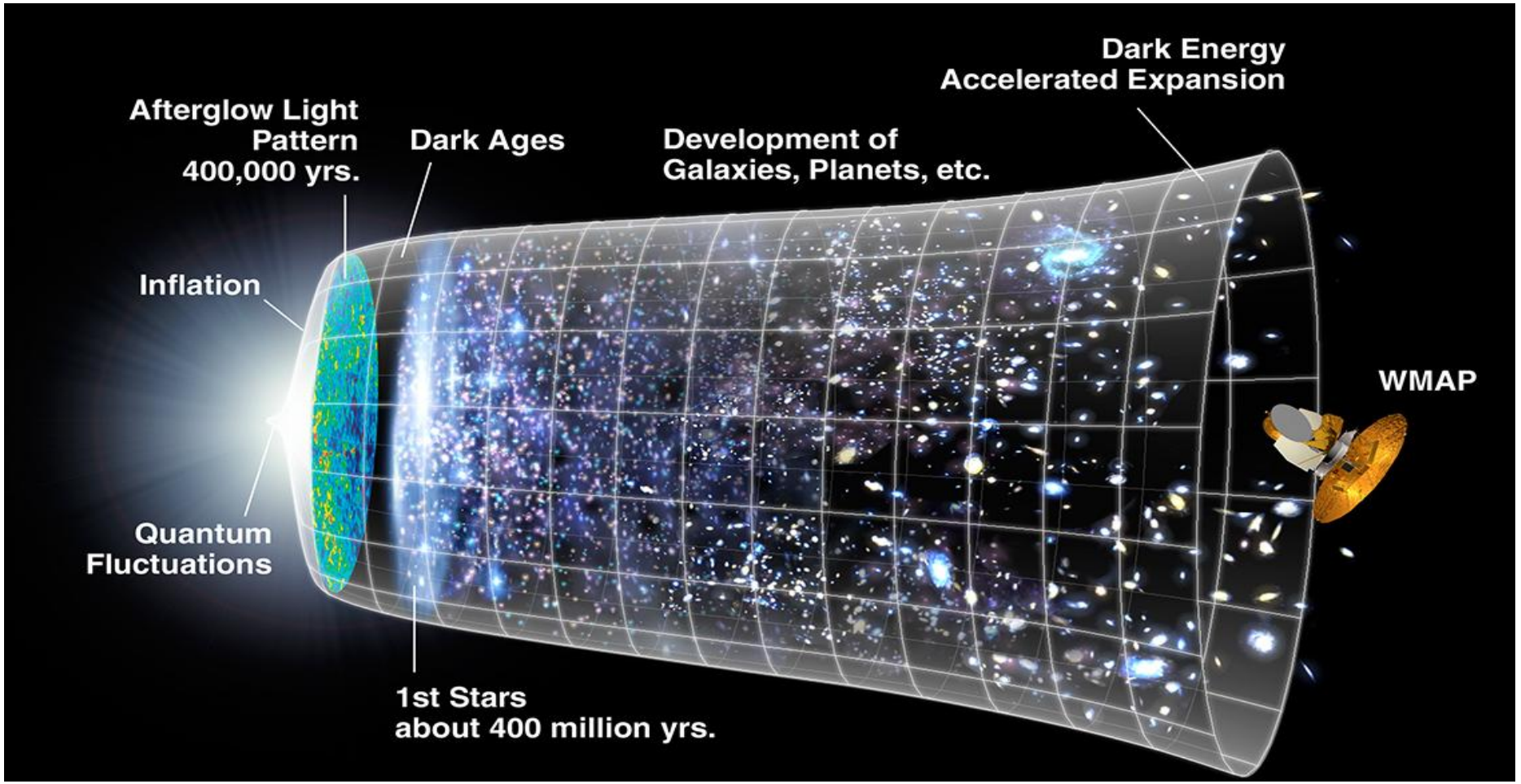
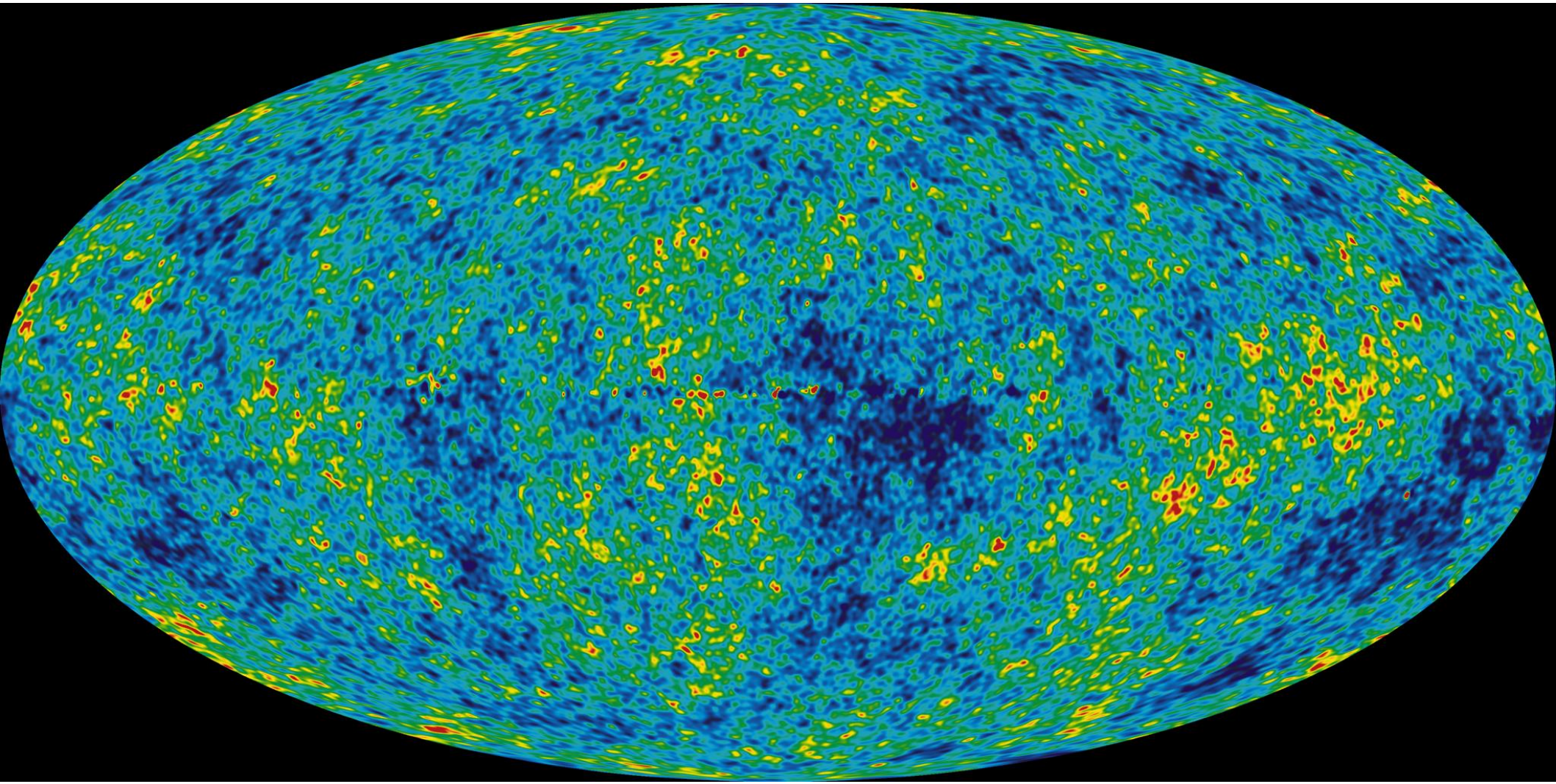
Ewolucja galaktyk

Agnieszka Pollo
Instytut Problemów Jądrowych Warszawa
Obserwatorium Astronomiczne UJ Kraków

