

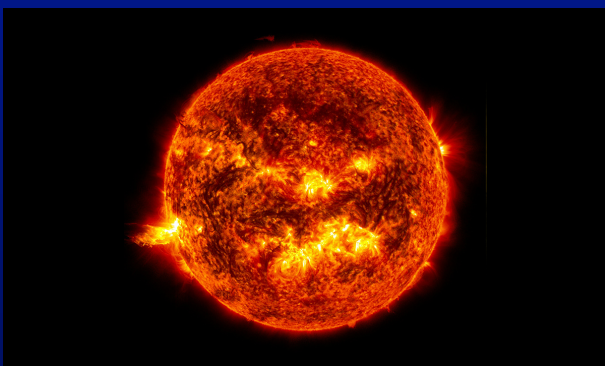
Ciemna strona wszechświata

*Krzysztof Kurek, Agnieszka Pollo
Narodowe centrum Badań Jądrowych
Otwock-Świerk*



Polish Teacher Programme 2023

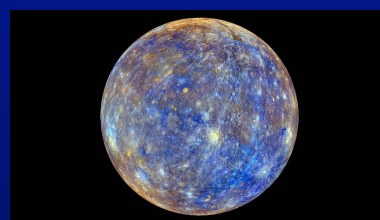
Co widzimy gołym okiem?



Source: NASA/SDO



Credit: Lick Observatory



Credit: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington



Credits: NASA, ESA, A. Simon (Goddard Space Flight Center), M.H. Wong (University of California, Berkeley), and the OPAL Team

Słońce

Księżyc

planety Układu Słonecznego (nie wszystkie)

od czasu do czasu komety

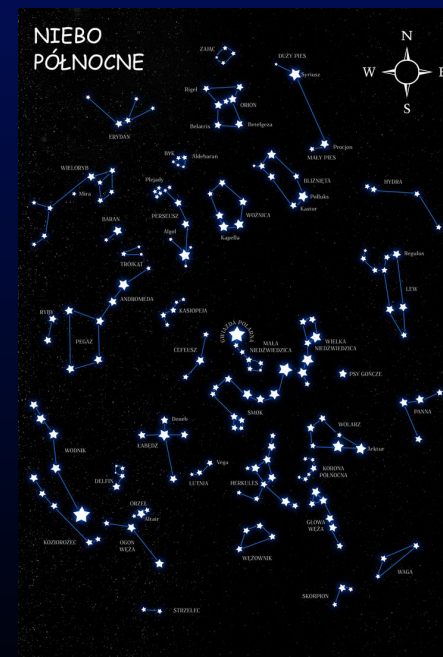
ok. 5 000 gwiazd

i tylko 3 galaktyki

...



credit: NASA, ESA and D. Jewitt (UCLA)









ok. 2 mld ($2 \cdot 10^9$) gwiazd w Drodze Mlecznej

najbliższa przyszłość: Vera Rubin
Observatory skataloguje ponad 10 mld gwiazd w ciągu najbliższych ~ 10 lat

(ale szacujemy, że jest ich 200-300 mld
 $= 2-3 \cdot 10^{11}$)

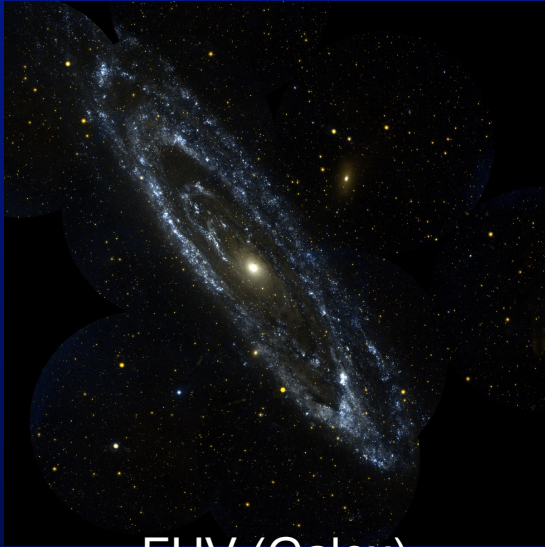
Charles Messier - 1774 - mgławice - obłoki gazu i pyłu (na ogół niewidoczne)

ponad 2 miliony (potwierdzonych i skatalogowanych)
galaktyk w „lokalnym” Wszechświecie

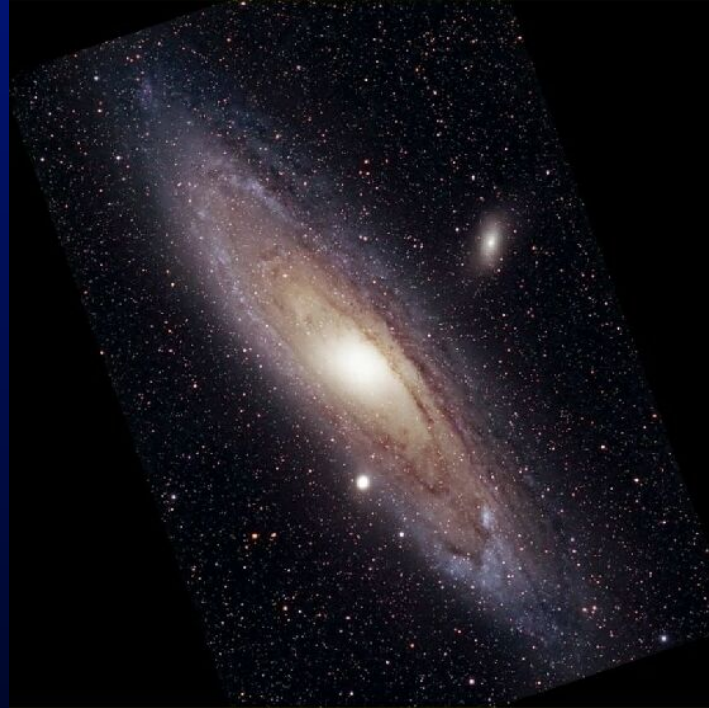
ponad 200 000 (potwierdzonych i skatalogowanych)
galaktyk w dalszym Wszechświecie

szacujemy, że w obserwowalnym Wszechświecie znajduje się
kilkaset miliardów ($\text{kilka} \times 10^{11}$) galaktyk

M31 (Wielka Galaktyka w Andromedzie)



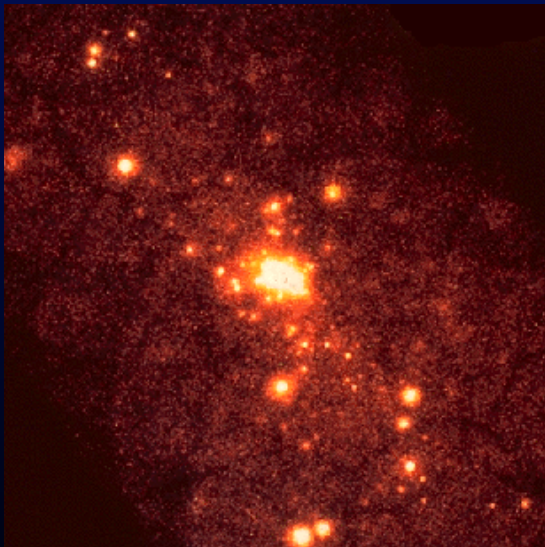
FUV (Galex)



zakres optyczny
(Credit: Jason Ware)



FIR (ISO)



X-rays (Rosat)



MIR (Spitzer)

