

# Wszechświat w mojej kieszeni

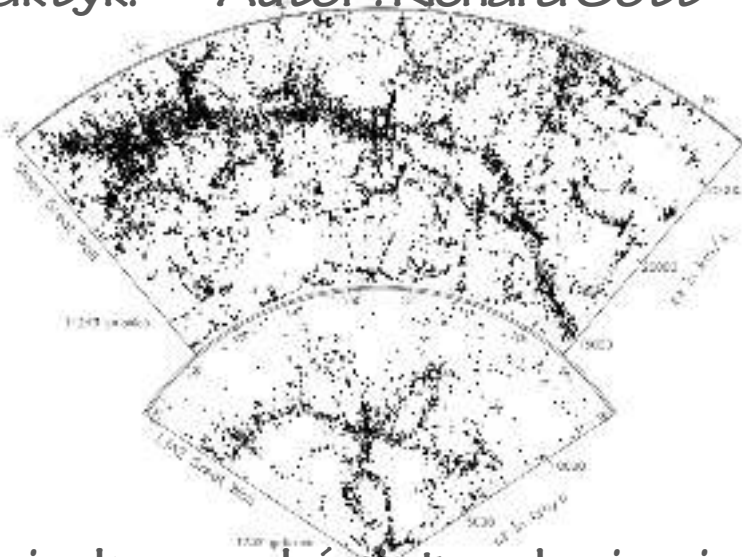
A visualization of the cosmic web, showing a complex network of purple and blue filaments with bright yellow and orange nodes representing galaxy clusters and individual galaxies.

## Sieci kosmiczne

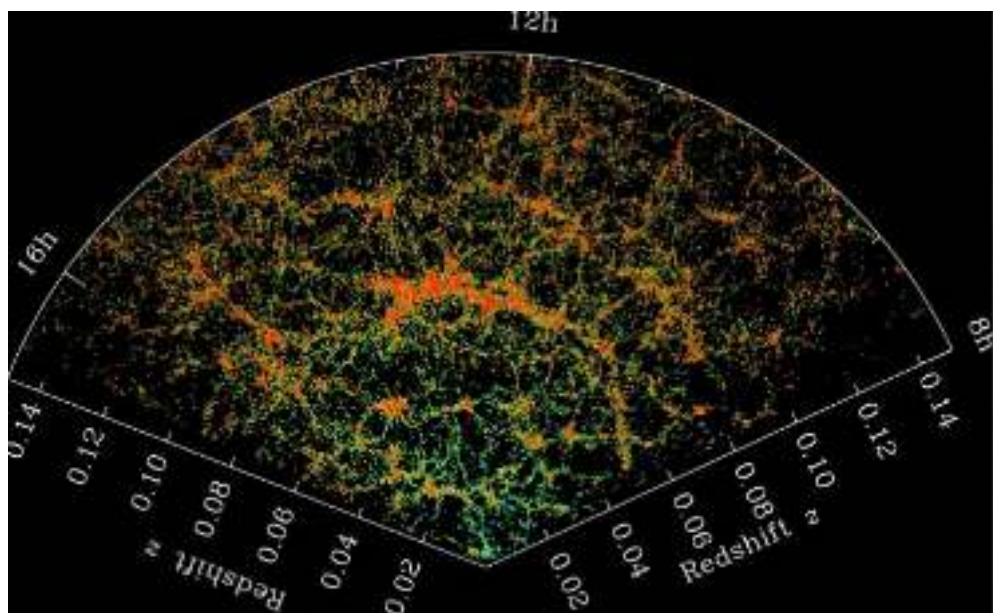


Françoise Combes  
Observatorium Paryskie

Wycinek wszechświata odzwierciedlony przez CfA2. Każdy punkt oznacza galaktykę. Widoczna jest ogromna "ściana" galaktyk. Autor: Richard Gott



