

a jego sformułowaniem w wersji Grothendiecka. Przy czym uogólnienia Grothendiecka są zawsze bardzo głębokie.

— *Kiedy dzieci w szkołach będą uczyć się o Grothendiecku?*

Kiedyś, jako student myślałem, że ludzkość osiągnie taki poziom, że w kioskach zamiast, no powiedzmy „Boksu” czy „Przeglądu Sportowego” ludzie będą kupować „Fundamenta Mathematicae”, a w szkołach dzieci będą się uczyć „poważnej” matematyki. Ale teraz już tak nie myślę ...

— *Dziękuję za rozmowę.*

Rozmawiał *Michał SZUREK*

## Lokalna Supergromada

*Mgr Krzysztof GÓRSKI*

Jednym z najważniejszych przedsięwzięć dzisiejszej astronomii jest realizowany przez kilka grup naukowych w Stanach Zjednoczonych i jedną w Związku Radzieckim systematyczny program badań największych rozpoznawalnych dotychczas skupisk materii we Wszechświecie — tzw. supergromad. Badania te mają kapitalne wręcz znaczenie dla kosmologii. W pewnym sensie centralnym jej problemem jest znalezienie zadowalającej odpowiedzi na pytanie: „Jak powstały galaktyki?”. Obecnie nikt nie jest jeszcze w stanie odpowiedzieć na nie jednoznacznie. Teoria powstawania galaktyk rozwijana jest obecnie przez zwolenników jej dwóch rozłącznych, dopełniających się wariantów. Aby w ogóle we Wszechświecie powstały jakiegokolwiek obiekty, konieczne jest istnienie pierwotnych niejednorodności. Na razie nie wiadomo jeszcze, skąd się owe niejednorodności wzięły i jak wyglądały, więc zakłada się a priori ich istnienie w najprostszej z możliwych postaci. Tu właśnie różnią się poglądy kosmologów-teoretyków. Jedni zakładają, że w „cieczy” wypełniającej Wszechświat, złożonej z materii i promieniowania, silnie ze sobą sprzężonych w dostatecznie wczesnych epokach, zaburzenia była tylko gęstość składowej materialnej. Zaburzenia takie nazywają się izotermicznymi. Drudzy — przeciwnie — twierdzą, że zaburzenia tzw. adiabatyczne, istniały w „cieczy” traktowanej jako całość.

**Każde realistyczne zaburzenie, o których dalej będzie mowa, jest kombinacją (superpozycją) zaburzeń, których modele rozwijane są przez obie grupy.**

Dalsza procedura to zbadanie, jak pierwotne zaburzenia ewoluowały w trakcie rozszerzania się i stygnięcia całego Wszechświata, w szczególności — co działo się w krytycznej epoce rekombinacji materii, gdy składowa promienista i materialna przestały ze sobą silnie oddziaływać i ciśnienie we Wszechświecie spadło praktycznie do zera. Okazuje się, że zaburzenia izotermiczne są „wzmrożone” w promieniowanie i do momentu rekombinacji utrzymują się na pierwotnym poziomie. Zaburzenia adiabatyczne przechodzą w tym czasie bardzo interesującą ewolucję polegającą na tym, że epoka rekombinacji działa na nie jak filtr tłumiący zaburzenia o małych masach, mniejszych niż około (w zależności od wariantu teorii)  $10^{13}$  —  $10^{15} M_{\odot}$  — mas Słońca (co odpowiada w przybliżeniu masie gromady galaktyk).

Po rekombinacji materii zaburzenia jej gęstości zaczynają narastać i kolejnym interesującym momentem w ich ewolucji jest okres, w którym ich gęstość staje się znacząco większa (powiedzmy kilkakrotnie) niż gęstość otaczającego je tła. Zaczyna się wówczas grawitacyjny kolaps takiego protoobektu. Ponieważ zakłada się, że pierwotne zaburzenia były tym mniejsze, im większa była ich masa, otrzymuje się dwa następujące scenariusze powstania obecnej struktury Wszechświata.