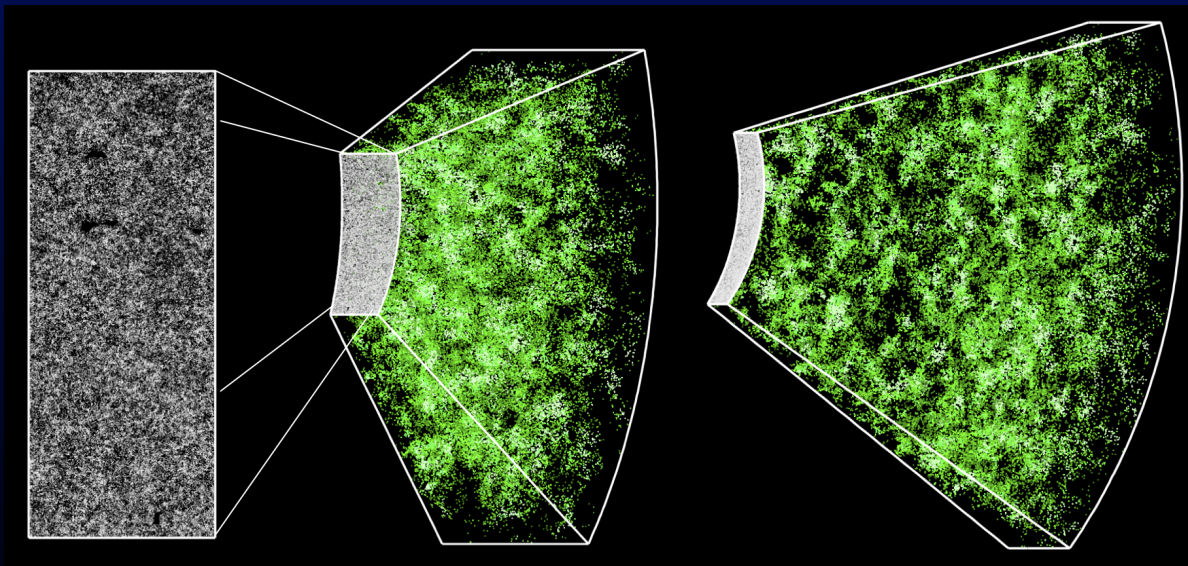
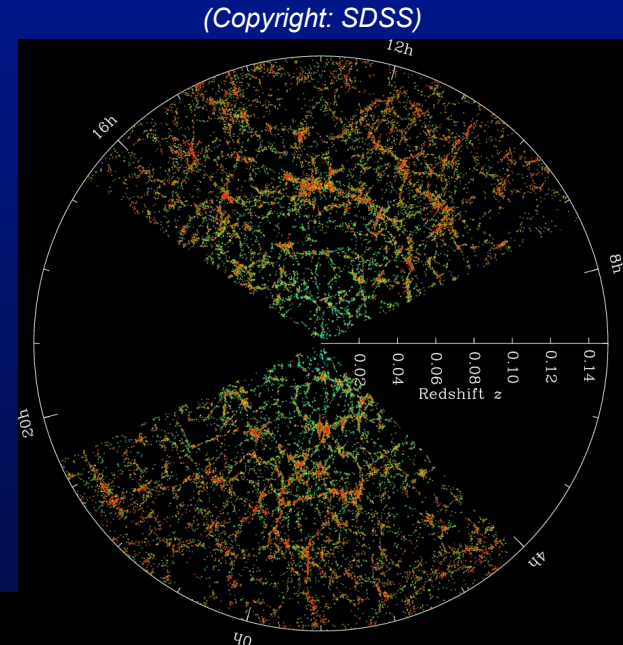
Wszechświat - pełen galaktyk podobnych do Drogi Mlecznej

Wszystkie składają się głównie z gwiazd i pyłu

Mają różne rozmiary, kształty, kolory

Uważamy, że zanurzone są w znacznie większych i masywniejszych **halo ciemnej materii**

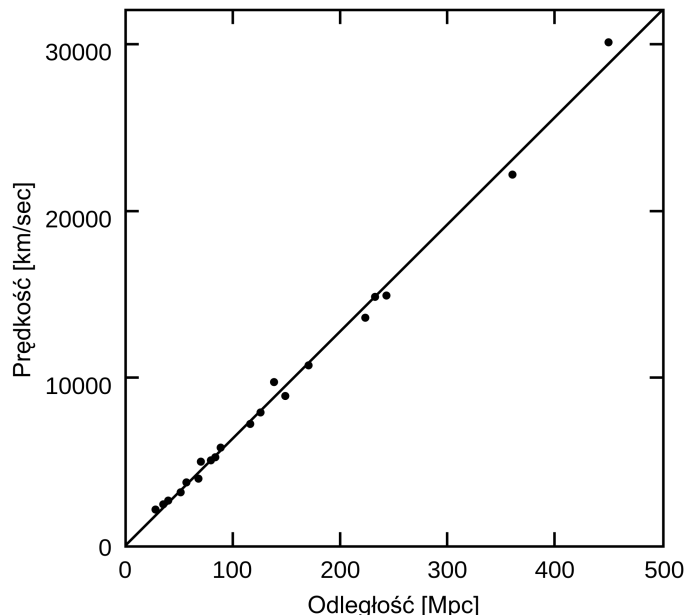
Oglądane w dużej skali w 3D tworzą strukturę, przypominającą gąbkę albo pianę mydlaną: składają się na nią pustki, ściany, a w nich gromady i włókna



(Copyright: e-BOSS)

Pod koniec lat 1920 Edwin Hubble, astronom z Mt. Wilson Observatory po raz pierwszy zmierzył odległości do galaktyk. Użył tzw. „świe standardowych” – gwiazd o znanej jasności absolutnej, którymi były gwiazdy zmienne cefeidy (jasność c. jest znaną funkcją okresu ich zmienności). Wykorzystując efekt Dopplera EH zmierzył **prędkości galaktyk**.

Okazało się, że galaktyki „uciekają”



