

Piotr FLIN

O ZNAJDOWANIU I DEFINIOWANIU GROMAD GALAKTYK

Gromada galaktyk jest to zgrupowanie w przestrzeni pewnej liczby galaktyk. Takie określenie nie jest jednak zbyt jasne. Dlatego też na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych definicję tę uściślono, wprowadzając dwa parametry pozwalające na bardziej precyzyjne ustalenie, które ze struktur utworzone przez galaktyki będzie się nazywać gromadą, a które nie. Wprowadzane wtedy metody definiowania używane są nadal.

Na ogół przy katalogowaniu gromad galaktyk nie znane są odległości galaktyk. Gromady galaktyk znajduje się więc w oparciu o pozycje galaktyk na sferze niebieskiej, czyli dysponuje się współrzędnymi galaktyk.

W połowie lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku przy pomocy 25-centymetrowego teleskopu Schmidta w Mount Palomar Observatory w Kalifornii zakończono fotografowanie całej północnej półkuli nieba, jak też części półkuli południowej. W wyniku tego powstał przegląd nieba zwany Palomar Obserwatory Sky Survey (POSS) składający się ze zdjęć, z których każde o wymiarach 30 cm x 30 cm pokrywało obszar 36 stopni kwadratowych.

Ten bazowy materiał obserwacyjny posłużył do skonstruowania dwu katalogów gromad galaktyk, autorami których byli George O. Abell [1] i Fritz Zwicky [2].

Aby wyeliminować ewentualne nakładanie się w projekcji, czyli w rzucie na sferę niebieską, obiektów położonych blisko i daleko od

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

obserwatora, ale o zbliżonych współrzędnych, wprowadza się dodatkowe kryterium jasnościowe. Zakłada się, że jasności absolutne galaktyk, czyli ilości energii emitowane przez obiekt, są do siebie zbliżone, które to założenie jest stosowane w astronomii od czasów Williama Herschela (1738-1822). Oznacza to, że jasności obserwowane galaktyk położonych w takiej samej odległości winny być do siebie zbliżone. Przyjmuje się, że zlicza się galaktyki w ściśle określonym przedziale jasności. Jest to przedział 3 lub 2 wielkości gwiazdowych, liczonych od najjaśniejszej, bądź też trzeciej z kolei pod względem jasności galaktyki znajdującej się w obszarze uważanym za gromadę. Niektórzy sądzą, że lepiej jest przyjąć najjaśniejszą galaktykę w gromadzie, inni, że trzecią najjaśniejszą, gdyż może się zdarzyć, że najjaśniejsza galaktyka widoczna w obszarze nieba uznanym za gromadę jest w rzeczywistości tylko wynikiem projekcji, tzn. jest to obiekt bliższy niż inne galaktyki tworzące gromadę, ale przez obserwatora widziany w kierunku obszaru gromady.

Obszary nieba, gdzie gęstość powierzchniowa galaktyk, czyli np. liczba galaktyk na stopień kwadratowy, była dwukrotnie większa od tej gęstości w obszarze sąsiednim, Zwicky uważał za gromady galaktyk. Wydzielał on obszar uznawany za gromadę, prowadząc obwiednię wokół tego obszaru o dużej gęstości powierzchniowej w postaci konturu zamkniętego o dowolnym kształcie. Wewnątrz konturu mogły się znajdować obszary o różnej gęstości powierzchniowej, ale liczba galaktyk wewnątrz tego konturu musiała być większa niż 50 obiektów ponad liczbę galaktyk tła.

Abell przyjął kryterium liczebności takie samo jak u Zwicky'ego, tzn. że w gromadzie galaktyk winno znajdować się więcej niż 50 obiektów po uwzględnieniu galaktyk tła w danym przedziale wielkości gwiazdowych. Ponadto przyjął zwartość gromady jako drugie zasadnicze kryterium istnienia struktury. Oznacza to, że te pięćdziesiąt galaktyk w rozważanym przedziale jasności, po uwzględnieniu galaktyk tła, winny znajdować się blisko siebie. Ten opis tłumaczony jest następująco: analizuje się pole o promieniu mniejszym niż 1,5 Mps ($1 \text{ Mps} = 10^6 \text{ parseków} = 3,08 \times 10^{19} \text{ km}$).

