

Poszukiwania ciemnej materii w eksperymentach nieakceleratorowych

Dr. Anne Green
University of Nottingham, UK

Dlaczego? (obserwacyjne dowody istnienia ciemnej materii)

Co? (kandydaci na ciemną materię)

Jak? (eksperymenty)

Obserwacyjne dowody istnienia ciemnej materii

i) w galaktykach spiralnych:

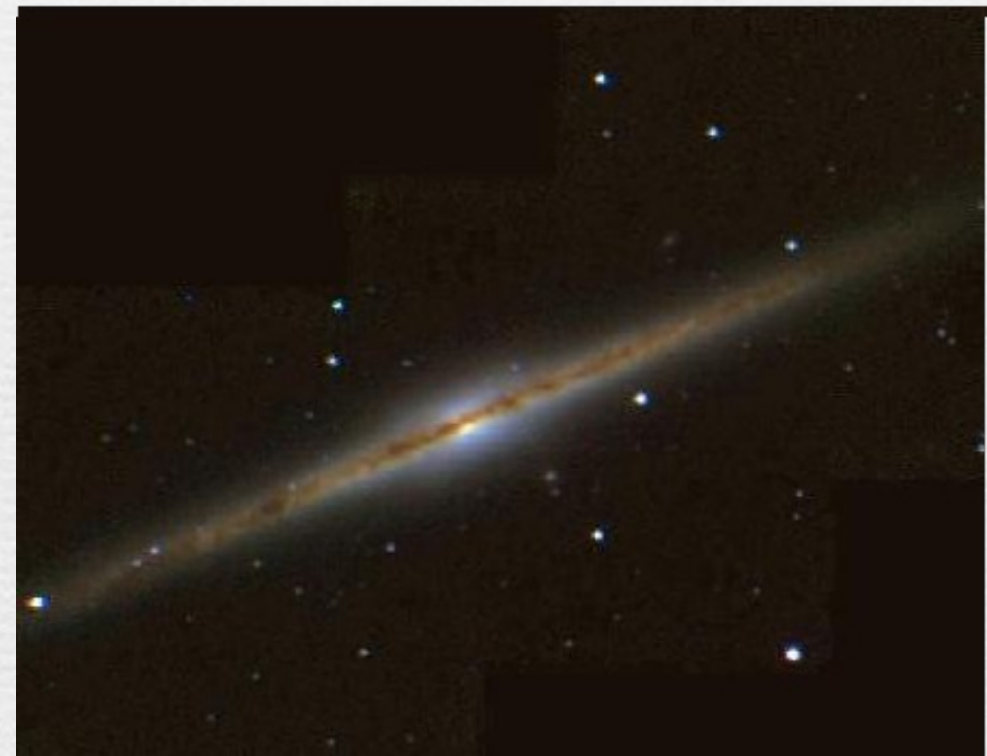
‘face on’



Whirlpool galaxy

[image credit: Hubble Space Telescope]

‘edge-on’



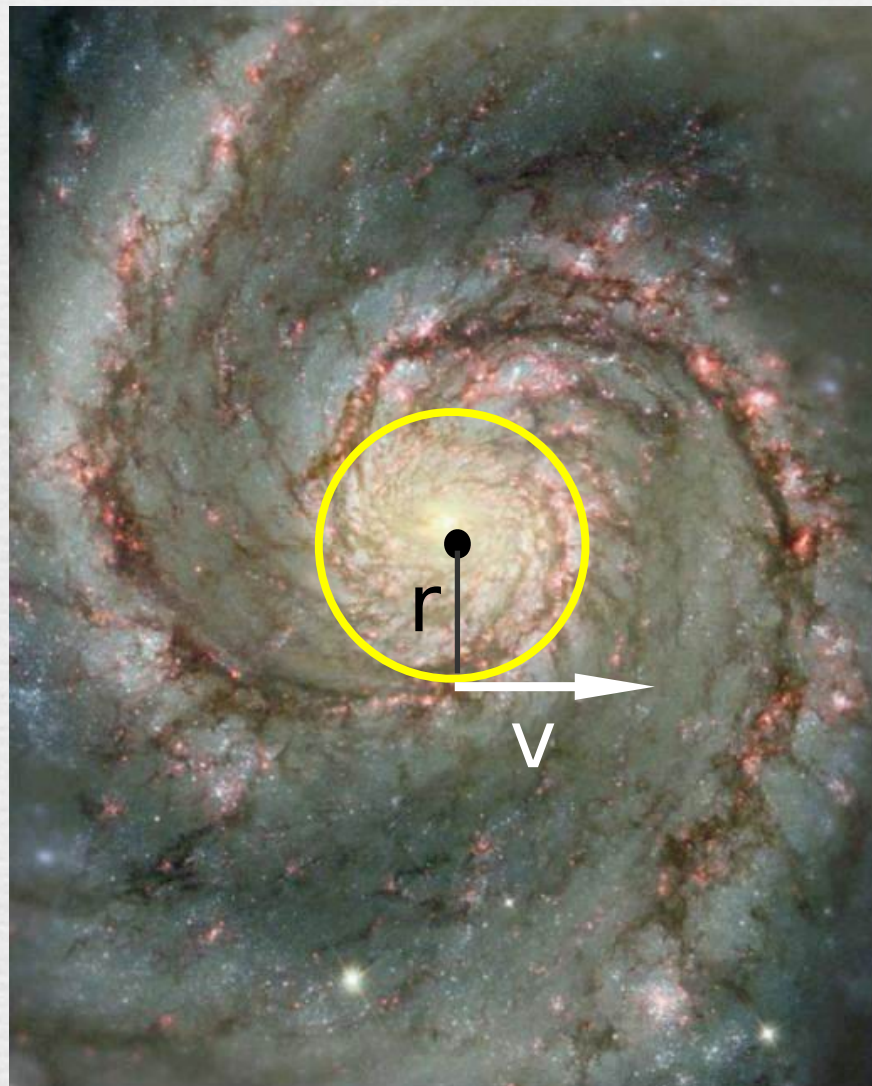
NGC891

[image credit: NOAO]

Obserwacyjne dowody istnienia ciemnej materii

i) w galaktykach spiralnych:

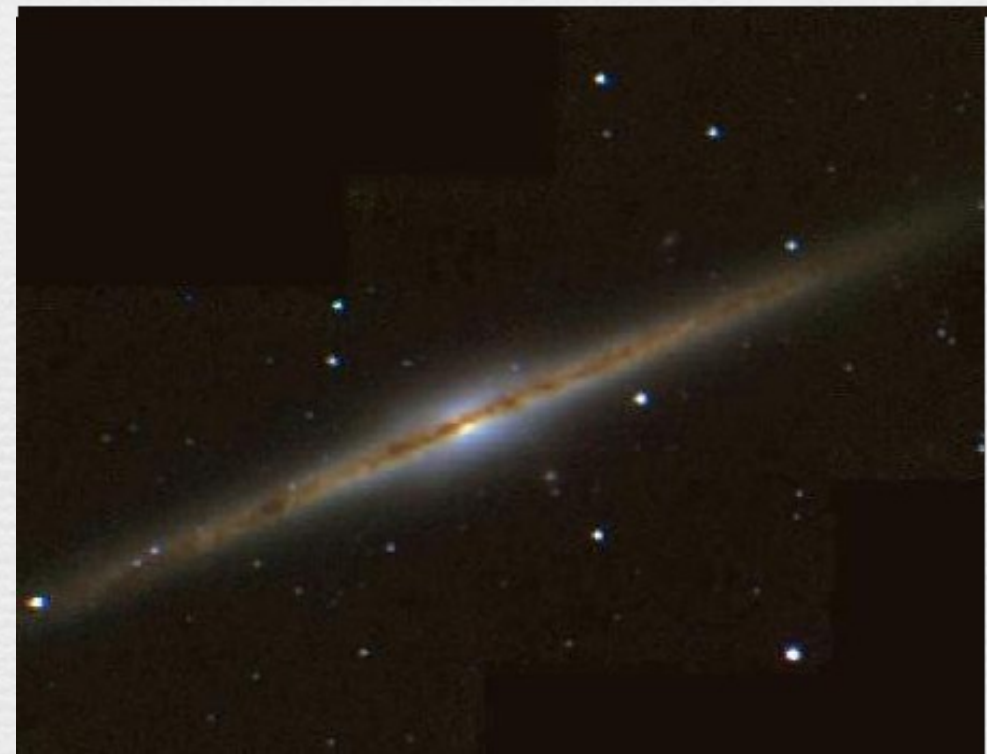
‘face on’



Whirlpool galaxy

[image credit: Hubble Space Telescope]

‘edge-on’



NGC891

[image credit: NOAO]

Ruch po okręgu

Drugie prawo dynamiki Newtona

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

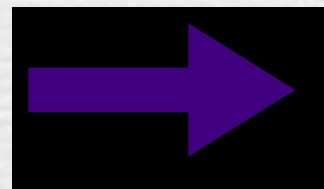
Prawo grawitacji Newtona:

$$\mathbf{F} = \frac{GMm}{r^2}$$

Przyśpieszenie dośrodkowe:

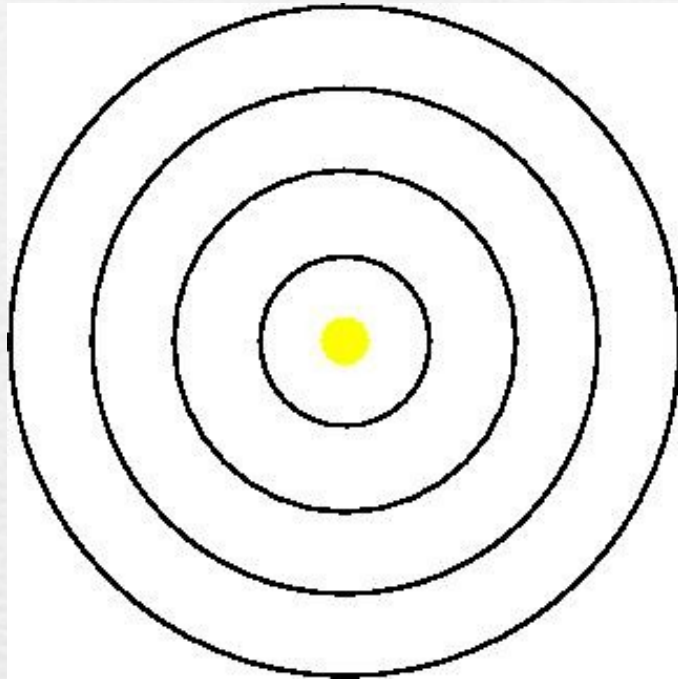
$$\mathbf{a} = \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r}$$

