

Niewidoczny składnik kosmosu

Ciemne strona Wszechświata

EWA L. ŁOKAS

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika
Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
lokas@camk.edu.pl

Ciemna materia stanowi podstawowy budulec galaktyk i gromad. Najobficiej występuje w obiektach największych, jak gromady galaktyk, i najmniejszych, jak galaktyki karłowate. One właśnie pozwolą prawdopodobnie wyjaśnić niektóre z zagadek ciemnej materii

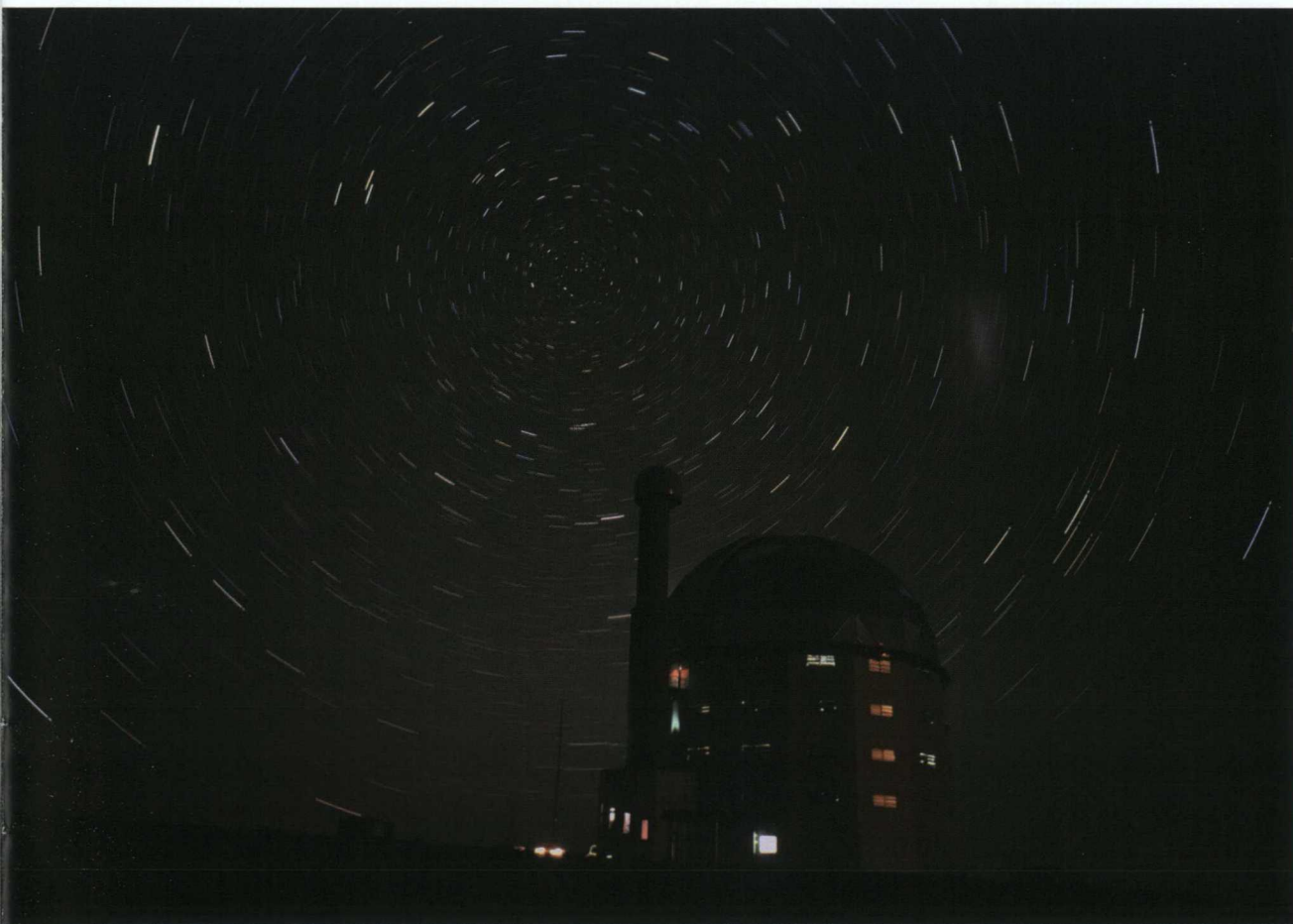
Zgodnie z najnowszymi oszacowaniami zwykła materia, z jakiej zbudowany jest

