

Pętlowa grawitacja kwantowa z polami materii: granica kontinuum i fenomenologia emergentna

Streszczenie popularnonaukowe

Jednym z głównych wyzwań stojących przed współczesną fizyką teoretyczną jest połączenie teorii względności, tj. klasycznej teorii oddziaływania grawitacyjnego, z zasadami mechaniki kwantowej. Ten złożony problem polega na szukaniu kwantowej teorii grawitacji, która w sposób spójny pozwala na sprzężenie grawitacji z polami materii modelu standardowego i zapewnia kompletny opis systemów, w których grawitacja osiąga krytyczne skale, a efekty kwantowe nie mogą być ignorowane, na przykład w czarnych dziurach i we wczesnej fazie ewolucji Wszechświata. Taka teoria niewątpliwie zrewolucjonizowałaby nasze zrozumienie podstaw fizyki. Kierunek badań w tym zakresie znany jest jako kwantowa grawitacja.

Istnieje kilka podejść, które próbują rozwiązać problem grawitacji kwantowej. Jednym z nich jest program pętlowej grawitacji kwantowej, który jest przedmiotem niniejszego projektu. Pętlowa grawitacja kwantowa podąża za koncepcją kwantyzacji ogólnej teorii względności. Zapewnia wspólne ramy, w których grawitacja i pola materii modelu standardowego są skwantowane w sposób niezależny od tła. W tym programie nastąpiło wiele zmian, a wynikająca z niego teoria ma bardzo solidne matematyczne podwaliny. Jednak kilka kwestii pozostaje nierozwiązanych, w szczególności: niejednoznaczności w implementacji dynamiki, konstrukcja stanów fizycznych i obserwabli oraz odtwarzanie granicy kontinuum teorii. Kwestia granicy kontinuum jest najpoważniejszym problemem, z jakim boryka się teoria. Można go, mówiąc ogólnie, sformułować w postaci pytania, w jaki sposób kwantowa teoria pola w ustalonej czasoprzestrzeni wynika z kwantowej teorii grawitacji sprzężonej z polami materii. Zasadniczo to pytanie nie różni się od pytania, jak uzyskać teorię dynamiki płynów z mechaniki kwantowej.

Badania w kierunku znalezienia odpowiedzi na to pytanie szybko się rozwijają, a przeważający obecnie konsensus popiera pomysł opracowania schematu renormalizacji dla teorii kwantowej. Renormalizację w tym kontekście należy rozumieć jako procedurę konstruowania teorii efektywnych na podstawie fundamentalnej teorii kwantowej, która uwzględnia dynamikę kwantową, a także możliwe symetrie związane z rozważanymi systemami. Podejście to podobne jest do procedur renormalizacji stosowanych w sieciowej teorii pola i fizyce statystycznej.

Głównym celem niniejszego projektu jest przyczynienie się do zrozumienia pojawienia się granicy kontinuum w pętlowej grawitacji kwantowej, poprzez badanie półklasycznych i dynamicznych własności pewnych klas stanów kwantowych, budowę sensownego schematu renormalizacji, badanie implementacji symetrii w teorii oraz ekstrakcję efektywnych modeli w celu oceny wyłaniającej się fenomenologii grawitacji kwantowej sprzężonej z polami materii modelu standardowego. Zacznę od badania półklasycznych i dynamicznych własności grafowych stanów koherentnych w kontekście pętlowej kwantowej teorii grawitacji sprzężonej z polami materii. Następnie ocenię możliwe związki pomiędzy konstrukcją grafowych stanów koherentnych a gruboziarnistymi (ang. coarse grained) stanami pętlowej sieci spinowej oraz zbadam pojawienie się i implementację efektywnej dynamiki dla stanów gruboziarnistych. Korzystając z uzyskanych wyników, spróbuję skonstruować procedurę renormalizacyjną dla pętlowej kwantowej teorii grawitacji sprzężonej z polami materii. Ponadto, będę badać powstawanie symetrii w kowariantnych teoriach mierników w zakresie obszarów ograniczonych, a następnie zbadam ich rolę w formułowaniu teorii kwantowej. Dodatkowo, będę badać implementację symetrii czasoprzestrzennych i materii za równo w teorii kwantowej, jak i w ramach potencjalnego schematu renormalizacji. Na koniec zajmę się badaniem konstrukcji modeli efektywnych z pętlowej teorii kwantowej grawitacji i ocenę ich fenomenologiczne konsekwencje.