[teleskop Spitzera](#) $H_0 = 74,3 \pm 2,1$ (km/s)/Mpc

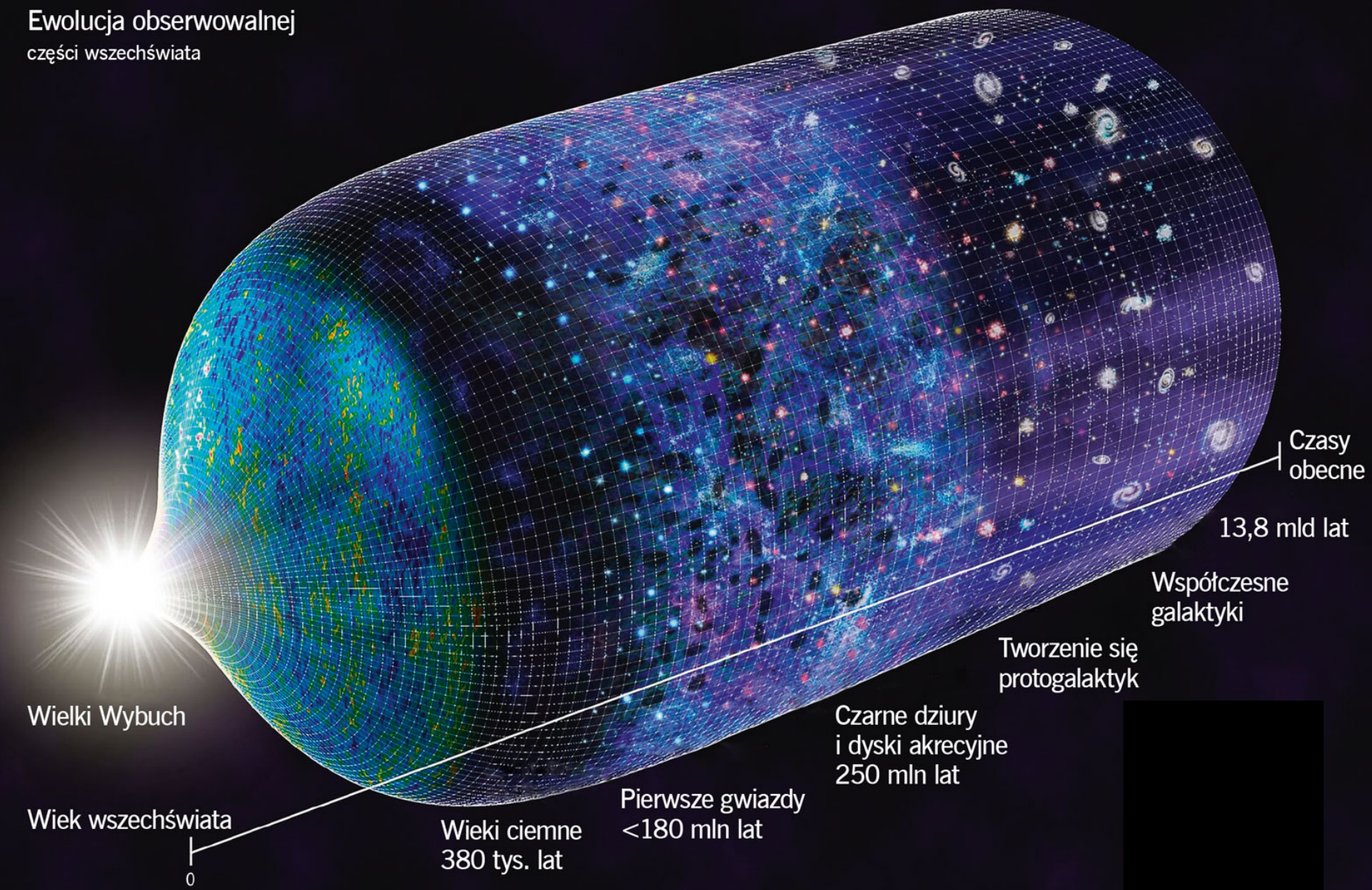
[Planck,](#) $H_0 = 67,15$ (km/s)/Mpc

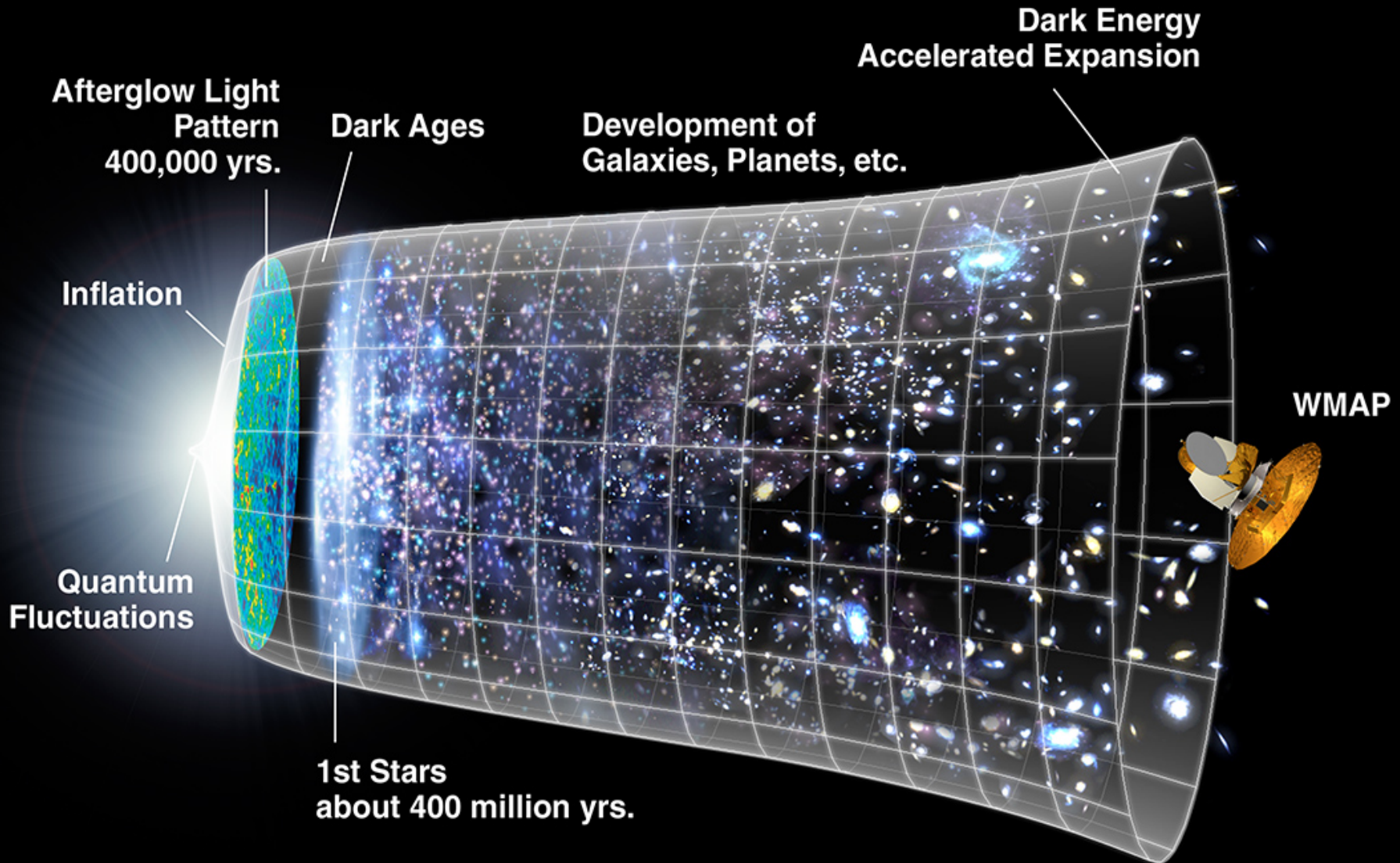
[teleskop Hubble'a](#) $H_0 = 74,2 \pm 3,6$ (km/s)/Mpc

Hubble: 500

Cefeidy (pobliskie), supernowe 1a (dalekie)

Ewolucja obserwowalnej części wszechświata





Wielki Wybuch - moment powstania czasu i przestrzeni
fluktuacja kwantowa?

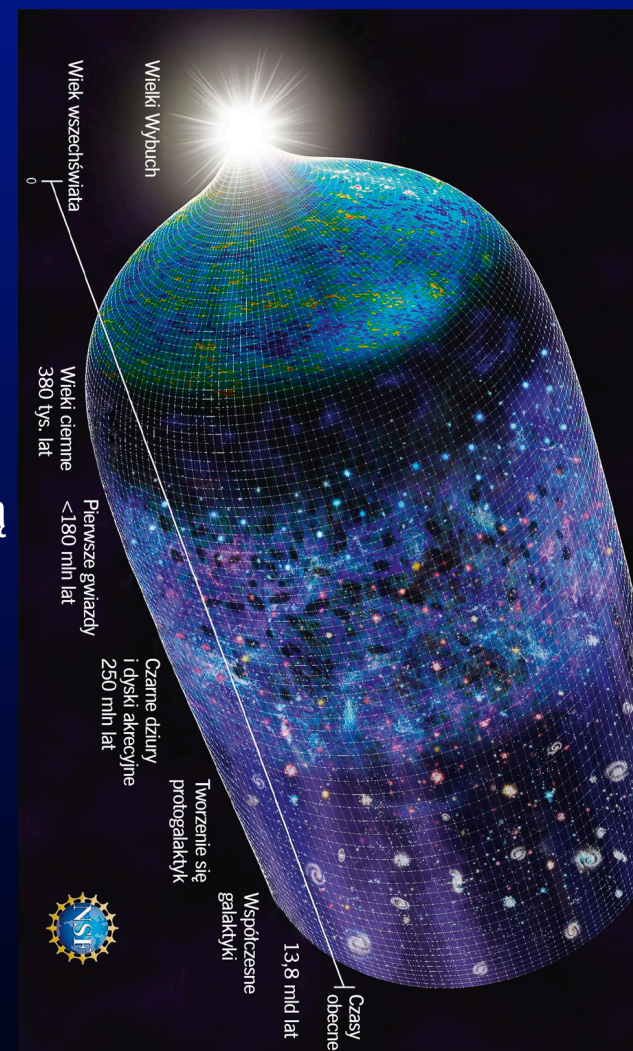
Inflacja - 10^{-36} s do 10^{-32} s - zwiększenie wymiarów 10^{26}
pod koniec inflacji z energii pola powstają kwarki,
antykwaraki i gluony, temperatura maleje i
powstają protony i neutrony

Tzw powierzchnia ostatniego rozpraszania - 380 000 lat
elektrony do tej pory „wyłapywały” fotony
rozpraszając je; po tym okresie fotony poruszają
się swobodnie a elektrony łączą się w atomy
wszechświat ma $T = 3000$ K
stąd pochodzi promieniowanie tła

Wiek ciemny - nie ma jeszcze gwiazd, są skupiska materii
do ok. 400 mln lat
niewielkie fluktuacje gęstości 10^{-5} pozwoliły
na powstanie materii

Ewolucja gwiazd i galaktyk - ciemna materia!

Przyspieszona ekspansja wszechświata - ciemna energia!

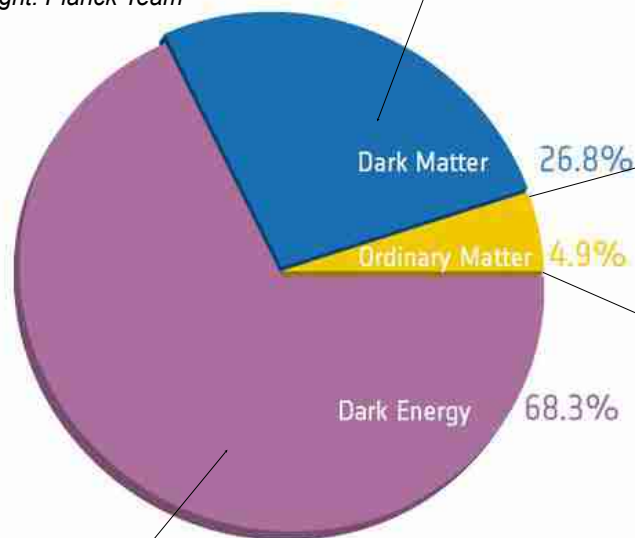


Trzy elementy świadczą o Wielkim Wybuchu: promieniowanie tła, ekspansja wszechświata i pierwotna nukleosynteza

Z czego składa się Wszechświat?