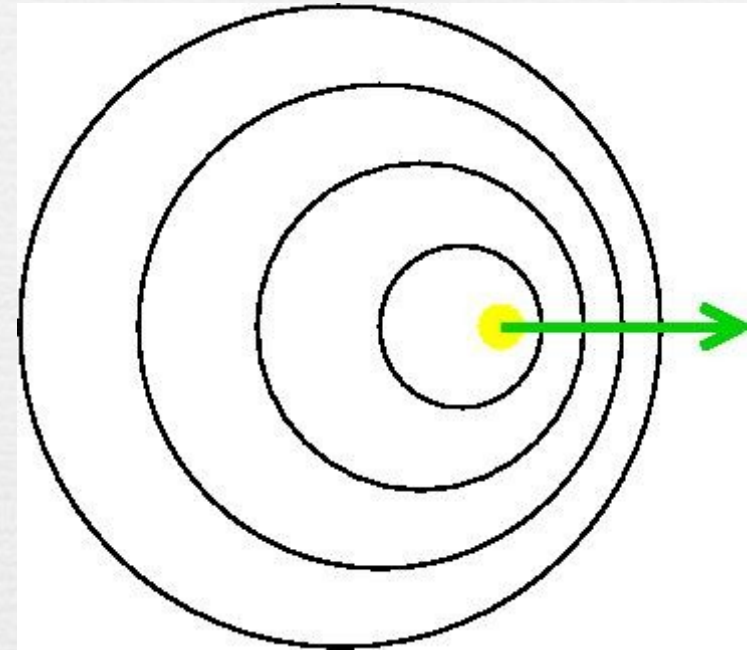


$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Efekt Dopplera:

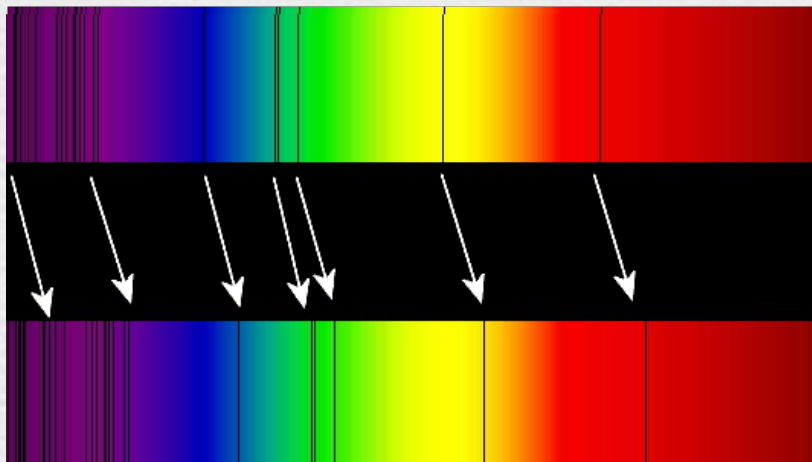


Źródło stacjonarne

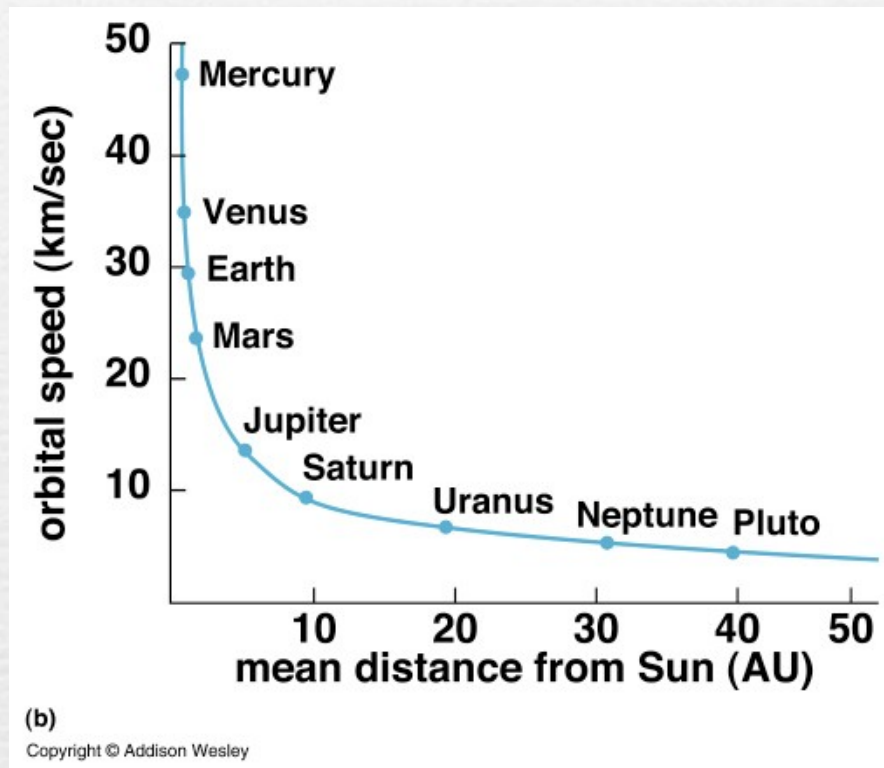


Źródło poruszające się

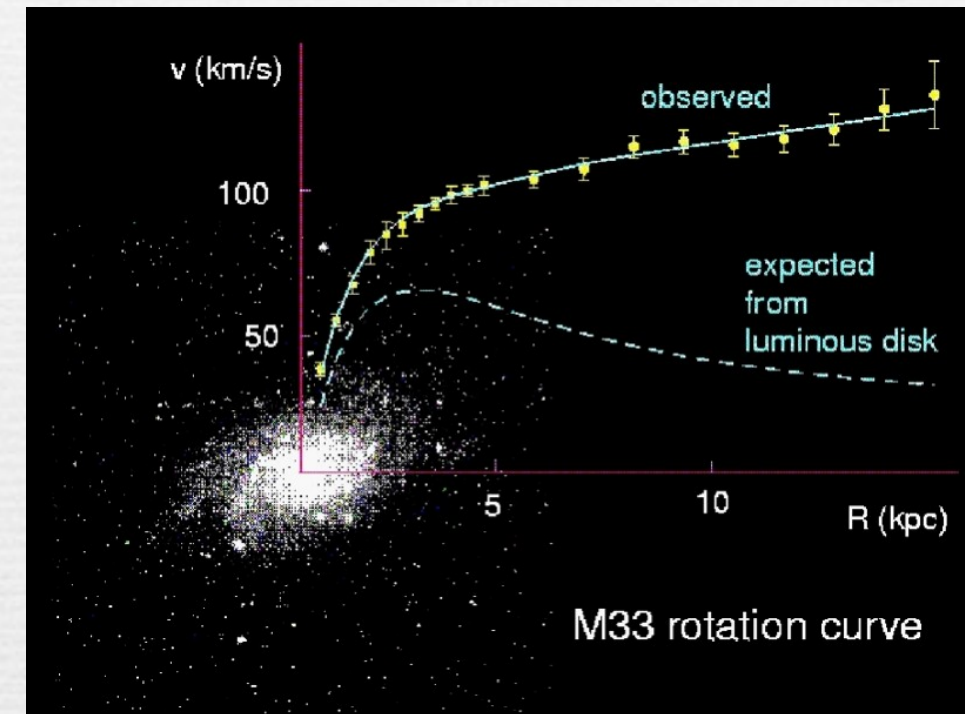
Wysokość dźwięku przesunięta w górę/dół. Niebieska/Czerwona barwa światła zostaje przesunięta



Prędkości planet na orbitach w układzie słonecznym



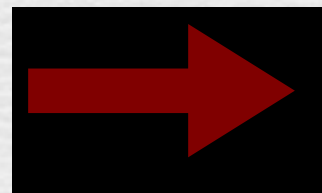
Krzywa rotacji galaktyki M33



[Bergstrom]

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$v_{\text{rot}}(r) \sim \text{constant}$$



$$M(<r) \propto r$$

Jeśli prawa Newtona są poprawne to galaktyki otoczone są przez niewidzialne halo złożone z ciemnej materii

ii)w gromadach galaktyk

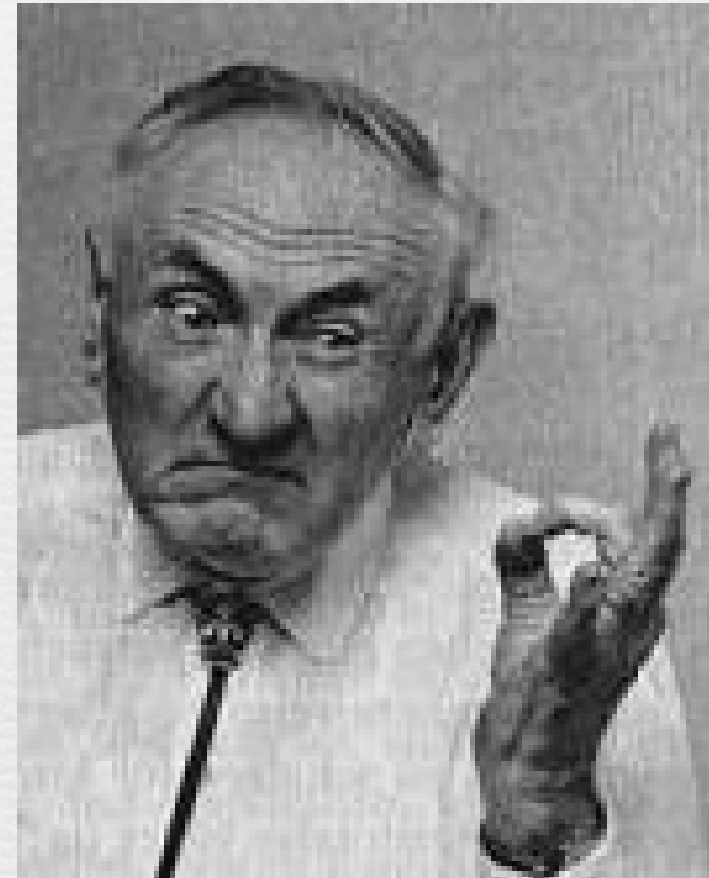
Coma cluster

[Misti Mountain Observatory]