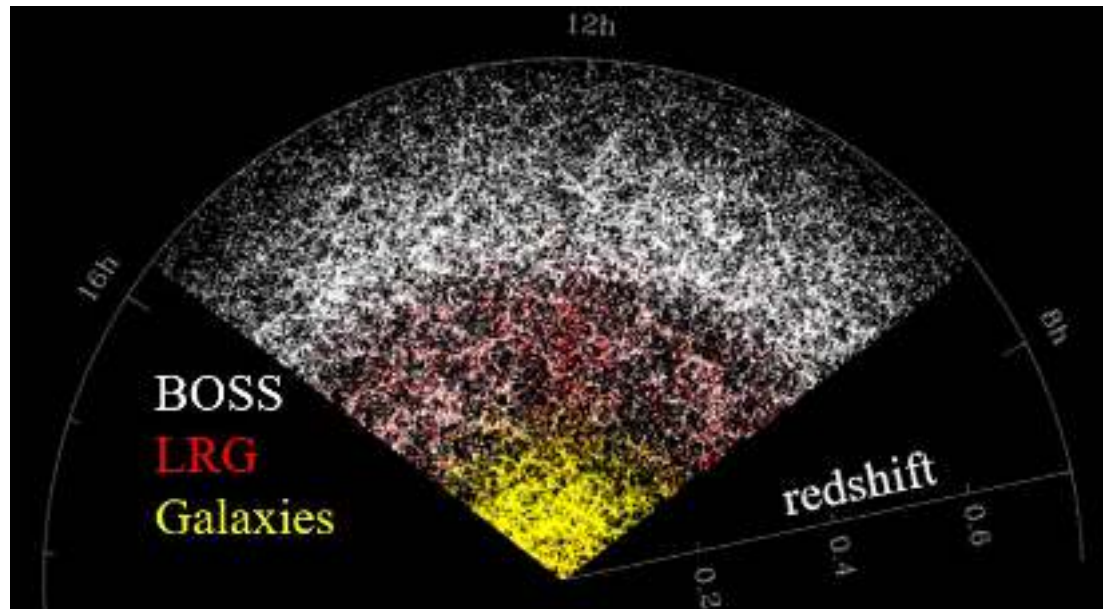
Wycinek wszechświata odzwierciedlony w 2000 roku przez SDSS. Widoczne "ściany" są nawet większe, niż w CfA2.



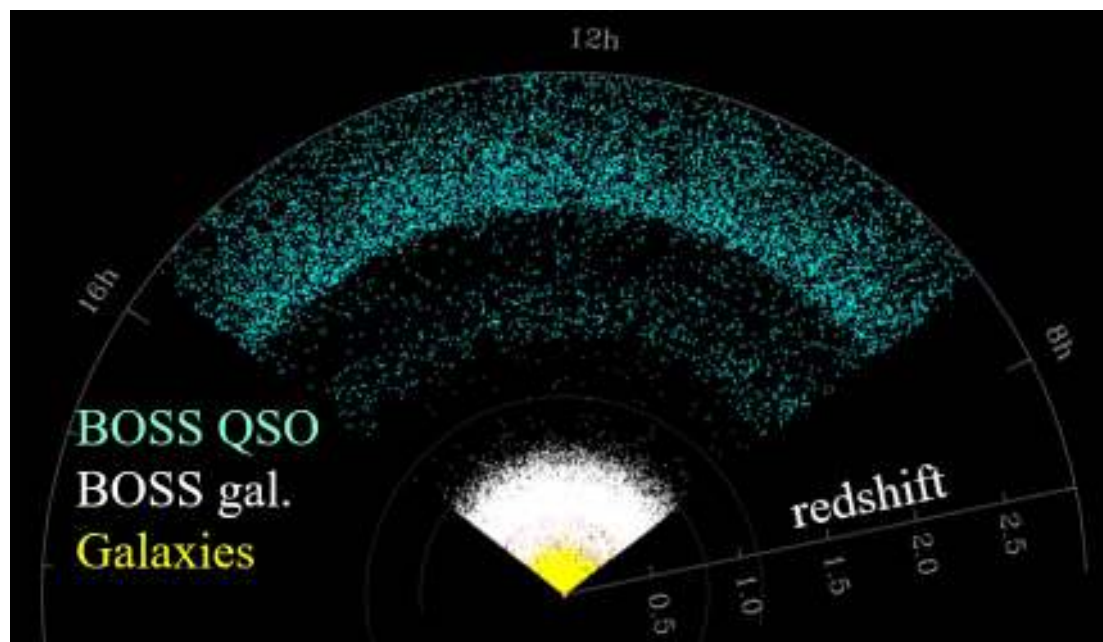
# Pobliski Wszechświat jest uporządkowany

