

Tajemnicza ciemna materia

Początki

Ciemna materia w potocznym rozumieniu oznacza coś tajemniczego, ukrytego, niewidocznego. To popularne rozumienie oddaje dość dobrze istotę tego, tak ważnego dziś dla nauki, pojęcia – na tyle ważnego, że ciemna materia bywa nazywana „świętym Graalem”.

Początki pojęcia ciemnej materii sięgają lat 30. XX wieku. Wtedy to szwajcarski astronom Fritz Zwicky zauważył, że ruchy poszczególnych galaktyk, które tworzą gromady galaktyk, wskazują na większe masy tych gromad niż te, które astronomowie otrzymywali na podstawie obserwacji ich jasności. Szacowanie masy na podstawie jasności jest możliwe, ponieważ astronomowie wiedzą, jaki jest związek pomiędzy jasnością gwiazd a ich masą. Obiektami, które świecą w galaktykach czy gromadach galaktyk są głównie gwiazdy, dlatego znając tę zależność możemy na podstawie jasności oszacować masę obiektu, w skład którego wchodzi gwiazdy.

Odkrycie Zwicky’ego sugerowało, że w gromadach galaktyk oprócz materii zgromadzonej w gwiazdach znajduje się jeszcze jakiś słabo świecący składnik. W tamtych czasach raczej nie podejrzewano, że ten składnik może być czymś tajemniczym – pojęcie „ciemna materia” oznaczało po prostu materię trudną do wykrycia. Warto dodać, że takie oszacowanie, jakie zrobił Zwicky, jest możliwe, ponieważ istnieje związek pomiędzy prędkością związanych grawitacyjnie obiektów a masą, która wytwarza pole grawitacyjne.

W ciągu lat, które minęły od prac Zwicky’ego, okazało się, że część brakującej w gromadach galaktyk masy, to gaz o bardzo wysokiej temperaturze, promieniujący w zakresie promieniowania rentgenowskiego. Nie rozwiązało to jednak całkowicie problemu masy gromad galaktyk; pozostaje on wciąż otwarty.

W dodatku doszły nowe argumenty przemawiające na rzecz dużych mas gromad galaktyk, większych niż te, których można by się spodziewać na podstawie ich jasności. Takich argumentów dostarcza zjawisko soczewkowania grawitacyjnego, czyli deformacji obrazu obiektów (np. galaktyk) spowodowanych wpływem grawitacji na ruch fotonów, przewidzianym przez Ogólną Teorię Względności. Na podstawie tego, w jaki sposób obraz jest zdeformowany, można oszacować masę soczewki, czyli źródła, które powoduje odkształcenie pola grawitacyjnego. Takimi soczewkami są m.in. gromady galaktyk.

Ciemna materia w galaktykach

Innymi obiektami, bardzo ważnymi w kontekście ciemnej materii, są galaktyki spiralne. Widoczna w nich materia (gwiazdy, gaz, pył) rotuje w płaszczyźnie dysku wokół centrum galaktyki. Galaktyki takie przez teleskop widziane są jako płaskie, cienkie obiekty o pięknej, spiralnej strukturze. Można zmierzyć prędkość rotacji materii w galaktyce (wykorzystując efekt Dopplera) i sporządzić wykres zależności tej prędkości od odległości od centrum galaktyki. Wykres zależności jest krzywą rotacji galaktyki, bardzo ważną dla badania jej dynamiki.



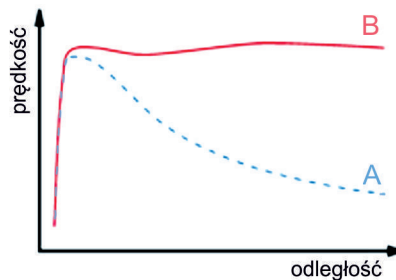


Fot. 1. Galaktyki spiralne widziane przez teleskop: galaktyka spiralna z profilu – NGC 891



Fot. 2. Galaktyki spiralne widziane przez teleskop: galaktyka M31 (Wielka Mgławica Andromedy)