Zawiera > 1000 galaktyk

Zwicky

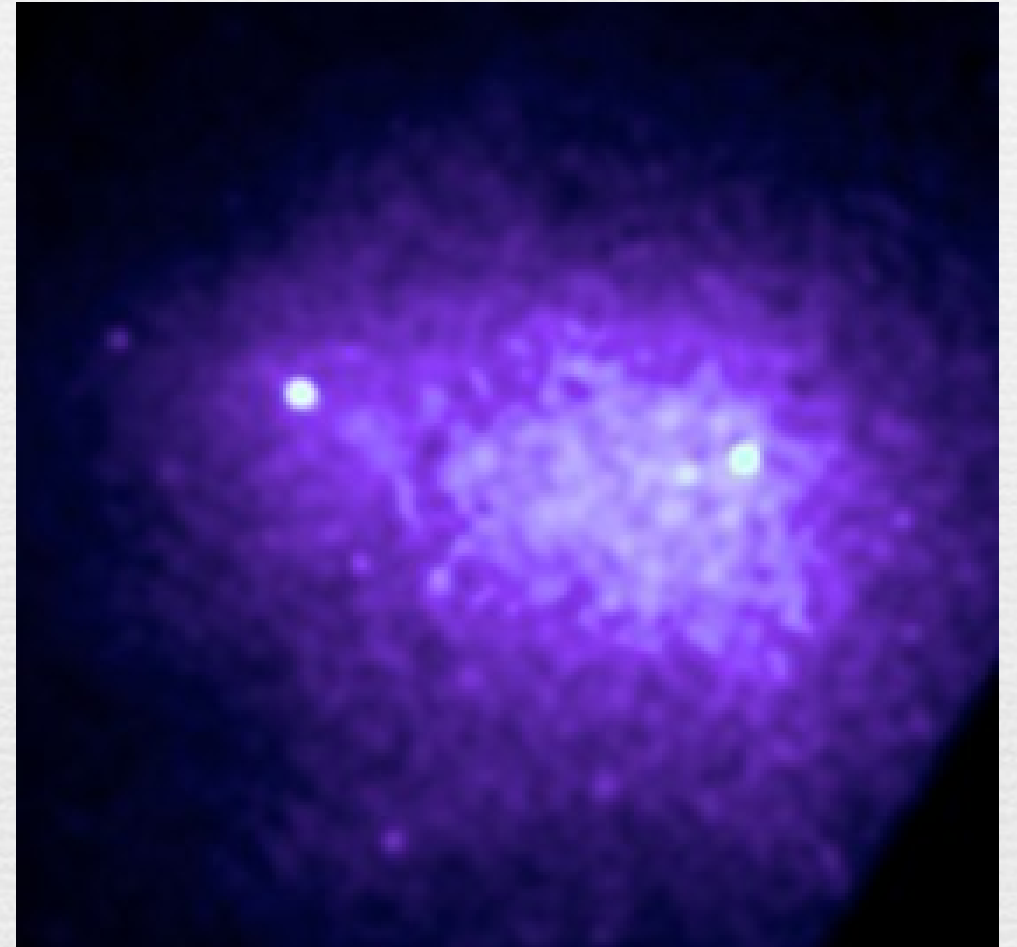


Ciemna materia konieczna jest by „spajać” galaktyki razem.
[w przeciwnym wypadku galaktyki poruszają się zbyt szybko
i oddalają się od siebie]

Gromada Coma
[Misti Mountain Observatory]



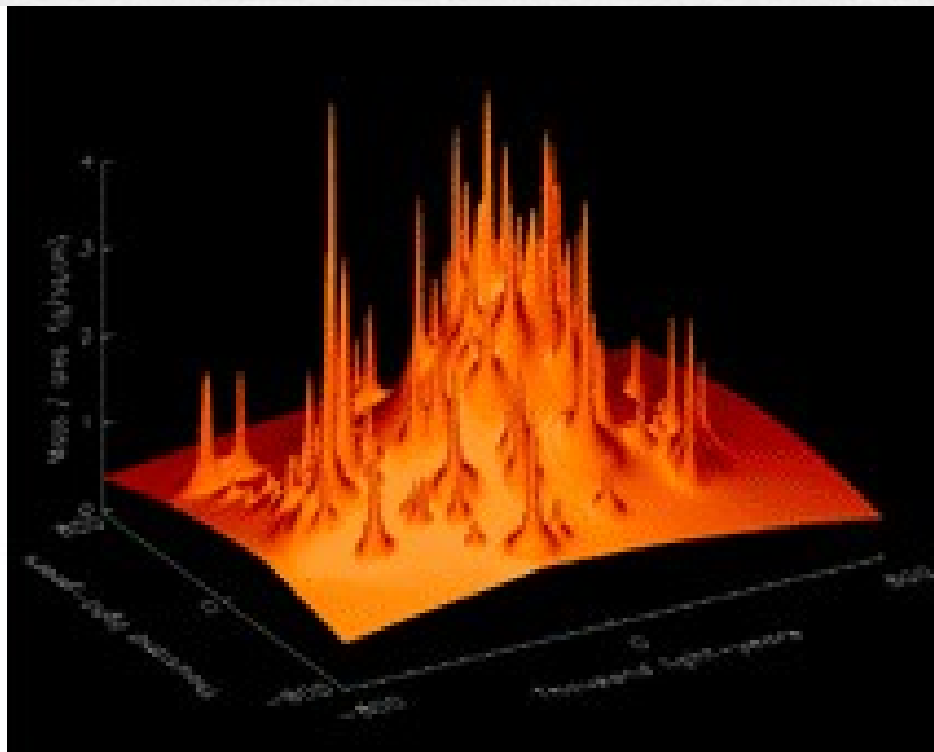
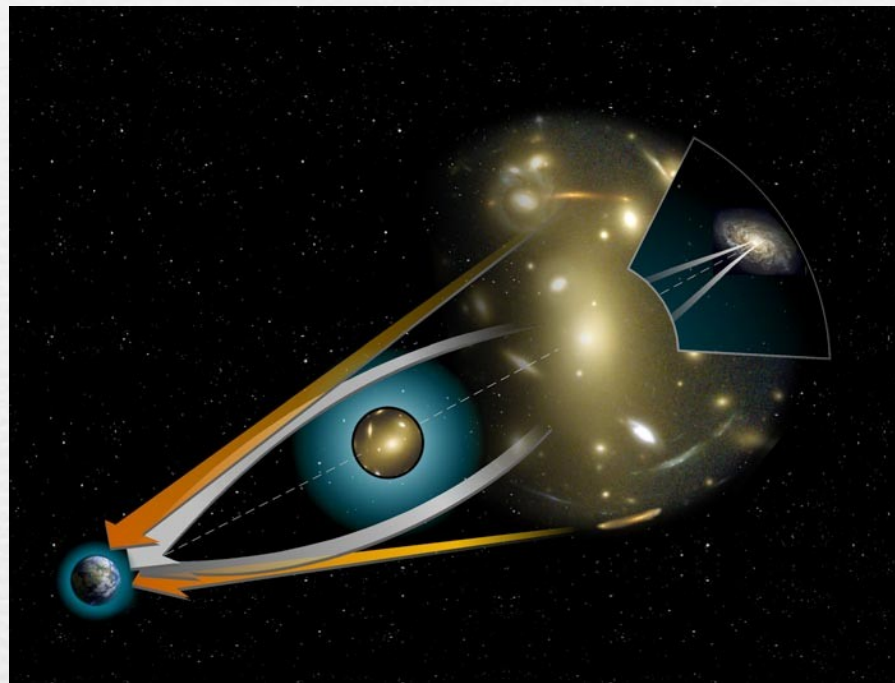
Obraz widziany w promieniach X
[Chandra]



Ciemna materia konieczna jest również by związać gorący gaz emitujący promienie X

Soczewkowanie grawitacyjne (zakrzywianie promieni światła):

(z odległych galaktyk przez masywne gromady galaktyk na linii wzroku)



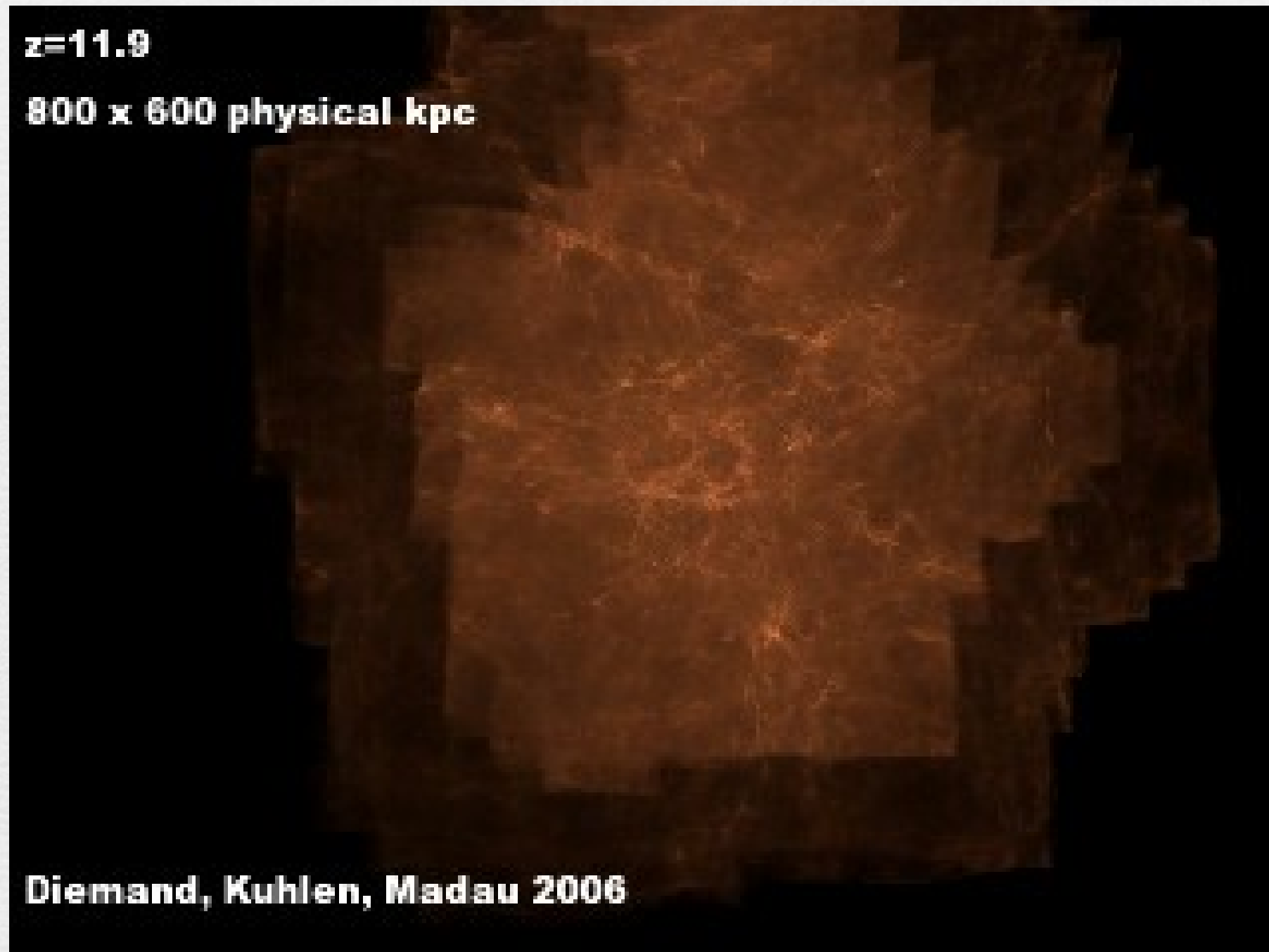
[Bell labs]