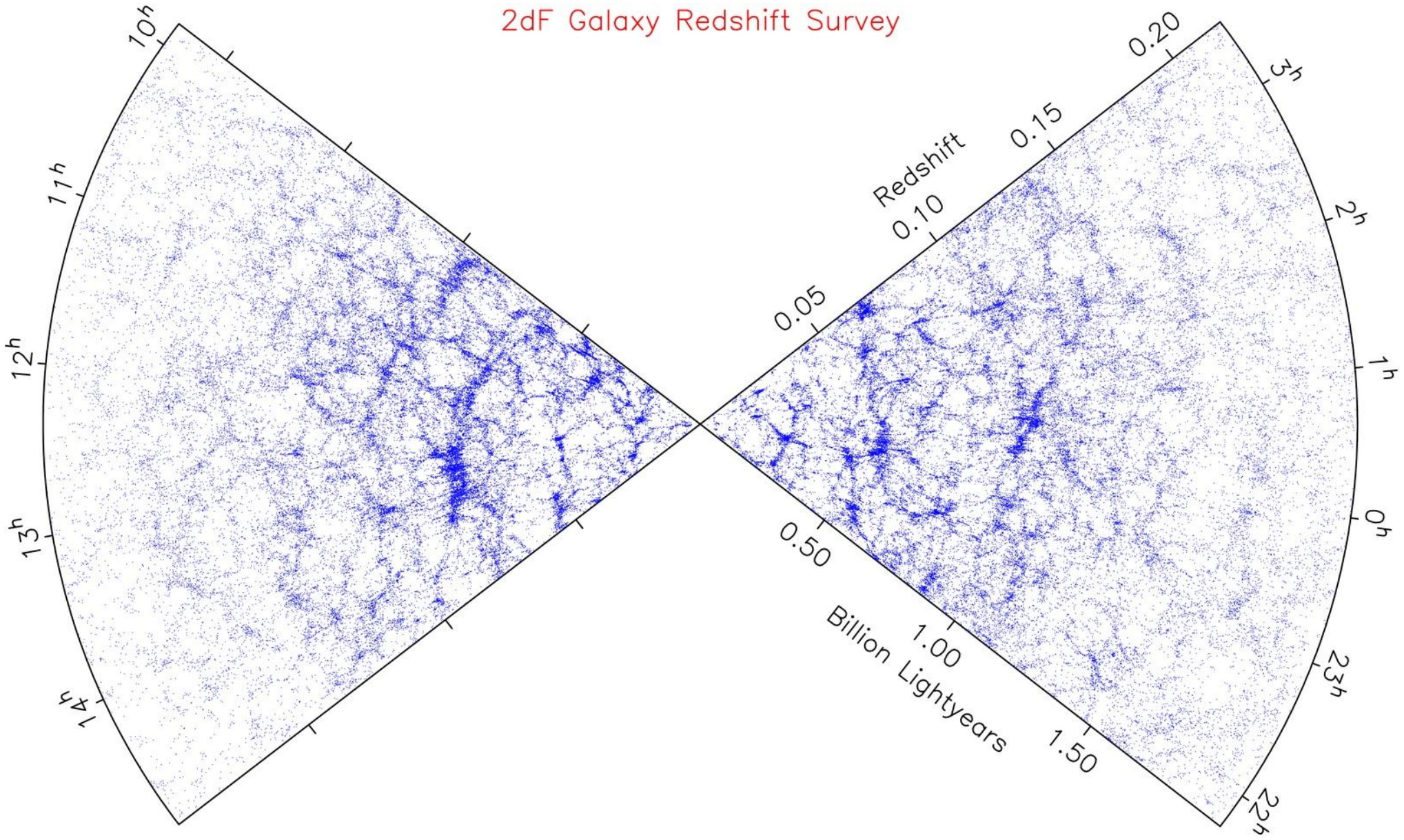
380 000 lat po “BB” do dziś: era galaktyk

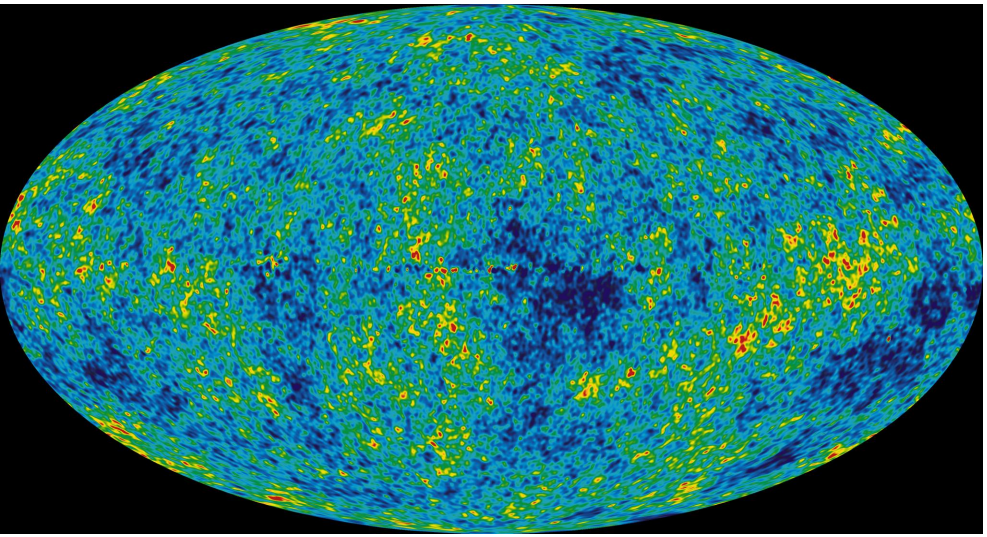


380 000 lat po Wielkim Wybuchu: niemal jednorodna materia, jej rozkład zapisany w rozkładzie temperatury mikrofalowego promieniowania tła (CMB)
(poniżej: rozkład temperatur CMB na podstawie 5 lat pomiarów satelity WMAP)



Wielkie struktury w lokalnym (z<0.2) Wszechświecie (katalog 2dF) – każda kropka to odrębna galaktyka
(Colless, Maddox, Peacock et al.)

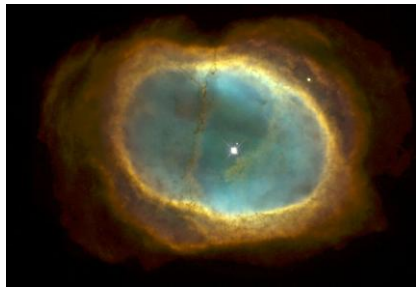


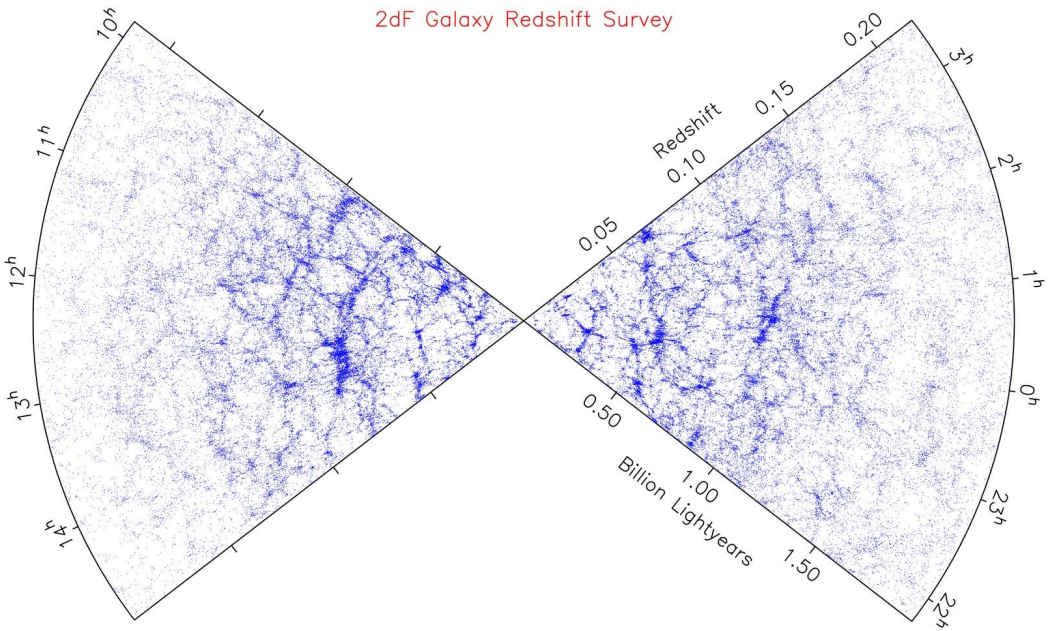


?

13 mld lat

?



