

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Stanisława M. Sołtana

pt. Kwantowy Efekt Zenona dla pomiaru ciągłego

Efekt Zenona polega na zmianie szybkości ewolucji układu kwantowego pod wpływem często wykonywanych pomiarów. Szybkość ta może być zmniejszona lub zwiększona w stosunku do szybkości ewolucji układu niezaburzanego pomiarami. W tym drugim wypadku przyjęło się mówić o anty-Efekte Zenona. W ekstremalnym wypadku właściwego Efektu Zenona może nastąpić całkowite zatrzymanie ewolucji, tzn. układ nie opuszcza nigdy stanu początkowego (stąd chwytliwa nazwa efektu nawiązująca do paradoksów Zenona z Elei).

W rozprawie doktorskiej pana mgr. Sołtana badane są układy dysypatywne, tzn. oddziałujące z rezerwuarem (otoczeniem) – dużym układem z nieskończonym kontinuum stanów, co prowadzi do wykładniczego rozpadu układu. Znajomość hamiltonianu takiego układu, a w szczególności parametrów sprzężenia z otoczeniem, pozwala na wyznaczenie szybkości takiego rozpadu za pomocą Złotej Reguły Fermiego.

Założmy teraz, że naszym celem jest obserwowanie takiego układu, np. w celu wyznaczenia szybkości rozpadu. W tym celu musimy wykonać szereg pomiarów. Jednak każdy pomiar, np. najprostszy z punktu widzenia formalizmu mechaniki kwantowej, pomiar rzutowy ma destrukcyjny charakter. Możliwość występowania Efektu Zenona, nieuniknionego w wypadku częstych pomiarów, oznacza, że nie uzyskamy żadnej informacji dotyczącej szybkości rozpadu układu niezaburzonego pomiarami.

Efekt Zenona pojawia się w wypadku pomiarów wykonywanych z odpowiednią, dużą częstością. Autora rozprawy interesuje sytuacja tzw. pomiaru ciągłego, tzn., gdy czas pomiędzy pomiarami dąży do zera, co można potraktować jako oddziaływanie modyfikujące wielkości występujące w Złotej Regule Fermiego.

Głównymi celami pracy są: znalezienie i porównania różnych kryteriów występowania Efektu Zenona i anty-Efektu Zenona. Standardowe kryteria polegające na pomiarach prawdopodobieństwa otrzymania w wyniku pomiaru stanu początkowego porównywane są z zaproponowanymi przez autora kryteriami opartymi na wartościach oczekiwanych i korelacjach obserwabli. Dodatkowym elementem jest analiza tzw. pomiarów słabych, a w zasadzie, będących ich wynikiem wartości słabych, co pozwala na sformułowanie interesujących kryteriów występowania anty-Efektu Zenona.

Rozprawa podzielona została na sześć rozdziałów uzupełnionych wstępem i sześcioma dodatkami. Rozdział pierwszy przedstawia w miarę jasno problematykę pracy, przyjęte założenia i anonsuje wykorzystywane metody. W rozdziale drugim autor porównuje standardowe kryteria obserwacji Efektu Zenona i anty-Efektu Zenona, oparte, jak wspomniano powyżej, na prawdopodobieństwie otrzymania w pomiarze wyniku „pozytywnego”, tzn. znalezienia układu w stanie początkowym, z kryterium opartym na wartości oczekiwanej. Najważniejsze wyniki analizy podane są i przedyskutowane są w rozdziale 2.2. Zasadniczym stwierdzeniem wydaje się być to, że nowe kryteria odpowiadają jakościowo, ale niekoniecznie

ilościowo kryteriom standardowym. W szczególności pozwalają na opis przejścia między dwoma omawianymi efektami.

Rozdział trzeci pracy poświęcony jest dyskusji kryterium opartego na słabej wartości obserwabli i jego porównaniu z kryterium standardowym. Najważniejszy ogólny wniosek jest taki, że kryterium oparte na wartości słabej ma, zasadniczo, tę samą moc, co kryteria standardowe (co, jak rozumiem, wyczytać można z Rysunku 9 i jego podpisu), przynajmniej w wypadku podziału przestrzeni parametrów na obszary, w których występują Efekt i anty-Efekt Zenona.

W rozdziale czwartym autor przechodzi do głównego zagadnienia rozprawy, a więc, zgodnie z jej tytułem, sytuacji, w której pomiar jest ciągły. Pomiar modelowany jest za pomocą POVM realizowanej przez operatory Krausa (w tym wypadku jeden), co pozwala na łatwe uciąglenie pomiaru, śledzenie ewolucji układu pod wpływem pomiaru ciągłego za pomocą równania Lindblada oraz przejście graniczne do pomiaru słabego. Najważniejszymi i ciekawymi wynikami są tu: modyfikacja Złotej Reguły Fermiego pod wpływem pomiaru ciągłego, wyrażona poprzez wartość oczekiwaną w stanie początkowym oraz kryterium obserwowania anty-Efektu Zenona za pomocą dwuczasewej funkcji korelacji.

Rozdział piąty poświęcony jest analizie modelu, w którym poprzez przyjęcie szczególnego (lorentzowskiego) modelu oddziaływania z rezerwuarem, można znaleźć ściśle wyrażenia dla szeregu istotnych wielkości analizowanych poprzednio.

Podsumowując zawartość merytoryczną pracy stwierdzam, że otrzymane wyniki są interesujące i stanowią ciekawy wkład do teorii Efektu Zenona. Autor wykazał się dobrą znajomością fizyki kwantowych układów otwartych i aparatu matematycznego niezbędnego do ich analizy.

Zamieszczona obszerna i wyczerpująca bibliografia z pozycjami adekwatnie przywoływanymi w tekście głównym potwierdza dobrą orientację autora w podjętej tematyce.

Pracę czyta się trudno. Chociaż podział na rozdziały i dodatki jest dobry, to główna linia argumentacji często meandruje, a śledzenie rozumowań i wyprowadzeń nie jest proste. Rozdziały z rzadka kończą się zdecydowaną konkluzją. Te pojawiają się dopiero w kilku krótkich akapitach rozdziału szóstego, lub muszą być one wyekstrahowane z podpisów pod rysunkami.

Pozwolę sobie na wskazanie kilku błędów i niejasności we wzorach:

1. Nie jest jasne, skąd pochodzi $1/\hbar^2$ w ostatniej równości (1.3)
2. W ostatnim akapicie podrozdziału 2.2.1 powinno być $|V(k)|^2$, a nie $|v(k)|^2$.
3. Co oznacza Z we wzorze (1.8)? Oznaczenie to nie pojawiło się do tego momentu.
4. Co oznacza E w drugim ze wzorów (1.16)? Od tej zmiennej nie zależy prawa strona równości.
5. W pierwszym ze wzorów (1.18) wielkość po lewej stronie zależy od t_1 , a wielkość środkowa od t . To chyba powinien być w obu wypadkach ten sam punkt czasowy?

Powyższe zarzuty i błędy, oczywiście, nie są zbyt istotne, ale jak każde niejasności błędy spowalniają czytanie.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska pana mgr. Stanisława M. Sołtana pt. *Kwantowy Efekt Zenona dla pomiaru ciągłego* spełnia wszelkie wymagania formalne i zwyczajowe stawiane dysertacjom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Warszawa, 15.04.2022

prof. dr hab. Marek Kuś