

Nasze kosmiczne otoczenie

Sąsiadki Drogi Mlecznej



Dr hab. Ewa L. Łokas zajmuje się badaniem dynamiki najmniejszych i największych obiektów związanych grawitacyjnie, tworzących wielkoskalową strukturę Wszechświata: galaktyk karłowatych i gromad galaktyk

EWA L. ŁOKAS

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Warszawa
Polska Akademia Nauk
lokas@camk.edu.pl

W ciągu ostatnich dwóch lat populacja znanych galaktyk karłowatych w otoczeniu Drogi Mlecznej podwoiła się. Być może ich badania przyczynią się do rozwiązania jednej z największych zagadek współczesnej kosmologii: problemu brakujących satelitów

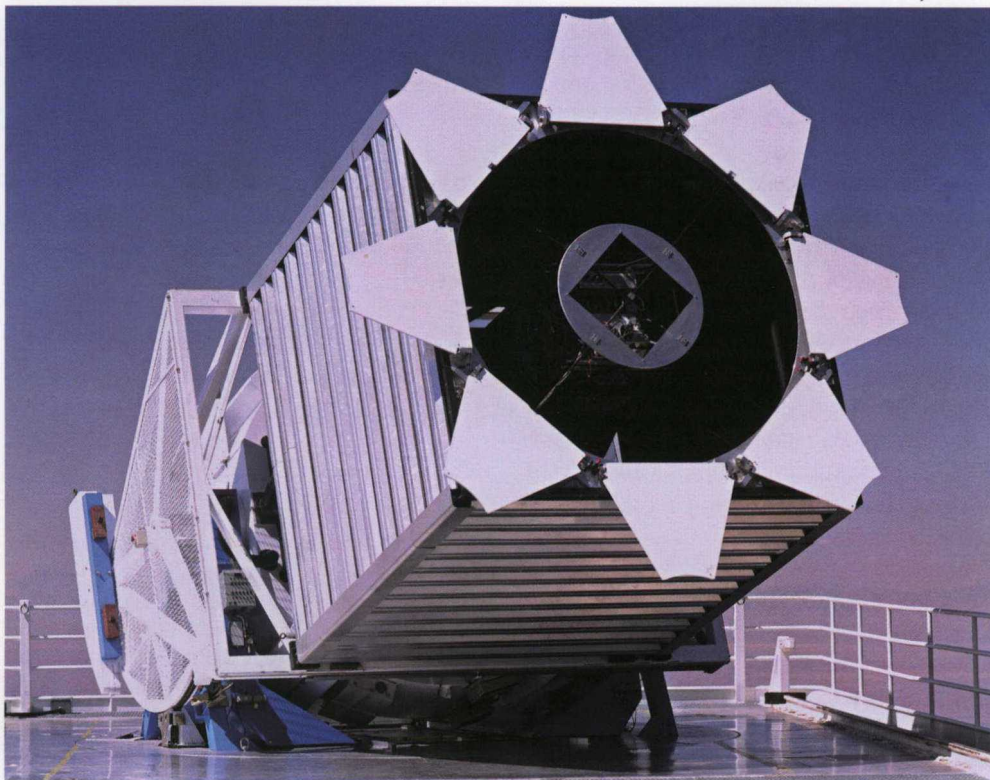
Za pomocą największych teleskopów jesteśmy obecnie w stanie dostrzec galaktyki niezwykle dalekie, które powstały, gdy Wszechświat był dziesięć razy młodszy niż teraz, jedne z pierwszych, jakie uformowały się po Wielkim Wybuchu. Tymczasem w naszym najbliższym otoczeniu w sąsiedztwie Drogi Mlecznej ciągle znajdują się nie-

odkryte galaktyki. W ciągu ostatnich dwóch lat astronomowie analizujący wyniki z przeglądu nieba Sloan Digital Sky Survey (SDSS) znaleźli na zdjęciach nieznane dotąd bardzo słabe skupiska gwiazd. Fotometryczne własności tych obiektów (np. kształt diagramu barwa-jasność dla tworzących je gwiazd) pozwoliły wyznaczyć odległości do nich i ich jasności. Odległości te okazały się bardzo małe, rzędu 100 kiloparseków (około 300 tys. lat świetlnych od Słońca), co sytuuje te obiekty wewnątrz naszej Grupy Lokalnej galaktyk.