W 1925 roku odbyła się wielka debata, z której wynikało, że istnieją galaktyki poza naszą Drogą Mleczną. Wkrótce przeprowadzono duże przeglądy takich galaktyk. Odkryto, że „pobliski” Wszechświat nie jest jednorodny, ale składa się z mniej lub bardziej spłaszczonych skupisk galaktyk o strukturze przypominającej szwajcarski ser, zawierających duże puste przestrzenie. Struktura ta nazywa się siecią kosmiczną. Pierwszym przeglądem „objętościowym”, podającym pozycje galaktyk wraz z ich odległościami (mierzonymi przesunięciami ku czerwieni\*) był przeprowadzony pod koniec XX wieku przegląd CfA2. Obserwacja 18 000 galaktyk zajęła dziesięć lat. Spektrografy XXI wieku umożliwiają jednoczesną obserwację setek galaktyk i przeglądanie milionów galaktyk. Takie badania obejmują 2dF wykonane w Australii i SDSS z USA.

\* patrz TUIMPy 2 i 12. 3



Główna próbka galaktyk SDSS została zaznaczona na żółto. Jasne galaktyki czerwone (LRG) zaznaczono na czerwono, a galaktyki projektu BOSS na biało. Kwazary (QSO) projektu BOSS oznaczono na zielono.