Wadą definicji Zwicky'ego jako opartej na zliczeniach galaktyk jest zależność od odległości, która powoduje, że łatwiej jest rozróżnić galaktyki położone w mniejszej niż większej odległości. Ponadto, nie wiadomo, w jak dużym obszarze należy obliczać tak ważną w tej definicji gęstość galaktyk tła.

Przyjęcie a priori przez Abella okręgu wewnątrz którego zlicza się galaktyki nie pozwalało na wstępnym etapie badań wprowadzić klasyfikację kształtu gromad. Natomiast definicja ta nie zależy od odległości gromady od obserwatora; im bardziej odległy obszar od obserwatora tym mniejszy promień. Ta definicja dobrze pracowała w zakresie przeglądów niezbyt odległych od obserwatora, takich jak POSS. Okazuje się jednak, że również obecnie w czasach drugiego przeglądu palomarskiego, taka definicja, w której zasadniczymi kryteriami są zwartość i liczebność struktury, jest stosowana.

Obie definicje oparte były o doświadczenie, tzn. liczne próby pokazały, że takim sposobem znalezione na sferze niebieskiej zgrupowania galaktyk są względnie stabilne. Mała zmiana parametrów klasyfikacji nie prowadzi do zasadniczej zmiany katalogowanych obiektów. Co więcej, znalezione i skatalogowane w oparciu o dwuwymiarowe dane gromady galaktyk z minimalnymi wyjątkami, gdy zmierzono odległości do poszczególnych członków gromady, a więc w oparciu o dane trójwymiarowe, okazały się być rzeczywiście strukturami zawierającymi galaktyki położone blisko siebie w przestrzeni. Stwierdzenia te są słuszne w szczególności dla gromad Abella, które stanowią obszary o bardzo dużej gęstości galaktyk.

Różnica w definiowaniu struktur wielkoskalowych uważanych za gromady galaktyk przez Zwicky'ego i Abella wynikała z różnicy w ich podejściu do problemu. Zwicky starał się znaleźć jak największe struktury, które można byłoby traktować jako indywidua. Abella interesowały zaś przede wszystkim te zagęszczenia galaktyk, które w sposób zdecydowany były nadwyżką galaktyk ponad tło. Ta różnica w podejściu rzutowała na metodę poszukiwania gromad i rodzaj znajdowanych struktur. Gromady Abella były strukturami o bardzo dużej gęstości powierzchniowej, zawartej w obszarze mniejszym niż 3 Mps, natomiast

gromady Zwicky'ego stanowiły struktury o rozmiarach kilkakrotnie większych, tzn. o rozmiarach rzędu 10 — 30 Mps.

Mogłoby się wydawać, że obecne metody, kiedy znane są odległości do galaktyk, w sposób zasadniczy zmieniły sposób postępowania astronomów. Okazuje się jednak, że tak nie jest. Badania współczesne to fotografowanie całego nieba przy użyciu tych samych teleskopów co poprzednio, ale na kliszach o znacznie lepszych emulsjach fotograficznych. Ich czułość jest o tyle większa, że zysk w wielkościach gwiazdowych rejestrowanych obiektów, gdy porównuje się je z kliszami z POSS, jest 1,5 wielkości gwiazdowej, co oznacza, że rejestrowane są obiekty czterokrotnie słabsze. Klisze fotograficzne uzyskane przy pomocy teleskopu o dużym polu widzenia są następnie skanowane. Wynikiem tej procedury jest zapis w postaci cyfrowej, a więc odpowiedniej do obróbki komputerowej, podający współrzędne każdego elementu i natężenie światła w tym elemencie. Uzyskuje się więc piksele (piksel = picture element), czyli elementy obrazu, zawierające informacje o danym fragmencie kliszy fotograficznej. Odpowiednie oprogramowanie łączy piksele w większe elementy i następnie powstają obrazy obiektów astronomicznych. Te obrazy są przez odpowiednie oprogramowanie klasyfikowane na trzy zasadnicze grupy, a mianowicie obrazy gwiazd, galaktyk i błędy emulsji.

