

Przełącznik kwantowy z ciągłą kontrolą: od podstaw fizyki do zalet w informatyce kwantowej

Teoria kwantowa i ogólna teoria względności to najbardziej udane teorie fizyczne do tej pory. Jednak teoria „grawitacji kwantowej”, która łączy obie z nich, nigdy nie została sformułowana. Interesującym podejściem do grawitacji kwantowej jest dziedzina znana jako *niezdefiniowana kolejność przyczynowa*, która łączy probabilistyczny charakter mechaniki kwantowej z dynamiczną strukturą przyczynową ogólnej teorii względności. Podstawowy pomysł niezdefiniowanej kolejności przyczynowej można lepiej zrozumieć poprzez jej najbardziej wyrazisty przykład: przełącznik kwantowy. Rozważmy dwie transformacje U i V , które zmieniają stan układu kwantowego. Możemy zastosować te transformacje w dwóch różnych kolejnościach, albo najpierw U , a potem V , albo najpierw V , a potem U . Jednak w mechanice kwantowej układ kwantowy może znajdować się w superpozycji dwóch różnych stanów, co jest jak „bycie w dwóch stanach w tym samym czasie”; ta nieintuicyjna idea jest dobrze ilustrowana przez słynnego kota Schrödingera, który jest w superpozycji bycia żywym i martwym w pudełku, dopóki ktoś nie otworzy pudełka i nie spojrzy na niego. W podobny sposób przełącznik kwantowy realizuje operacje U i V w superpozycji dwóch różnych kolejności, a dopiero wtedy, gdy ktoś zmierzy układ, ich kolejność może stać się określona.

Od swojego wprowadzenia, przełącznik kwantowy znalazł wiele zastosowań w różnych dziedzinach, takich jak obliczenia kwantowe, komunikacja kwantowa, termodynamika kwantowa i metrologia kwantowa, przewyższając strategie z określoną kolejnością. Jednym z najbardziej uderzających zastosowań przełącznika kwantowego jest aktywacja pojemności kanału komunikacyjnego, tzn. przy użyciu przełącznika kwantowego możliwe jest przesyłanie większej ilości informacji przez zaszumiony kanał niż przy użyciu kanałów w określonej kolejności. Zaletami oferowanymi przez przełącznik kwantowy wykazano w wielu eksperymentach fotonowych.

Ostatnio, uogólnienie przełącznika kwantowego, znane jako *przełącznik kwantowy z ciągłą kontrolą* (QSCC, zgodnie z jego skrótem w języku angielskim), doprowadziło do nowych efektów, takich jak *efekt accelerando/rallentando*, który można porównać do słuchania utworu w superpozycji różnych prędkości. Zaskakująco, ten efekt pojawia się naturalnie w niektórych scenariuszach grawitacyjnych, gdzie masywne ciało znajduje się w superpozycji różnych lokalizacji.

Celem tego projektu jest lepsze scharakteryzowanie tych nowych zjawisk przy użyciu metodologii matematycznych procesów macierzowych, które pozwalają potwierdzić, czy dany proces jest przykładem niezdefiniowanej kolejności przyczynowej. Kilka strategii opartych na metodologii procesów macierzowych zostało użytych do wykazania, że przełącznik kwantowy jest rzeczywiście procesem o niezdefiniowanej kolejności przyczynowej. Jednakże, postawiono przypuszczenie, że efekt *accelerando/rallentando* nie jest uchwycony przez metodologię procesów macierzowych, a więc wymyka się znanym metodom certyfikacji. Głównym celem tego projektu jest udowodnienie tego przypuszczenia oraz stworzenie odpowiedniego rozszerzenia metodologii procesów macierzowych, które w pełni opisuje QSCC. Ponadto projekt bada potencjalne korzyści z zastosowania QSCC w przetwarzaniu informacji kwantowej. Na przykład, spodziewane jest, że aktywacja pojemności kanału przy użyciu QSCC przewyższy pojemność osiąganą za pomocą tradycyjnego przełącznika kwantowego. Źródło tej przewagi również zostanie zbadane.

Wyniki tego projektu przyczynią się do głębszego zrozumienia niezdefiniowanej kolejności przyczynowej i jej zastosowań oraz rozszerzą jej zakres na nowe zjawiska, które mogą występować w scenariuszach grawitacji kwantowej.