Grupa Lokalna

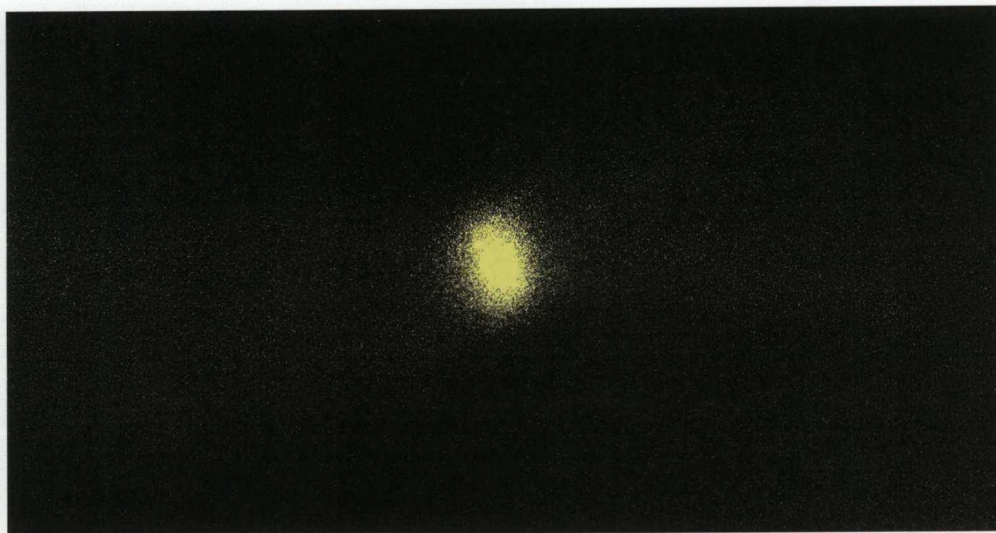
Grupa Lokalna to stosunkowo niewielkie skupisko galaktyk, którego największymi członkami są nasza Droga Mleczna i galaktyka w Andromedzie. Każdą z nich otacza chmura kilkunastu mniejszych galaktyk karłowatych, które krążą po orbitach wokół swoich „gospodarzy”. Najlepiej zbadanymi obiektami tego typu są Obłoki Magellana, znane

2,5-metrowy teleskop przeglądu SDSS, dzięki któremu odkryto nowe galaktyki karłowate



FerriLab Visual Media Services

J. Klimontowski et al.



Końcowe stadium komputerowej symulacji N-ciałowej galaktyki karłowatej krążącej wokół Drogi Mlecznej. Galaktyka utraciła 99% swojej masy, ale nadal tworzy silnie związany grawitacyjnie układ gwiazd w kształcie zbliżonym do kuli. Po przeciwnych stronach galaktyki widoczne są ramiona pływowe powstałe w wyniku oddziaływania z Drogą Mleczną

mieszkańcom półkuli południowej od czasów starożytnych. Oprócz nich Drogę Mleczną okrąża w niewielkiej odległości dziewięć innych karłów odkrytych w XX wieku. Są to wszystko obiekty dość słabe – w przeciwnym razie odkryto by je znacznie wcześniej. Najśłabsze mają jasność około 100 tysięcy słońc, składają się ze starych gwiazd, a kształtem przypominają duże galaktyki eliptyczne, stąd określa się je często jako sferoidalne. Gęstość gwiazd jest w nich jednak znacznie mniejsza niż w klasycznych galaktykach eliptycznych, tak iż można w nich obserwować poszczególne gwiazdy, a nawet szczegółowo mierzyć ich widma.

