

Kolejny postęp w badaniu CMB...

... właśnie się dokonał [1]. Żeby o tym opowiedzieć, musimy zacząć od przypomnienia obecnej sytuacji.

Dwa główne, doświadczalne podejścia do kosmologii to badanie kosmicznego mikrofalowego relikтового promieniowania tła (CMB – *cosmic microwave background*), w którym zamrożony jest rozkład energii Wszechświata z epoki rekombinacji plazmy w atomy wodoru i helu (czyli niecałe 400 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu), oraz badanie soczewkowania grawitacyjnego, czyli obserwowanie, jak światło z odległych pradawnych źródeł było uginane przez mijane skupiska energii (masy).

Badanie korelacji kątowych CMB wraz z konstatacją rosnącego tempa ucieczki galaktyk (wynikająca z analizy zależności przesunięcia ku podczerwieni widma odległych supernowych typu Ia od ich odległości; jest to możliwe, bo supernowe te są jednymi z najmocniejszych tzw. świec standardowych) oraz zmierzenie średniej gęstości zwykłej materii (tzw. materii barionowej) umożliwiło powstanie modelu Λ CDM (ang. *Lambda Cold Dark Matter*), według którego całkowita gęstość energii Wszechświata jest zgodna z hipotezą jego euklidesowości (czyli zerowej krzywizny), ale około 70% tej gęstości przypada na ciemną energię (reprezentowaną przez człon Λ w teorii grawitacji Einsteina), a około jednej czwartej na ciemną materię (złożoną z nieznanymi cząstkami), która jest „zimna” (czyli cząstki te poruszają się z prędkościami nierelatywistycznymi). Model ten jest obecnie punktem odniesienia wszystkich rozważań kosmologicznych. Ponieważ jednak odwołuje się do bytów hipotetycznych i w dodatku – zwłaszcza jeżeli chodzi o ciemną energię – słabo zrozumiałych (niektórzy twierdzą, że kompletnie niezrozumiałych), więc jest pod stałą presją tak ze strony teorii, jak i ze strony doświadczenia.

Nowym źródłem informacji jest połączenie dwóch wspomnianych podstawowych metod kosmologii doświadczalnej w jedną, czyli badanie soczewkowania grawitacyjnego promieniowania tła [1]. W tym celu trzeba zacząć od umieszczenia instrumentu badawczego w miejscu, do którego docierające z kosmosu promieniowanie mikrofalowe jest jak najmniej tłumione, czyli tam, gdzie warstwa atmosfery ponad urządzeniem badawczym jest jak najcieńsza. Działanie tłumiące mają gazy cieplarniane, czyli głównie para wodna. Jeżeli, z powodów technicznych albo finansowych, nie jest możliwe umieszczenie instrumentu na orbicie (tak jak słynnych COBE czy WMAP), dobrze znaleźć miejsce jak najsuchsze i jak najwyżej położone. Pod tym względem idealne są szczyty znajdujące się na pustyni Atacama w Chile. Pod jednym z nich, wygasłym wulkanem Cerro Toco (grające wzgórze), na wysokości 5190 m n.p.m., zbudowano sześciometrowej średnicy Atacama Cosmology Telescope. Jego bolometryczna „źrenica” (tak naprawdę ma ich trzy, wrażliwe na pasma 148, 217 i 277 GHz) jest utrzymywana w temperaturze pół kelwina.

Między innymi dzięki swej wielkości instrument ten ma bardzo dobrą kątową zdolność rozdzielczą około 1,5'. Pozwała to na obserwację efektów soczewkowania, które powinny powodować odchylenia na poziomie 3'. Pomiar jest bardzo trudny, bo chodzi o odwikłanie minimalnych zmian gaussowskiego rozkładu spektrum promieniowania powodowanych przez, również gaussowski, rozkład materii. Dlatego niegaussowski sygnał jest możliwy do odczytania dopiero poprzez badanie czteropunktowej funkcji korelacji (dla porównania, standardowe badanie fluktuacji CMB polega na badaniu korelacji dwupunktowych). To, czego się oczekuje, to rozmycie fluktuacji dla korelacji między punktami odległymi o mniej niż 2°. Właśnie taki, statystycznie istotny, sygnał udało się zaobserwować po raz pierwszy dzięki ACT [2].

Nowe narzędzie, które znalazło się w rękach kosmologów, zostało natychmiast wykorzystane. Do tej pory badanie samego mikrofalowego promieniowania relikowego (CMB) nie pozwalało na wyznaczenie wszystkich parametrów modelu kosmologicznego. Było to spowodowane tzw. geometryczną degeneracją, która uniemożliwiała jednoczesne wyznaczenie krzywizny Wszechświata i tempa jego ekspansji, za pomocą pomiaru kąтового rozmiaru struktury o znanej wielkości w momencie rekombinacji. Mniej więcej taki sam wynik otrzymywano dla modelu Λ CDM z zerową krzywizną i wkładem ciemnej energii do gęstości $\Omega_{\Lambda} = 0,73$ oraz wiekiem rzędu 13 miliardów lat, jak dla „młodsze” Wszechświata z jeszcze większym wkładem ciemnej energii lub dla odpowiednio „starego” Wszechświata w ogóle bez ciemnej energii. Badanie soczewkowania CMB pozwala na zniesienie degeneracji, bo efekt zależy od tego, jak struktury materii rozwijały się w czasie ewolucji Wszechświata. Informacja taka została już, co prawda, na wiele sposobów wydobyta z Kosmosu, ale wyciągnięcie jej z samego CMB byłoby zapowiedzią możliwości, które tkwią w analizowaniu promieniowania tła i powinny być w zasięgu oczekiwanych instrumentów nowej generacji.

Połączenie informacji zdobytych za pomocą WMAP [3] z wynikiem ACT [2] pozwoliło na odrzucenie hipotezy zerowego wkładu ciemnej energii na poziomie 3,2 σ po raz pierwszy za pomocą badania wyłącznie CMB [4] i, na pewno, nie jest to kres możliwości badania Wszechświata za pomocą CMB.

Piotr ZALEWSKI

- [1] S. Boughn, *A distorted view of the early universe*, DOI: 10.1103/Physics.4.53.
- [2] S. Das, B.D. Sherwin i inni, *Detection of the Power Spectrum of Cosmic Microwave Background Lensing by the Atacama Cosmology Telescope*, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 021301.
- [3] D. Larson i inni, *Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Power Spectra and WMAP-Derived Parameters*, Astrophys. J. Suppl. **192** (2011) 16, arXiv:1001.4635.
- [4] B.D. Sherwin, J. Dunkley, S. Das i inni, *Evidence for Dark Energy from the Cosmic Microwave Background Alone Using the Atacama Cosmology Telescope Lensing Measurements*, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 021302.