W pierwszym, zaproponowanym pod koniec lat sześćdziesiątych przez R. Dicke’go i P. J. E. Peebles’a z Princeton (USA), pierwotne zaburzenia są izotermiczne i wobec tego pierwsze powstające we Wszechświecie obiekty mają małą masę, konkretnie ok.  $10^6 M_{\odot}$  (co odpowiada mniej więcej masie gromady kulistej gwiazd). Następnie w „gazie” złożonym z tych obiektów zachodzi kolaps mniejszych początkowo zaburzeń o większej masie — odpowiadających, powiedzmy, galaktykom. „Gaz” potem tworzą galaktyki i powstają ich grupy i gromady, itd. Schemat ten nosi nazwę ciągłego grawitacyjnego grupowania.

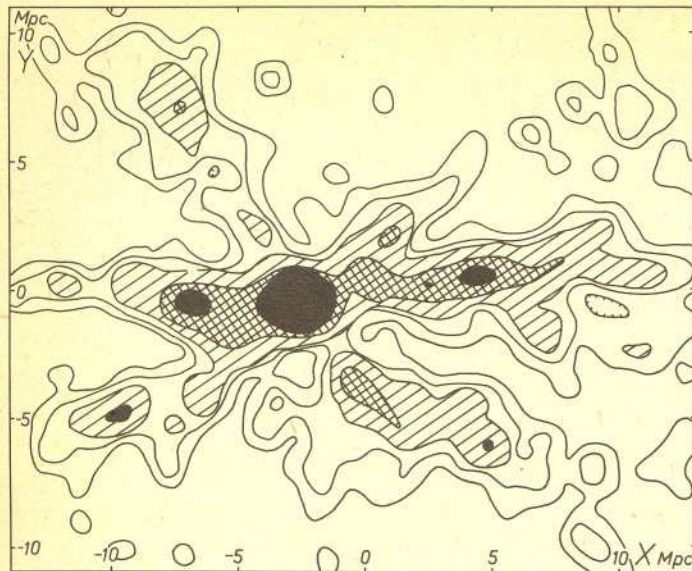
**Ten „gaz” to ośrodek złożony z oddziałujących ze sobą tylko grawitacyjnie wielu punktów materialnych (mogą to być gwiazdy, gromady kuliste, galaktyki itd).**

Drugi scenariusz, zaproponowany na początku lat siedemdziesiątych przez J. Zeldowicza z Moskwy i rozwijany później przez jego grupę, opiera się na założeniu, że pierwotne zaburzenia były adiabatyczne. Jak powiedziano wyżej, istnieje wtedy pewna charakterystyczna, dość duża masa, poniżej której zaburzenia zostały w czasie ewolucji stłumione.

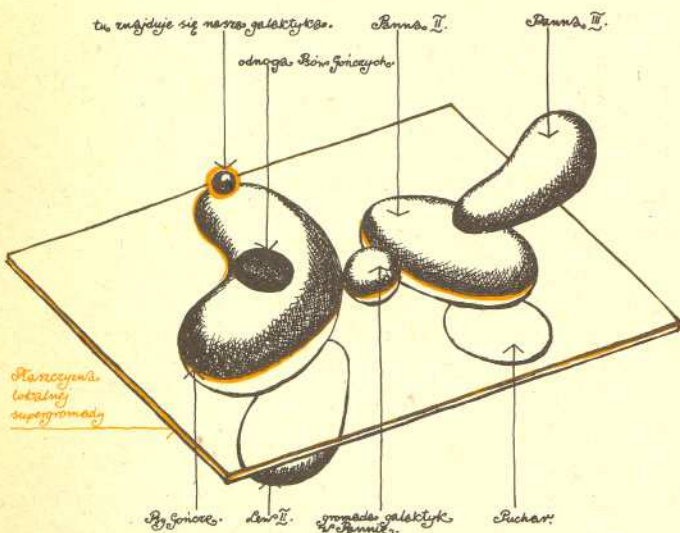
Przedstawiciele tej grupy twierdzą, że kolaps tych protoobektów zachodził anizotropowo i doprowadził do powstania olbrzymich, spłaszczonych struktur (nazywanych przez Rosjan blinami, zaś przez Anglosasów — pancakes) poroździelanych wielkimi pustymi obszarami przestrzeni (z grubsza można się tu dopatrywać analogii ze strukturą plastra miodu). Dopiero w następnym etapie miała się rozpocząć fragmentacja blinów i powstawanie galaktyk.