Układ Słoneczny i nasze ciała, stanowi zaledwie 4 procent materii i energii obecnej we Wszechświecie. Dominującym składnikiem obiektów związanych grawitacyjnie, takich jak galaktyki i gromady galaktyk, jest tak zwana ciemna materia, której natury nie znamy. Jej wkład do budżetu energetycznego Wszechświata wynosi 23 procent. Pozostałe 73 procent stanowi tak zwana ciemna energia, występująca pod postacią stałej kosmologicznej lub kwintesencji. Nie tworzy ona struktur, lecz powoduje, że ekspansja Wszechświata ulega przyspieszeniu.

Pierwsze oznaki obecności we Wszechświecie ciemnej materii astronomowie zaczęli odkrywać, gdy zabrali się za badanie dynamiki galaktyk i gromad. Prędkości tworzących je



Dr hab. Ewa L. Łokas jest kosmologiem, zajmuje się badaniem dynamiki galaktyk i gromad galaktyk oraz statystycznych własności rozkładu materii we Wszechświecie



The SALT Consortium

Do poszukiwań ciemnej materii polscy astronomowie zamierzają wykorzystać 11-metrowy teleskop SALT, wybudowany ostatnio w Republice Południowej Afryki, częściowo z polskim udziałem

Niewidoczny składnik kosmosu

składników (czyli gwiazd w galaktykach i galaktyk w gromadach) okazały się zbyt duże, aby dało się je wyjaśnić obecnością tylko widocznej, świecącej materii. Gdyby w tych obiektach znajdowało się naprawdę wyłącznie to, co widać, przyciąganie grawitacyjne byłoby zbyt słabe, by utworzyć stabilne struktury, a obdarzone dużymi prędkościami składniki rozbiegłyby się w przestrzeni kosmicznej. Częstek ciemnej materii nie odkryto do dziś, ale hipoteza, mówiąca o jej istnieniu, jest niezwykle dobrze ugruntowana w kosmologii. Oprócz wspomnianych wyżej argumentów dynamicznych za jej istnieniem przemawia również fakt, że bez obecności ciemnej materii wszelkie struktury we Wszechświecie powstawałyby dużo wolniej i byłyby inaczej rozłożone, dyski galaktyczne byłyby niestabilne, a własności mikrofalowego promieniowania tła inne niż obserwujemy.

Gromady galaktyk

Jedną z najciekawszych znanych gromad galaktyk oznaczona jest w katalogu Abella numerem 1689 (A1689). Należące do niej galaktyki wykazują średnie przesunięcie ku czerwieni w swoich widmach równe 0,18, co oznacza, że znajduje się ona w odległości nieco ponad 600 megaparseków od nas (1 parsek to 3×10^{13} km). Takie usytuowanie powoduje, że rozkład ciemnej materii w tej gromadzie można badać różnymi metodami.

Najbardziej spektakularną i nowoczesną z nich jest analiza obrazów odległych galaktyk (znajdujących się z naszego punktu widzenia za gromadą), zniekształconych w wyniku soczewkowania grawitacyjnego. Zjawisko to, opisywane przez ogólną teorię

względności, polega na zakrzywianiu toru światła pochodzącego od tych galaktyk przez materię zawartą w gromadzie. Analizując te zniekształcenia można wyznaczyć ilość i rozkład ciemnej materii w gromadzie. Zdjęcia gromady A1689, wykonane przy pomocy Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, umożliwiły identyfikację ponad stu obrazów soczewkowanych galaktyk; pod tym względem gromada ta nie ma sobie równych. Szczegółowe modele komputerowe tych obrazów pozwoliły wyznaczyć rozkład ciemnej materii w gromadzie, a także jej całkowitą masę, której wartość oszacowano na 2×10^{15} mas Słońca.