W 1970 roku astronomowie Vera Rubin oraz W. Kent Ford zaobserwowali, że krzywa rotacji galaktyki spiralnej M31 jest w przybliżeniu płaska. Późniejsze obserwacje wykazały, że galaktyk o płaskiej krzywej rotacji jest więcej. Dlaczego było to ważne i zaskakujące? Ponieważ, obserwując galaktyki spiralne, widzimy, że ich obszary centralne są bardzo jasne w porównaniu z obszarami znajdującymi się nieco dalej od centrum. To sugeruje, że materia w tych galaktykach powinna być skupiona w centrum, a w związku z tym materia w zewnętrznych obszarach powinna poruszać się w przybliżeniu tak, jakby znajdowała się już poza masą wytwarzającą pole grawitacyjne. Powinna więc mieć krzywą rotacji, w której prędkość zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od centrum galaktyk, czyli jest keplerowska. Natomiast płaska krzywa rotacji, czyli taka, w której prędkość nie zmienia się wraz z promieniem, sugerowała, że w galaktykach spiralnych powinna znajdować się materia nieświecąca – szczególnie dużo powinno być jej w zewnętrznych częściach tych galaktyk.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie krzywych rotacji: B – krzywa rotacji płaska, obserwowana dla wielu galaktyk spiralnych; A – krzywa rotacji keplerowska, taka, jakiej oczekiwano na podstawie obserwacji jasności galaktyk

Kolejne badania dotyczące galaktyk pokazały, że gdyby większość materii w galaktykach spiralnych była skupiona w cienkim dysku, to obiekty te nie byłyby stabilne – po dwóch, trzech obrotach uległyby destrukcji. A przecież widzimy galaktyki spiralne, a badania wskazują, że są to obiekty stare!

W rozwiązaniu tego problemu również bardzo pomocna staje się idea ciemnej materii, której rozkład ma symetrię sferyczną działającą stabilizująco na galaktykę. Ponieważ wokół galaktyk spiralnych nie widzimy kuli ze świecącej materii wnioskujemy, że tą stabilizującą materią musi być materia ciemna.

Oprócz galaktyk spiralnych we Wszechświecie występują galaktyki eliptyczne – mające w przybliżeniu sferyczną symetrię – większe i cięższe od galaktyk spiralnych. Materia w tych galaktykach nie porusza się w wyróżnionej płaszczyźnie, a jej ruch wokół centrum galaktyki przypomina ruch roju os.

W roku 1977 stwierdzono, że wokół eliptycznej galaktyki M87 znajduje się gorący gaz – cząstki tego gazu poruszały się na tyle szybko, że aby grawitacja galaktyki mogła utrzymać go i nie dopuścić do ucieczki, galaktyka M87 musi mieć masę większą niż wskazuje na to jej jasność.



Fot. 3. Galaktyka eliptyczna M87

Te wszystkie argumenty sprawiły, że pod koniec lat 80. XX wieku większość astronomów i astrofizyków była przekonana, że zarówno w gromadach galaktyk, jak i w poszczególnych galaktykach znajduje się dużo nieświecącej, czyli ciemnej materii. Wokół galaktyk spiralnych ta ciemna materia powinna tworzyć tzw. halo. Przyjmuje się, że te galaktyki są zanurzone w kuli zbudowanej z ciemnej materii. Halo stabilizuje galaktykę, a jego obecność wyjaśnia płaską krzywą rotacji.

Ciemna materia a kosmologia

Dziedziną nauki, która najbardziej potrzebuje ciemnej materii, jest kosmologia – nauka o Wszechświecie jako całości. Kosmologia potrzebuje ciemnej materii szczególnego rodzaju – musi to być materia niebarionowa. Okazało się, że kosmologia potrzebuje ciemnej materii zbudowanej z cząstek elementarnych, które mogą oddziaływać jedynie grawitacyjnie i słabo. Taką ciemną materię nazywamy ciemną materią niebarionową.

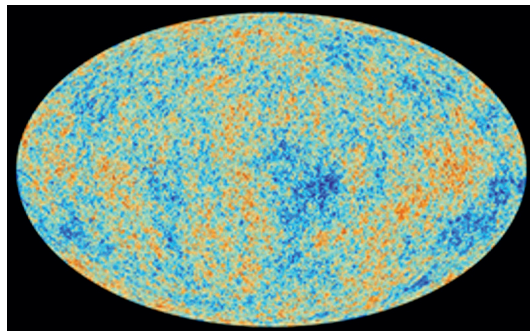
Na początku swojego istnienia Wszechświat był prawie jednorodny. Pozostałością po tym okresie jest tzw. mikrofalowe promieniowanie tła. Stanowią go fotony, które odłączyły się od materii (czyli przestały być z nią w równowadze termodynamicznej), gdy Wszechświat miał 300 000 lat. Od tej pory promieniowanie i materia mają we Wszechświecie „oddzielne historie”. Promie-

niowanie stygło i dziś energia promieniowania tła odpowiada temperaturze zaledwie 3 K. Według współczesnego modelu kosmologicznego wszystkie struktury, które obserwujemy we Wszechświecie, powstały z bardzo małych zaburzeń gęstości w pierwotnym, młodym Wszechświecie.