Tak, w bardzo uproszczonym zarysie, przedstawiają się idee leżące u podstaw dwóch konkurujących poglądów na kwestię powstania obecnej struktury Wszechświata. Oczywiście tylko obserwacje mogą te teorie zweryfikować. Wydaje się, że po około pięćdziesięciu latach od narodzin kosmologii obserwacyjnej doszliśmy do okresu, w którym zdobycze astronomii instrumentalnej umożliwiają jej intensywny rozwój w sensie ilości i jakości danych obserwacyjnych. Po wielu latach badań rozkładu przestrzennego galaktyk w oparciu o znane ich położenia na Niebie i dedukowane z jasności odległości przyszedł czas żmudnych, ale płodnych bezpośrednich analiz odległości poszczególnych galaktyk w dużych obszarach Nieba. Informacje o odległości uzyskuje się badając przesunięcie linii absorpcyjnych w widmach galaktyk w kierunku niższych częstotliwości — tzw. redshift. Odzwierciedla ono rozbieganie się galaktyk odkryte przez Hubble’a w latach dwudziestych. Tzw. prawo Hubble’a wiąże odległość od nas badanej galaktyki z jej prędkością ucieczki, wyznaczoną tak jak w klasycznym efekcie Dopplera, z przesunięcia linii widmowych.

W obecnym stanie rozwoju techniki obserwacyjnej uzyskanie widma jednej galaktyki zajmuje ok. pół godziny pracy teleskopu.



Rys. 1 Konturowa mapa gęstości galaktyk w Lokalnej Supergromadzie



Rys. 2 Lokalna Supergromada w 3 wymiarach

Dla porównania Hubble potrzebował pracować w tym celu na teleskopie 2,5 metrowym całą noc! Ostatnia dekada przyniosła systematyczne przeglądy redshiftów galaktyk w kilku obszarach Nieba. Ich efektem było odkrycie w strukturze przestrzennej rozkładu galaktyk kilku gigantycznych aglomeracji, które noszą obecnie nazwy związane z gwiazdozbiorami, w których je widać na Niebie. Są to supergromady w Herkulesie, Perseuszu i w Warkoczu Bereniki oraz tzw. Lokalna Supergromada.

Adekwatność terminu supergromada można zrozumieć, zważywszy że np. w Warkoczu Bereniki obserwuje się strukturę łączącą ok. 400 mln lat świetlnych od nas i rozciągającą się na Niebie na obszarze o szerokości co najmniej 20°!!  
Pomiary prędkości pojedynczych galaktyk w ramach supergromad pokazują, że rozmiary tych gigantów są tak duże, iż charakterystyczny czas przelotu galaktyki przez supergromadę, do której należy, jest kilka razy większy niż wiek Wszechświata! Oznacza to, że obserwujemy i badamy wreszcie obiekty, które w najmniej (w porównaniu z galaktykami) zafałszowany późniejszą ewolucją sposób informują nas o tym, jak wyglądały pierwotne zaburzenia gęstości we Wszechświecie.  
Przejdźmy teraz do zasadniczego tematu tego artykułu. Już przed II wojną światową astronomowie zauważyli, że po tej stronie naszej Galaktyki, która odpowiada północnej stronie Nieba, istnieje znaczny w stosunku do strony drugiej nadmiar galaktyk.