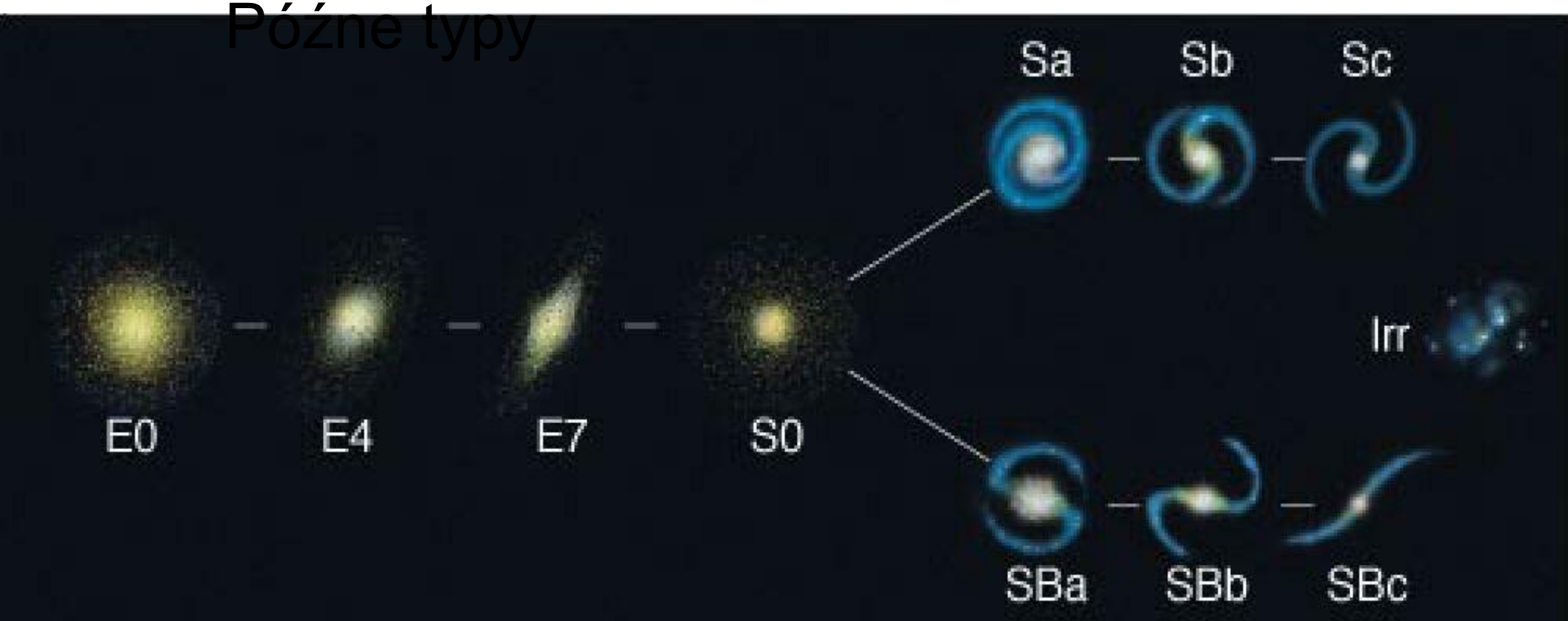

2dF Galaxy Redshift Survey
10h
11h
12h
13h
14h
Redshift
0.05
0.10
0.15
0.20
3h
2h
1h
0h
23h
22h
0.50
1.00
1.50
Billion Lightyears

Co to jest galaktyka?

- Grawitacyjnie związane obiekty - “wyspy gwiazd”, ale nie tylko...
- Składniki:
  - gwiazdy (~kilkaset mln – mld)
  - Gaz międzygwiazdowy
  - Pył
  - ***Ciemna materia***
- Procesy:
  - Ewolucja “sama w sobie”
  - Oddziaływania z innymi galaktykami i materią międzygalaktyczną

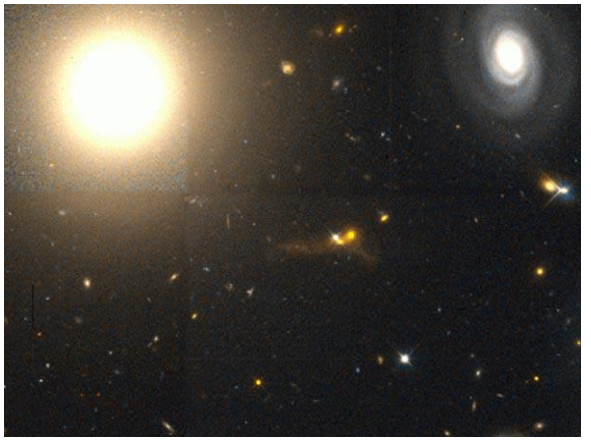
Dzisiejsze galaktyki – klasyfikacja morfologiczna

- “poprawiony” diagram Hubble'a (revised Hubble sequence” or “tuning fork diagram”)
- Wczesne typy
  - Późne typy



Galaktyki eliptyczne (E)

Brak struktur wewnętrznych
Eliptyczny wygląd, wg Hubble'a Ex, gdzie x = 10*(a-b)/a, a i b – wielka i mała półoś elipsy
E0 – niemal okrągłe
E7 – już soczewkowate (raczej S0), zazwyczaj z zaznaczonym zgrubieniem centralnym i dyskiem
Jasność absolutna: od najjaśniejszych znanych galaktyk (B~-24) do karłowatych galaktyk eliptycznych w Grupie Lokalnej



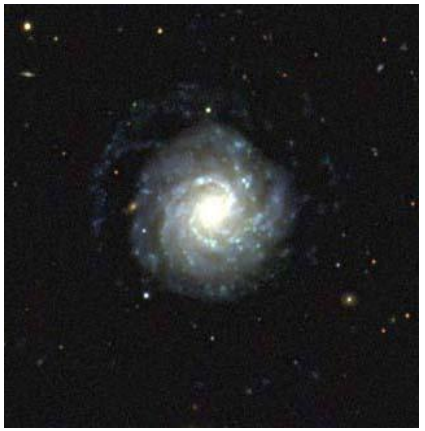
NGC 4881, gromada Coma, Credit: W. A. Baum (U. Washington), WFPC2, HST, NASA

Galaktyki spiralne (S)

Zgrubienie centralne (bulge) + dysk z ramionami spiralnymi:

Sa, Sb, Sc (w zależności od "zwinięcia" ramion)

SB: z poprzeczką – bardzo wydłużone zgrubienie centralne, na którego końcach zaczynają się ramiona



galaktyka typu Sa;
Copyright: SDSS

NGC 3559, galaktyka spiralna z poprzeczką

Image courtesy Steve Kent

Galaktyki soczewkowate S0(L)

b/a < 0,3

Bez stuktur wewnętrznych, ale zgrubienie centralne (także w kształcie poprzeczki) i dysk

Bez zaciemniającej materii - “wczesne”, S0-

bywają z poprzeczką, czasem śladowa struktura spiralna

NGC 936, galaktyka SB0

z SDSS

Galaktyki nieregularne

1. “Bez symetrii ani dominującego jądra”

Podobne do Obłoków Magellana (ze strukturami gwiazdowymi) – Irr I

W LMC i in. odkryto słabą strukturę spiralną

-> Scd, Sd, Sdm, Sm, Im

2. Bez śladu uporządkowania – Irr II (I0): bogate w materię międzygwiazdową, zawierają młode gwiazdy, często “starburst” (przechodzące epizod aktywności gwiazdotwórczej)

