

WRZENIE ŚWIATA: PRZEMIANY FAZOWE WE WCZESNYM WSZECHŚWIECIE I ICH ŚLAD W FALACH GRAWITACYJNYCH

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Wszechświat rozpoczął swoje istnienie w gorącym Wielkim Wybuchu, a następnie rozszerzał się i stygł. Początkowo wypełniony był gorącą plazmą cząstek elementarnych. W pewnym momencie elektrony i protony połączyły się tworząc atomy wodoru (proces ten nazywany jest rekombinacją). Od tamtej chwili światło może swobodnie przemierzać przestrzeń, gdyż nie ma swobodnych naładowanych cząstek, które by je rozpraszały. Promieniowanie pozostałe z momentu rekombinacji, która nastąpiła około 379 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu, zostało zaobserwowane (jest to tak zwane mikrofalowe promieniowanie tła) i nauczyło nas bardzo dużo. Jednakże nigdy nie będziemy w stanie zaobserwować żadnego promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego sprzed momentu rekombinacji. Żeby odnaleźć pamiątki z dzieciństwa Wszechświata potrzebna jest zupełnie nowa metoda obserwacji.

Mamy mocne dowody na to, że tuż po Wielkim Wybuchu zachodziły interesujące zjawiska fizyczne. Wraz z odkryciem bozonu Higgsa, mechanizm spontanicznego łamania symetrii został potwierdzony jako źródło mas elektroslabych bozonów pośredniczących W^\pm i Z . Masy te pochodzą z oddziaływania z polem Higgsa. Można to wytłumaczyć używając analogii, w której bozony pośredniczące propagują się w “cieczy Higgsa”. Jeśli ta ciecz ma zerową gęstość, łatwo jest się w niej poruszać i cząstki zachowują się jak bezmasowe, jeśli gęstość cieczy jest duża, hamuje cząstki i zachowują się one jak cząstki masywne. Wspomniane wcześniej łamanie symetrii odpowiada zmianie “gęstości” pola Higgsa z zerowej (cząstki bezmasowe) na niezerową (cząstki masywne). Kiedy rozważamy elementarne pola w kontekście temperaturowej ewolucji Wszechświata, okazuje się, że łamanie symetrii jest rzeczywistym procesem fizycznym, który zaszedł około 10 pikosekund po Wielkim Wybuchu. Natura tego procesu nie jest jeszcze dobrze poznana, jednakże wiele modeli teoretycznych przewiduje, że jest on przemianą fazową pierwszego rodzaju. Przemiana fazowa to zmiana własności (fazy) substancji, np. woda kiedy wrze, przechodzi przemianę z fazy ciekłej do fazy gazowej. Przejścia fazowe pierwszego rodzaju związane są z pochłonięciem lub wydzielaniem ciepła. Łamanie symetrii elektroslabej i generacja mas przebiega podobnie do wrzenia wody — bąble wypełnione fazą masywną (z niezerową “gęstością pola Higgsa”) formują się wewnątrz fazy bezmasowej (z zerową gęstością) i rozszerzają się dopóki nie wypełnią całego Wszechświata. Podczas tego procesu Wszechświat wrze w całej objętości i wydzielana jest duża ilość energii. Ten gwałtowny proces może pozostawić po sobie ślad w strukturze czasoprzestrzeni w formie fal grawitacyjnych.

W 2015 roku po raz pierwszy wykryto fale grawitacyjne pochodzące ze zderzenia dwóch czarnych dziur. Ta pionierska obserwacja otworzyła nowe okno, przez które możemy “słuchać” Wszechświata. Analogia “słuchania” jest często używana w kontekście fal grawitacyjnych, żeby pokreślić, że ich natura jest fundamentalnie inna niż natura fal elektromagnetycznych stanowiących podstawę tradycyjnej astronomii. Około roku 2030 zaplanowane jest uruchomienie nowego, umieszczonego w przestrzeni kosmicznej detektora LISA (Laser Interferometer Space Antenna), który będzie w stanie zaobserwować fale grawitacyjne z przemiany fazowej we wczesnym Wszechświecie. Ten przełom pozwoli nam usłyszeć, co wydarzyło się za zasłoną mikrofalowego promieniowania tła.

Żeby w pełni wykorzystać potencjał tak niesamowicie wymagających pomiarów musimy dobrze się przygotować poprzez pogłębienie zrozumienia procesów, które chcemy badać oraz przygotowanie przewidywań dla oczekiwanych sygnałów. Głównym celem niniejszego projektu jest włączenie się do tych przygotowań. Precyzując, jednym z moich celów jest zrozumienie dynamiki przemiany fazowej, w szczególności rozszerzania się bąbli fazy masywnej. Ponadto udoskonalam narzędzia teoretyczne używane do opisu tego procesu. Dodatkowo przygotowuję przewidywania dla sygnałów fal grawitacyjnych wynikające z konkretnych modeli oddziaływań fundamentalnych. Kolejnym zagadnieniem będzie zbadanie jak własności przemiany fazowej wpływają na obserwowalną reliktową gęstość ciemnej materii oraz asymetrię barionową. W końcu zamierzam zbadać związki między fizyką oddziaływań elementarnych i fal grawitacyjnych, żeby zrozumieć w jaki sposób się dopełniają, co pozwoli używać danych z LHC i LISA w optymalny sposób.

Podsumowując, detektor LISA otworzy okno, przez które będziemy mogli usłyszeć pierwsze chwile Wszechświata. Żeby zrozumieć tę wiadomość, musimy nauczyć się języka fal grawitacyjnych (i do pewnego stopnia go wynaleźć). Teraz jest na to najlepszy moment.