

## Ciemna materia – coraz mniej jasności

Kosmologowie uważają, że około ćwierci gęstości energii wypełniającej wszechświat stanowi tzw. ciemna materia – substancja nieoddziałująca lub bardzo słabo oddziałująca ze znaną materią, a w szczególności zupełnie przezroczysta dla światła. Są liczne i ważne powody, by pogląd ten podzielać. Po pierwsze, gwiazdy na krańcach galaktyk poruszają się ze zbyt dużymi prędkościami, by mogły być utrzymane w galaktykach tylko dzięki przyciąganiu materii świecącej. Po drugie, analogiczny argument dotyczy galaktyk skupionych w gromady galaktyk. Po trzecie, jak każda materia, także i ta ciemna ma zdolność soczewkowania grawitacyjnego, tzn. uginania biegnących w jej pobliżu promieni świetlnych; jeśli efekt ten jest niewielki i prowadzi do delikatnego pojaśnienia obiektów astronomicznych, mówimy o mikrosoczewkowaniu grawitacyjnym. Obserwacje nieba pozwalają dziś na odtworzenie rozkładu ciemnej materii w galaktykach. Po czwarte, symulacje komputerowe tworzenia się galaktyk i gromad galaktyk z drobnych początkowo zgęszczeń materii wskazują na konieczność uwzględnienia w tym procesie także i ciemnej materii. Wreszcie, po piąte, obserwowane niejednorodności mikrofalowego promieniowania tła wskazują na istnienie źródła grawitacji o własnościach odpowiadających ciemnej materii.

Wymienione wyżej pięć argumentów uzasadnia istnienie ciemnej materii w sposób pośredni. Nikt jeszcze nigdy „nie złapał” jej w laboratorium, nawet nie w sensie zamknięcia w szczelnym naczyniu, ale przynajmniej „złapania na gorącym uczynku”, tzn. zaobserwowania procesu fizycznego, w którym uczestniczyłaby cząstka ciemnej materii. Dlatego w fizyce ciągle jest miejsce na alternatywne wyjaśnienia zjawisk pośrednio uzasadniających istnienie ciemnej materii.

Jedna z takich propozycji została sformułowana 35 lat temu przez Mordehaia Milgroma. Zakłada ona modyfikację ogólnej teorii względności w taki sposób, że dla bardzo małych przyspieszeń (rzędu od bilionowej do miliardowej części przyspieszenia ziemskiego), jakie wykazuje wiele obiektów astronomicznych, należy zmodyfikować teorię grawitacji, czyli ogólną teorię względności Einsteina. Dla większych przyspieszeń, adekwatnych do opisu dynamiki zjawisk zachodzących na Ziemi czy w Układzie Słonecznym, grawitacja miałaby zaś pozostać taka, jaką ją znamy. Propozycja Milgroma nosi nazwę zmodyfikowanej dynamiki Newtonowskiej i znana jest najbardziej pod swym angielskim akronimem MOND. W ciągu dekad, jakie upłynęły od oryginalnej publikacji, naukowcom udało się zbudować coraz lepsze teorie MOND, łącząc je w szczególności w zgrabny i naturalny sposób z ogólną teorią względności.

Należy jednak pamiętać, że fizyka jest nauką, której fundamentem są eksperymenty i obserwacje, decydujące o tym, jakie teorie można, przynajmniej tymczasowo, przyjąć jako właściwy opis świata, a jakie należy odrzucić. W szczególności można zadać pytanie, jak z ilościowym opisem danych dotyczących prędkości gwiazd

w galaktykach radzą sobie koncepcje ciemnej materii i MOND.

Stacy McGaugh ze współpracownikami wykorzystali w tym celu dane z przeglądu nieba z użyciem m.in. kosmicznego Teleskopu Spitzera, wśród których wyodrębnili obserwacje ponad setki galaktyk pozwalające na bardzo dokładne odtworzenie mapy prędkości oraz rozkładu materii. Badacze zauważyli, że rozkład ten dla znanej materii jest niezwykle podobny do rozmieszczenia ciemnej materii, co można wytłumaczyć na jeden z dwóch sposobów. Albo znana materia „wie”, gdzie znajduje się ciemna materia (ale przecież miały one praktycznie nie oddziaływać), albo należy zmodyfikować prawa fizyki w taki sposób, aby dla dostatecznie małych przyspieszeń znana materia zachowywała się w taki sposób jak MOND. McGaugh ze współpracownikami postanowili wyznaczyć skalę tego granicznego przyspieszenia. Co ciekawe, pomimo znacznej liczby analizowanych galaktyk wartość, jaką uzyskiwali dla każdej z nich, wydawała się w dużej mierze uniwersalna, na poziomie jednej stumiliardowej przyspieszenia ziemskiego. Wyniki te zostały opublikowane w prestiżowym czasopiśmie *Physical Review Letters*.

Te same dane wzięli na warsztat Davi Rodrigues i jego współpracownicy. Przeanalizowawszy je, doszli do wniosku, że nie ma żadnej uniwersalnej skali przyspieszenia wyznaczonej przez poprzedników. Pracę swoją opublikowali w czasopiśmie *Nature Astronomy*, co, przynajmniej w naszym kraju, wywołałoby zachwyt decydentów, ale w międzynarodowym środowisku astronomicznym nie jest uważane za olbrzymi sukces.

Jak to rozumieć? Kluczowa jest tu analiza niepewności obserwacyjnych i ich odpowiednie modelowanie. Opisany zestaw danych został przygotowany (na podstawie wieloletnich pomiarów) przez McGaugha i współpracowników, którzy w związku z tym znali je na wylot i mieli podstawy do zakładania prawdopodobieństwa odstępstwa od wartości zmierzonej opisywanego rozkładem Gaussa. Tymczasem Rodrigues i współpracownicy zastosowali znacznie bardziej toporną analizę, zakładając równomierne prawdopodobieństwo odstępstwa od wartości zmierzonej niezależnie od wielkości odchylenia.

A morał? Wyniki Rodriguesa i kolegów plasowały się w głównym nurcie badań, faworyzującym koncepcję ciemnej materii. Choć miały dodatkowo wzmocnić tę koncepcję, wydaje się, że przede wszystkim zwróciły uwagę na alternatywne i mniej popularne koncepcje. A jak jest naprawdę? W tej chwili nie ma pewności. Autor niniejszego tekstu, który opublikował nieco prac o ciemnej materii, kibicuje tej ostatniej. Może jednak nowe pokolenie badaczy (to do Ciebie, Czytelniczko i Czytelniku!) wykaże, że nie ma racji. . .

- [1] S.S. McGaugh, F. Lelli, J.M. Schombert, The Radial Acceleration Relation in Rotationally Supported Galaxies, *Phys. Rev. Lett.* 117 (2016) 201101
- [2] D.C. Rodrigues, V. Marra, A. del Popolo, Z. Davari, Absence of fundamental acceleration scale in the galaxies, *Nature Astronomy* 2 (2018) 668

Krzysztof TURZYŃSKI