Używając zaburzonych obrazów odległych galaktyk można wyznaczyć rozkład materii wewnątrz gromady.

iii) we Wszechświecie

Tworzenie się struktur wielkoskalowych

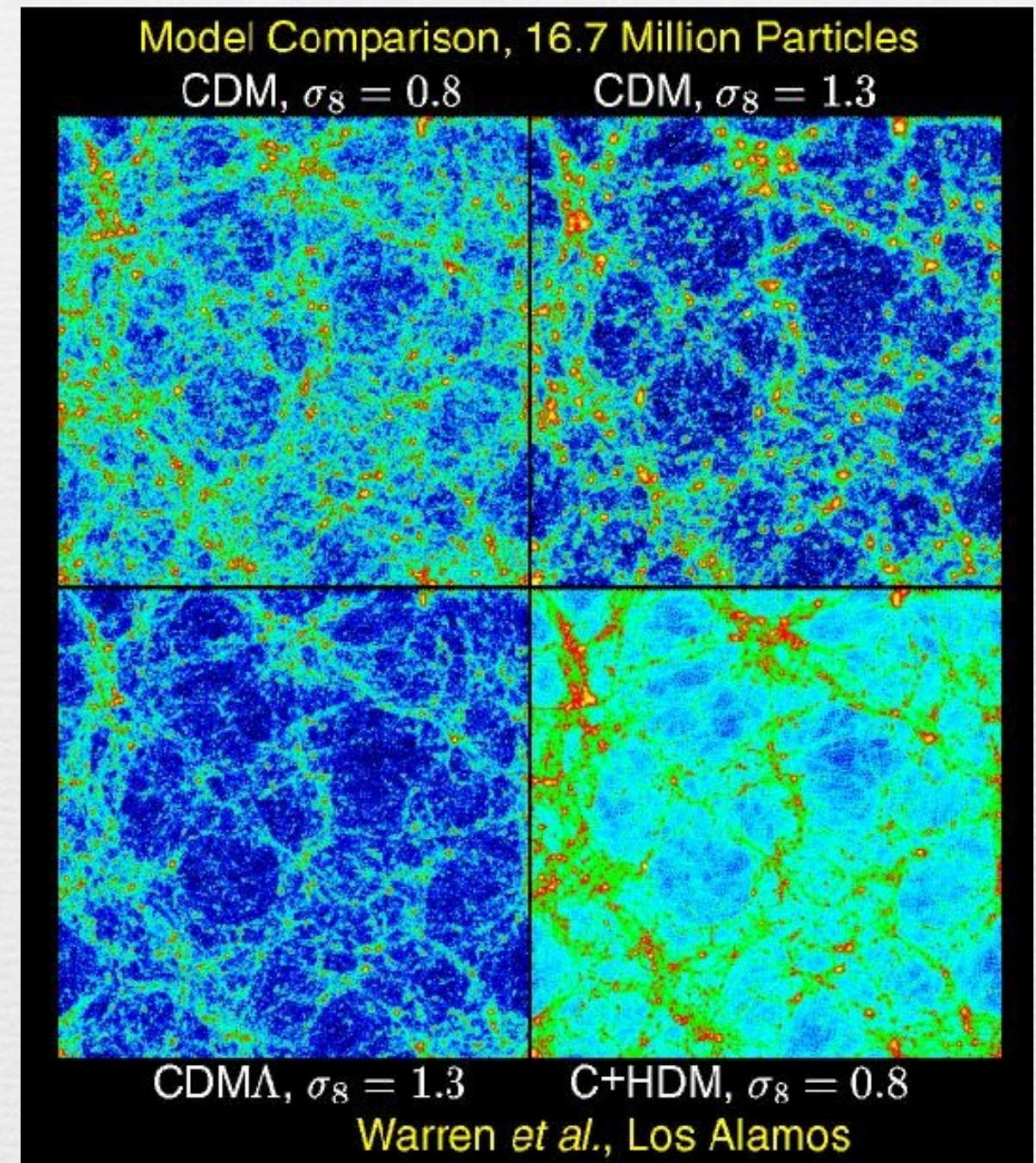
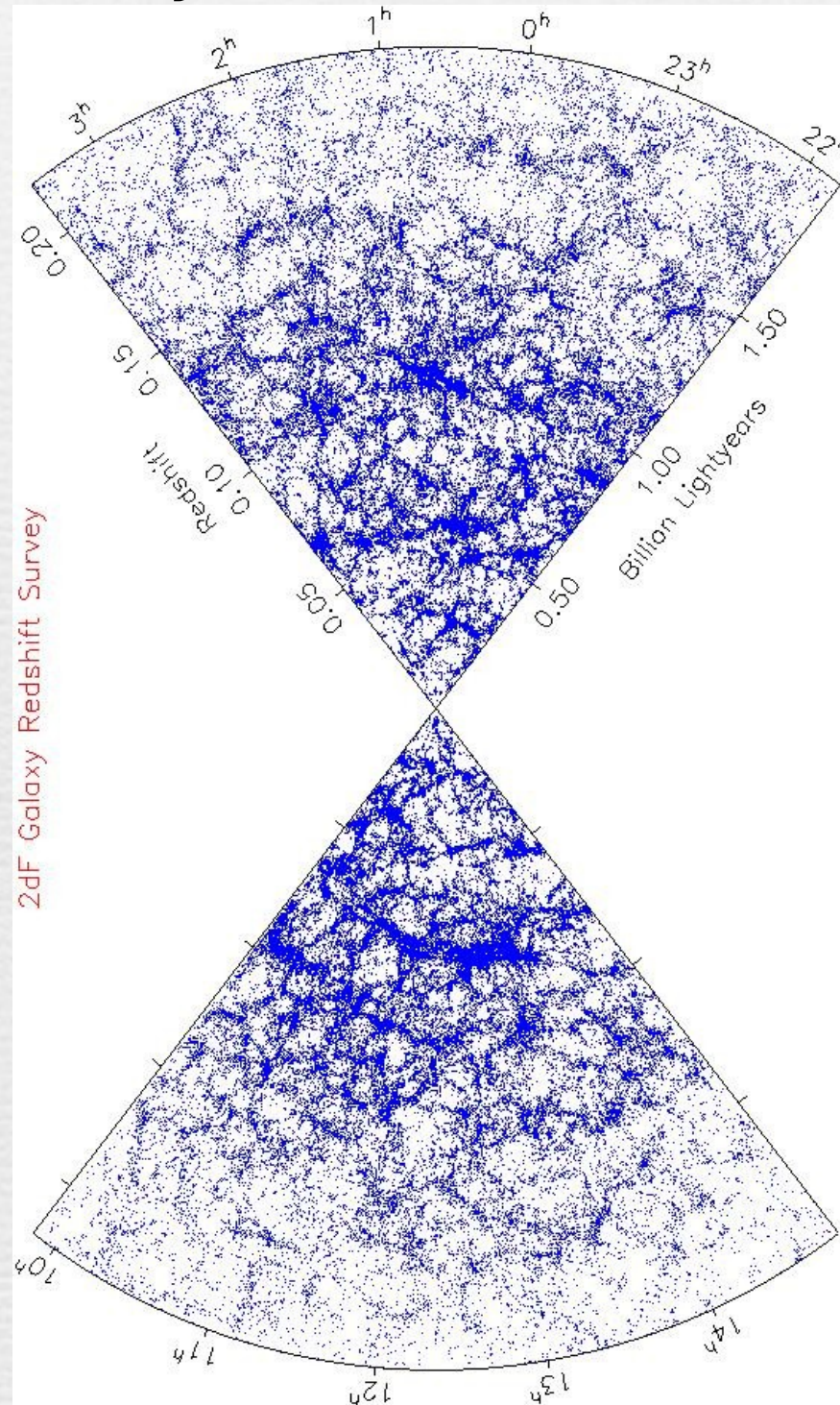
Symulacja na super komputerze jak wielkoskalowe struktury (galaktyki, gromady galaktyk) się formują.



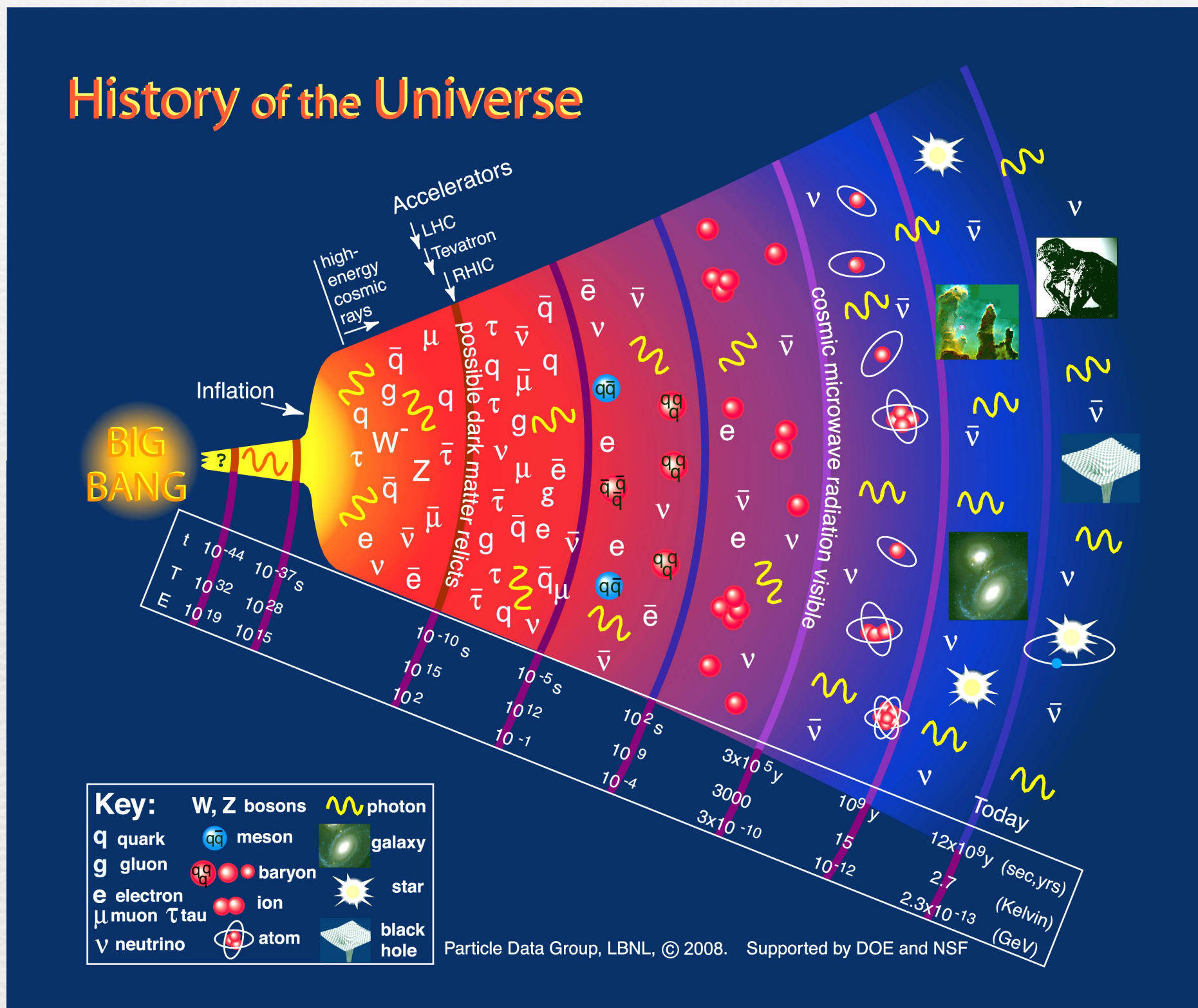
Porównanie obserwacji gromad galaktyk z symulacją