Kolejna metoda, służąca do wyznaczania rozkładu ciemnej materii, polega na analizie własności gorącego gazu zawartego w gromadzie. Składnik ten stanowi zwykle kilkanaście procent masy gromady, ale jego własności odzwierciedlają całkowite pole grawitacyjne gromady (włącznie z tym związanym z ciemną materią). Gaz ten promieniuje silnie w zakresie rentgenowskim, a promieniowanie to można zarejestrować na przykład przy pomocy satelity XMM-Newton. Analiza temperatury tego promieniowania doprowadziła do oszacowania masy gromady na 10^{15} mas Słońca, co jest wartością dwukrotnie mniejszą niż otrzymana z soczewkowania.

Przy obecnej dokładności pomiarów astronomicznych jest to spora rozbieżność. Pierwsze przypuszczenie, jakie w takiej sytuacji przychodzi do głowy kosmologom, to możliwość, że gromada nie znajduje się w stanie równowagi, ale na przykład jest w trakcie łączenia się z innym skupiskiem galaktyk, co podważyłoby niektóre założenia modeli. Obraz rentgenowski gazu w gromadzie powinien być wówczas silnie zaburzony. Tymczasem w przypadku A1689 jest on niezwykle regularny. Analizując rozkład prędkości dla prawie 200 galaktyk tej gromady doszliśmy do wniosku, że przyczyna tej rozbieżności może być inna. Rozkład ten różni się znacznie od typowego rozkładu dla regularnych i izolowanych gromad galaktyk. Posługując się wynikami komputerowych symulacji N-ciałowych, będących obecnie ważnym narzędziem w badaniach kosmologicznych, odkryliśmy, że podobny rozkład prędkości może być spowodowany obecnością w sąsiedztwie gromady innego obiektu o porównywalnej masie, leżącego dokładnie na linii obserwacji groma-

Gromada galaktyk Abell 1689, *enfant terrible* wśród gromad. Zdjęcie wykonane przy pomocy Kosmicznego Teleskopu Hubble'a ukazuje liczne łuki, będące obrazami odległych galaktyk, które uległy soczewkowaniu grawitacyjnemu



The Hubble Space Telescope (NASA)

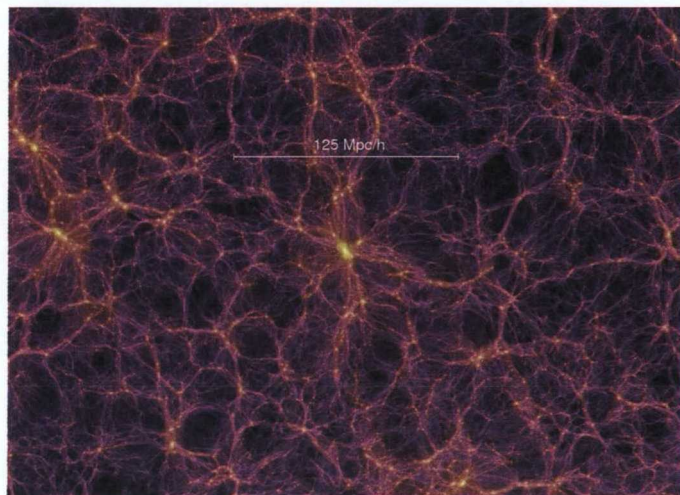
dy. Obiekt taki, choć nie oddziałuje bezpośrednio na badaną gromadę, ponieważ jego odległość jest wielokrotnie większa od rozmiaru gromady, może zaburzać obserwowany rozkład prędkości galaktyk. Jego obecność mogłaby również wyjaśnić rozbieżności w ocenie masy gromady.