W oparciu o utworzony katalog galaktyk w wybranym, dużym obszarze nieba poszukiwanie gromad galaktyk odbywa się dokładnie tak, jak w pionierskich czasach Abella i Zwicky'ego. Jedyna różnica polega na tym, że to nie astronom patrzący i przeglądający klisze dokonuje zliczeń galaktyk, a następnie oblicza liczbową gęstość galaktyk, stanowiącą podstawę dalszej analizy. Ta dalsza analiza to ocena odległości struktury, znalezienie odpowiedniego promienia dla badanej struktury i sprawdzenie, czy kryteria zwartości i liczebności są spełnione. Obecnie wszystkie te czynności wykonywane są przez komputer zaprogramowany przez astronoma.

Powstałe w ten sposób katalogi są obiektywne w tym sensie, że komputer zawsze dany obiekt sklasyfikuje tak samo, podczas gdy człowiek nie. Nie oznacza to jednak, że powstałe w wyniku automa-

tycznego skanowania klisz fotograficznych katalogi galaktyk i oparte na nich komputerowo uzyskane katalogi gromad galaktyk są zawsze takie same. Ponieważ istnieją różnice w urządzeniach skanujących, stosowne oprogramowanie tych urządzeń nie jest identyczne, jak też różne są programy klasyfikujące obiekty, dlatego też katalogi mogą między sobą nieco się różnić. Wynika to także z faktu różnego podejścia do analizowanych obrazów. Klasyfikacja obrazów i ich separacja na obrazy gwiazd i galaktyk oparta jest o różne parametry opisujące obrazy. Są to zawsze zależności statystyczne. I tak profil jasnościowy gwiazdy i galaktyki różnią się zasadniczo. Profil gwiazdy jest zbliżony do rozkładu normalnego, jest wąski i ostry, natomiast rozkład jasności galaktyki jest szeroki i płaski. Ten opis na różne sposoby może być przetłumaczony na język statystyki. Można badać zależności różnych elementów opisujących profil, jak też korelacje między nimi. W zależności od przyjętych do analizy korelacji między elementami opisującymi profil uzyskuje się nieco inną separację obrazów gwiazd i galaktyk, a więc nieco inne katalogi galaktyk.

Dalszy etap badań też nie jest całkowicie jedno-jednoznaczny. Różne są programy poszukujące gromad, gdyż w nieco inny sposób jest np. definiowane miejsce, czy też miejsca, gdzie liczy się ilość galaktyk tła. Dopiero po statystycznym uwzględnieniu tła znajduje się gromadę galaktyk. Dlatego też z tego samego materiału obserwacyjnego można uzyskać nieco różniące się katalogi gromad. Z astronomicznego punktu widzenia istotne jest jednak to, że różnice są nieznaczne i dalsze badania, na przykład w oparciu o dane trójwymiarowe, czyli z wykorzystaniem informacji o odległościach galaktyk, weryfikują pierwotne względem nich badania oparte o dane dwuwymiarowe. Należy jednak zdawać sobie sprawę z tego, że „nie ma nieobciążonych katalogów gromad galaktyk” [3].