Badanie przesunięcia ku czerwieni
galaktyk 2dF

Symulacja komputerowa

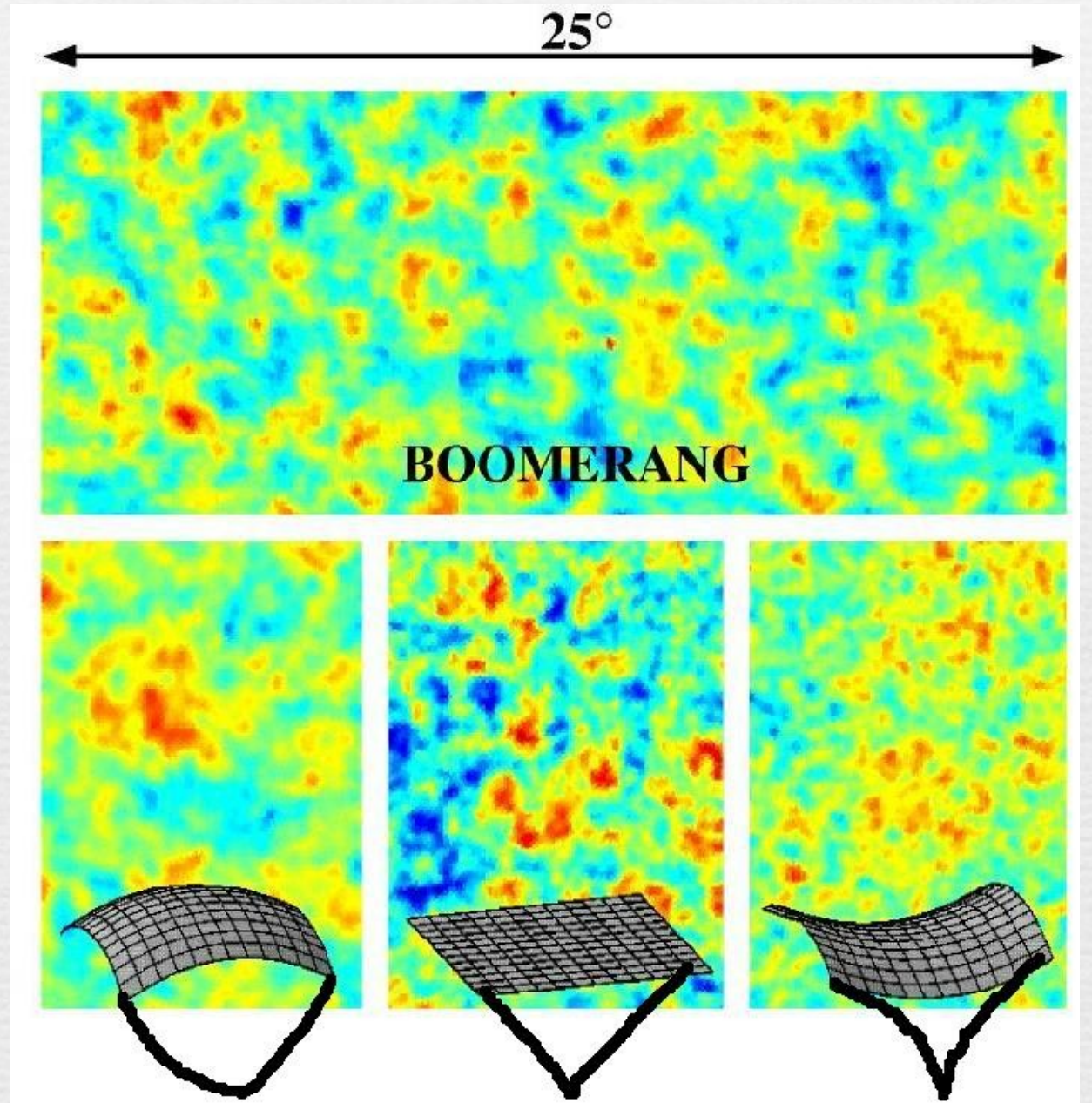
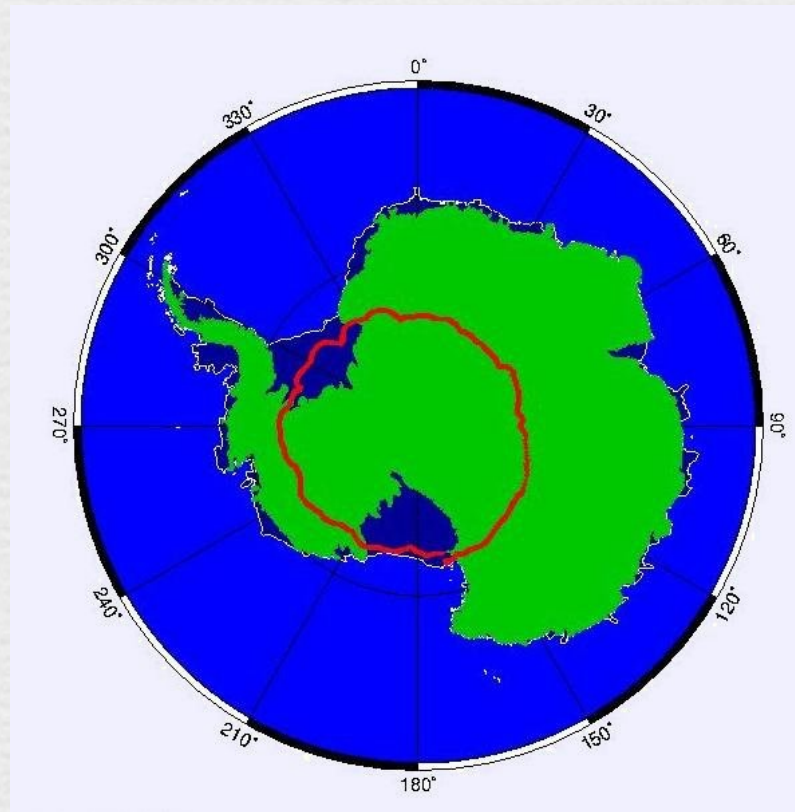


