



## Na tropie ciemnych barionów

Nie wiemy, z czego składa się Wszechświat. W powszechnie przyjmowanym modelu kosmologicznym prawie 70% gęstości energii Wszechświata przypisywane jest ciemnej energii, o której można powiedzieć w zasadzie tylko tyle, że ma ujemne ciśnienie powodujące przyspieszone rozszerzanie się Wszechświata. Praktycznie cała reszta energii Wszechświata związana jest z istnieniem materii: „zwykłej” materii barionowej, z której zbudowane są atomy, a więc świat, jaki znamy, oraz ciemnej materii, której grawitacyjne przyciąganie wpływa na ruchy gwiazd w galaktykach, ruchy galaktyk w gromadach galaktyk, formowanie się galaktyk oraz oscylacje materii przed rekombinacją, dziś widoczne jako niejednorodności w mikrofalowym promieniowaniu tła.

Gęstość materii barionowej można by w zasadzie oszacować, sumując gęstości energii wszystkich elementów Wszechświata zbudowanych z tej materii. Jest to jednak zadanie niełatwe – choć materię świecącą, taką jak gwiazdy i galaktyki, po prostu widać, materia barionowa może również istnieć w postaci nieświecącej, takiej jak czarne dziury, planety i bardzo rozrzedzony gaz w przestrzeni międzygwiazdnej. Wiadomo, że zsumowanie wkładów od materii świecącej daje między 50 a 70% wyniku uzyskiwanego z badania mikrofalowego promieniowania tła. Fakt ten odnotowuje się w literaturze naukowej jako *problem brakujących barionów*. Warto podkreślić, że zagadnienie odnalezienia barionów, które nie świecą, bo są za zimne, by emitować promieniowanie elektromagnetyczne, oraz zbyt rozrzedzone, by je w dostrzegalny sposób pochłaniać, jest czymś zupełnie innym niż poszukiwanie ciemnej materii, która z promieniowaniem elektromagnetycznym nie oddziałuje.

Na szczęście istnieją metody obserwacyjne pozwalające dojrzeć nieświecące składniki materii barionowej. Rozrzedzony gaz lub pył staje się możliwy do zaobserwowania, jeśli podświetlić go „od tyłu” światłem gwiazd. Badając widmo promieniowania takich gwiazd, można wnioskować o masie między gwiazdą a ziemskim obserwatorem. Zwarte i gęste obiekty można wykryć za pomocą mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Jeśli planeta lub inny ciemny obiekt porusza się między obserwatorem a odległym źródłem światła, obraz źródła jest zniekształcony w sposób zależny od masy tego ciemnego obiektu.

Od dawna postulowano, że niewidoczne bariony mogą stanowić pasma materii między parami galaktyk. Materia jest w nich bardzo rozproszona, a ponieważ nie są wystarczająco gorące, aby emitować promieniowanie rentgenowskie, są trudne do wykrycia. Można je wszakże zobaczyć za pomocą efektu Sunyaeva–Zel’dovicha, polegającego na tym, że światło z kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła powinno się rozpraszać na takiej materii, tracąc nieco energii, co powinno przekładać się na ciemniejsze plamy w mikrofalowym promieniowaniu tła. Nie daje się ich zobaczyć bezpośrednio, ale dopiero po skorelowaniu ze znanymi z obserwacji rozkładami galaktyk. Pomiaru takie wykonuje się od 2017 roku, a wyniki wskazują na to, że w pasmach materii między parami galaktyk może być ukryte do 30% materii barionowej [1,2,3]. Wyniki te są jednak obarczone dużymi błędami, a samą metodę można zastosować tylko do niewielkich wycinków objętości widzialnego Wszechświata.

Niedawno pojawiła się praca [4], w której opisano nowy sposób zastosowania standardowej metody badania gęstości materii w naszej Galaktyce za pomocą pulsarów radiowych. Tym razem badacze skupili swoją uwagę nie na pulsarach, ale na błyskach radiowych w odległych galaktykach (*Fast Radio Bursts*) i zmierzli dyspersję tych błysków związaną z gęstością elektronów na drodze tych fal radiowych. Ponieważ elektronów jest we Wszechświecie tyle samo co protonów, pozwoliło to na niezależne oszacowanie gęstości materii barionowej, i to w sposób obarczony znacznie mniejszym stopniem niepewności niż w przypadku stosowanych wcześniej metod. Uzyskany wynik zgadza się bardzo dobrze z pomiarami mikrofalowego promieniowania tła w ramach standardowego modelu kosmologicznego. Wydaje się zatem, że jedna z kosmicznych zagadek zostanie niebawem rozwiązana.

Krzysztof TURZYŃSKI

- [1] H. Tanimura, G. Hinshaw, I. G. McCarthy, L. Van Waerbeke; Y.-Z. Ma, A. Mead, A. Hojjati, T. Tröster (2017). “A Search for Warm/Hot Gas Filaments Between Pairs of SDSS Luminous Red Galaxies”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 483: 223–234.
- [2] A. de Graaff; Y.-Ch. Cai, C. Heymans, J. A. Peacock, (2019). “Missing baryons in the cosmic web revealed by the Sunyaev–Zel’dovich effect”. *Astronomy & Astrophysics*. A48: 624.
- [3] F. Nicastro, J. Kaastra, Y. Krongold, S. Borgani, E. Branchini, R. Cen, M. Dadina, C. W. Danforth, M. Elvis (2018). “Observations of the missing baryons in the warm—hot intergalactic medium”. *Nature*. 558 (2018).
- [4] J.-P. Macquart, J. X. Prochaska, M. McQuinn, K. W. Bannister, S. Bhandari, C. K. Day, A. T. Deller, R. D. Ekers, C. W. James, L. Marnoch, S. Osłowski, C. Phillips, S. D. Ryder, D. R. Scott, R. M. Shannon & N. Tejos (2020), “A census of baryons in the Universe from localized fast radio bursts”, *Nature* 581, 391–395 (2020).