Wielki Obłok Magellana

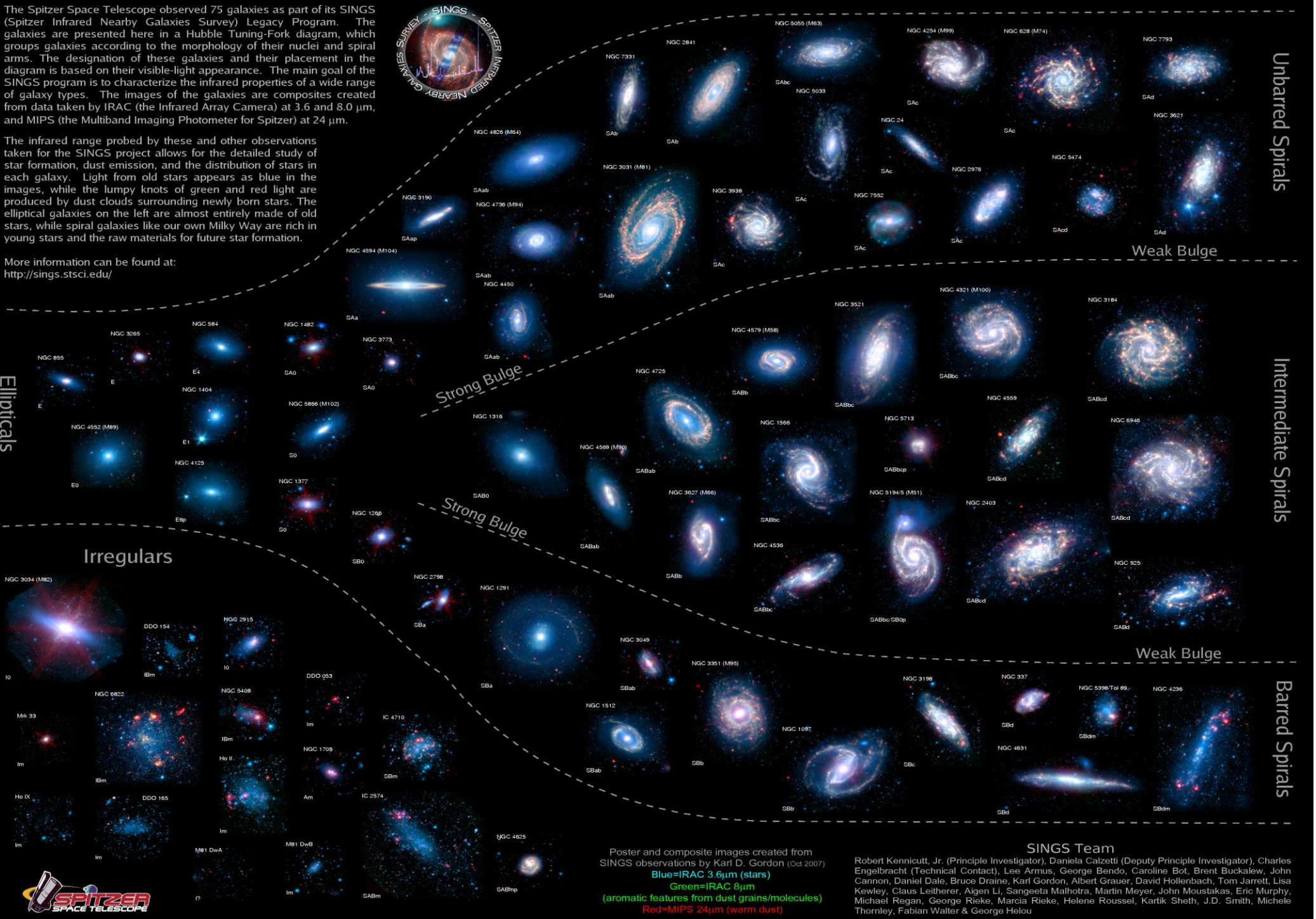
Credit & Copyright: AURA/ NOAO/ NSF

The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm, and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm.

The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at:
http://sings.stsci.edu/



Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon (Oct 2007)
Blue=IRAC 3.6μm (stars)
Green=IRAC 8μm
(aromatic features from dust grains/molecules)
Red=MIPS 24μm (warm dust)

SINGS Team

Robert Kennicutt, Jr. (Principle Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grauer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Aigen Li, Sangeeta Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Regan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Kartik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou

Galaktyki

- Dziś mamy znacznie większą różnorodność galaktyk: galaktyki “szczególne” (zdeformowane po oddziaływaniach z innymi), o niskiej jasności powierzchniowej (niemal niewidoczne mimo dużej masy, karłowate itd.

Dla jasnych galaktyk: S ~60%; E ~13 %; L ~22 %;

Irr ~ 4%; Pec ~1%

Im słabsze, tym więcej nieregularnych i karłowatych – ich ilość może sięgać ponad 50% wszystkich galaktyk.

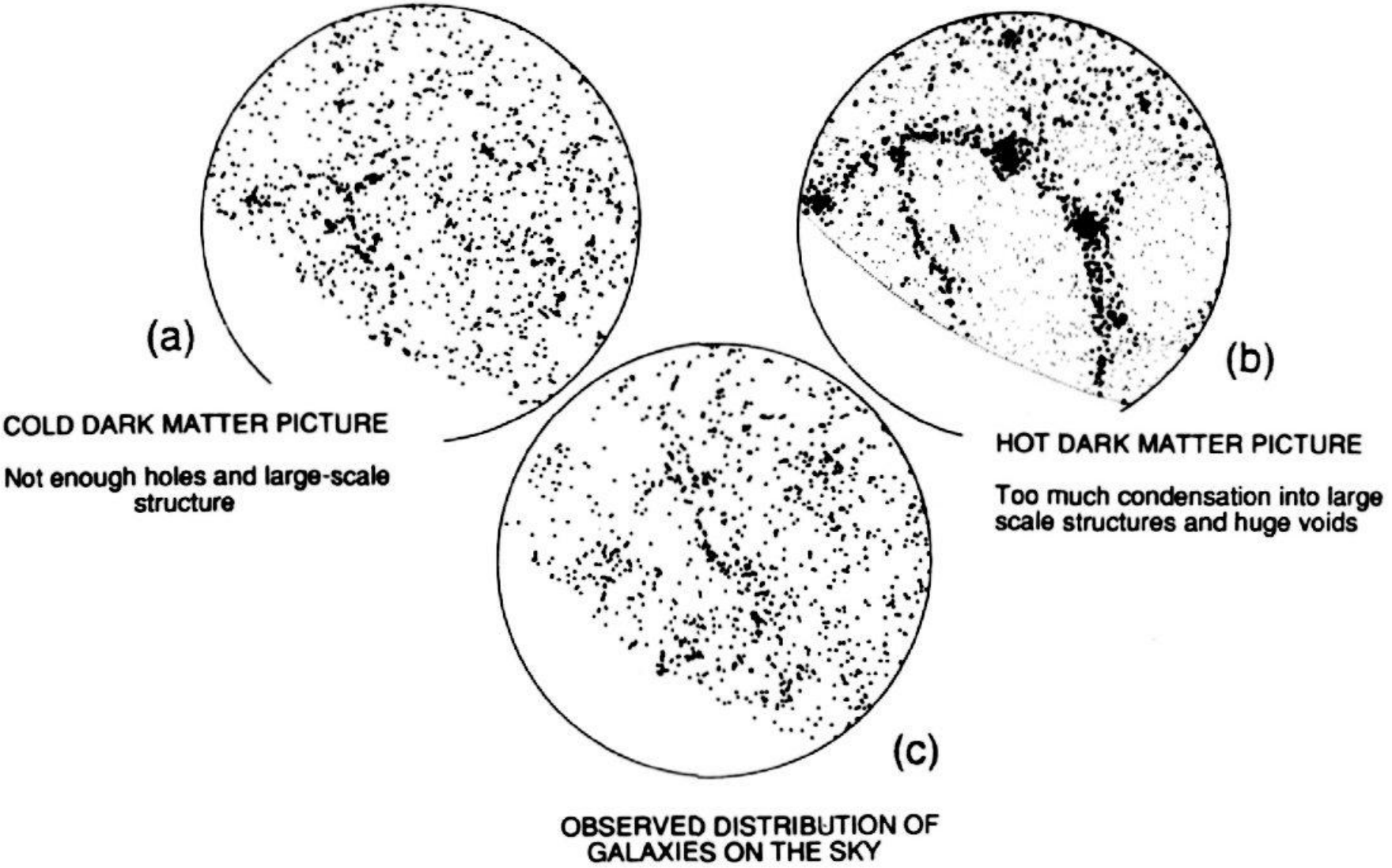
Skąd się wzięło to bogactwo typów morfologicznych, zważywszy niemal jednorodne pole materii ~13 mld lat temu?

- Siła powodująca dalszy rozwój i ewolucję pierwotnych niejednorodności: grawitacja (ściślej: niestabilność grawitacyjna Jeansa)
- tu już trudno się obejść bez ciemnej materii (powód – jeden z powodów -: materii barionowej, tej zwykłej, jest za mało i nie dałaby rady utworzyć tak skomplikowanych struktur w tak któtkim czasie; alternatywne rozwiązanie – zmieniamy teorię grawitacji: ->MOND)

Ciemna materia

- Jeśli nie decydujemy się na zmianę teorii grawitacji lub nawet bardziej “egzotyczne” teorie, pozostaje nam ciemna materia.
- W tej chwili obserwacje faworyzują model ciemnej zimnej materii – składającej się ze stosunkowo dużych, powolnych, nierelatywistycznych cząstek. Ich podstawowa cecha – oddziaływują wyłącznie grawitacyjnie, być może słabo, na pewno nie silnie ani elektromagnetycznie.
- Nowy rodzaj cząstki elementarnej?
- Powinno jej być ~10 razy więcej niż materii barionowej – czyli to ona tak naprawdę kształtuje wielkoskalową strukturę Wszechświata, widoczne dla nas bariony są tylko skromnym dodatkiem.