250, 000 galaktyk

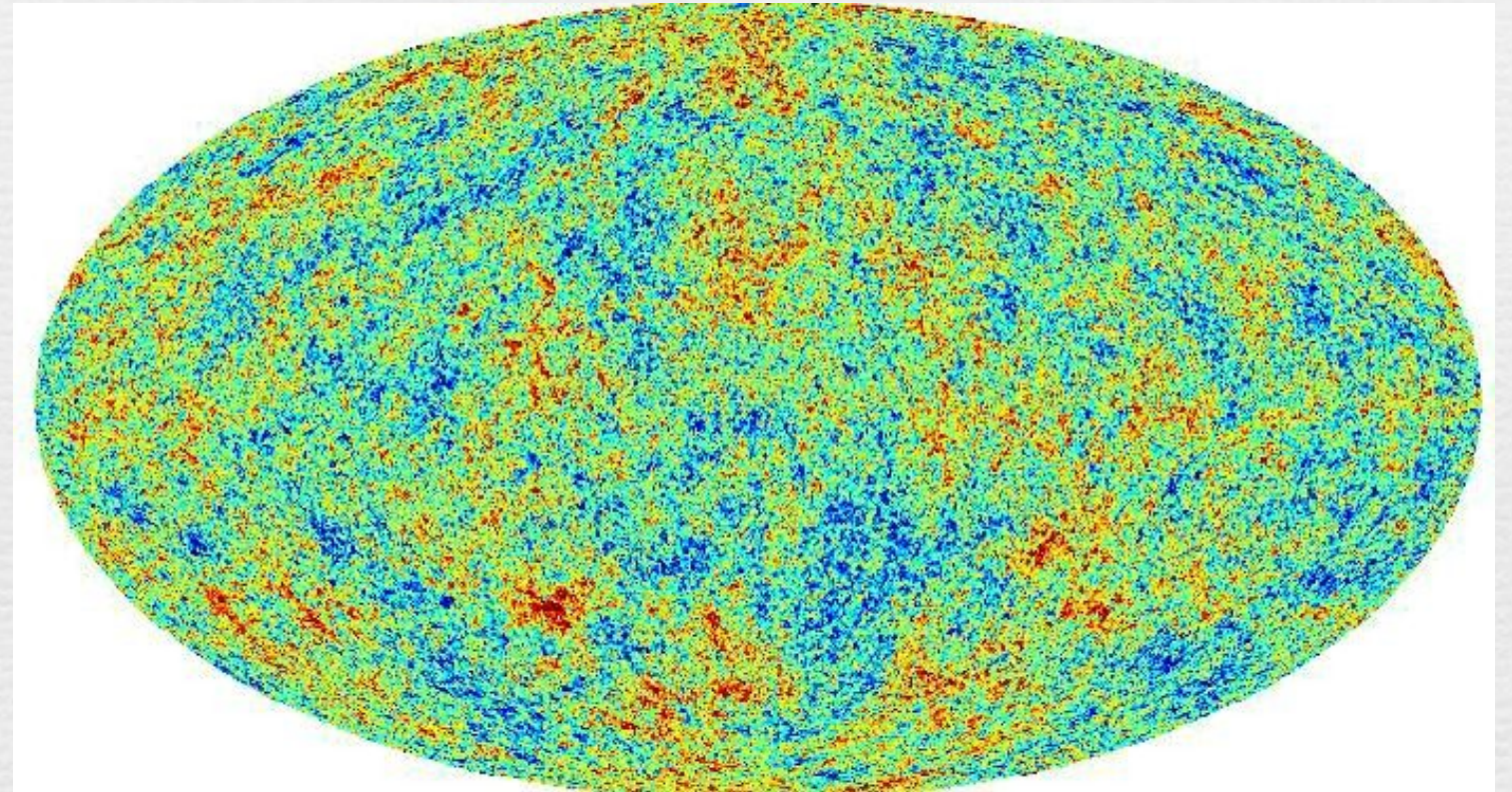
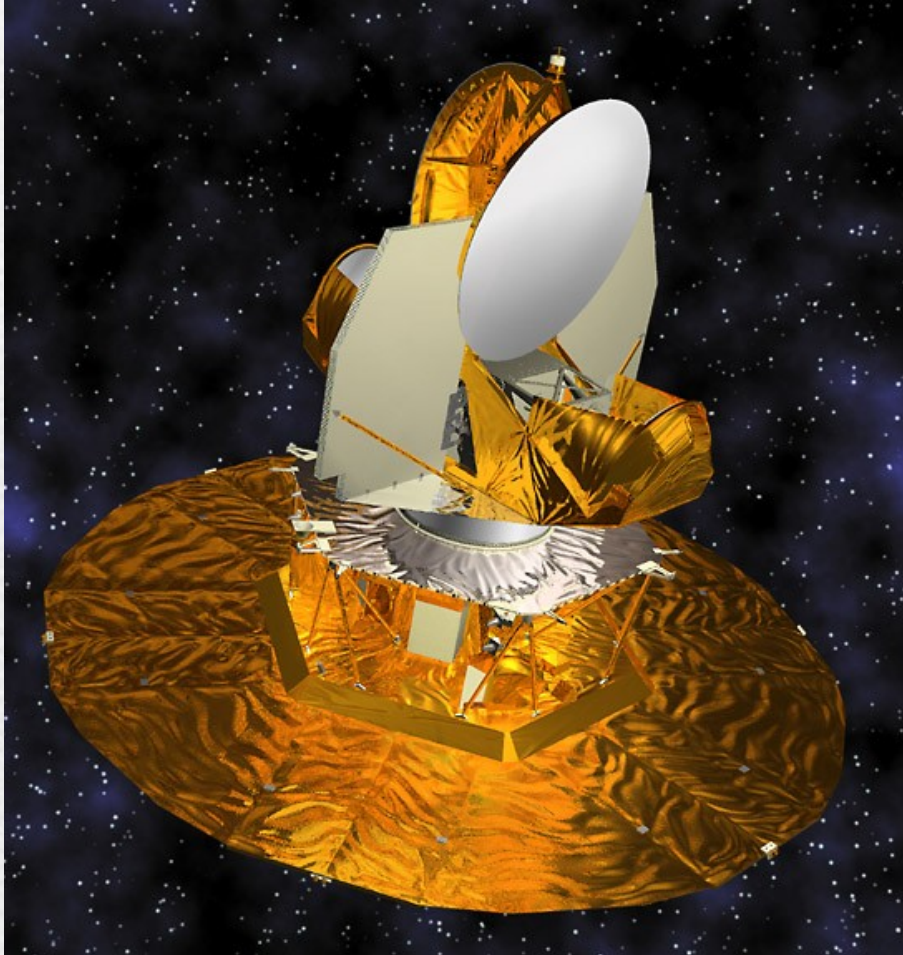


CMB miało niewielkie fluktuacje (anizotropie) z których później wielkie struktury się uformowały.
Szczegóły zależą od własności (składu) Wszechświata

BOOMERANG



Satelita WMAP



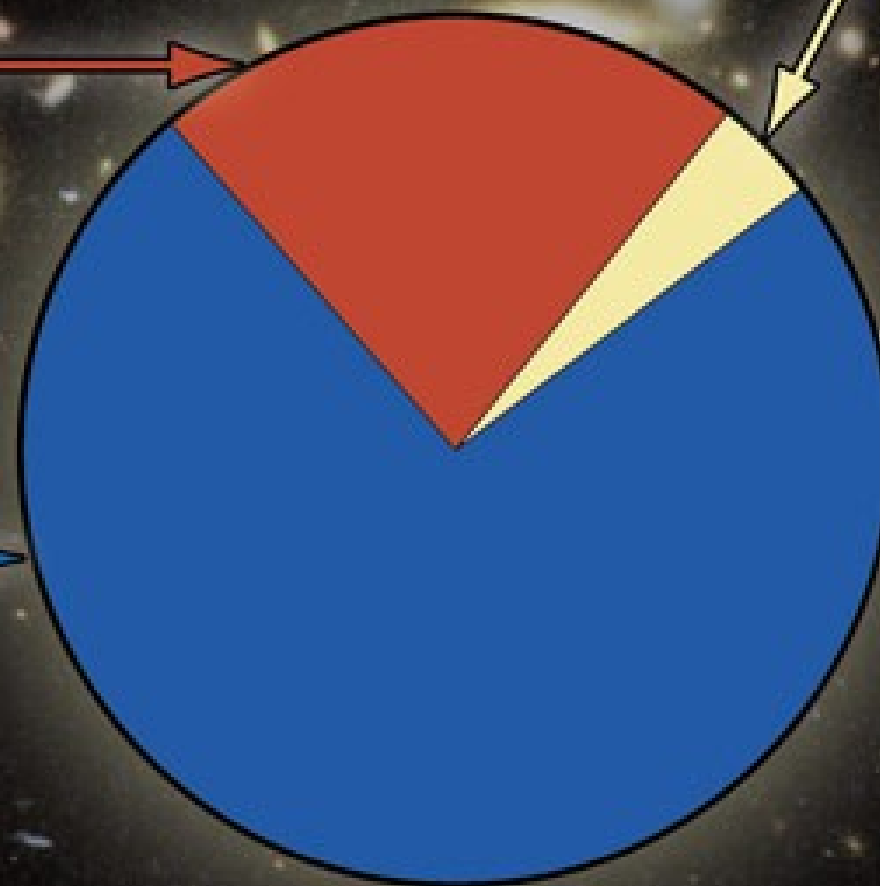
What The Universe Is Made Of

DARK MATTER

21%

DARK ENERGY

74%



NORMAL MATTER



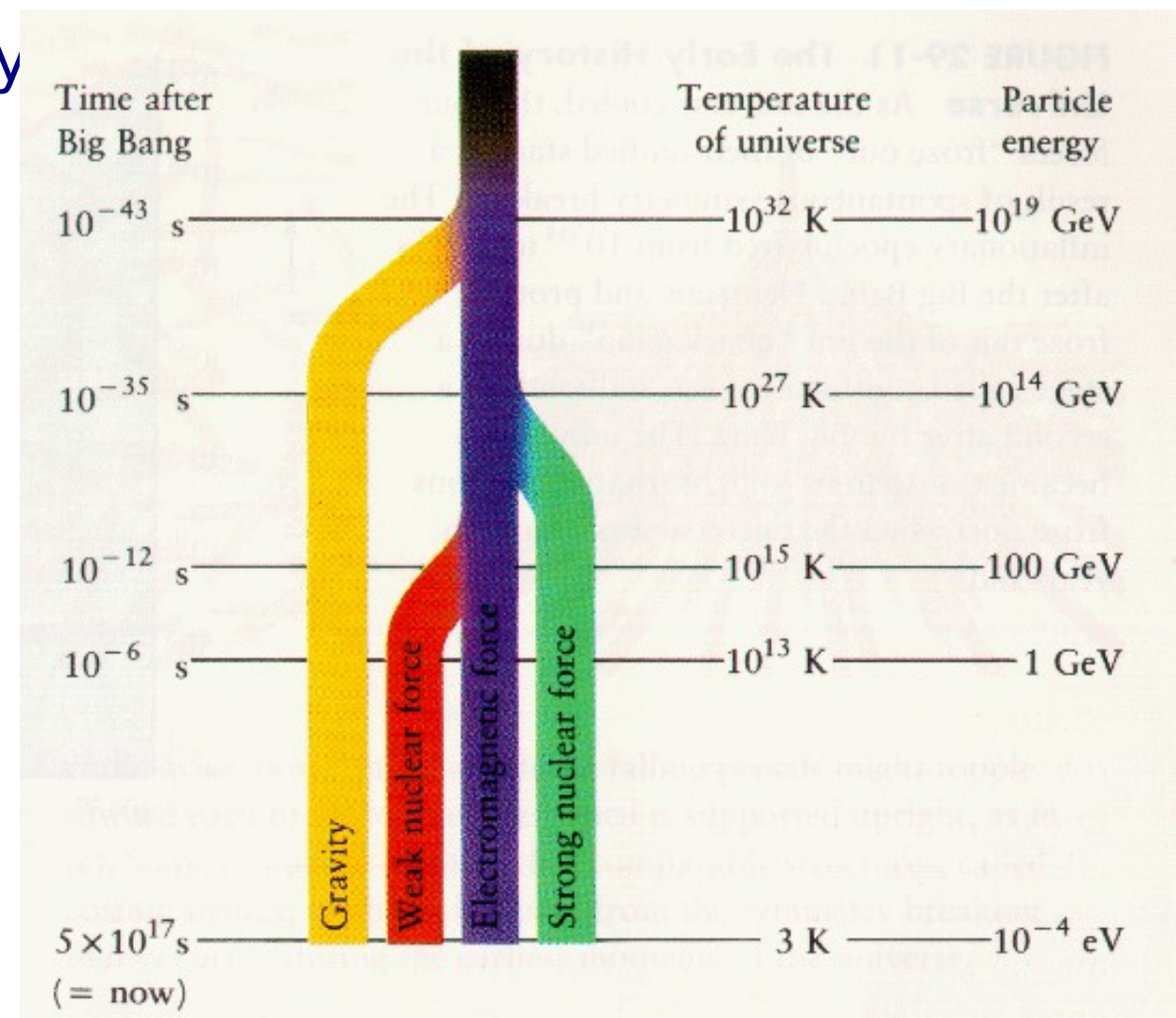
Kandydaci na ciemną materię

Słabo oddziałujące ciężkie cząstki (WIMP)