Przedstawiony sposób znajdowania gromad galaktyk oparty jest o istniejące katalogi galaktyk, wynikające z przeglądów nieba. Sposób ten jest oczywiście możliwy do stosowania wtedy, gdy istnieją przeglądy nieba. Tak jest w przypadku bliskich gromad galaktyk. Odkrywanie dalekich gromad odbywa się inaczej. Jak wynika z podanej

uprzednio definicji gromady Abella, im dalsza struktura, tym mniejszy promień. Dalekie gromady odkrywa się poprzez rejestrowanie obrazów z niewielkich obszarów nieba za pomocą dużych teleskopów, bądź też teleskopem kosmicznym Hubble'a. Ale i tam gromada galaktyk znajduje się jako nadwyżka galaktyk ponad tło, tzn. że koło siebie znajduje się dużo galaktyk.

W nieco inny sposób znajduje się gromady galaktyk widoczne nie w promieniowaniu widzialnym, czego dotyczyła uprzednia część artykułu, lecz w oparciu o analizę promieniowania rentgenowskiego. Początkowo detekcję promieniowania rentgenowskiego przeprowadzano skierowując teleskop na znane, gdyż wykryte w dziedzinie optycznej, widma gromady galaktyk [4]. Okazało się, że obserwuje się nie tylko promieniowanie związane z galaktykami, ale również nie związane z galaktykami — członkami gromady, rozproszone promieniowanie rentgenowskie. Źródłem tego promieniowania termicznego jest wypełniająca gromadę gorący gaz. Początkowo odkrywano to promieniowanie, badając w zakresie promieniowania X znane gromady. W miarę rozwoju badań w tej dziedzinie, kiedy czułość i zdolność rozdzielcza stały się odpowiednio duże, udawało się rejestrować promieniowanie rentgenowskie z obszarów, w których uprzednio w dziedzinie optycznej nie zaobserwowano gromady. Wykrywanie rentgenowskich gromad odbywa się podobnie jak w przypadku optycznym. W pewnym obszarze nieba wykrywana jest nadwyżka promieniowania rentgenowskiego w porównaniu z regionem sąsiednim. Jeżeli w zwartym obszarze ilość elementów z nadwyżką promieniowania ponad pewien poziom jest statystycznie istotna, to obszar taki nazywa się rentgenowską gromadą galaktyk.

Celem procedury znajdowania gromad galaktyk jest wyodrębnienie struktur, których członkowie oddziałują wzajemnie ze sobą. Procedura ta rzeczywiście pozwoliła na znalezienie największych we Wszechświecie struktur, w których obserwuje się oddziaływanie grawitacyjne, natomiast sama definicja struktury, czyli gromady galaktyk, jest definicją operacyjną. W definicji gromady nie znajdujemy tego, czym jest gromada galaktyk, jest natomiast przepis na jej znajdowanie, jak też

stwierdzenie, jaką strukturę będziemy nazywać gromadą. Samo szukanie struktur, gdzie obserwuje się bezpośrednio skutki oddziaływania grawitacyjnego między członkami struktury, nie prowadziłyby do znalezienia gromad galaktyk. Szukając struktur, gdzie bezpośrednio obserwuje się takie skutki, odkrywa się przede wszystkim układy podwójne oddziaływujących galaktyk, lub też liczące kilka obiektów grupy. Dopiero zastosowanie metod statystycznych pozwoliło na wyodrębnienie największych struktur, gdzie oddziaływanie wzajemne może być obserwowane. Ale obserwacje te są o wiele bardziej skomplikowane niż w przypadku układów podwójnych, gdyż w gromadzie galaktyk efekty takiego oddziaływania, ze względu na o wiele większe odległości między galaktykami są o wiele słabsze.

LITERATURA

- 1.G.O. Abell, 1958. Catalogue of Rich Clusters of Galaxies, *Astroph. Journ. Suppl. Ser. Vol.3, No 31*
- 2.F. Zwicky, 1961. The Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, vol. I, str. IX, California Institute of Technology, Pasadena
- 3.N. Bahcall, 2000. Podsumowanie konferencji: Constructing the Universe with Clusters of Galaxies, *Institute d'Astrophysique de Paris*
- 4.P.A. Charles, F.D. Seward, 1995. Exploring the X-Ray Universe, str. 310, Cambridge University Press