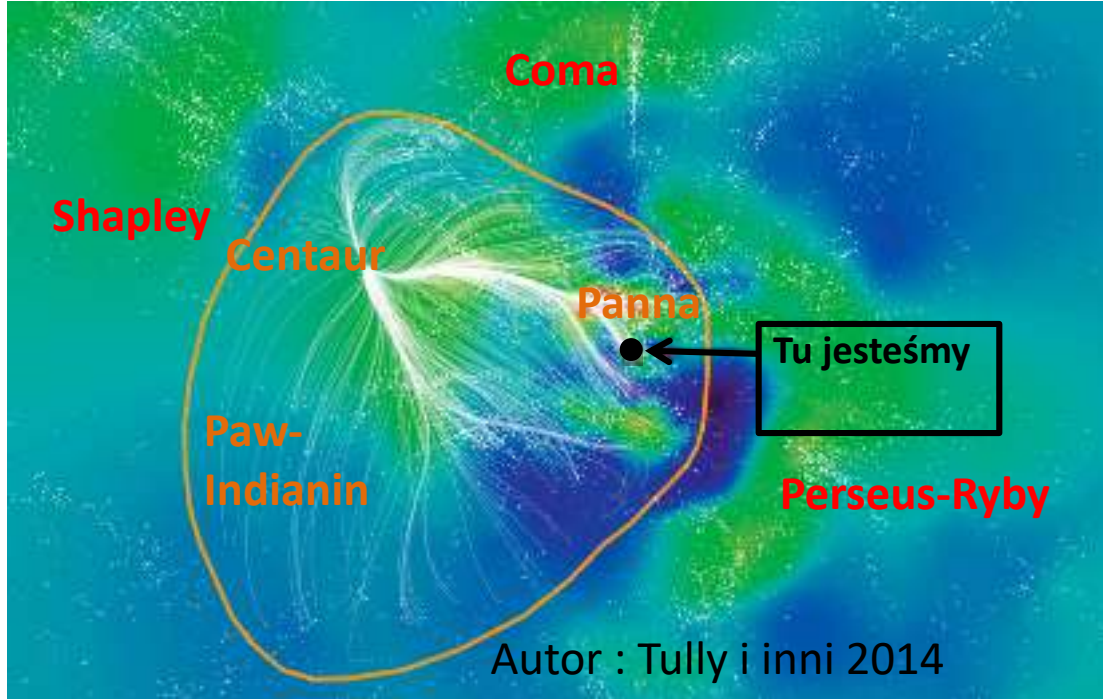
## Głębsze przeglądy

Średnie przesunięcie ku czerwieni głównej próbki galaktyk SDSS to  $z=0.1$ . Odpowiada ono odległości 1.5 miliarda lat świetlnych. Próbkę jasnych czerwonych galaktyk sięga do  $z=0.7$ . Projekt BOSS sięga do  $z=1$  (22 miliardy lat świetlnych). Z wykorzystaniem kwazarów, które są jaśniejsze od galaktyk, można sięgnąć nawet do  $z=5$  (155 miliardów lat świetlnych).

Tak jak należało się spodziewać, Wszechświat jest mniej uporządkowany na większych przesunięciach ku czerwieni, czyli wówczas gdy był młodszy\*. Gromady galaktyk powstają na  $z=2$  (3.3 miliardy lat po Wielkim Wybuchu). Filamenty oraz struktura przypominająca ser szwajcarski istniała już wówczas, ale była mniej wyraźna, niż obecnie.

\* Zobacz TUIMP 125





Autor : Tully i inni 2014

Odwzorowanie lokalnej supergromady Laniakea, co w języku hawajskim znaczy "ogromne niebo". Została ona tak nazwana na cześć Polinezyjskich navigatorów, którzy wykorzystywali swoją wiedzę o niebie do nawigacji na Oceanie Spokojnym.

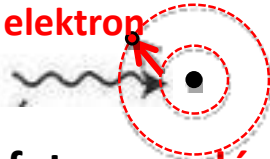
Nasza Galaktyka znajduje się w pobliżu tego dużego czarnego punktu w centrum. Galaktyki zostały zaznaczone jako białe punkty. Białe linie oznaczają kierunek w jakim poruszają się te galaktyki. Niebieskie obszary oznaczają pustkę kosmiczną. Pomarańczową linią zakreślono obszar super-gromady Laniakea . Zatem gromady Coma i Perseusz-Ryby nie są częścią Laniakei.

# Laniakea : nasza supergromada

Nasza galaktyka znajduje się na obszerzach supergromady galaktyk, odkrytej w 2014 roku i nazwanej Laniakea. Struktura ta powoli się rozpada. Ma ona średnicę 500 milionów lat świetlnych i zawiera ponad sto tysięcy galaktyk. Aby wykryć Laniakea, koniecznym było zmierzenie odległości do galaktyk z metodami, które nie wykorzystują prędkości radialnych lub prawa Hubble-Lemaître\*. W rzeczy samej, prędkości radialne galaktyk oprócz składowej związanej z kosmologiczną ekspansją, posiadają zaburzenia wynikające z ich wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego. Dzięki temu możliwe jest stwierdzenie czy galaktyka jest dynamicznie związana z innymi, a zatem czy przynależy do tej samej grupy.

