

Jacek Puchta
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Applications of the spin networks and spin foam models in quantum gravity

Piany spinowe (Spin Foams) są formalizmem całek po trajektoriach dla poszukiwań kwantyzacji pola grawitacyjnego w ramach Pętlowej Kwantowej Grawitacji (Loop Quantum Gravity, LQG). W tej rozprawie doktorskiej zostały przedstawione i rozwiązane cztery problemy modeli pian spinowych.

Pierwszym przedstawionym zagadnieniem jest pytanie, na jakiej klasie 2-kompleksów należy zdefiniować modele pian spinowych, aby determinowana przez nie dynamika była określona dla wszystkich stanów kinematycznych LQG. W ramach badania tego zagadnienia wprowadzony został język diagramów, nazwanych diagramami operatorowo spin-networkowymi (Operator Spin-network Diagrams, diagramy OSD), pozwalający przedstawić pianę spinową jako zbiór grafów połączonych pewnymi relacjami. Każdy graf opisuje strukturę jednego wierzchołka piany spinowej: węzły grafu i połączenia węzłów grafu reprezentują odpowiednio krawędzie i ściany piany spinowej, stykające się z opisywanym wierzchołkiem. Relacje między grafami w diagramach OSD opisują, w jaki sposób krawędzie i ściany łączą wierzchołki piany spinowej. Zostało udowodnione, że dla każdego diagramu OSD można w jednoznaczny sposób skonstruować 2-kompleks, którego komórki pokolorowane są tak, że można dla niego obliczyć pianową amplitudę przejścia. Ponadto wprowadzona została procedura sklejania diagramów OSD wzdłuż brzegów, odpowiadająca składaniu procesów kwantowych. Wszystkie możliwe diagramy OSD można przedstawić jako odpowiednie sklejanie diagramów elementarnych, tj. reprezentujących zero lub jeden wierzchołek oddziaływania. Wszystkie 2-kompleksy, które można uzyskać z diagramów OSD, tworzą klasę, która została zaproponowana jako adekwatna, aby zdefiniować na niej modele pian spinowych.

Diagramy OSD zostały następnie użyte do rozwiązania tzw. *problemu brzegowego*, tzn. aby znaleźć wszystkie piany spinowe o z góry zadanim brzegu, składającym się z pary stanów - wejściowego i wyjściowego - będących kinematycznymi stanami LQG. Sformułowany został algorytm pozwalający znaleźć szereg zawierający wszystkie diagramy OSD o określonym brzegu. Diagramy te uszeregowane są względem liczby wewnętrznych krawędzi odpowiadających im pian spinowych. Algorytm ten został przetestowany na modelu Dipole Cosmology (wprowadzonym w 2010 przez E. Bianchi, C. Rovelli oraz F. Vidotto). Znalezione zostały wszystkie diagramy dające wkład do amplitudy przejścia w modelu Dipole Cosmology w najniższym rzędzie. Zbadany został również wkład znalezionych diagramów do amplitudy. Okazało się, że amplitudy wszystkich znalezionych zanikają eksponencjalnie w granicy semiklasycznej, tak więc uwzględnienie ich nie psuje wyników autorów modelu Dipole Cosmology.

Trzecim zagadnieniem badanym w ramach niniejszej rozprawy są nieskończoności występujące w pianach spinowych wywołane obecnością bąbli w 2-kompleksach (tzn. podkompleksów tworzących zamknięte powierzchnie). W ramach dotychczasowego języka opartego na 2-kompleksach znajdowanie bąbli było uciążliwe. Dzięki diagramom OSD wprowadzony został prosty algorytm pozwalający jednoznacznie zidentyfikować część diagramu reprezentującą bąbel. Wprowadzone zostało pojęcie rzędu bąbla, mierzące liczbę elementarnych bąbli składających się na badany bąbel. Podana została metoda obliczenia rzędu bąbla dla dowolnego diagramu OSD. Powyższe narzędzia zostały zilustrowane przykładami prezentującymi kilka podstawowych typów bąbli.

Czwarte pytanie, na które odpowiedź zawarta jest w tej rozprawie, związane jest ze szczegółową analizą konkretnego przykładu bąbla, zwanego bąblem typu melon. Bąbel typu melon jest pianą spinową reprezentującą proces analogiczny do energii samoodziaływania w Kwantowej Teorii Pola. Dotychczasowe badania pokazały, że jego amplituda jest proporcjonalna do pewnego operatora $\mathbb{T}$, jednak sam operator $\mathbb{T}$ był nieznany. W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej operator $\mathbb{T}$ został zbadany w granicy semiklasycznej. Uzyskano ścisłą postać wiodącego rzędu operatora $\mathbb{T}$: dla ustalonych wartości własnych operatorów pola powierzchni jest on proporcjonalny do operatora jednostkowego ze współczynnikiem proporcjonalności zależnym od tych wartości własnych.