Wielkoskalowa struktura Wszechświata w modelach “zimnej” i “gorącej” ciemnej materii (trzeba jeszcze dodac stałą kosmologiczną, żeby wyprodukować największe struktury w modelu CDM)



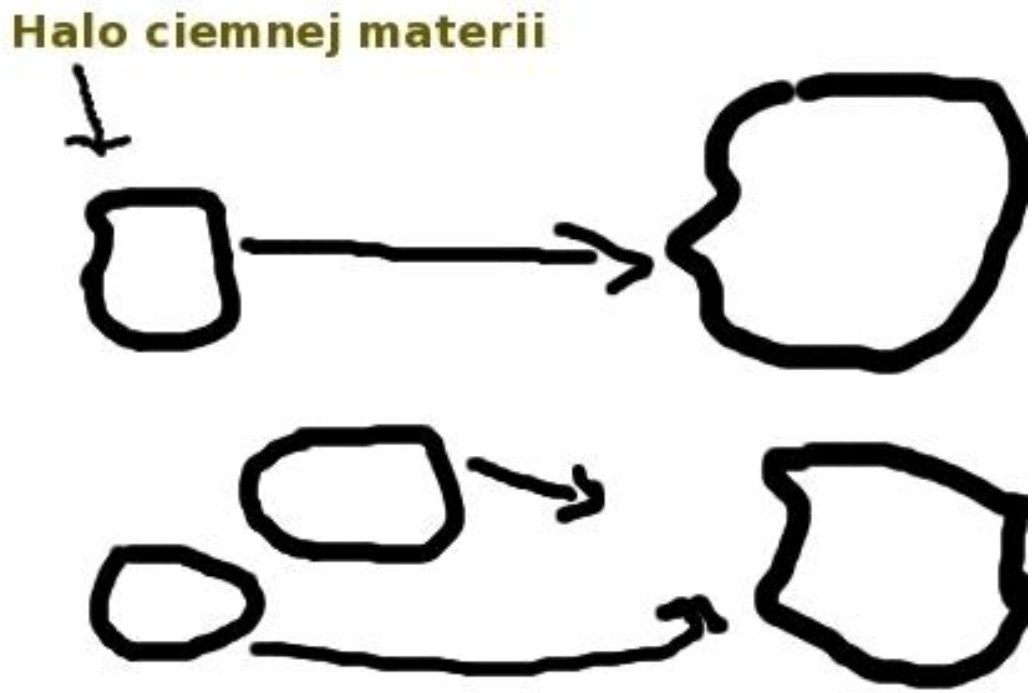
(Longair 2007)

Hierarchiczny model ewolucji struktury wielkoskalowej (zimna ciemna materia, a w niej...)

- Grawitacja sprawia, że małe początkowo fluktuacje materii (ciemnej i barionowej, ale głównie ciemnej) rosną się, gromadzą materię, tworząc tzw. halo.

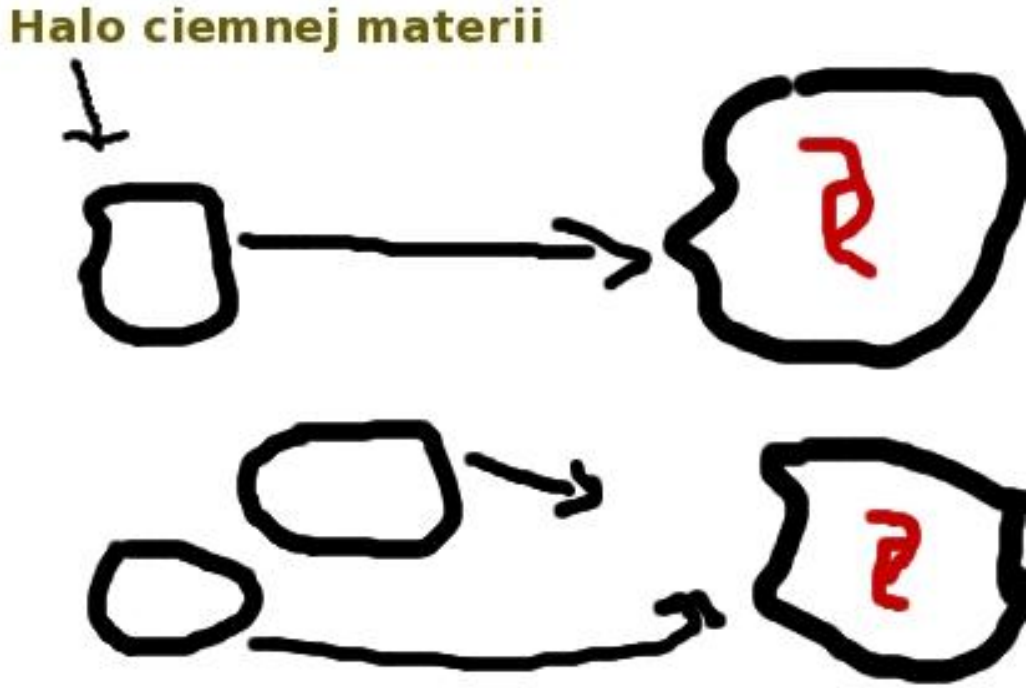
Hierarchiczny model ewolucji struktury wielkoskalowej (zimna ciemna materia, a w niej...)

- Halo rosną i czasami łączą się w większe struktury.
- Ewolucja “od małych do dużych struktur” = model hierarchiczny.



Hierarchiczny model ewolucji struktury wielkoskalowej (zimna ciemna materia, a w niej...)

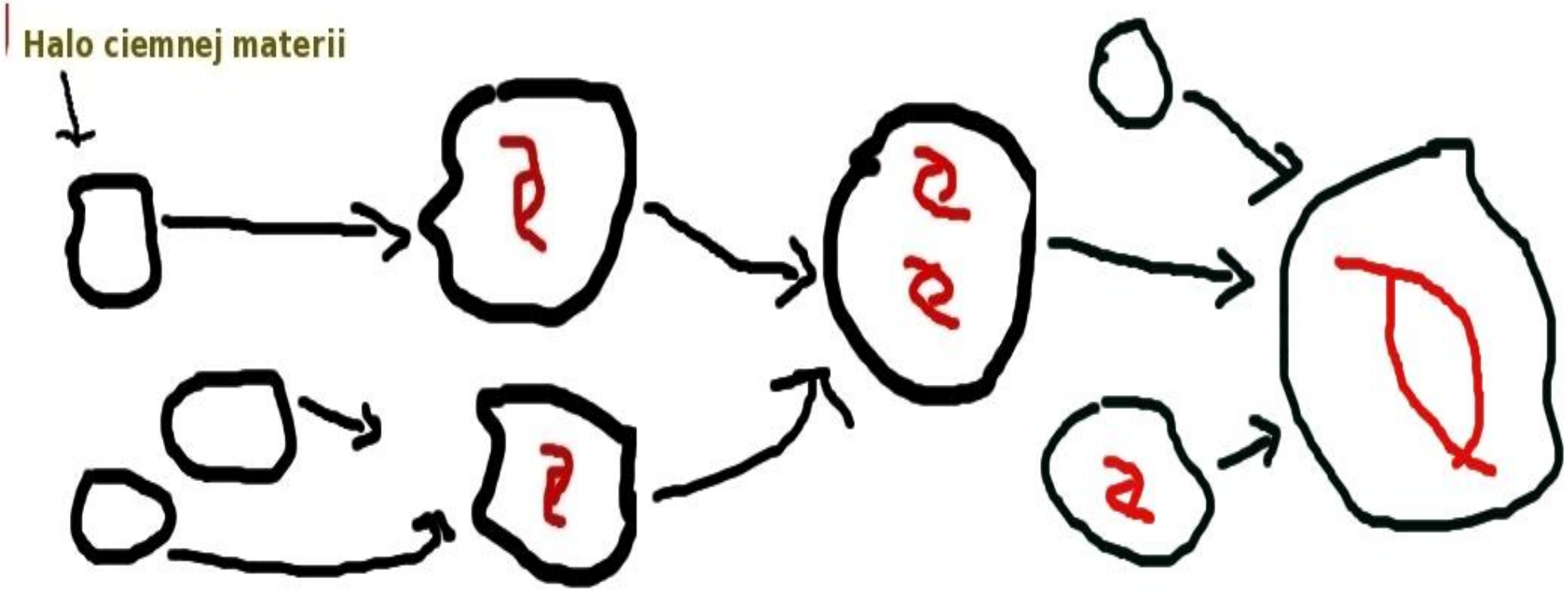
- Halo prócz ciemnej materii zawierają też barionowy gaz. Ten gaz ma inne własności niż ciemna materia (m.in. ciśnienie ≠ 0). Jego gęstość rośnie -> tworzą się pierwsze gwiazdy.