Właśnie dzięki pomiarom widm udało się ustalić zadziwiającą własność sferoidalnych galaktyk karłowatych: wydaje się, że zawierają one znacznie więcej tzw. ciemnej materii niż zwykłej materii barionowej (np. gwiazd, gazu i pyłu), procentowo nawet więcej niż duże galaktyki, takie jak Droga Mleczna. Wniosek ten wyciągnięto na podstawie badań rozkładu prędkości gwiazd wyznaczonych z widm, który jest miarą masy galaktyki. Prędkości te mają zbyt duży rozrzut względem średniej prędkości galaktyki, aby gwiazdy mogły być silnie związane grawitacyjnie przez masę zawartą w samych gwiazdach. Innymi słowy, są one utrzymywane w galaktykach przez masę niewidocznej ciemnej materii. Szczególnym przykładem, w wyjątkowym stopniu zdominowanym przez ciemną materię jest sferoidalna galaktyka karłowata w gwiazdozbiornie Smoka (Draco). Wraz ze współpracownikami oszacowaliśmy stosunek masy do światła w tej galaktyce na 300 jednostek słonecznych (stosun-

ków masy do jasności Słońca), podczas gdy dla galaktyki zbudowanej wyłącznie z gwiazd nie powinien on przekraczać kilku jednostek.

Nieco inne własności wykazuje również modelowana przez nas galaktyka w gwiazdozbiornie Pieca (Fornax). I tu dla wyjaśnienia zmierzonego rozkładu prędkości trzeba przyjąć pewną ilość ciemnej materii, ale znacznie mniejszą (stosunek masy do światła równy 10). Poza tym rozkład gwiazd i ciemnej materii jest podobny, podczas gdy w Draco gwiazdy wydają się skupione w środku, otoczone przez dużo rozleglejszą otoczkę – halo ciemnej materii.

Małe galaktyki

Jak na tle tej starej populacji wyglądają nowo odkryte satelity? Okazuje się, że mają one jeszcze mniejszą jasność, sięgającą zaledwie tysiąca słońc. Różnią się także kształtem, w większości są to obiekty nieregularne, co może wynikać z małej liczby gwiazd lub odkształceń wywołanych oddziaływaniem z Drogą Mleczną. Wydają się natomiast całkowicie zdominowane przez ciemną materię. Ostatnie badania pokazują, że w niektórych z nich stosunek masy do światła może sięgać nawet 1000 jednostek słonecznych, chociaż oszacowania te wykonano dla małych próbek gwiazd i wymagają one jeszcze potwierdzenia.

Sąsiadki Drogi Mlecznej krążą wokół niej, by ostatecznie się z nią zderzyć. W wyniku takiego zderzenia mała galaktyka zostaje całkowicie pochłonięta i zaabsorbowana przez większą, na której to zderzenie reszta nie robi większego wrażenia. Takie zdarzenia miały prawdopodobnie wielokrotnie miej-

Nasze kosmiczne otoczenie

Michele Schirmer



Niepozorna galaktyka karłowata w gwiazdozbiorze Smoka (Draco) jest gigantycznym skupiskiem ciemnej materii – jest jej tam kilkadziesiąt razy więcej niż „zwykłych” gwiazd i gazu

sce w przeszłości, przyczyniając się do wzrostu całkowitej masy Drogi Mlecznej. Zgodnie z obowiązującą teorią hierarchicznego formowania się struktury we Wszechświecie (od obiektów mniejszych do większych) małe galaktyki stanowią budulec, z których powstają większe. Obecnie zjawisko to (zachodzące w skali czasowej miliarda lat) możemy obserwować na przykładzie galaktyki karłowatej w Strzelcu (Sagittarius), która pochłaniana jest przez Drogę Mleczną.