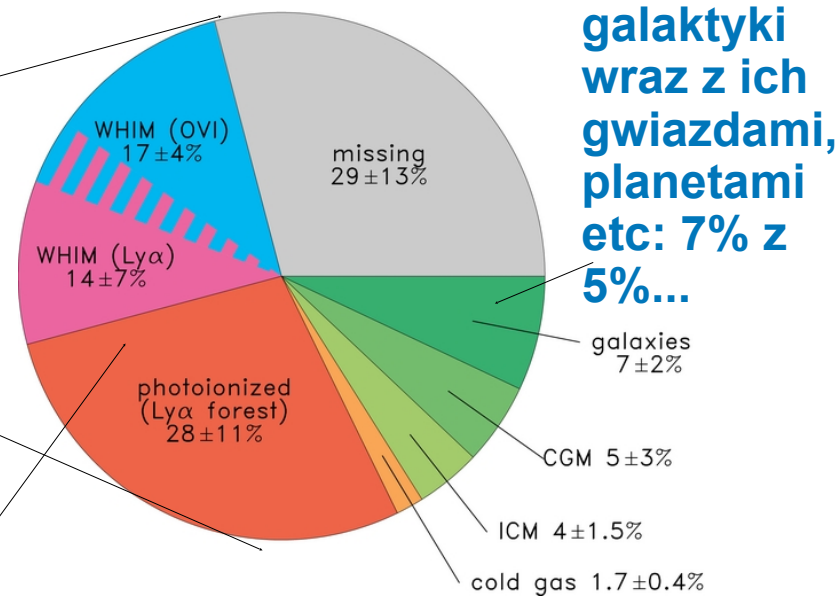
nie wiadomo co

Copyright: Planck Team



nie wiadomo co

zaginione bariony...

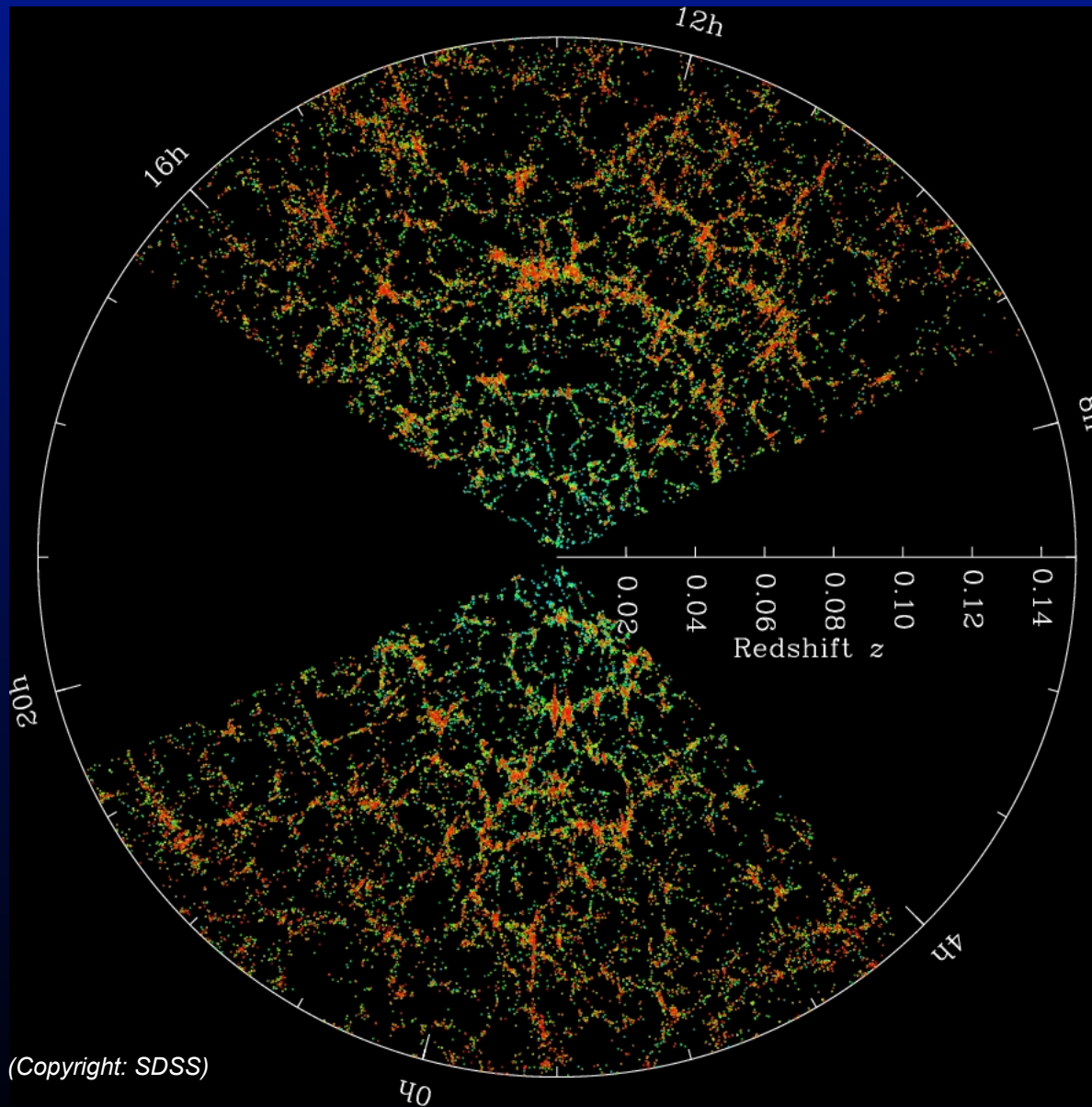


galaktyki wraz z ich gwiazdami, planetami etc: 7% z 5%...

różne formy gazu i materii międzygalaktycznej...

Copyright: Shall et al. 2012

Z czego składa się Wszechświat?

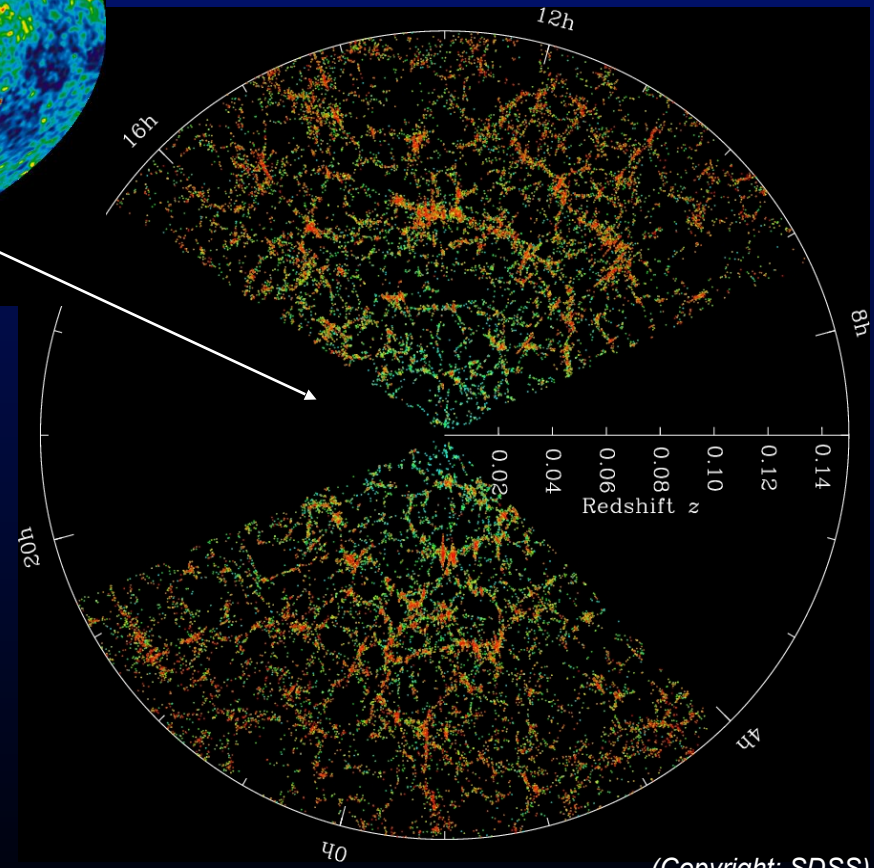
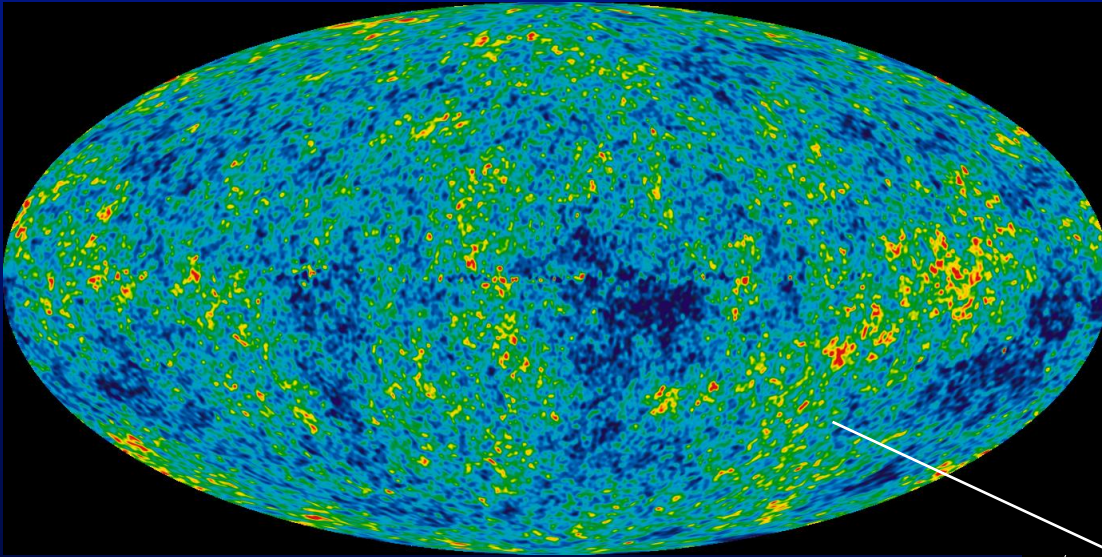


