

# **Kwantowe pochodzenie kosmologicznej ekspansji i pierwotnych struktur we Wszechświecie**

*Przemysław Małkiewicz*

Standardowy model kosmologiczny opiera się na idei kosmicznej ekspansji (t.j. rozszerzania się przestrzeni), która pozwala wyjaśnić poczerwienienie galaktyk, pochodzenie mikrofalowego promieniowania kosmicznego czy występowanie pierwotnych pierwiastków we Wszechświecie. Jednakże według Ogólnej Teorii Względności (OTW), czyli teorii grawitacji Einsteina, ekspansja musiała mieć swój początek jakieś 13,7 miliarda lat temu w punkcie osobliwym, w którym równania teorii załamują się. Istnienie punktu osobliwego uznaje się za artefakt niekompletnego modelu kosmologicznego. Obserwacje równowagi termodynamicznej pomiędzy obszarami kosmosu bardziej odległymi od siebie niż dystans, który mógłby być pokonany przez światło od czasu punktu osobliwego wskazuje na istnienie niewyjaśnionego dotąd fizycznego procesu, który zaszedł w punkcie osobliwym bądź go całkowicie zastąpił.

W projekcie badamy rozszerzenie standardowego modelu kosmologicznego o fazę kosmologicznej kontrakcji (t.j. kurczenia się przestrzeni), która poprzedza obecną ekspansję. Wszechświat staje się bardzo mały i gęsty, a następnie odbija się do ekspansji dzięki tzw. efektom kwantowym pola grawitacyjnego. Uwzględnienie efektów kwantowych poprawia równania OTW i prowadzi do nieosobliwej dynamiki wszechświata. Kosmologiczna ewolucja w czasie odbicia jest bardzo złożona ze względu na oddziaływanie wielu grawitacyjnych stopni swobody. Gdybyśmy umieli spojrzeć z zewnątrz na wszechświat w czasie wielkiego odbicia, przestrzeń kosmiczna przypominałaby gwałtownie kurczącą i rozszerzającą się trójwymiarową kulę, która jest stale rozciągana i ściskana we wszystkich kierunkach. W takim wszechświecie rozchodzą się fale materii oraz fale grawitacyjne. Kosmologiczne odbicie wzbudza fale materii, które osiągają duże amplitudy na początku fazy ekspansji, a następnie formuje się z nich obserwowana dzisiaj struktura wielkoskalowa wszechświata. Wzbudzeniu ulegają również fale grawitacyjne, czyli rozchodzące się z prędkością światła zaburzenia samej przestrzeni. Użyjemy tego modelu do wyznaczenia dokładnych przewidywań dotyczących pierwotnych fal grawitacyjnych, których pomiar jest celem wielu obecnie trwających lub planowanych eksperymentów.

Badany model jest rozszerzeniem standardowego modelu kosmologicznego o kontrakcję i odbicie, które nie są zawarte w OTW, lecz są wynikiem działania efektów kwantowych. Oczekujemy, że wyjaśni on pochodzenie obecnie mierzonej z dużą dokładnością struktury wielkoskalowej we wszechświecie jako efekt złożonej dynamiki wszechświata w pobliżu kosmologicznego odbicia, a nie wyjątkowych warunków początkowych. Ten model będzie stanowić alternatywną teorię wobec spekulatywnej teorii kosmicznej inflacji, ale wolną od problemów tej ostatniej. Przewidywania amplitudy pierwotnych fal grawitacyjnych powinny być różne dla obu teorii, a planowane eksperymenty będą prawdopodobnie w stanie rozstrzygnąć, która teoria jest prawdziwa. Dzięki proponowanemu modelowi, wyniki przyszłych pomiarów będą również istotne dla zrozumienia kwantowych efektów pola grawitacyjnego.