Galaktyki karłowate

Na przeciwnym krańcu widma mas obiektów interesujących z kosmologicznego punktu widzenia znajdują się galaktyki karłowate. Świecą one niezwykle słabo, dlatego szczegółowo można je badać tylko w naszym najbliższym otoczeniu, w granicach Grupy Lokalnej galaktyk. Znamy ich tu około 40. Liczba ta zresztą spędza od jakiegoś czasu sen z powiek kosmologom; zgodnie z wynikami symulacji w Grupie Lokalnej powinno być około 300 takich obiektów. Rozbieżność ta zyskała sobie nawet miano „problemu brakujących satelitów”.

Szczególnie ciekawy rodzaj galaktyk karłowatych w Grupie Lokalnej stanowią galaktyki sferoidalne, nazwane tak ze względu na swój kształt, przypominający galaktyki eliptyczne w miniaturze. Świecą wielokrotnie (około milion razy) słabiej od galaktyk normalnych rozmiarów, takich jak Droga Mleczna czy galaktyka w Andromedzie. Okazują się jednak zaskakująco masywne. Ich masy wyznacza się podobnie jak w przypadku gromad galaktyk (zastępując galaktyki gwiazdami), analizując rozkład prędkości gwiazd. Oszacowania te prowadzą do wniosku, że tak zwany stosunek masy do światła (podstawowy miernik ilości ciemnej materii) jest w tych obiektach niezwykle duży, rzędu kilkuset, licząc w jednostkach słonecznych. Gdyby w obiektach tych znajdowały się tylko gwiazdy, powinien on zawierać się w granicach 1-10 takich jednostek.

Podstawową trudność w wyznaczaniu masy sferoidalnych galaktyk karłowatych stanowi fakt, że większość z nich znajduje się dość blisko Drogi Mlecznej, a więc w zasięgu jej pola grawitacyjnego. Oddziaływanie z Drogą Mleczną może prowadzić do oderwania części gwiazd od galaktyki karłowatej. W rezultacie niektóre gwiazdy, które uważamy za należące do galaktyki, mogą wcale do niej nie należeć, a ich prędkości nie muszą odzwierciedlać ilości ciemnej materii w badanej galaktyce.



THE VIRGO CONSORTIUM

Ostatnio zbadaliśmy pod tym kątem pobliską galaktykę sferoidalną w gwiazdozbiorze Smoka (*Draco*), pokazując, że w zależności od wyboru próbki gwiazd do analizy oszacowania masy galaktyki mogą się różnić o całe rzędy wielkości, zawsze jednak są one zgodne z hipotezą przewagi ciemnej materii.

Dokładne wyznaczenie mas galaktyk karłowatych ma w kosmologii duże znaczenie, gdyż od nich zależy oszacowanie ich spodziewanej obfitości we Wszechświecie (obiektów bardziej masywnych jest mniej). W szczególności ma to wpływ na perspektywy rozwiązania problemu brakujących satelitów. Wpływ Drogi Mlecznej na oszacowania masy można wyeliminować, analizując obiekty położone w większych odległościach. Przykładem takiej galaktyki sferoidalnej jest obiekt w gwiazdozbiorze Wieloryba (*Cetus*), leżący w odległości niemal 800 kiloparseków od nas w stosunkowo pustym rejonie Grupy Lokalnej. Galaktykę tę zamierzamy wkrótce obserwować przy pomocy zbudowanego właśnie przy udziale Polski 11-metrowego teleskopu SALT w Południowej Afryce.

Komputerowe symulacje N-ciałowe są obecnie jednym z najważniejszych narzędzi badawczych, wykorzystywanych przez kosmologów. Na zdjęciu wizualizacja Millenium, największej spośród przeprowadzonych jak dotąd symulacji N-ciałowych, zawierającej 10 miliardów cząstek materii

Chcesz wiedzieć więcej?

Lokas E. L., Prada F., Wojtak R., Moles M., Gottloeber S., (2005). The complex velocity distribution of galaxies in Abell 1689: implications for CDM mass modeling. MNRAS, submitted, <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0507508>

Lokas E. L., Mamon G. A., Prada F. (2005). Dark matter distribution in the Draco dwarf from velocity moments. MNRAS, 363, 918 <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0411694>