W 1992 roku dzięki satelicie COBE uczeni odkryli fluktuacje w mikrofalowym promieniowaniu tła. Te zaburzenia w gęstości promieniowania odpowiadają zaburzeniom gęstości materii, od której to promieniowanie odłączyło się, gdy temperatura Wszechświata spadła na tyle, aby było to możliwe.

Jednak od razu pojawił się problem – odkryte zaburzenia były zbyt małe w porównaniu z tymi niejednorodnościami, które dziś obserwujemy we Wszechświecie! Jednak niejednorodności w promieniowaniu tła odpowiadają tylko niejednorodnościom w rozkładzie materii, która może oddziaływać elektromagnetycznie z fotonami tła – natomiast niejednorodności ewentualnej materii oddziałującej jedynie za pośrednictwem sił grawitacyjnych i słabych, nie zostaną „odwzorowane” w promieniowaniu tła. To dlatego kosmologia tak bardzo potrzebuje ciemnej materii niebarionowej – dziś uważa się, że to niejednorodności w jej rozkładzie są odpowiedzialne za powstanie kosmicznych struktur. Struktury te tworzą się w tzw. studniach potencjału grawitacyjnego wytworzonych przez ciemną materię niebarionową.

Bariony – cząstki elementarne, biorące udział w oddziaływaniach silnych, odpowiedzialnych za istnienie jąder atomowych, w oddziaływaniach słabych (odpowiedzialnych np. za niektóre rozpady jąder atomowych), grawitacyjnych i elektromagnetycznych. Barionami są m.in. protony i neutrony.



Fot. 4. Niejednorodności w mikrofalowym promieniowaniu tła.
Obraz uzyskany dzięki satelicie Planck

Dokładna analiza mikrofalowego promieniowania tła, a także inne argumenty pochodzące z obserwacji Kosmosu sprawiły, że dziś uważamy, iż jedynie 0,5% masy Wszechświata to materia świecąca. Z pozostałych 99,5% jedynie 4% to materia barionowa, natomiast 26% to ciemna materia niebarionowa. Brakująca reszta natomiast to tzw. ciemna energia – jeszcze bardziej tajemnicza niż ciemna materia.

Promieniowanie tła – inaczej zwane promieniowaniem reliktowym – to fotony wypełniające Wszechświat; jest prawie doskonale izotropowe. Energia tego promieniowania odpowiada temperaturze około 3 K.

Zamiast podsumowania – czego nie wiemy

Czym zatem może być ciemna materia niebarionowa? Najprawdopodobniej to nieznaną nam do tej pory rodzaj cząstek elementarnych, zapewne o dużej masie, nieposiadających ładunku elektrycznego podlegających jedynie oddziaływaniom: grawitacyjnemu i słabemu.

Z jednej strony trwają intensywne poszukiwania ciemnej materii niebarionowej – na Ziemi działają detektory, które starają się wykryć cząstki takiej materii – jeśli bowiem uczeni nie myślą się co do tego, że ta materia oddziałuje słabymi siłami jądrowymi, wówczas taka detekcja powinna być możliwa, choć bardzo trudna.

Z drugiej strony pojawiają się w nauce głosy poddające w wątpliwość powszechne dziś przekonanie o wszechobecności ciemnej materii.

Uczeni proponują inne rozwiązania problemów z galaktykami spiralnymi, podważane bywają obecne poglądy na temat kosmologii.

To sytuacja zupełnie normalna w nauce – dzięki takim dyskusjom, podważaniu utartych poglądów, nauka rozwija się, a nasza wiedza o świecie poszerza. Nauka jest empiryczna – to oznacza, że doświadczalne potwierdzenie istnienia ciemnej materii niebarionowej, zaobserwowanie w detektorze cząstek takiej materii, zakończy dyskusję na temat jej istnienia. Stanie się ono po prostu faktem. Dyskusje nie tylko nad naturą, ale i nad samym istnieniem ciemnej materii niebarionowej wciąż trwają i wzbudzają ogromne emocje.

Joanna Jałocha

Zadanie

Oblicz prędkość cząstki w odległości R od masy centralnej M . Przy wyliczeniu przyrównaj siłę grawitacji oraz odśrodkową. Uzyskany wzór opisuje prędkość keplerowską. Podstaw za M masę typowej galaktyki, a za R – jej promień.

Czy stała gęstość ciemnej materii jest w zgodzie ze zmierzoną płaską krzywą rotacji?