- Te gwiazdy i otaczający je gaz = pierwsze galaktyki, małe i nieregularne

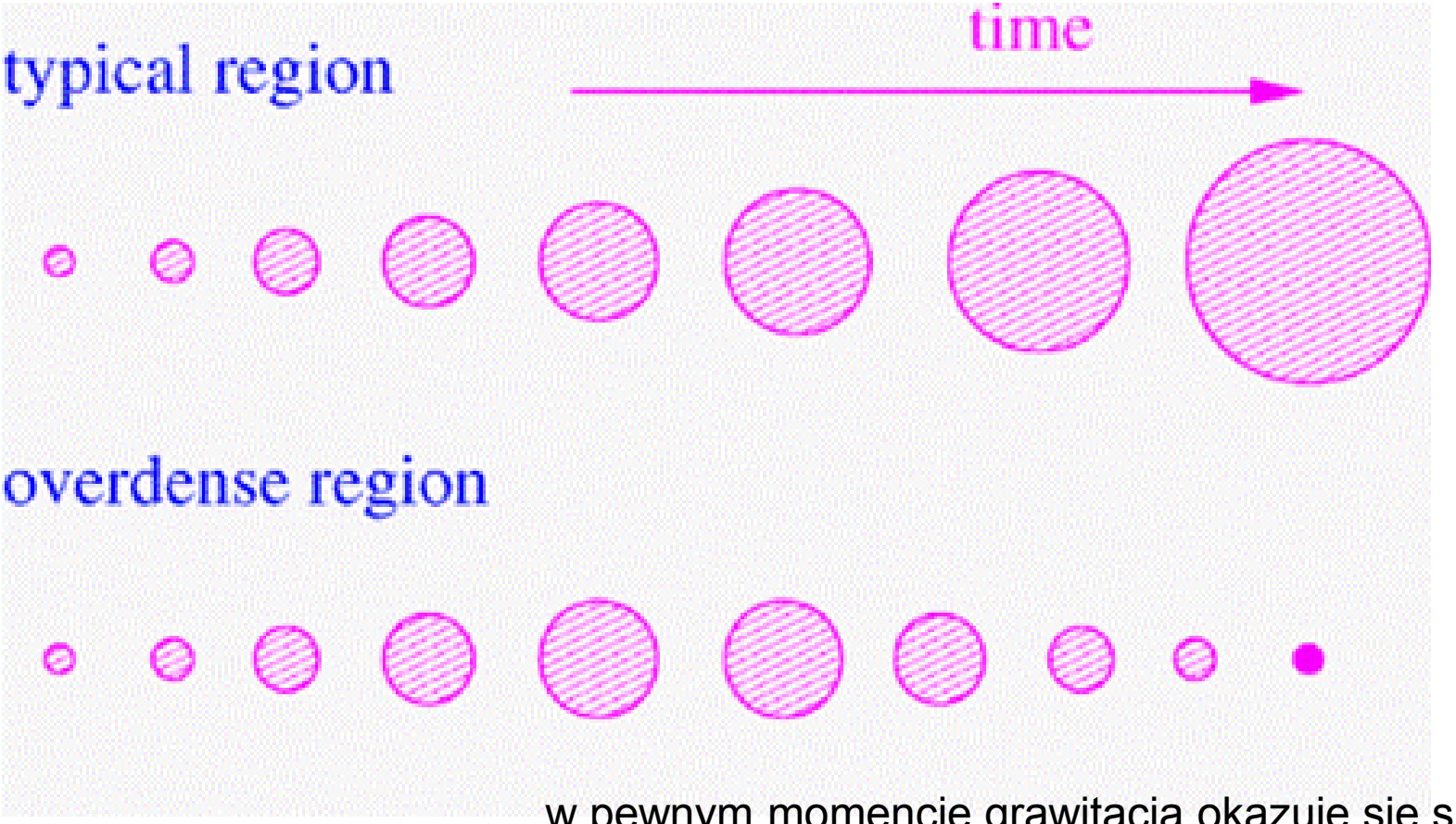
Hierarchiczny model ewolucji struktury wielkoskalowej (zimna ciemna materia, a w niej...)

- Z czasem halo coraz bardziej rosną, łączą się. Niektóre zawierają galaktyki, inne nie. Z czasem łączą się też galaktyki, tworząc coraz większe galaktyki. Największe dzisiejsze galaktyki (M~10^12 M_sun) powstały najprawdopodobniej w ten sposób. Największe dzisiejsze halo (zawierające gromady galaktyk) mają M~10^15 M_sun.



Model kolapsu sferycznego

(rozszerzają się razem ze Wszechświatem)

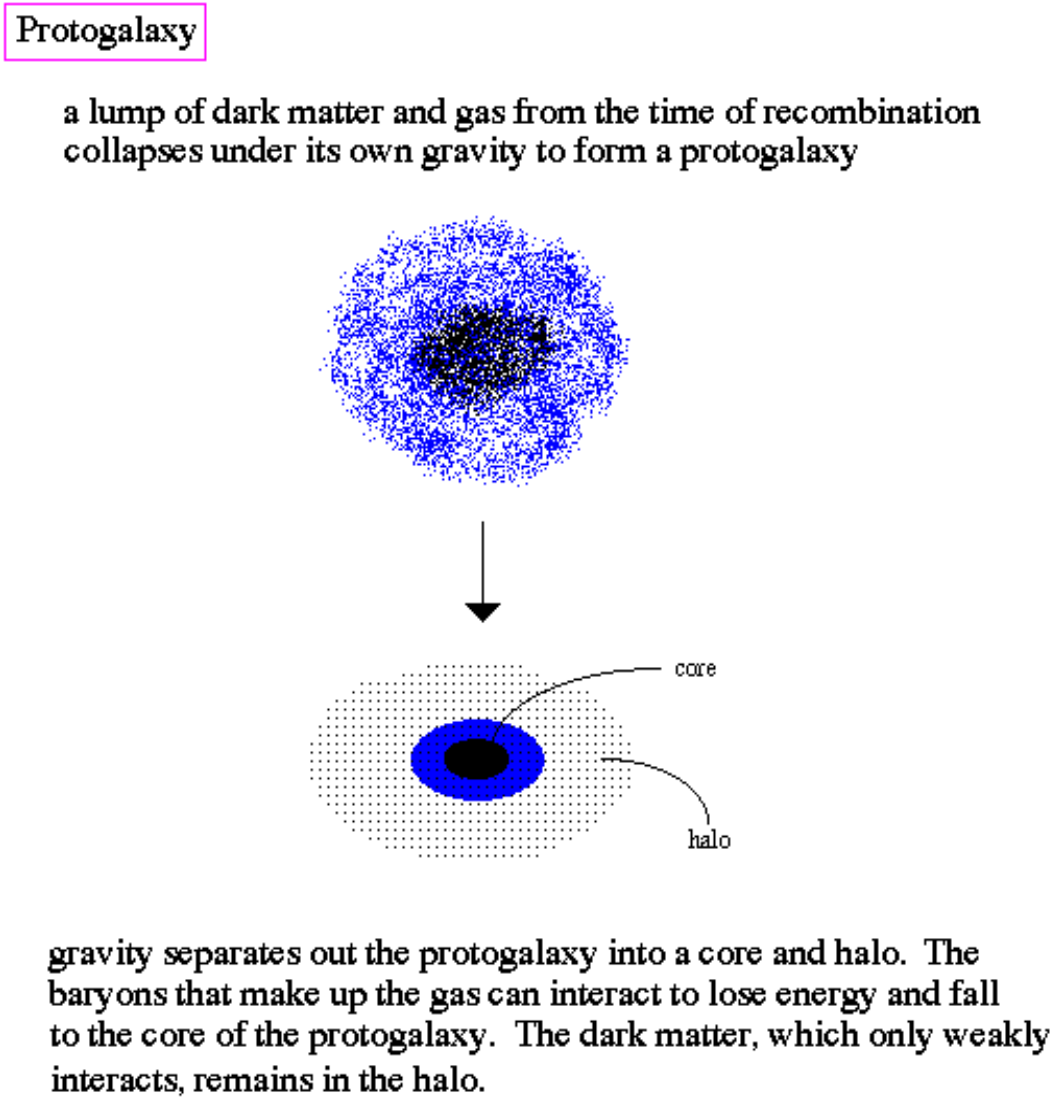


w pewnym momencie grawitacja okazuje się silniejsza...

“Halo tworzą tylko niejednorodności, które od początku miały dostatecznie dużą gęstość.

