

## Echa z ciemnego wszechświata: pierwotne spektra fal grawitacyjnych z kosmologicznych przemian fazowych

Około 13.8 miliardów lat temu nasz Wszechświat powstał wskutek *Wielkiego Wybuchu*. Większość informacji wczesnym okresie ewolucji wszechświata wnioskujemy na podstawie obserwacji mikrofalowego promieniowania tła. Powstało ono gdy wszechświat miał około 379000 lat po tym jak temperatura rozszerzającego się Wszechświata spadła na tyle, że elektrony przestały ciągle zderzać się z innymi wysoko energetycznymi cząsteczkami. Dzięki temu powstały niezjonizowane atomy które są neutralne elektrycznie więc fotony wcześniej rozpraszane przez naładowaną plazmę mogły się od tego momentu swobodnie przemieszczać. Promieniowanie które zaczęło poruszać się wtedy swobodnie dociera do nas po dziś dzień tworzy mapę nieba takiego jakim było ono we wczesnym wszechświecie. Nadal powstają eksperymenty mające na celu coraz dokładniejsze odczytanie tej mapy co dostarczy nam więcej detali odnośnie ekspansji Wszechświata w tamtym okresie.

Mimo tej wiedzy etap przed pojawieniem się mikrofalowego tła pozostaje wielką zagadką dla nauki, a jednocześnie jest on kluczowy dla naszego zrozumienia Wszechświata. Zachodziły w nim procesy leżące u źródeł nadal nie zrozumiałych obserwacji. Począwszy od powstania tak zwanej asymetrii barionowej dzięki której wszystkie widoczne obiekty składające się z materii nie anihilują spotykając antymaterię której w obserwowanym Wszechświecie niema. Kolejny problem to geneza ciemnej materii która odgrywała kluczową rolę przy powstawaniu struktur takich jak galaktyki i nadal jest jej we wszechświecie więcej niż obserwowanej przez nas materii.

Wobec tych problemów współczesnej fizyki naturalnym jest poszukiwanie innych nośników informacji które mogłyby pozwolić nam badać wcześniejsze losy Wszechświata. W roku 2015 po raz pierwszy udało nam się zaobserwować taki nośnik. Są to fale grawitacyjne, czyli mikroskopijne zaburzenia czasoprzestrzeni. Jesteśmy w stanie wykryć je, dzięki ogromnym interferometrom laserowym o niezwyklej precyzji. Obecnie działające tego typu eksperymenty wykrywały relatywnie niedawne zdarzenia o olbrzymiej energii, głównie kolizje czarnych dziur o masach rzędu kilkudziesięciu mas słońca. Jednakże planowane obecnie eksperymenty kolejnej generacji np. LISA z angielskiego Laser Interferometer Space Antenna oraz Teleskop Einsteina dzięki większej czułości, być może pozwolą wykryć fale grawitacyjne pochodzące ze wczesnego wszechświata.

W 2023 roku potwierdzono pierwszą obserwację tła fal grawitacyjnych bardziej zbliżonego do mapy CMB przy bardzo niskich częstotliwościach. Odkrycia tego dokonano dzięki wpływowi tych bardzo długich fal grawitacyjnych na ruch pulsarów milisekundowych. Pochodzenie tego tła jest nadal niejasne i nadal możliwych jest wiele interpretacji także w postaci źródeł pochodzących ze wczesnego Wszechświata.

Jednym z możliwych źródeł, które mogą wytwarzać fale grawitacyjne we wczesnym Wszechświecie, są przemiany fazowe pierwszego rzędu. Są to gwałtowne zdarzenia podobne do tego co zachodzi we wrzącej wodzie, gdy bąble nowej fazy powstają w objętości wypełnionej przez fazę początkową. Wiele rozszerzeń Modelu Standardowego mających na celu rozwiązanie zagadek współczesnej kosmologii zawiera takie zdarzenia. Celem tego projektu jest dokładne obliczenie cech stochastycznego tła fal grawitacyjnych jakie wyprodukowało by takie przejście. Jest to niezbędne do identyfikacji tego właśnie źródła spośród wielu innych możliwości. Otworzy nam to nową możliwość spojrzenia na wydarzenia mające miejsce w ciągu kilku sekund po Wielkim Wybuchu.