(Copyright: SDSS)

galaktyki zawierają tylko
ok. 0.35% bilansu
materii-energii
Wszechświata

Skąd się wzięły galaktyki i struktura wielkoskalowa

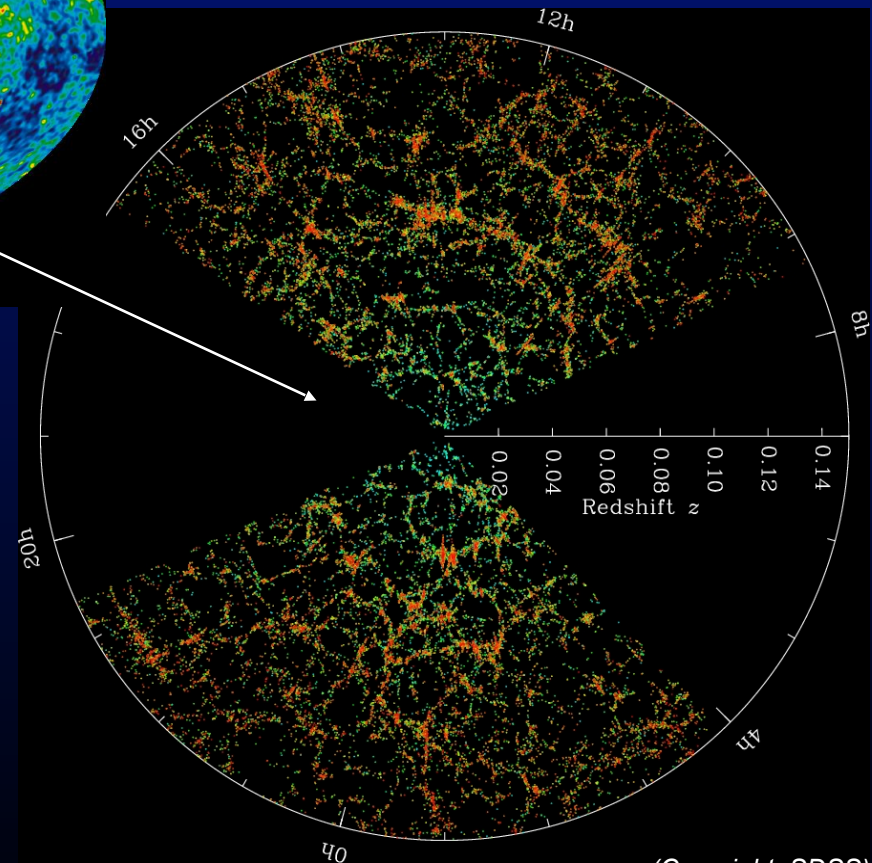
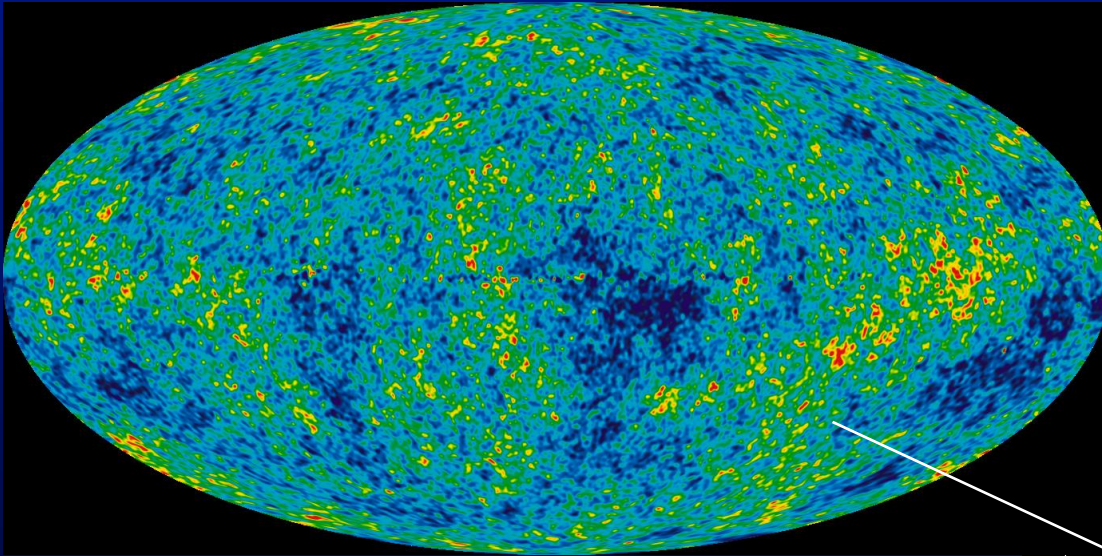
Copyright ESA and the Planck Collaboration



(Copyright: SDSS)