Wpływ sąsiedztwa

Sąsiedztwo dużej galaktyki ma wpływ na zachowanie galaktyk karłowatych jeszcze przed zderzeniem. Wpływ ten jest dwójakiego rodzaju. Przede wszystkim galaktyka karłowata krążąc wokół swojego gospodarza podlega silnym oddziaływaniom pływom, które próbują ją rozerwać. Są to tego samego rodzaju oddziaływania, które w układzie Ziemia – Księżyc powodują odkształcanie Księżyca i przyptywy oceanów na Ziemi. Ich źródłem jest różnica między siłami przyciągania grawitacyjnego, jakie większy obiekt układu wywiera na różne, położone bliżej i dalej części mniejszego. Oddziaływania te nie od razu powodują rozerwanie galaktyki karłowatej, może ona krążyć po swojej orbicie przez miliardy lat, tracąc jedynie gwiazdy i ciemną

materię. Ta oderwana materia tworzy charakterystyczne ramiona pływowe rozciągające się w przeciwnych kierunkach po dwóch stronach galaktyki. Ostatecznie galaktyka karłowata pozostawia po sobie pierścień gwiazd otaczający Drogę Mleczną. Kilka takich strumieni odkryto w otoczeniu naszej Galaktyki i nie wszystkie udało się skojarzyć z macierzystymi galaktykami karłowatymi. Prawdopodobnie są to więc pozostałości karłów pochłoniętych przez Drogę Mleczną w przeszłości.

Zgodnie z symulacjami przeprowadzonymi przez naszych współpracowników w ciągu 10 miliardów lat galaktyka karłowata może utracić 99 procent swojej początkowej masy, a mimo to nadal pozostać obiektem silnie związanym grawitacyjnie, który można modelować, analizując rozkład prędkości gwiazd. Przez pewien czas astronomowie zgłaszali wątpliwość, czy duże oszacowania masy (a więc i ilości ciemnej materii) w sferoidalnych galaktykach karłowatych nie są przypadkiem skutkiem zaburzeń wywołanych oddziaływaniami pływowymi. Rzeczywiście gwiazdy z ramion pływowych nie śledzą już potencjału grawitacyjnego galaktyki karłowatej, ale nadal znajdują się w jej pobliżu. Wykazaliśmy jednak, że po odpowiednim oczyszczeniu próbek gwiazd oszacowania masy są wiarygodne.

Drugim efektem związanym z sąsiedztwem dużej galaktyki jest zmiana kształtu galaktyki karłowatej. Sądzymy, że wszystkie galaktyki zaczęły swój żywot jako spiralne lub dyskowe ze względu na to, że grawitacyjne zapadanie obiektu prowadzi do kumulacji momentu pędu i rozkręcenia go. Skąd więc wzięły się galaktyki eliptyczne? Te duże obiekty powstały prawdopodobnie ze zderzenia dwóch lub większej liczby galaktyk spiralnych, których momenty pędu były ustawione przypadkowo. Wówczas uporządkowana rotacja ulega przekształceniu w ruchy przypadkowe gwiazd we wszystkich kierunkach. Symulacje pokazują, że w przypadku galaktyk karłowatych dominującą rolę odgrywają oddziaływania pływowe, które przekształcają dyski najpierw w wydłużone poprzeczki, a potem w obiekty sferoidalne.

Ciekawym przykładem ilustrującym oba te skutki oddziaływań pływowych jest badana przez nas ostatnio galaktyka sferoidalna w gwiazdozbiorze Lwa (Leo I). Jest to jeden z odleglejszych satelitów Drogi Mlecznej, znajduje się aż 250 kpc (ponad 800 tys. lat świetlnych) od nas i oddala się ze znaczną prędkością tak, iż nie wiadomo, czy jest grawitacyjnie związany z naszą Galaktyką. Zgodnie z przedstawionym scenariuszem, jeśli galaktyki sferoidalne powstały z dysków, może w nich występować resztkowa rotacja – niewielki ruch obrotowy jako dodatek do przypadkowych ruchów gwiazd. Taką rotację rzeczywiście udało się zaobserwować, zaskoczeniem był jednak fakt, że jądro galaktyki obraca się w kierunku przeciwnym niż obszary zewnętrzne. Efekt ten można jednak wytłumaczyć obecnością ramion pływowych ustawionych niemal dokładnie wzdłuż linii obserwacji. Z dala od centrum galaktyki wpływ materii w ramionach dominuje nad rotacją, powodując jej pozorne odwrócenie.