\*Zobacz TUIMP 12

Wzbudzony elektron



kwazar

foton

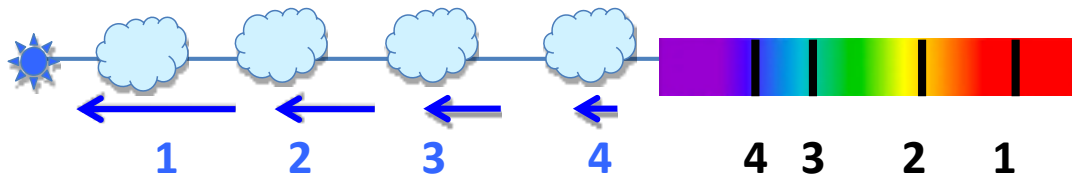
wodór



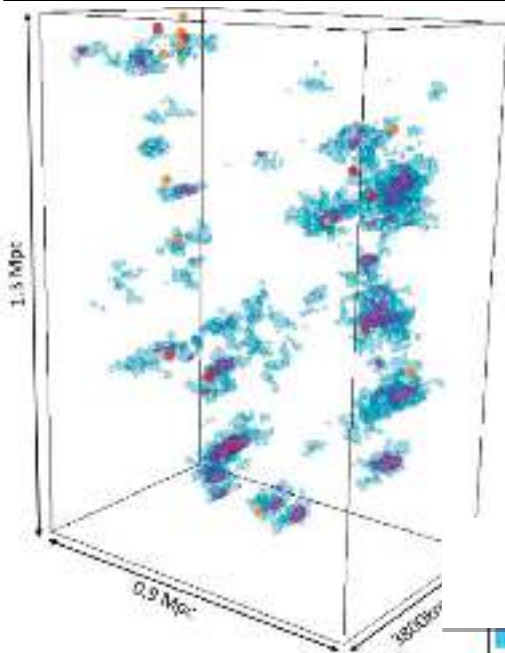
linia absorbcyjna

widmo kwazara

Energetyczne fotony pochodzące z kwazara mogą posiadać wystarczającą energię, by wzbudzić atom wodoru. Fotony te są absorbowane, w wyniku tego w widmie kwazara powstają linie absorbcyjne.



Każdy obłok gazowy znajdujący się między nami, a kwazarem pochłania takie fotony, których długości fali odpowiadają przesunięciu ku czerwieni danego obłoku.



Z lewej: rozkład przestrzenny filamentów w gromadzie SSA2. Niebieski i magenta: gaz. Czerwony i pomarańczowy: galaktyki. Filamenty posiadają rozmiary kilku milionów lat świetlnych.



Z pracy Umehata i inni (2019).



## Gaz w filamentach

Do niedawna filamenty kosmiczne były wykrywane jedynie za pomocą zawartych w nich galaktyk. Jednakże w ich skład wchodzi również rozrzedzony gaz i ciemna materia. Atomy wodoru w tym gazie pochłaniają światło z odległych kwa-zarów. Można zatem odwzorować rozkład objętościowy filamentów (zobacz str. 8). Gaz w filamentach może być również detektowany za pośrednictwem swojej emisji, gdy jest wzbudzany przez gorące gwia-zdy i kwazary. Halo gazowe zostało wykryte wokół 270 galaktyk między przesunięciami ku czerwieni od 2 do 6. Odkrycia tego dokonała grupa europejskich astronomów, dzięki ekstremalnej czułości instrumentu MUSE zainstalowanego na Bardzo Dużym Teleskopie (VLT) należącym do ESO.



50 kpc

Wynik symulacji numerycznych\* Agertz'a i innych (2009) pokazuje opadanie zimnego gazu na galaktyki wzdłuż kosmicznych filamentów oraz wyrzuty gazu wzbogaconego w ciężkie pierwiastki wyprodukowane w gwiazdach. **Na niebiesko, zimny gaz. Na czerwono, gaz podgrzany do bardzo dużych temperatur. Na zielono, wzbogacony gaz wyrzucany przez galaktyki,**

\* Symulacje numeryczne to obliczenia wykonane na komputerze, które mają na celu odwzorowanie rzeczywistych układów uwzględniając prawa fizyki. Na przykład, można wykonać symulacje przepływu rzeki, powstawania galaktyki itp. Symulacje wykonywane nawet na najszybszych komputerach mogą liczyć się miesiącami.