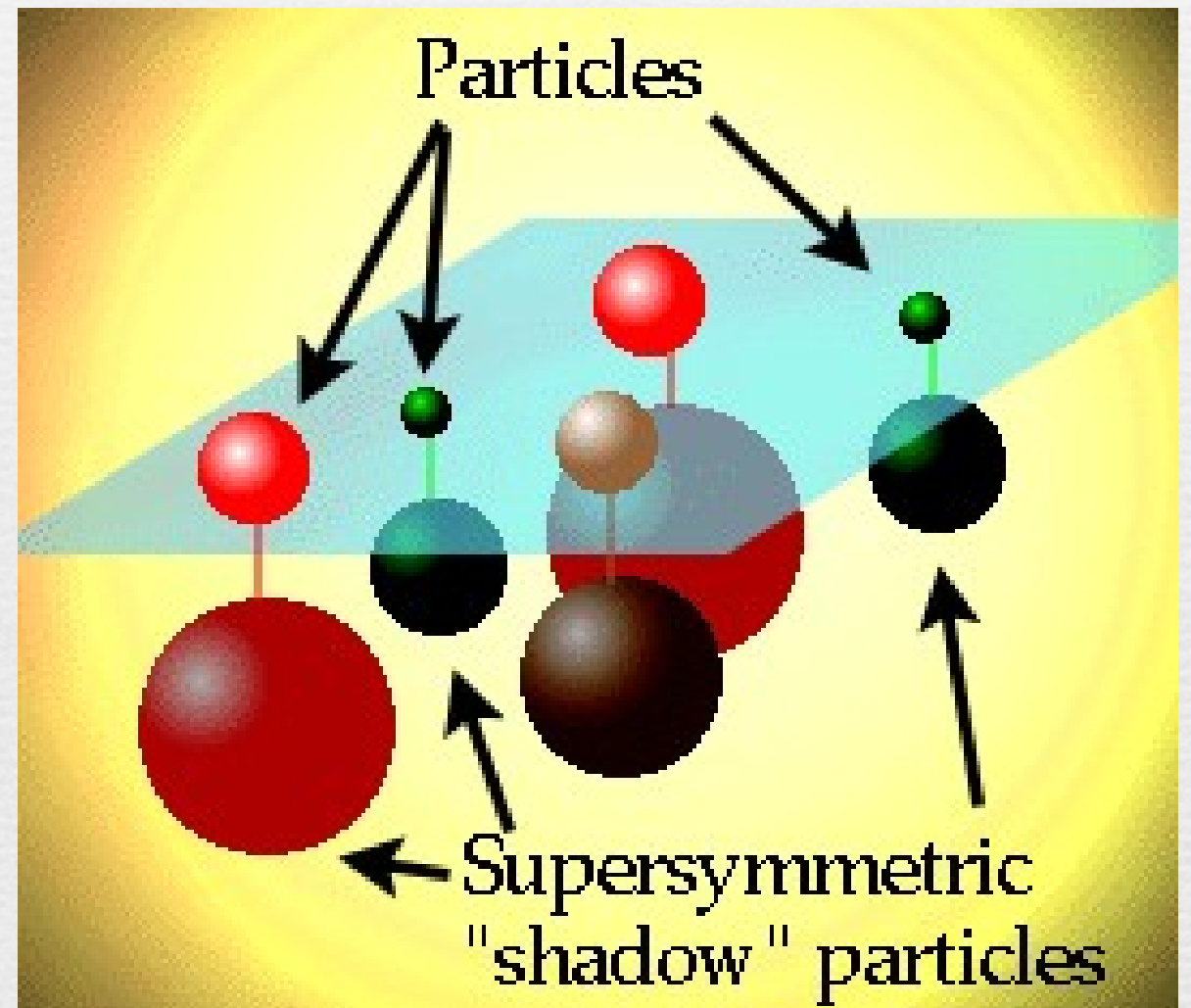
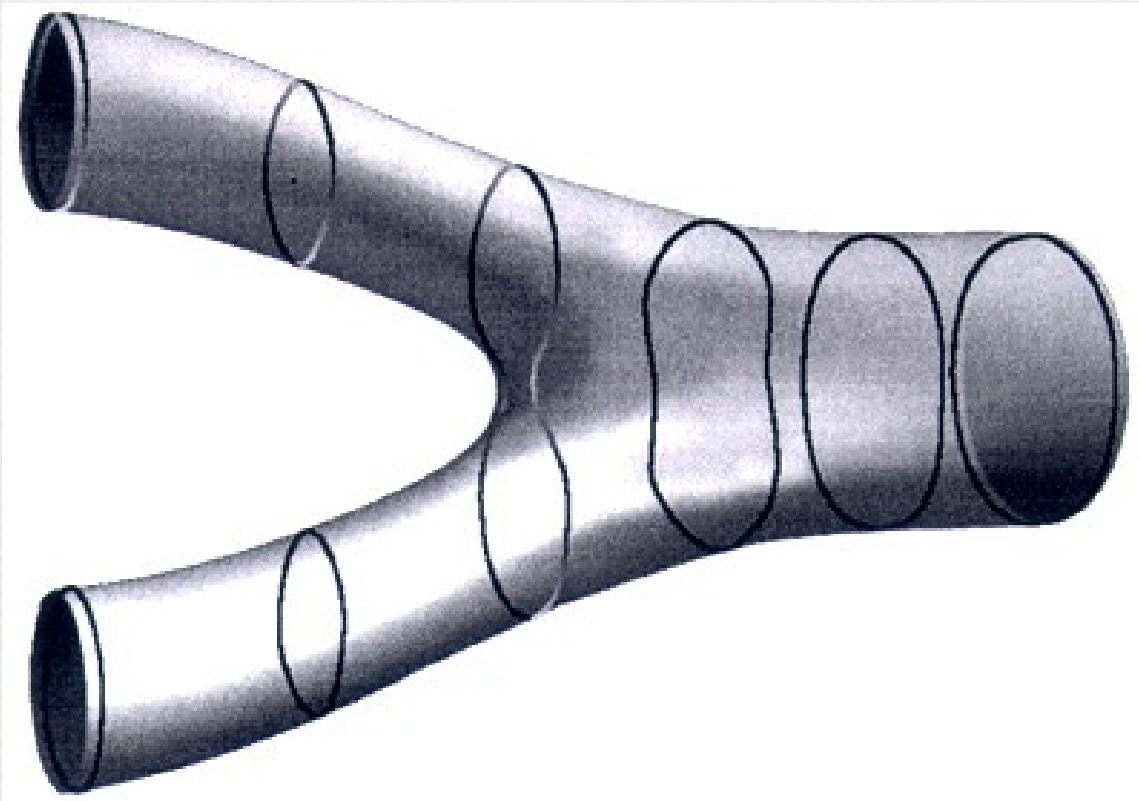
Własności: ciężkie (masa ~ 100 - 1000 mas neutronu)
Oddziałują tylko słabo z normalną materią (nienaładowane)

Czy jest jakiś powód aby WIMP istniały

Tak – modele cząstek elementarnych (takie jak teoria strun), które próbują unifikować fundamentalne siły przyrody przewidują istnienie WIMP



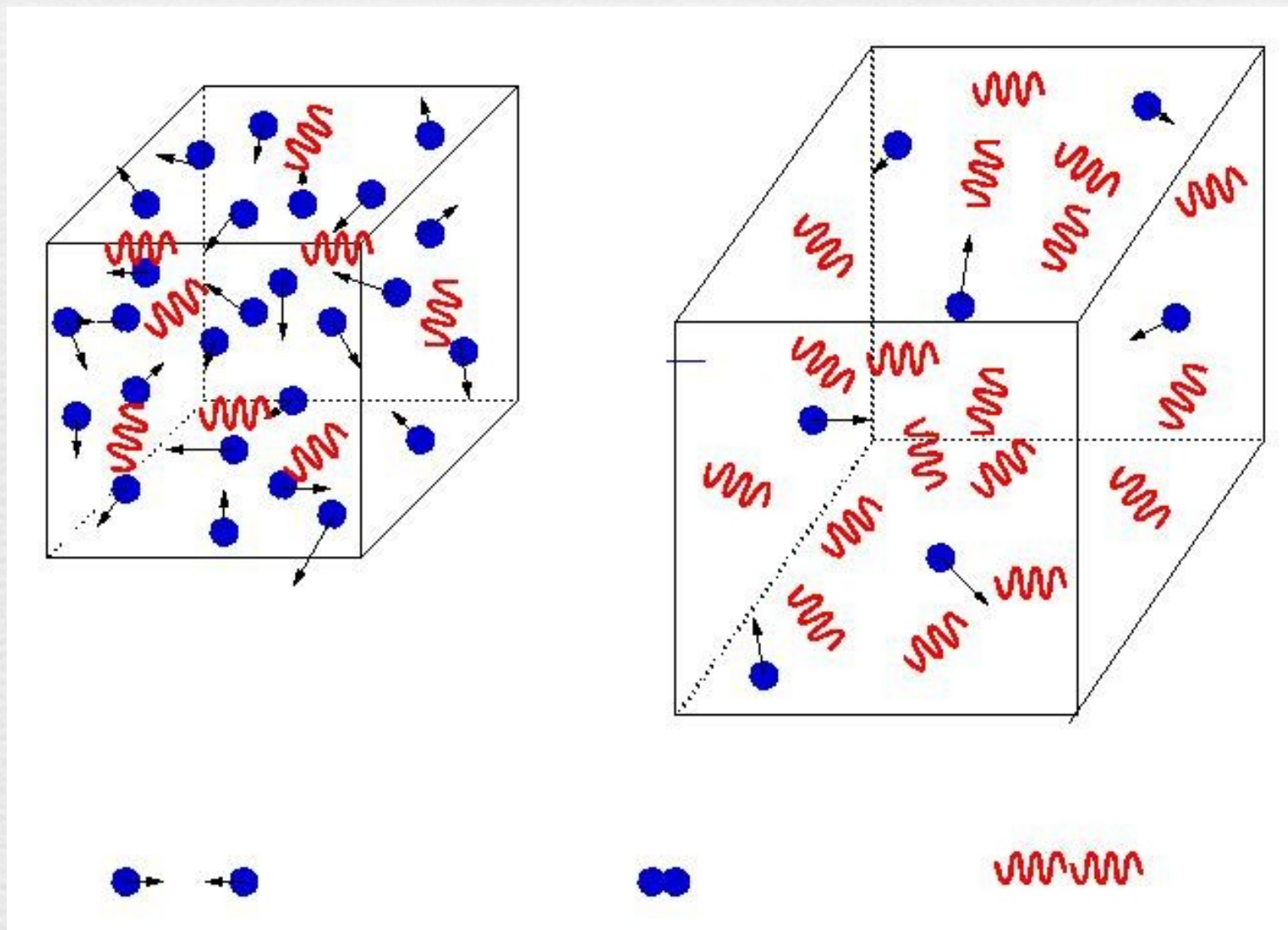
‘Kreskówki’



Oddziaływanie cząstek
w teorii strun

Wczesny Wszechświat jest bardzo gęsty i cząstki WIMP zderzają się ze sobą anihilując (również fotony mogą się zderzać i tworzyć WIMP).