Skąd się wzięły galaktyki i struktura wielkoskalowa

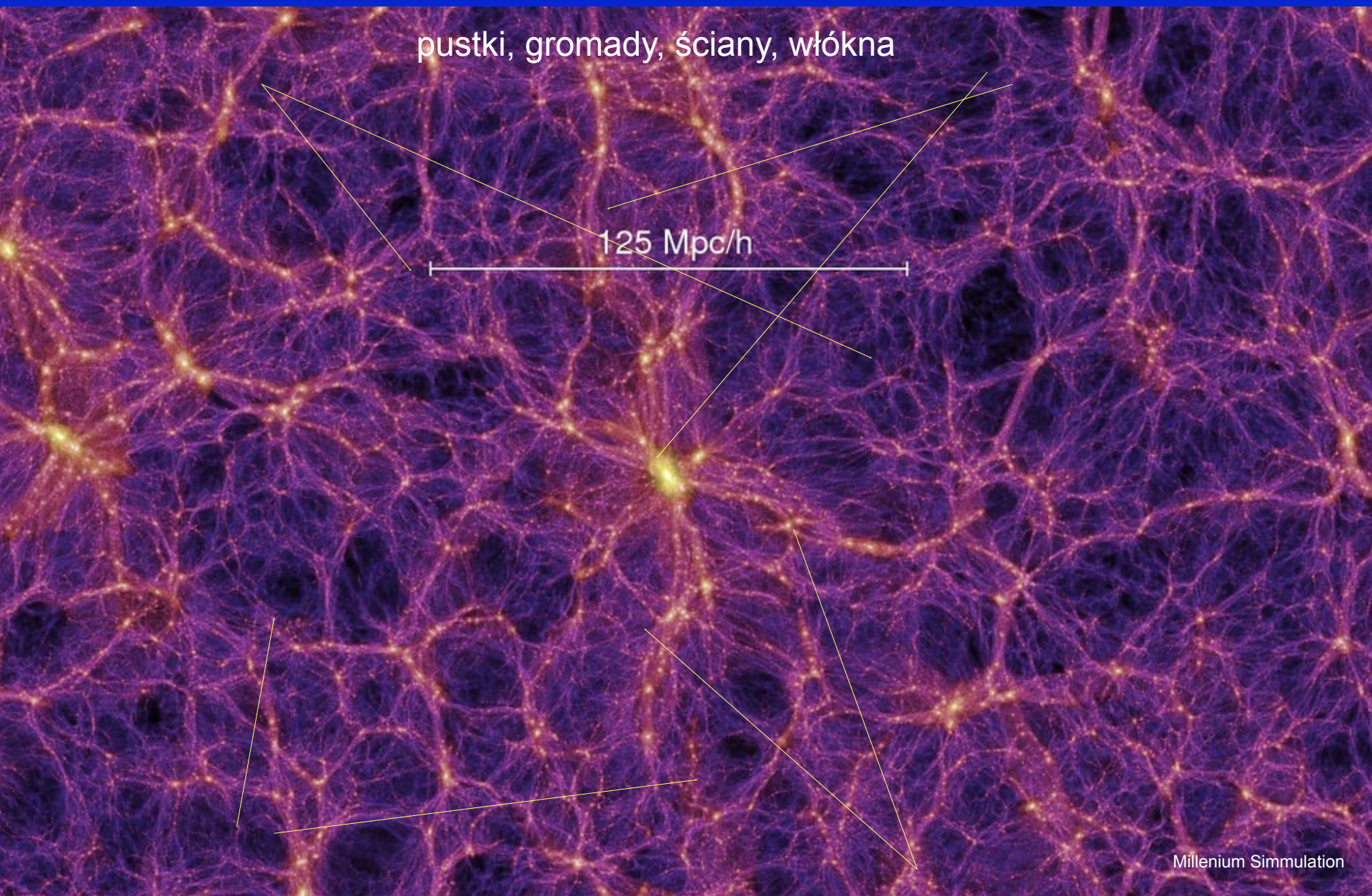
Copyright ESA and the Planck Collaboration



(Copyright: SDSS)

Grawitacja

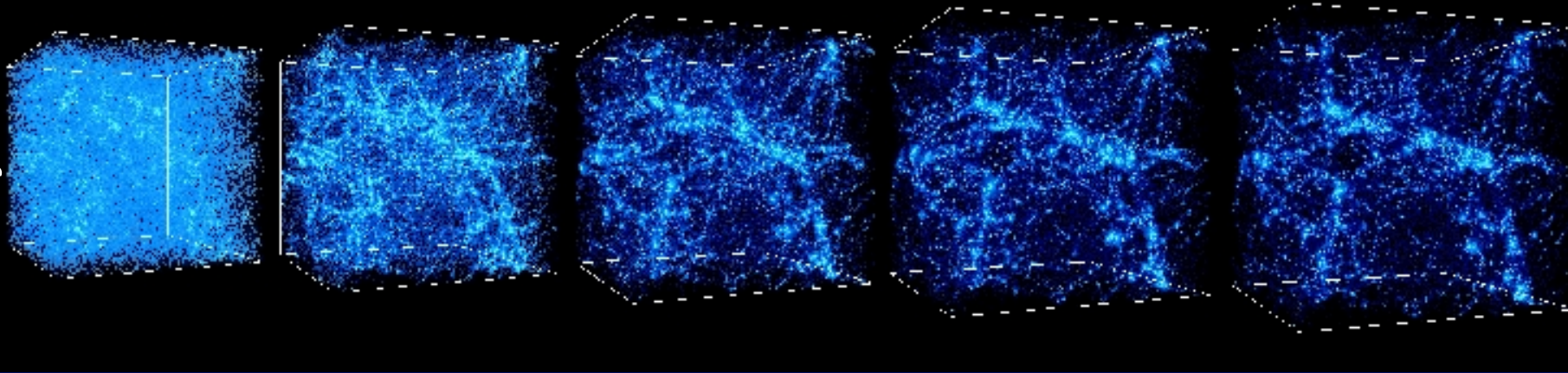
Skąd się wzięły galaktyki i struktura wielkoskalowa



Wszechświat - kształt i rozmiary

42 mld lat świetlnych do horyzontu
więcej niż wiek bo jest ekspansja

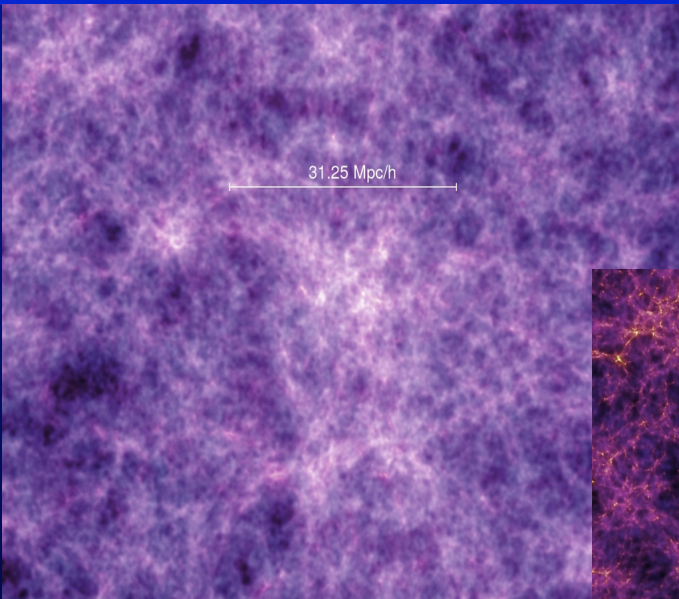
Brak ciemnej materii nie pozwala
na wysymulowanie struktur wielkoskalowych



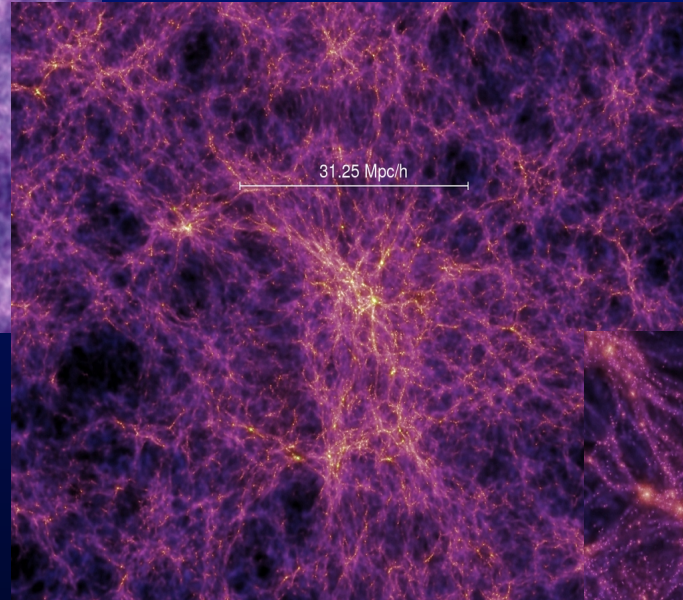
Simulations performed at the National Center for Supercomputer Applications by Andrey Kravtsov (The University of Chicago) and Anatoly Klypin (New Mexico State University). Visualizations by Andrey Kravtsov

Istnienie ciemnej materii - w pewnym sensie - przewidział Fritz Zwicky:
obserwował ruchy galaktyk wewnątrz gromady Coma Cluster
Doszedł do wniosku że gromada powinna zawierać ok 400 razy więcej masy
niż widać (1933)
Badanie krzywych rotacji galaktyk wskazuje na ciemną materię