Od początku lat 50-tych G. de Vaucouleurs z Austin w Teksasie badał i nazwał Lokalną Supergromadą kompleks galaktyk z gromadą galaktyk w Pannie w centrum, rozciągający się na olbrzymim obszarze gwiazdozbiorów Panny, Lwa, Psów Gończych, Pucharu, Smoka i Pompy (ponad 90° szerokości). Na peryferiach tego obiektu znajduje się Grupa Lokalna, której największymi członkami są galaktyka M 31 w Andromedzie i nasza Galaktyka. Niedawno Amerykanie B. Tully i R. Fisher zebrali informacje o prędkościach 2200 (!) galaktyk leżących bliżej niż trzykrotna odległość gromady w Pannie (40 mln lat świetlnych) i na tej podstawie Tully dokonał znakomitego studium morfologii Lokalnej Supergromady (L. S.).

Spójrzmy na rysunek pierwszy. Widzimy na nim poziomicową mapę gęstości przestrzennej 672 jasnych galaktyk w L. S. Nasza Galaktyka znajduje się 10 jednostek (tzn. ~ 10 Mpc, czyli ok. 31 mln lat świetlnych) nad punktem o współrzędnych (0,0). Kolejne poziomicice wyznaczają gęstość galaktyk równą odpowiednio: 0,5, 1, 2, 4 i ponad 8 galaktyk na Mpc<sup>3</sup>. W centrum znajduje się gromada galaktyk w Pannie, na prawo od niej obłok w Psach Gończych, na lewo obłok nazwany Panna II. W lewo ku górze obłok galaktyk — Panna III, w prawo w dół — Lew II, w lewo w dół — Puchar, w prawo ku górze od gromady w Pannie — tzw. odnoga Psów Gończych. Tully podaje, że:

- tylko 20% jasnych galaktyk znajduje się w gromadzie w Pannie;
- 40% jasnych galaktyk leży w Pannie II i Psach Gończych;
- pozostałe 40% leży w kilku (~ 5) obłokach poza płaszczyznę wyznaczoną przez gromady galaktyk Panna, Panna II i Psy Gończyce.

Uderzające jest to, że cały kompleks widoczny na rysunku zajmuje tylko 5% objętości zawierającego go prostopadłościanu, tzn. większość objętości zajmowanej przez L. S. jest pusta! Panna II i Psy Gończyce stanowią spłaszczony zespół zawierający się w elipsoidzie trójosiowej o stosunku osi równym 6 : 3 : 1. Panna III, Puchar i Lew II mają wydłużone kształty cygar skierowanych ku gromadzie galaktyk w Pannie. Dotychczasowe dane wskazują, że średni rozrzut prędkości galaktyk w ramach poszczególnych obłoków jest bardzo mały — ok. 100 km/s (dla porównania, prędkość Słońca w Galaktyce ~ 220 km/s). Za Lokalną Supergromadą (patrząc z Ziemi) znajduje się „dziura” w rozkładzie galaktyk sięgająca następnej supergromady w Warkoczu Bereniki.

Spójrzmy teraz na rysunek drugi. Jest on próbą schematycznego przedstawienia Lokalnej Supergromady w trzech wymiarach. Należy rozumieć, że narysowane na nim powierzchnie zawierają ok. 95% galaktyk należących do L. S.

Co o tym wszystkim sądzić? Wydaje się, że taki obraz Supergromady odsłonięty przez Tully'ego faworyzuje teorię Zeldowicza i sprawia duże trudności interpretacyjnie zwolennikom ciągłego grawitacyjnego grupowania. Tzn. łatwiej wyobrazić sobie, że obiekt ten powstał wskutek anizotropowego kolapsu wielkiej masy gazu w kierunku ku płaszczyźnie L. S. fragmentacji na kilka obłoków (z silnym przyplływem oddziaływaniem na te leżące poza płaszczyznę L. S.), niż skupienia wielkiej ilości oddziałujących ze sobą galaktyk w bardzo małej części (~ 5%) dostępnej im objętości (wygląda na to, że teoria ciągłego grawitacyjnego grupowania bardzo nie lubi wyraźnych i rozległych dziur w rozkładzie galaktyk).

Trudno jednak ostatecznie weryfikować teorie fizyczne na podstawie analizy pojedynczego obiektu. Dlatego rozpoczynając ten artykuł passus o kapitalnym znaczeniu systematycznych i jeszcze dokładniejszych badań L. S. i innych takich obiektów na pewno nie jest przesadzony.