Gdy Wszechświat się rozszerza gęstość WIMP maleje, przestają one zderzać się i anihilować, całkowita liczba WIMP przestaje się zmieniać



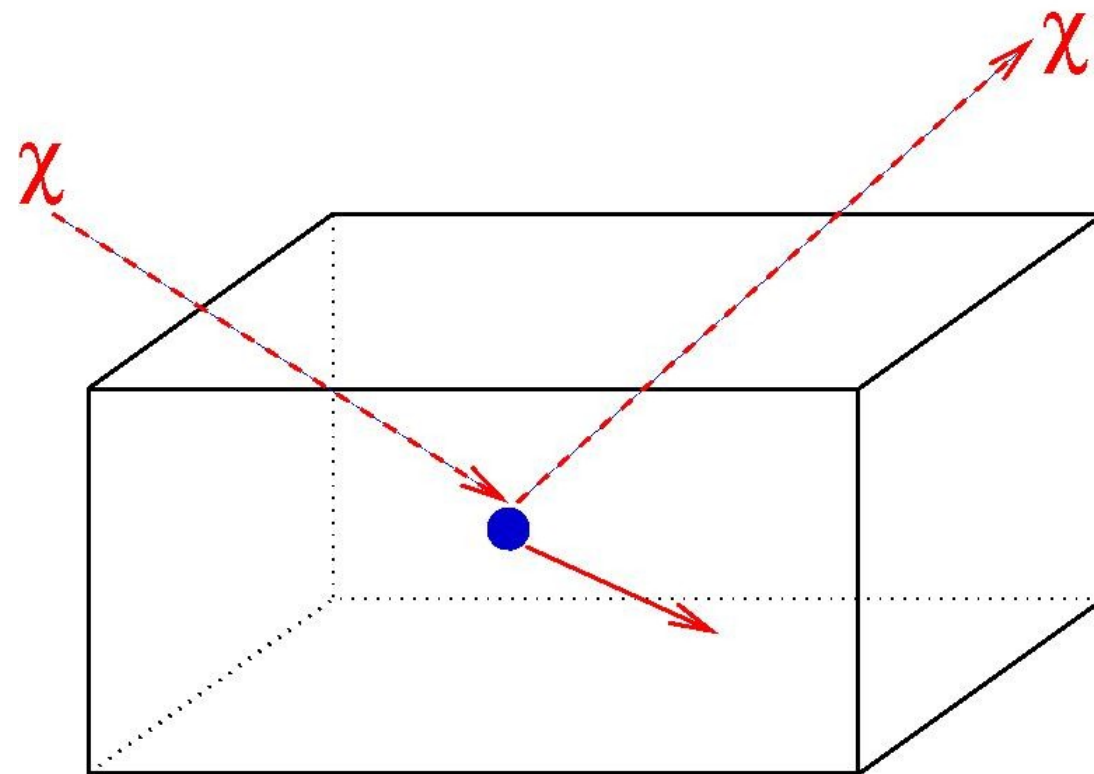
Liczba pozostałych WIMP jest odpowiednia by tworzyły one ciemną materię.

Eksperymenty wykrywające ciemną materię

Bezpośrednie wykrycie (w laboratorium)

Starają się one wykryć halo Mlecznej Drogi gdy przechodzi ono przez detektor.

(jak mikroskopowa gra w bilard z niewidzialną bilą!)



Wykrywają energię odrzutu przez jonizację, scyntylację i/lub wzrost temperatury.

Udajemy się głęboko pod ziemię

(aby odizolować tło które może udawać WIMP)

Kopalnia Boulby

(działająca kopalnia potasu, północno wschodnia Anglia)

+ wiele innych laboratoriów
na świecie.



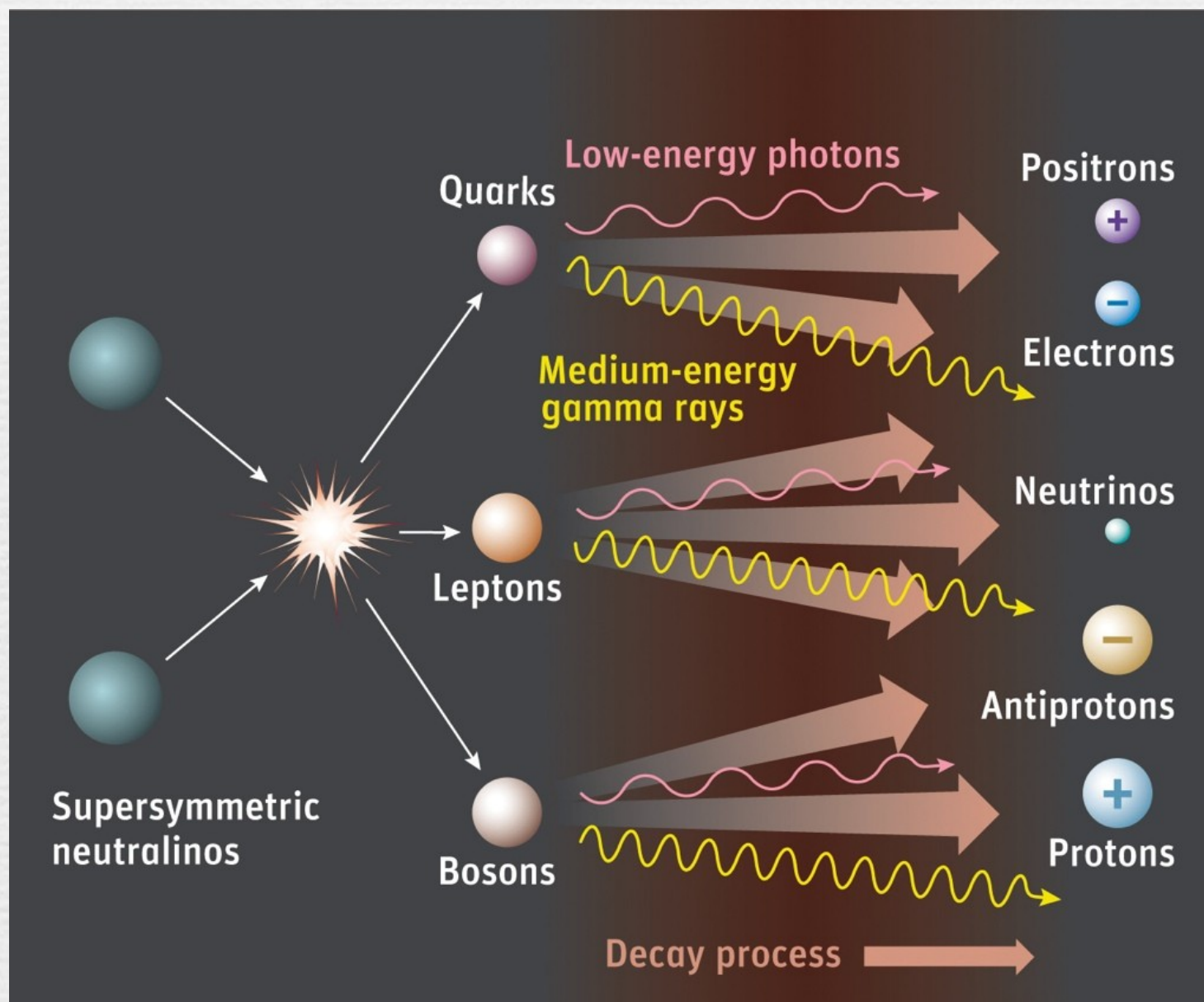
Detektor Zeplin

(zrobiony z ciekłego Xenonu)



Nie bezpośrednie (astrofizyczne) poszukiwania ciemnej materii

WIMP anihilują w halo galaktyk produkując promieniowanie gamma oraz antycząstki



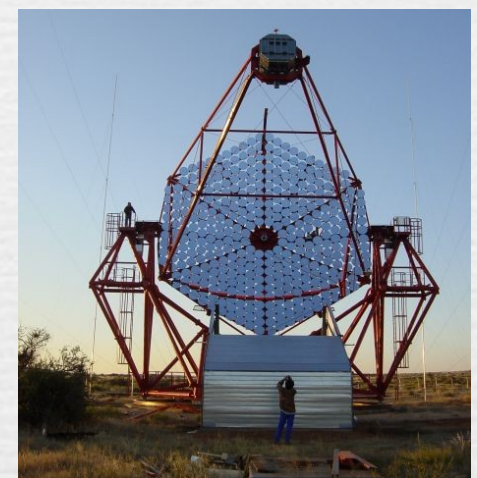
Fermi

Air Cherenkov
telescopes

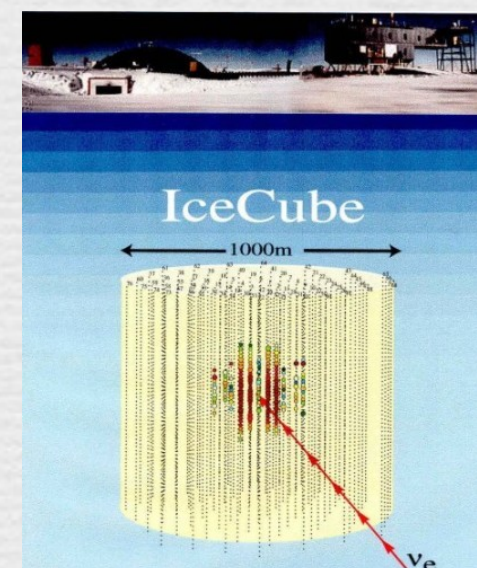
(promieniowanie gamma)



PAMELA
(pozytrony &
antyprotony)



IceCube
(neutrino)



Podsumowanie

- ✿ Jest wiele astronomicznych dowodów, że galaktyki są otoczone przez halo utworzone z ciemnej materii, większość materii Wszechświata jest ciemna i egzotyczna.
- ✿ Fizyka cząstek daje nam dobrego kandydata na ciemną materię: Słabo oddziałujące ciężkie cząstki (WIMP)
- ✿ WIMP są szukane przez podziemne laboratoria oraz teleskopy. Jeśli istnieją mogą być odkryte w ciągu kilku najbliższych lat.