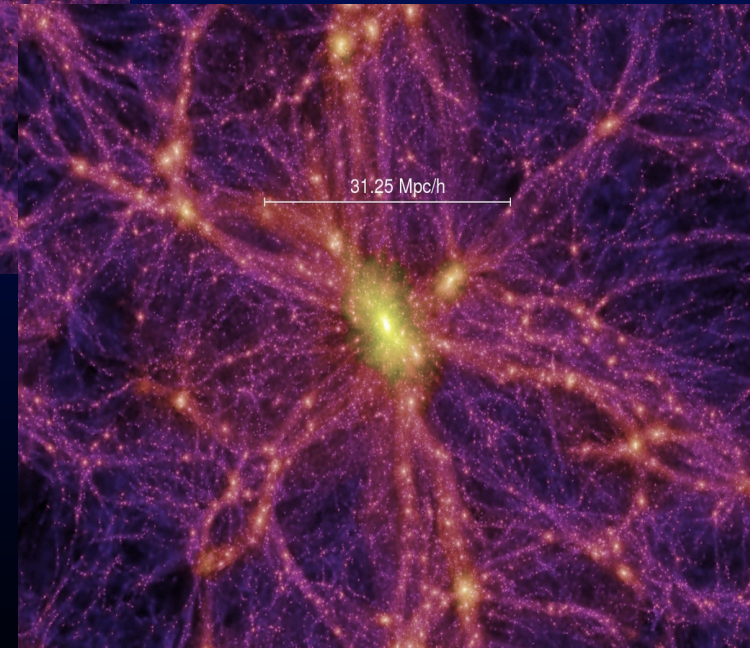
210 mln lat po powstaniu wszechświata



1 mld lat po powstaniu wszechświata



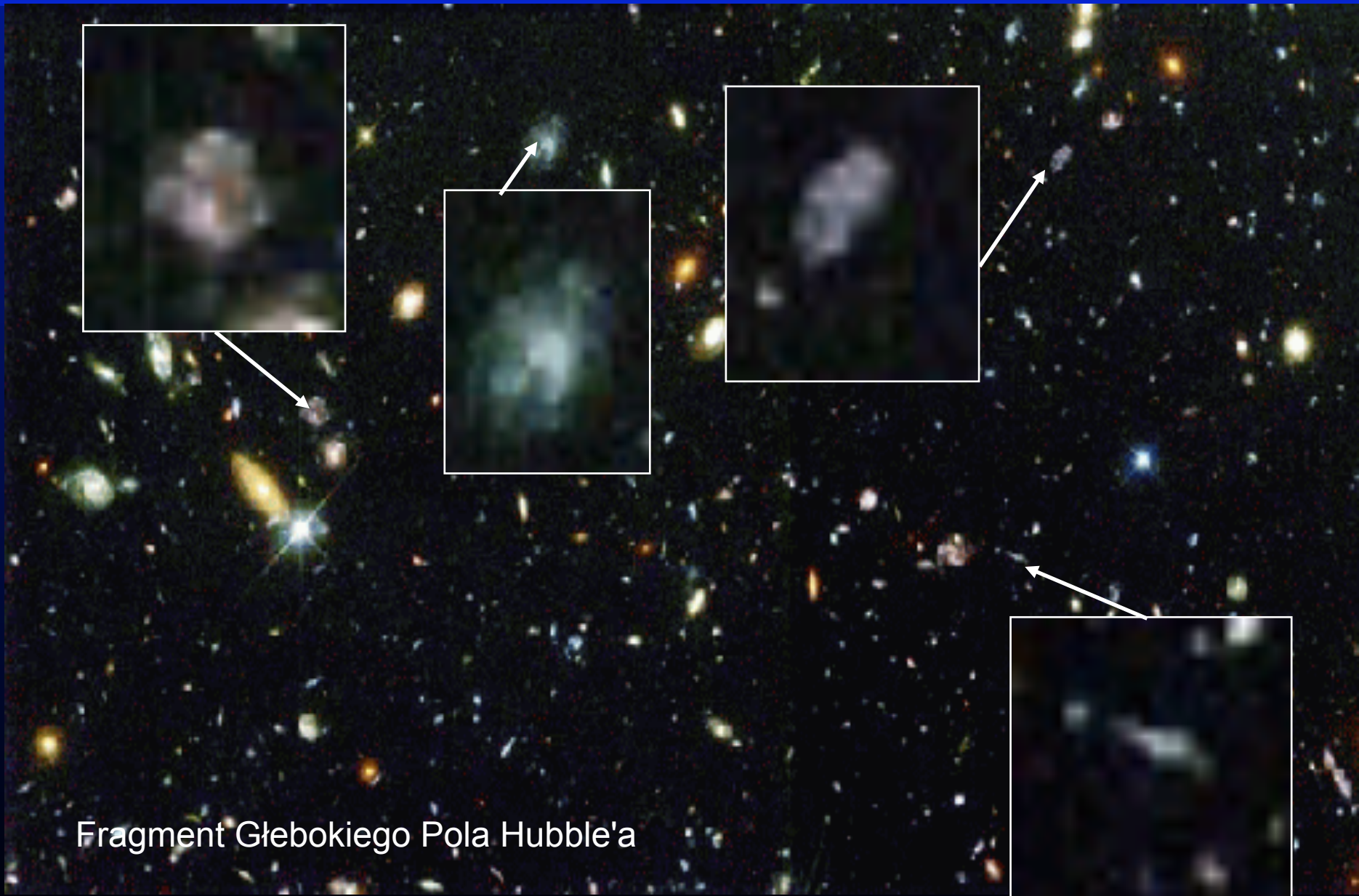
13.5 mld lat po powstaniu wszechświata czyli dziś



Symulacje Millenium (Springel et al. 2005)

Odpowiedzialne za te struktury jest halo ciemnej materii

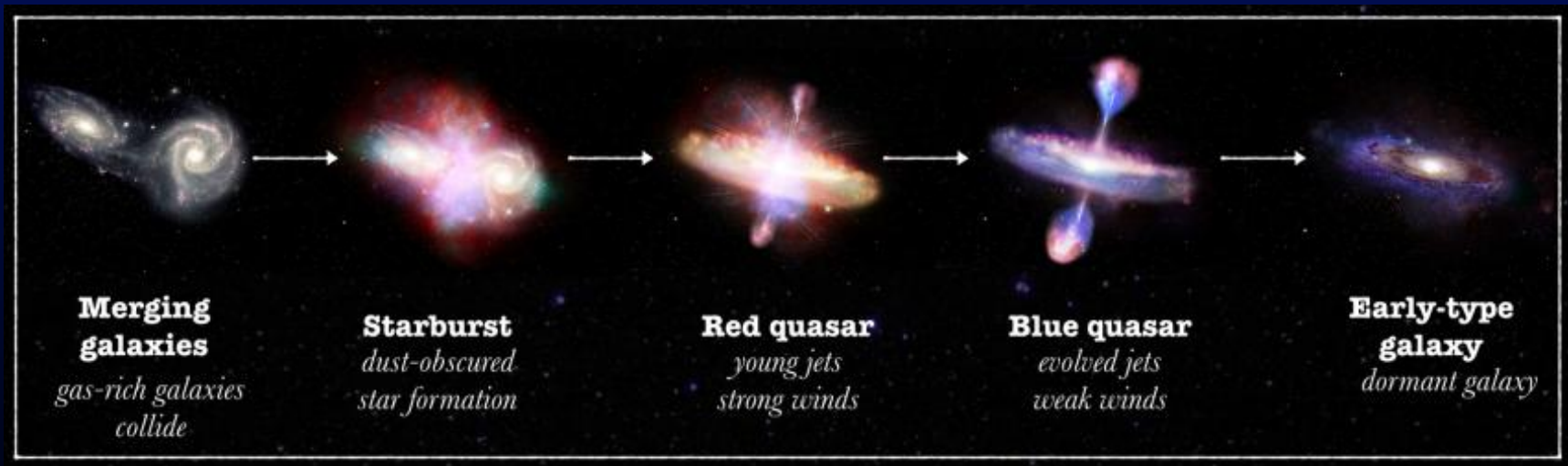
Galaktyki 2 mld lat po powstaniu Wszechświata



Fragment Głębokiego Pola Hubble'a

Dodatkowa komplikacja: kwazary (czyli aktywne supermasywne czarne dziury w centrach galaktyk)

Feedback (sprężenie zwrotne) - kwazar może zarówno pobudzać, jak i wygaszać produkcję gwiazd



Credits: Gemini Observatory, GMOS-South, NSF; <https://www.pxwall.com/4k-high-definition-galaxy-wallpaper/>; Adapted by S. Munro.