Protogalaktyki

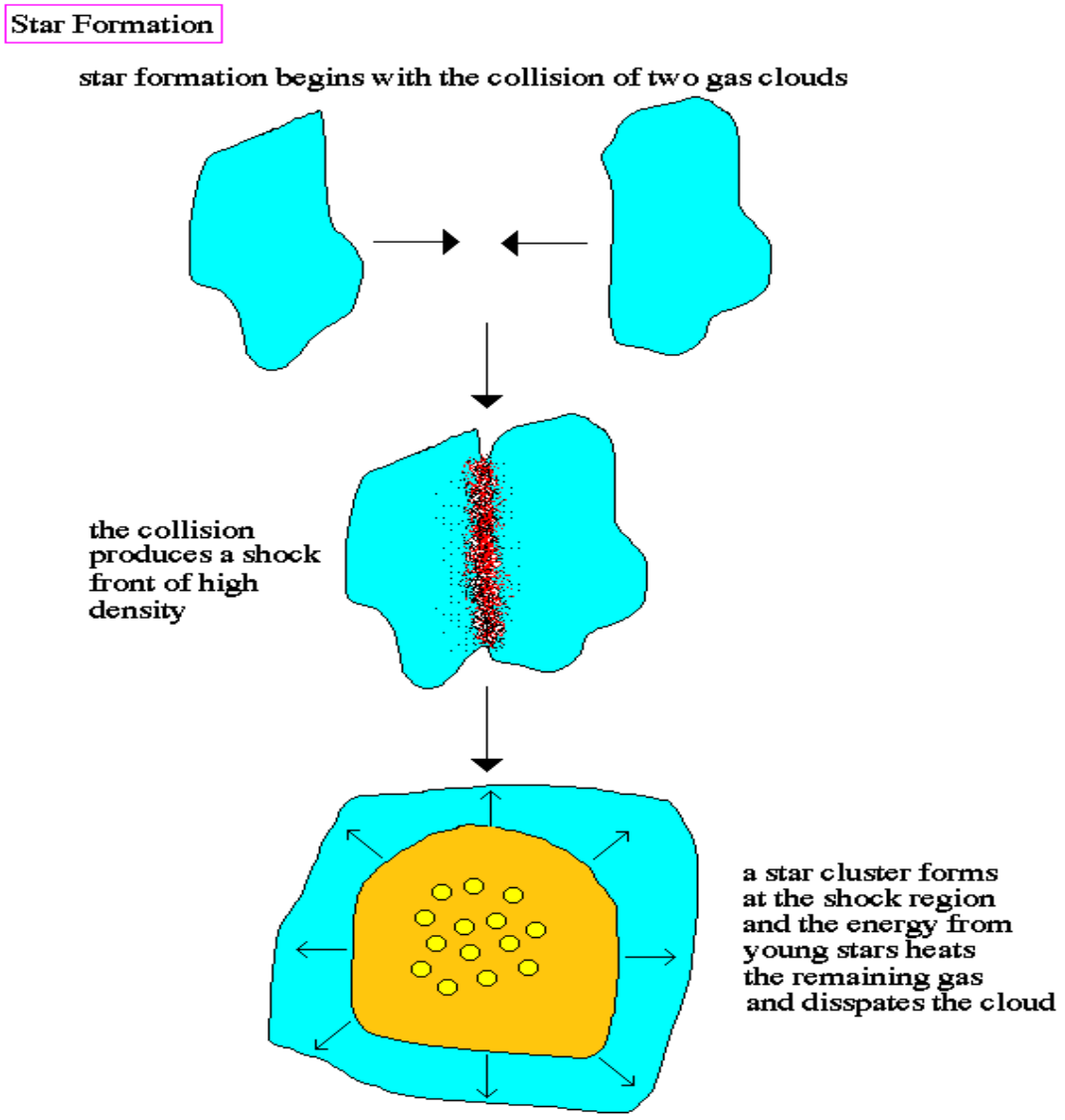
- Po rekombinacji fluktuacje gęstości rosną
- Pierwsze halo: ciemna materia+wodór+nieco helu
- Kolaps pod wpływem grawitacji -> pojawia się protogalaktyka
- Cząsteczki barionowego gazu (w przeciwieństwie do ciemnej materii) zderzają się i tracą energię -> spadają do środka halo i zagęszczają się mocniej, pod wpływem zderzeń gaz się rozgrzewa (wysyłając słabe promieniowanie podczerwone?)



Credit: James Schombert, University of Oregon

W protogalaktykach powstają gwiazdy

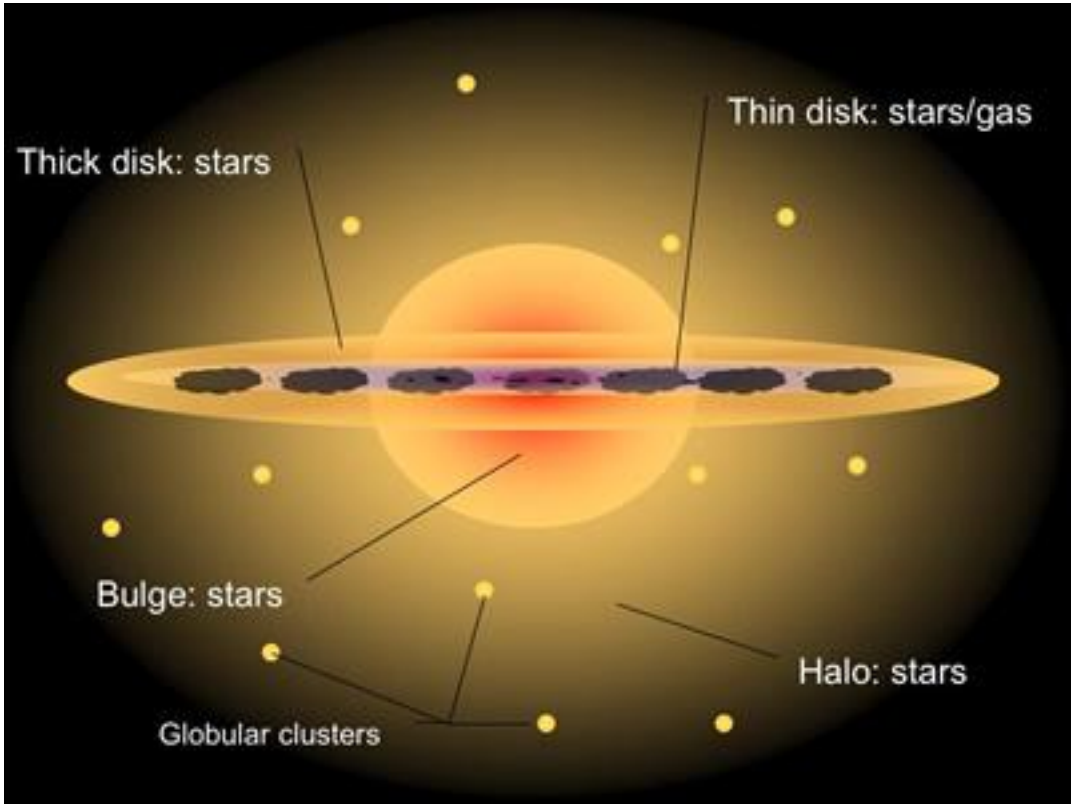
- W protogalaktyce zaczynają krążyć obłoki gazu. Zderzają się -> tworzą się fale uderzeniowe -> tam powstają pierwsze gwiazdy.
- Podobny mechanizm obserwujemy i dziś np. w Drodze Mlecznej.



Credit: James Schombert, University of Oregon

Gwiazdy w protogalaktykach

- Uważa się, że te pierwsze skupiska gwiazd, jakie Galaktyka wyprodukowała, to dzisiejsze gromady kuliste.

