

Najdoskonalsze, najbardziej podstawowe i sprawdzone z największą dokładnością współczesne teorie fizyczne to ogólna teoria względności Einsteina, opisująca grawitację i ewolucję Wszechświata w największej skali, oraz teoria pól kwantowych, opisująca pozostałe oddziaływania fundamentalne: elektromagnetyczne, słabe i silne. Teorie te wydają się jednak być ze sobą niekompatybilne. Próby utworzenia opisu grawitacji w mikroskali – stworzenia kwantowej teorii grawitacji – używając tych samych metod, za pomocą których wcześniej uzyskano kwantowe teorie pozostałych oddziaływań, napotykają na matematyczne przeszkody: w obliczeniach pojawiają się nieskończoności, do usunięcia których trzeba by wprowadzić nieskończenie wiele nowych parametrów, których wartości nie da się ustalić eksperymentalnie.

Potrzeba więc znaleźć inną drogę do kwantyzacji grawitacji. Teoria Kauzalnych Dynamicznych Triangulacji (CDT) jest jedną z prób osiągnięcia tego celu.

Wielkim wkładem Richarda Feynmana w rozwój fizyki XX wieku są całki po trajektoriach – wykorzystywana w mechanice kwantowej metoda, według której w celu opisanie ruchu cząstki, należy rozważyć wszystkie możliwe trajektorie jej ruchu, obliczyć pewną wielkość charakterystyczną dla każdej trajektorii i zsumować wyniki. Teoria CDT stosuje tę metodę, ale ponieważ rozważamy grawitację, która jest opisana według Einsteina geometrią czasoprzestrzeni, a nie ruch pojedynczej cząstki, to zamiast sumowania wkładów od wszystkich możliwych trajektorii, po których cząstka porusza się w przestrzeni, rozważane są wkłady od wszystkich możliwych geometrii czasoprzestrzeni Wszechświata. Aby móc rozważać poszczególne kształty geometrii czasoprzestrzeni, buduje się ją z małych czterowymiarowych bloków, sklejanych ze sobą w skomplikowany sposób, niemożliwy do przedstawienia w płaskiej czterowymiarowej przestrzeni. W celu generowania tych struktur i obliczania ich parametrów, wykorzystuje się symulacje komputerowe.

Teoria ta wykorzystuje inne metody niż standardowa kwantyzacja, co może pozwolić na ominięcie matematycznych przeszkód i opis zachowania grawitacji w najmniejszej skali.

Badania w ramach mojej rozprawy doktorskiej będą obejmowały wygenerowanie pewnej liczby konfiguracji kwantowej geometrii czasoprzestrzeni o topologii przestrzennej 3-wymiarowego torusa i dogłębną ich analizę. Opracowane zostaną nowe metody, pozwalające na pomiar niezmiernych dotychczas wielkości i na odróżnienie efektów całkowicie kwantowych, charakterystycznych dla najmniejszej skali długości, od semiklasycznych. Zostanie także zbadane, czy w granicy dużej skali rzeczywiście otrzymujemy zachowanie zgodne z ogólną teorią względności. Oprócz czasoprzestrzeni rządzonej wyłącznie grawitacją, uwzględniona zostanie także materia i jej wpływ na kwantowe zachowanie grawitacji i na ewolucję Wszechświata.

Utworzenie kwantowej teorii grawitacji jest najbardziej fundamentalnym wyzwaniem współczesnej fizyki. Uważam, jak zapewne większość fizyków, każdy krok zmierzający w tym kierunku i każdą możliwość pogłębienia zrozumienia zachowania grawitacji w najmniejszej skali za niezwykle cenne.