

## Przemiana fazowa we wczesnym Wszechświecie. Od precyzyjnego opisu do przewidywań obserwacyjnych. Streszczenie popularnonaukowe

Okolo 14 miliardów lat temu nastąpił Wielki Wybuch, kiedy to Wszechświat zaczął się rozszerzać i ochładzać. Pierwotny Wszechświat wypełniała plazma kwarkowo-gluonowa i inne cząstki elementarne. Okolo pikosekundy po Wielkim Wybuchu, nastąpiła zmiana właściwości pola Higgsa i cząstki elementarne uzyskały masę. Później z kwarków i gluonów powstały protony i neutrony, po kilku minutach Wszechświat wypełniony był głównie protonami i elektronami oraz nielicznym jądrami helu i deuteru. W środowisku bogatym w cząstki naładowane elektrycznie, fotony, czyli cząstki światła (wzbudzenia pola elektromagnetycznego) były nieustająco pochłaniane i emitowane. Powstałe wtedy fotony nie mogły propagować się swobodnie na duże odległości, a więc również dostarczyć nam informacji o pierwotnym Wszechświecie. Zmieniło się to dopiero ok. 380 tysięcy lat później, kiedy elektrony i protony związały się, tworząc neutralne atomy wodoru. Powstało wtedy tak zwane pierwotne mikrofalowe promieniowanie tła (ang. cosmic microwave background, CMB). Obserwujemy je obecnie i jest dla nas źródłem wielu cennych informacji o Wszechświecie. Jednak nigdy nie zarejestrujemy bezpośredniego sygnału elektromagnetycznego starszego niż CMB. To bezwzględne ograniczenie na możliwości tradycyjnej astronomii opartej na promieniowaniu elektromagnetycznym, czyli świetle o różnych częstotliwościach (w zakresie widzialnym i niewidzialnym).

Perspektywy poznania wczesnego Wszechświata zmieniły się radykalnie z pierwszą bezpośrednią obserwacją fal grawitacyjnych w 2015 roku. Wprawdzie sygnał ten pochodził z połączenia się dwóch czarnych dziur, które zaszło zaledwie 1,3 miliarda lat świetlnych od Ziemi, jednak ta obserwacja rozpoczęła erę astronomii opartej na falach grawitacyjnych, które mogły propagować się swobodnie również we wczesnym Wszechświecie. Zatem, astronomia fal grawitacyjnych pozwala sięgać do czasów, których nie możemy osiągnąć promieniowaniem elektromagnetycznym. Pozwala tam sięgać, gdzie wzrok nie sięga, przewrotnie parafrazując słowa wieszca.

Jednym ze zjawisk, potencjalnie testowalnym przy pomocy fal grawitacyjnych jest wspomniane we wstępie przemiana fazowa we wczesnym Wszechświecie związana generacją mas cząstek elementarnych. To właśnie ta przemiana jest centralnym obiektem badań prowadzonych w ramach niniejszego projektu.

Pole Higgsa oddziałuje z innymi cząstkami. To oddziaływanie zależy od jego własności, dla uproszczenia wielkość decydującą o sile oddziaływania nazwiemy gęstością. Cząstki poruszające się „rzadkim” polu Higgsa nie mają masy, natomiast w „gęstym” mają. Pole Higgsa w pierwotnym Wszechświecie jest „rzadkie”, natomiast w dzisiejszych czasach jest „gęste”. Przejście od jednego stanu do drugiego to przemiana wczesniej przemiana fazowa. Nie znamy natury tego przejścia – mogło ono odpowiadać stopniowemu gęstnieniu lub skokowemu przejściu i to ten ostatni scenariusz jest dla nas interesujący.

Jego przebieg można porównać do wrzenia wody. We Wszechświecie wypełnionym „rzadkim” polem Higgsa i bezmasowymi cząstkami (odpowiada to płynnej wodzie) pojawiają się bąble wypełnione „gęstym” polem Higgsa i masywnymi cząstkami (bąble pary wodnej w gotującej się wodzie). Bąble rozszerzają się i zderzają aż wypełnią cały Wszechświat. W przeciwieństwie do wrzenia wody, przemiana fazowa związana z generacją mas przebiega z wydzielaniem energii. Energia ta częściowo zamieniana jest w energię fal grawitacyjnych, które mogą dotrzeć do Ziemi. W latach 30’ obecnego wieku rozpocznie swoją działalność kosmiczny detektor fal grawitacyjnych LISA (Laser Interferometer Space Antenna), który będzie czuły na fale grawitacyjne pochodzące z przemiany fazowej.

W prezentowanym projekcie będę badać różne aspekty przemiany fazowej. Jednym z niezrozumiałych dotychczas w pełni elementów jest dynamika rozszerzania się bąbli, w szczególności ich prędkość. Poprawa szacowania tego parametru (istotnego dla formułowania przewidywań dot. fal grawitacyjnych) jest jednym z celów projektu. Ponadto, będę pracować nad metodami teoretycznymi, które pozwolą nam uchwycić wszystkie kluczowe aspekty tego zjawiska. Dodatkowo, chcę badać zjawiska, które mogą zachodzić przy okazji przemiany fazowej, takie jak produkcja cząstek, w tym ciemnej materii, generacja asymetrii między materią i antymaterią, produkcja pierwotnych czarnych dziur.

Celem prezentowanego projektu jest teoretyczne zbadanie przemiany fazowej – zjawiska, które zaszło okolo pikosekund po Wielkim Wybuchu, a jednocześnie może być badane eksperymentalnie. Już niedługo, dzięki ogromnym wysiłkom eksperymentalnym, będziemy mogli oglądać „fotografie” z grawitacyjnej noworodkowej sesji zdjęciowej Wszechświata. Żeby coś na nich dostrzec, musimy dobrze się przygotować.