

Pomost pomiędzy niezależnym od tła modelem grawitacji kwantowej sprzężonym z polami materii a modelem standardowym: popularnonaukowe streszczenie projektu

W dwudziestym wieku ogólna teoria względności i kwantowa teoria pola narzuciły nauce rewolucjonizujące idee, które stały się kamieniami węgielnymi współczesnej fizyki teoretycznej. Rozwijały się w wielu skalach, począwszy od opisu całego Wszechświata, poprzez skalę galaktyk i gwiazd, aż po zrozumienie fundamentalnej natury materii, której kulminacją był standardowy model cząstek elementarnych. Niestety, osiągnięciom towarzyszą również nierozwiązane problemy koncepcyjne i techniczne obydwu teorii. Ten stan rzeczy prowadzi to do wniosku, że podstawy jednego lub obu formalizmów muszą zostać zmodyfikowane. Pojawia się koncepcja, że szukane rozwiązanie tkwi w zrozumieniu konsystentnego sprzężenia materii i grawitacji w ramach jednej kwantowej teorii. Można więc oczekiwać, że teoria kwantowa łącząca grawitację i materię będzie też kluczem do rozwiązania problemów występujących zarówno w samej ogólnej teorii względności, jak i standardowej kwantowej teorii pola.

Idea kwantowania pola grawitacyjnego jest prawie tak stara, jak ogólna teoria względności: w jednym z jego artykułów w 1916 roku Albert Einstein napisał: „Niemniej jednak ... wydaje się, że teoria kwantów musiałaby zmodyfikować nie tylko elektrodynamikę Maxwella, ale także nowa teoria grawitacji”. Rzeczywiście, pierwsze próby kwantowania pola grawitacyjnego zaczęły się krótko po sformułowaniu ogólnej teorii względności. Sto lat później dziedzina teoretycznych badań znana dziś pod nazwą grawitacji kwantowej rozwinęła się w znacznym stopniu, ale odpowiedzi na wiele pytań pozostają nieznanne.

Pętłowa grawitacja kwantowa i jej polimerowe rozszerzenie jest nieperturbacyjnym podejściem do kwantyzacji pól grawitacji i materii. Opiera się na idei niezależności od „tła”, czyli od pojęć odległości i miary czasu. Te ostatnie bowiem stają się częścią dynamiki ogólnej teorii względności. Przeniesienie tego sposobu myślenia do sfery kwantowej wymaga zrezygnowania ze standardowej kwantyzacji Focka będącej u podstaw niezwykle ważnego dla modelu standardowego pojęcia cząstki. Kwantyzacja pętłowa została opracowana najpierw dla teorii grawitacji i pól cechowania. Zapewnia strukturę, w której grawitacja i pola modelu standardowego są skwantowane w sposób niezależny od tła. Pytanie więc brzmi, w jaki sposób wyłania się z nich, jeśli w ogóle, ogólna względność oraz model standardowy? Celem naszego projektu jest właśnie znalezienie odpowiedzi na to pytanie.

Chcemy zrozumieć w jaki sposób reprezentacja Focka kwantowych pól materii i związane z nią pojęcie cząstki wynikają z niezależnej od tła kwantyzacji pętłowo-polimerowej pól materii sprzężonych z grawitacją. Kluczem będzie tu podejście do teorii kwantowej znane jako teoria na sieci. Teoria na sieci stosowana jest z powodzeniem w standardowej kwantowej teorii pola. Z drugiej strony, pewne elementy teorii na sieci obecne są w kwantyzacji pętłowej i polimerowej. Tę wspólną strukturę teorii na sieci planujemy wykorzystać w naszym projekcie jako pomost pomiędzy badanymi teoriami. Zastosujemy będące do dyspozycji znane metody przejścia z teorii na sieci do granicy ciągłej i gruboziarnistej. Przeanalizujemy również postulowany w modelu standardowym mechanizm Higgsa w języku niezależnej od tła kwantowej teorii pętłowo-polimerowej. Poza samym wyjaśnieniem mechanizmu wyłaniania się struktur modelu standardowego z kwantyzacji pętłowej liczymy na uzyskanie poprawek pochodzących od kwantowej struktury czasoprzestrzeni na własności materii, na przykład na prawa propagacji jej modów i spektra hamiltonianów.