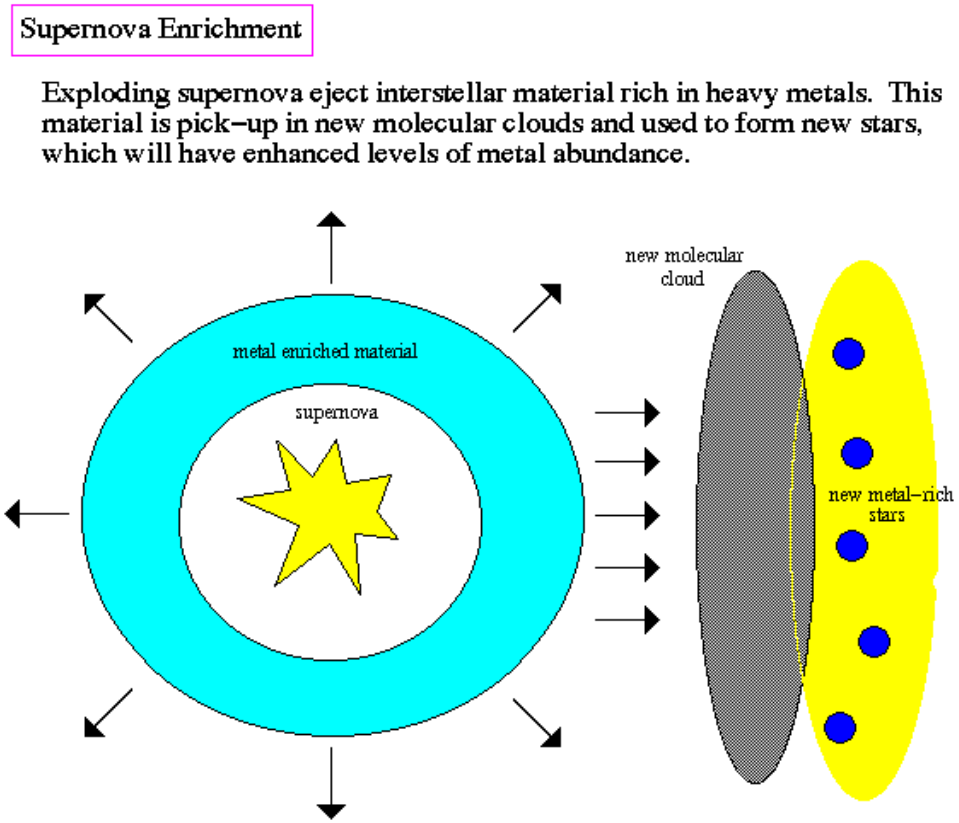


Credit: SAO

Globular Cluster M13
Credit: ESO

Śmierć pierwszych gwiazd

- Najcięższe gwiazdy szybko kończyły życie jako supernowe (szybciej niż dzisiejsze, bo składały się niemal wyłącznie z wodoru).
- Wybuchając, wzbogacały przestrzeń międzygwiazdową w ciężkie pierwiastki.
- Oraz jonizowały okoliczny Wszechświat.



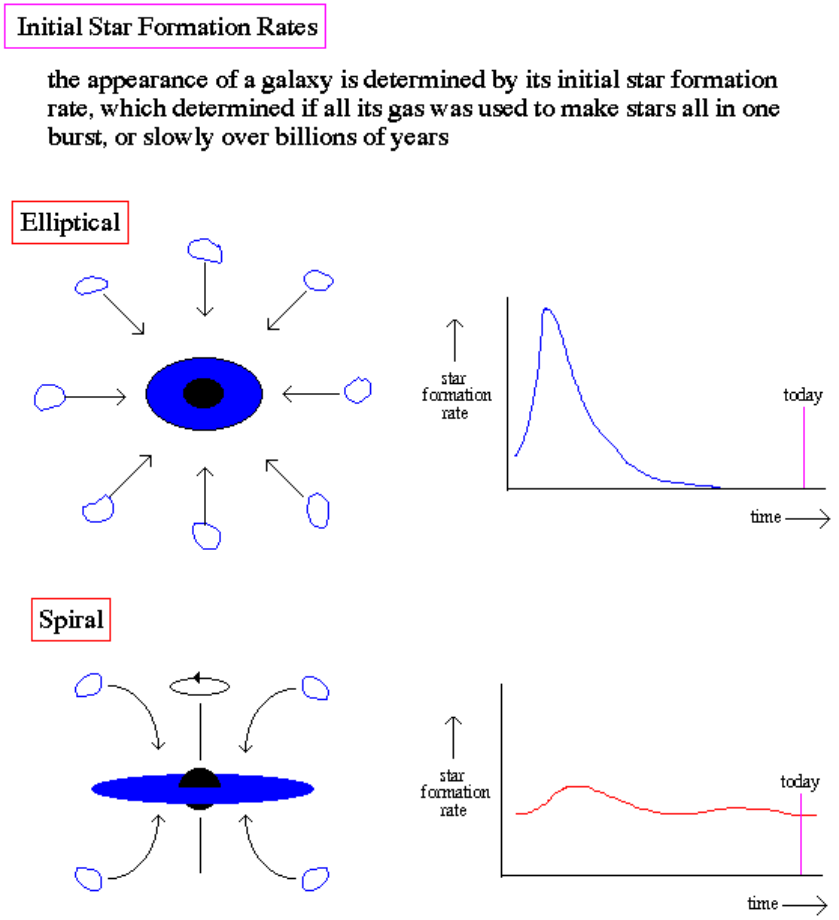
– Credit: M. Rawlinson

Ewolucja galaktyk: “pochodzenie czy wychowanie” (*nature or nurture problem*)

- Hubble uważał, że galaktyki spiralne w procesie ewolucji zamieniają się w eliptyczne. Dziś wiemy, że Wszechświat jest na to za młody...
- Czy istnienie galaktyk eliptycznych i spiralnych wiąże się z ich pierwotnymi własnościami, czy z okolicznościami zewnętrznymi (jak zderzenia międzygalaktyczne)?
- Prostej odpowiedzi nie mamy.

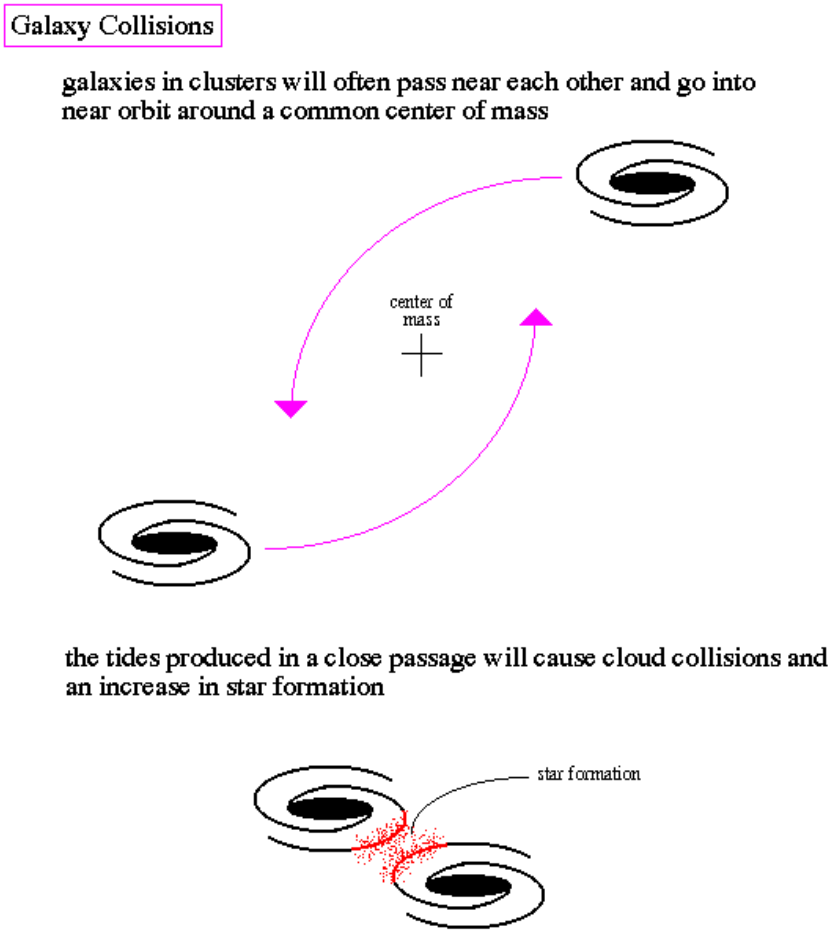
Ewolucja galaktyk: pochodzenie (nature)

- Obecny kształt galaktyki może być efektem dynamiki gazu na początku (a zatem i pierwotnej masy halo).
- Silna akrecja ze wszystkich stron, duża masa halo -> jednej epizod tworzenia gwiazd -> galaktyka eliptyczna
- powolna akrecja na dysk, mała masa halo -> wiele epizodów gwiazdotwórczych



Ewolucja galaktyk: wychowanie (nurture)

- Galaktyki nie żyją samotnie: dochodzi między nimi do zderzeń i oddziaływań, które mogą przyspieszyć transformację galaktyki spiralnej w eliptyczną



Ewolucja struktury wielkoskalowej i galaktyk - podsumowanie

- Siłą napędową ewolucji struktury wielkoskalowej jest grawitacja
- Galaktyki powstają w halo ciemnej materii (chyba że zmodyfikujemy grawitację)
- Ich ewolucja jest najprawdopodobniej efektem zarówno warunków początkowych, jak i oddziaływań między galaktykami.