Produkcja czarnych dziur i fal grawitacyjnych z kosmicznych przejść fazowych

Badania kosmosu, które jako ludzkość przeprowadziliśmy w przeciągu ostatniego stulecia, pozwoliły nam niezywkle poszerzyć wiedzę o Wszechświecie, jego ewolucji i przyszłości. Szczególny wpływ na rozwój naszej znajomości Wszechświata miało odkrycie i zbadanie *mikrofalowego promieniowania tła*, które, zgodnie z obecnym stanem naszej wiedzy, pozwoliło bardzo dokładnie opisać stan Wszechświata około 400 000 lat po *Wielkim Wybuchu* oraz skonstruować przewidywania jego dalszej ewolucji. Jednak, mimo, że nasze odkrycia pozwoliły uzyskać wiele odpowiedzi na pytania o historię Wszechświata, ujawniły również kolejne problemy i niejasności, których póki co nie jesteśmy w stanie rozwikłać.

Wśród tych nierozwiązanych problemów, jednym z najbardziej istotnych jest problem ciemnej materii. Rezultaty różnych eksperymentów, takich jak pomiary krzywych rotacyjnych galaktyk, soczewkowania grawitacyjnego czy mikrofalowego promieniowania tła, wskazują na obecność materii o nieznanej nam naturze, którą określamy mianem *ciemnej materii*. Ciemna materia bardzo słabo oddziałuje ze zwykłą, barionową, materią, co znacząco utrudnia jej bezpośrednie wykrycie i zbadanie w naziemnych laboratoriach. Równolegle prowadzone są więc pośrednie badania, mające na celu scharakteryzowanie ciemnej materii poprzez zbadanie jej wpływu na poszczególne zjawiska zachodzące w przestrzeni kosmicznej.

Mimo trudności w uzyskaniu pozytywnych rezultatów w badaniach eksperymentalnych, naukowcy nieustannie próbują udoskonalać teoretyczne opisy ciemnej materii. Jedną z obiecujących możliwości wyjaśnienia problemu ciemnej materii jest hipoteza, zgodnie z którą znaczną część, lub nawet całość, ciemnej materii stanowią czarne dziury. Aby to było możliwe, większość czarnych dziur musiałaby powstać w procesach innych niż grawitacyjny kolaps masywnych gwiazd. Potencjalną odpowiedzią są pierwotne czarne dziury, które mogą formować się wskutek różnych mechanizmów zachodzących na bardzo wczesnym etapie ewolucji Wszechświata.

Niezbędnym warunkiem umożliwiającym powstanie pierwotnych czarnych dziur jest obecność obszarów o zwiększonej gęstości energii, które wskutek oddziaływań grawitacyjnych zapadają się do bardzo małej objętości, tworząc czarną dziurę. Jednym ze źródeł takich obszarów mogą być fluktuacje gęstości energii powstałe wskutek kosmicznego przejścia fazowego pierwszego rodzaju. Proces takiego przejścia odbywa się poprzez nukleację bąbli prawdziwej próżni we Wszechświecie wypełnionym fałszywą próżnią w sposób podobny do procesów wrzenia przegrzanej cieczy. Obszary, w których nukleacja bąbli zachodzi nieco później, niż w obszarach z nimi sąsiadujących, charakteryzują się wyższą względną gęstością energii, która po przekroczeniu wartości krytycznej umożliwia kolaps grawitacyjny i utworzenie czarnej dziury.

Poprzednie rezultaty na temat badań dotyczących powstawania czarnych dziur w przemianach fazowych wskazują, że przejścia fazowe pozwalające na produkcję czarnych dziur w znaczącej ilości cechują się również powstawaniem silnego spektrum fal grawitacyjnych, które, w zależności od właściwości przemiany fazowej, może odpowiadać za stochastyczne tło fal grawitacyjnych obserwowane w działających eksperymentach (Pulsar Timing Arrays), lub będzie możliwe do wykrycia w eksperymentach zaplanowanych na najbliższą przyszłość (np. Laser Interferometer Space Antenna). Szczegółowe pomiary, analiza i teoretyczny opis sygnałów fal grawitacyjnych może dostarczyć przełomowych rezultatów, gdyż fale grawitacyjne mogą przenosić informację o procesach zachodzących przed emisją mikrofalowego promieniowania tła. Może to nam dać bezpośredni wgląd w zjawiska, które zdarzyły się w tak krótkim czasie po Wielkim Wybuchu, że nie jesteśmy w stanie ich zmierzyć przy użyciu innych środków.