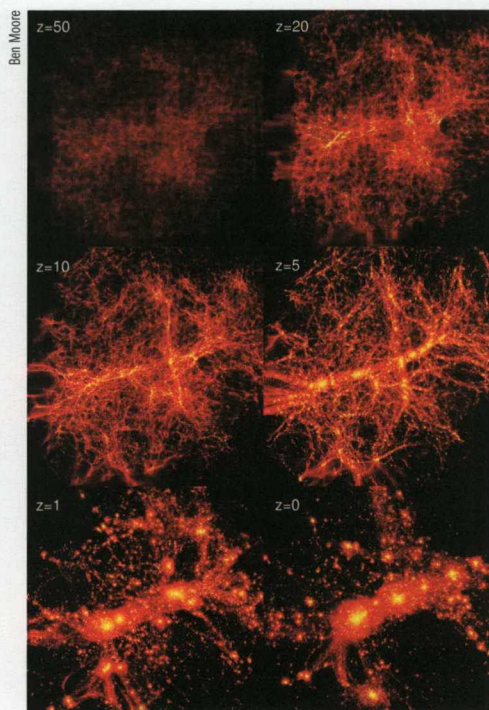
Problem brakujących satelitów

Symulacje komputerowe ewolucji rozkładu ciemnej materii i powstawania grup galaktyk takich jak nasza Grupa Lokalna przeprowadzane w ramach standardowego modelu kosmologicznego prowadzą do wniosku, że w naszym najbliższym otoczeniu powinno się znajdować nie kilkadziesiąt, ale kilkaset galaktyk karłowatych. Rozbieżność ta stała się znana jako „problem brakujących satelitów”. Czy więc niepoprawna jest teoria powstawa-

nia struktury, na której opierają się symulacje, czy też nie odkryliśmy jeszcze wszystkich sąsiadów Drogi Mlecznej? A może istnieją one jako obiekty związane grawitacyjnie, ale składają się niemal wyłącznie z ciemnej materii, czyli z jakichś powodów nie utworzyły gwiazd? W obliczu ostatnich odkryć nowych satelitów wydaje się, że bardziej prawdopodobne są te ostatnie możliwości. Odkryte ostatnio obiekty nie rozwiązują problemu, ponieważ zaledwie podwajają liczbę sąsiadów Drogi Mlecznej. Należy jednak pamiętać, że przegląd SDSS objął na razie tylko część sfery niebieskiej, a więc z pewnością czekają nas nowe odkrycia. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Belokurov V., et al. (2007). Cats and dogs, hair and a hero: a quintet of new Milky Way companions. *ApJ*, 654, 897; <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0608448>
- Klimentowski J., Łokas E.L., Kazantzidis S., Mayer L., Mamon G.A., Prada F. (2008). *Tidal evolution of a disk dwarf galaxy in the Milky Way potential: the formation of a dwarf spheroidal*; <http://arxiv.org/abs/0803.2464>
- Łokas E.L., Klimentowski J., Kazantzidis S., Mayer L. (2008). *The anatomy of Leo I: how tidal tails affect the kinematics*; <http://arxiv.org/abs/0804.0204>
- Mayer L., Governato F., Colpi M., Moore B., Quinn T., Wadsley J., Stadel J., Lake G. (2001). The metamorphosis of tidally stirred dwarf galaxies. *ApJ*, 559, 754; <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0103430>



Nasza Grupa Lokalna galaktyk składa się z dwóch dużych obiektów, Drogi Mlecznej i galaktyki w Andromedzie, oraz kilkudziesięciu galaktyk karłowatych. Symulacje kosmologiczne (na rysunku) przewidują jednak, że galaktyk karłowatych powinno być dziesięciokrotnie więcej