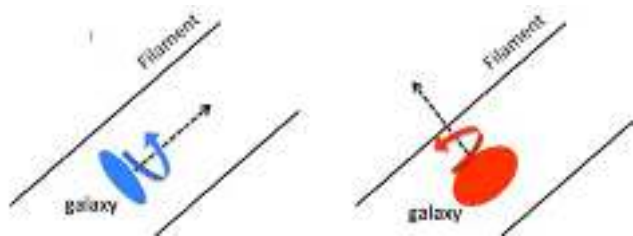
# Barjony w filamentach

W przeciwieństwie do tego czego należałoby się spodziewać najbardziej rozpowszechniona materia (barjony) nie jest w galaktykach. Wszechświat jest złożony z 5% barjonów, 25% ciemnej materii i 70% ciemnej energii. Zatem frakcja barjonów w materii wynosi  $5/(25+5)=17\%$ . Jak zostało zmierzone frakcja barjonów w galaktykach nie przekracza 3%. Ponad 80% barjonów znajduje się zatem na zewnątrz galaktyk. Uważa się, że te barjony zostały wyrzucone przez supernowe w galaktykach o małych masach lub przez aktywne jądra\* w bardziej masywnych galaktykach. Wyrzuty materii wzbogacają przestrzeń międzygalaktyczną w ciężkie pierwiastki powstające w gwiazdach, takie jak węgiel, tlen czy żelazo.

\* Zobacz TUIMP 6 1 1



Masywne galaktyki eliptyczne, zaznaczone na czerwono, skoncentrowane są na przecięciach filamentów. Galaktyki spiralne, zaznaczone niebieskim, znajdują się wewnątrz filamentów.



Osie rotacji galaktyk spiralnych są skierowane wzdłuż filamentów. Galaktyki eliptyczne, które powstają w wyniku zderzenia się galaktyk spiralnych, mają osie rotacji skierowane prostopadle do filamentów.

# Orientacja galaktyk

Różne galaktyki bywają znajdowane w różnych miejscach. W gromadach, zwykle znajdujemy masywne galaktyki eliptyczne na przecięciu filamentów. Te galaktyki zawierają tylko stare gwiazdy (dlatego są czerwone). Wewnątrz samych filamentów znajdujemy galaktyki spiralne. Galaktyki te akreują zimny gaz, z którego powstają gwiazdy; to daje im ich charakterystyczny niebieski kolor. Gaz opadający na niebieskie galaktyki pochodzi z zewnętrznych części filamentów, a oś rotacji tych galaktyk zwykle jest skierowana równoległe do filamentów. W przypadku czerwonych galaktyk eliptycznych, które są często wynikiem zderzenia dwóch galaktyk dyskowych, jest wprost przeciwnie. Na stronie 12 pokazano to za pomocą symulacji numerycznej.





# Quiz

Które z tych obrazów pokazują :

- Ułożenie galaktyk?
- Filamenty kosmiczne?
- Pajęczynę ?



Odpowiedzi na  
odwrocie strony

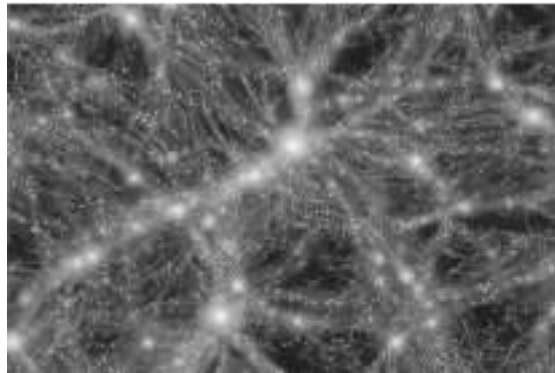
Ułożenie galaktyk w  
gromadzie MACS  
J0416.1-2403  
pokazane przez  
Kosmiczny Teleskop  
Hubble'a

# Odpowiedzi



Pajęczyna

Symulacja sieci  
kosmicznej



# Wszechświat w mojej kieszeni Nr 13

Książeczka ta została napisana przez Françoise Combes z Obserwatorium Paryskiego (Francja) w 2020 roku.

Nr 1

Okładka: Symulacja numeryczna rozkładu ciemnej materii w sieciach kosmicznych. Im jaśniejszy kolor, tym większa gęstość. Galaktyki formują się wzdłuż filamentów, a gromady galaktyk na przecięciu się filamentów. Symulacja ta jest częścią projektu Millenium, Autor: Springel i inni (2005).



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii oraz tematyce przedstawionej w tej książeczce, zapraszamy na stronę <http://www.tuimp.org>

Tłumaczyła: Anna Wójtowicz  
TUIMP Creative Commons

