$

- ◆ zdominowany przez promieniowanie
- ◆ skład cząstek - ??? (Higgs, supersymetria?, ...??)
- ◆ na początku epoka inflacji (?)



# Granice Ogólnej Teorii Względności

Kiedy dla cząstek elementarnych np. elektronu

$$G_N E_1 E_2 / r^2 = k q_1 q_2 / r^2 ?$$

Zachodzi to dla tzw. energii Plancka  $E_P \sim 10^{19}$  GeV  
co odpowiada długości  $l_P = (G_N \hbar / c^3)^{1/2} = 10^{-35}$  m

Dla odległości  $< l_P$  – kwantowa teoria grawitacji

Pytanie o historię Wszechświata przed  $l_P / c = 10^{-43}$  s  
wykracza poza teorię Einsteina !

# Co było wcześniej?

Wielki Wybuch ???

Możliwe, że „ $t = 0$ ” czyli jakiś początek istniał, ale nie mamy teorii (kwantowej teorii grawitacji), by go opisać

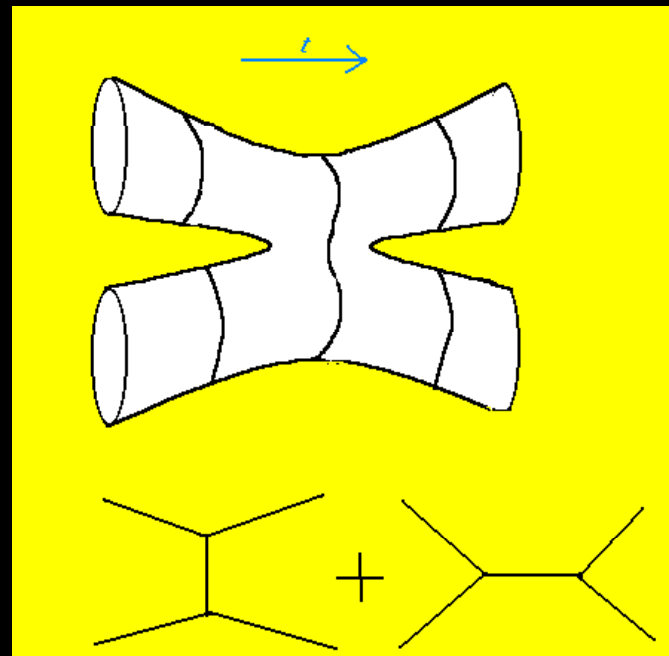
Możliwe też, że Wszechświat istniał przed „ $t = 0$ ”, był duży, zimny i pusty, a cała obecna materia powstała z fluktuacji kwantowych

# Scenariusz „kwantowy”

- Funkcja falowa Wszechświata –  
kwantowe tunelowanie  
próżnia (kwantowa grawitacja) → inflacja
- Inflacja  
 $10^{-43}$  s -  $10^{-35}$  s ( $ct=10^{-35}$  –  $10^{-27}$  m)  
 $R \leq 10^{-35}$  m  $\rightarrow R = 10$  cm  
stała gęstość  $\rho = 10^{79}$  g/cm<sup>3</sup>!  
(w OTW nie ma zasady zachowania energii!)
- dalsza ewolucja klasyczna

# Teoria strun

1969 formuła Veneziano



stany podstawowe struny – grawiton, elektron, foton, dylaton, ...  
stany wzbudzone – masa  $10^{19}$  GeV ( $l_p = 10^{-35}$  m)



# Scenariusz „strunowy”

Wszechświat przed Wielkim Wybuchem zimny i pusty  
istniała jedynie grawitacja, dylaton i kwantowe fluktuacje  
masy i ładunki bardzo małe

Wszechświat się gwałtownie rozszerza  
(szybciej niż inflacyjnie),  
masy i ładunki rosną,  
kwantowe fluktuacje zwiększają gęstość

po osiągnięciu przez kwantowe fluktuacje gęstości  
krytycznej masy i ładunki ustalają się  
Wszechświat przechodzi w fazę obecnego rozszerzania  
( $10^{-35}$  s „Wielki Wybuch”)