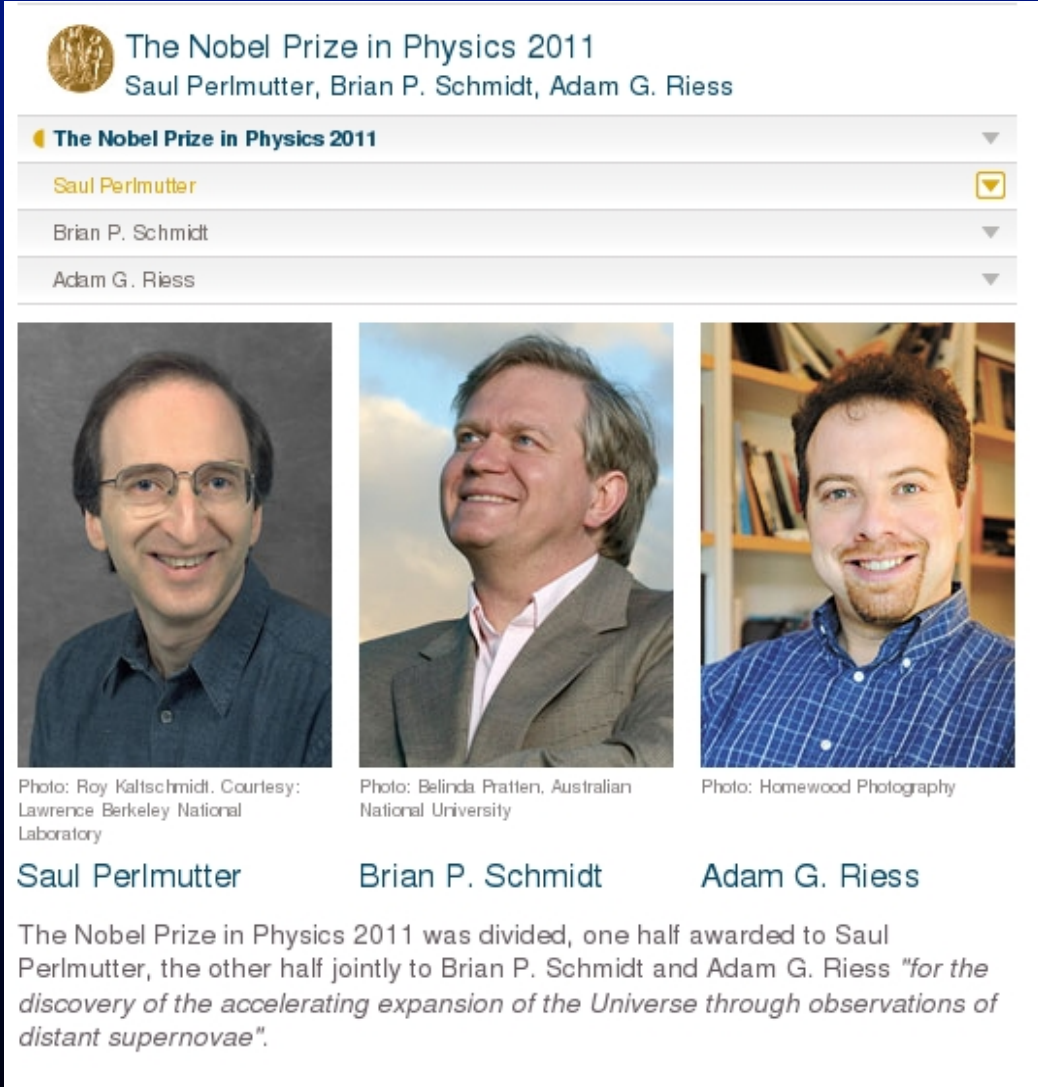
- Krzywe rotacyjne w galaktykach spiralnych
 - Rozrzut prędkości w galaktykach eliptycznych
 - Galaktyki spiralne utworzone z dysku i wybrzuszenia (bulge) byłyby niestabilne
 - Rozrzut prędkości galaktyk w klastrach galaktyk
 - Rozkład temperatury w klastrach galaktyk
 - Soczewkowanie grawitacyjne tła w klastrach (widać ciemną materię)
 - Pierwotna nukleosynteza - tworzenie się jąder cięższych niż proton w pierwszej fazie istnienia wszechświata - jeżeli ciemna materia występuje to nie może być tylko materią barionową
 - Wielkoskalowa struktura wszechświata - ciemna materia barionowa - zbyt późno utworzyłyby się struktury (nie byłoby nas, symulacje)
 - Anizotropia mikrofalowego promieniowania tła i gęstość wszechświata
-
- Ciemna materia nie może być „gorąca”

Dwie grupy niezależnie wykazały, że wszechświat rozszerza się szybciej niż sądzono (przyspiesza).

badanie świec standardowych supernowe typu 1a

Pozwala to wyjaśnić m/in problem starych gwiazd - starsze niż wiek wszechświata

Stała kosmologiczna Λ czy kwintesencja?



The Nobel Prize in Physics 2011
Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011

Saul Perlmutter

Brian P. Schmidt

Adam G. Riess






Photo: Roy Kaltschmidt. Courtesy: Lawrence Berkeley National Laboratory

Photo: Belinda Pratten, Australian National University

Photo: Homewood Photography

Saul Perlmutter Brian P. Schmidt Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011 was divided, one half awarded to Saul Perlmutter, the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess "for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae".

$$\Omega_{\text{mat}} = 0.25$$

$$\Omega_{\text{krzywizny}} = 0$$

$$\Omega_{\Lambda} = 0.75$$

$$\Omega_{\text{rad}} = 10^{-5}$$

Ekspansja przyspiesza ale wszechświat wydaje się być płaski a jego gęstość bliska gęstości krytycznej

Kwintesencja - alternatywny model do stałej kosmologicznej
(pole skalarne zależne od czasu i przestrzeni)

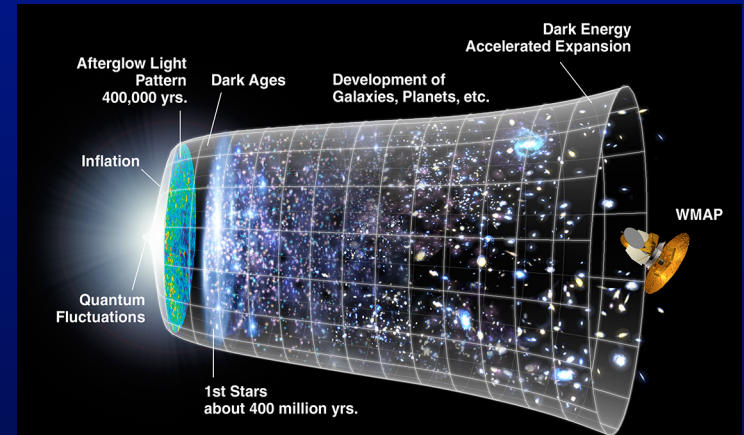
Stała kosmologiczna - co to może być?

- energia próżni? - problem w teorii pola - powinna być dużo większa

Alan Guth 1981 - przyczyną inflacji może być energia próżni

Kwantowe fluktuacje w b małym obszarze zostały „rozdęte” do rozmiarów kosmicznych i dały początek strukturom kosmicznym

Przed inflacją (era Plancka) oddziaływania były zunifikowane (wielka unifikacja GUT)
pod koniec inflacji nastąpiło naruszenie symetrii i oddziaływania „oddzieliły” się od siebie



Inflacja może być opisana przez teorię unifikacji - kluczową rolę pełni bozon Higgsa (nie ten sam co w MS)

Tak jak w przypadku „meksykańskiego kapelusza” - potencjału Higgsa „ten” Higgs jest w stanie „fałszywej próżni” - cały wszechświat jest w takim stanie

Taki stan jest nietrwały (jak z ołówkiem :-)) i w wyniku tunelowania do prawdziwej próżni wytwarza się „ujemne ciśnienie” - wszechświat się gwałtownie rozszerza

Inflacja „załatwia” sporo problemów (np. defekty topologiczne, płaskość wszechświata, jednorodność na dużych odległościach, nie ma potrzeby dopasowywania parametrów początkowych)

Inflacja może być opisana przez teorię unifikacji - kluczową rolę pełni bozon Higgsa (nie ten sam co w MS)

Tak jak w przypadku „meksykańskiego kapelusza” - potencjału Higgsa „ten” Higgs jest w stanie „fałszywej próżni” - cały wszechświat jest w takim stanie

Taki stan jest nietrwały (jak z ołówkiem :-)) i w wyniku tunelowania do prawdziwej próżni wytwarza się „ujemne ciśnienie” - wszechświat się gwałtownie rozszerza

Inflacja „załatwia” sporo problemów (np. defekty topologiczne, płaskość wszechświata, jednorodność na dużych odległościach, nie ma potrzeby dopasowywania parametrów początkowych)

Problemy? są ,a jakże

Wszechświat w takim modelu powinien być idealnie gładki i jednorodny ale nie jest

Na szczęście są „zmarszczki- fluktuacje” w rozkładzie promieniowania tła.

Można to poprawić wprowadzając nową cząstkę - inflaton

Ciemna materia - co to może być

Barionowa (ok 20%) i niebarionowa (80%)

Niebarionowa - zimna i ciepła (neutrino - bo nie świecą, słabo oddziałują)



WIMP-y oddziałują b słabo ale nie tylko grawitacyjnie



*Wygląda na to, że żyjemy dzięki fluktuacjom kwantowym
Dziękuję za uwagę*

