



Centrum Fizyki Teoretycznej

Polskiej Akademii Nauk

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69

E-mail: cft@cft.edu.pl

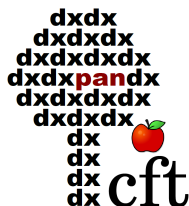
Warszawa 08.04.2022

Opinia o rozprawie doktorskiej pana mgr. Lorenzo Mattioli pt. "Problemy uniwersalności i przynależności kwantowej"

Praca doktorska pana mgr. Lorenzo Mattioli poświęcona jest problemom uniwersalności i przynależności kwantowej (quantum membership problem), a więc dwóm istotnym problemom z teorii obliczeń kwantowych. Jest to tematyka bardzo istotna i aktualna z uwagi na postępujący w ostatnich latach rozwój technologii kwantowych. W szczególności, większość proponowanych modeli komputera kwantowego oparta jest na idei tzw. uniwersalnych bramek kwantowych. Precyzyjny opis i klasyfikacja zbiorów uniwersalnych bramek kwantowych oraz układów fizycznych, które je realizują jest więc kluczowy z punktu widzenia zarówno teorii, jak i możliwych zastosowań.

W praktyce tylko niewielka liczba bramek kwantowych może być zrealizowana eksperymentalnie w stosunkowo prosty sposób. Wszystkie pozostałe operacje muszą być zatem uzyskane jako złożenie bramek podstawowych. Zbiór bramek jest uniwersalny, jeżeli zbiór wszystkich możliwych obwodów kwantowych o skończonej długości przybliża dowolną operację unitarną z dowolną dokładnością. Opracowanie efektywnych metod sprawdzania uniwersalności jest zatem problemem o znaczeniu fundamentalnym. Z kolei tzw. membership problem jest bardziej ogólną wersją problemu uniwersalności. Pytaniem jakie stawiamy jest pytaniem o to czy dana operacja unitarna może zostać dowolnie dobrze przybliżona przez obwód kwantowy zbudowany z bramek określonego typu. W wypadku, gdy bramki te są uniwersalne odpowiedź jest automatycznie twierdząca. Często zdarza się jednak, że nie mamy dostępu do zbioru uniwersalnego i naszym celem jest jego rozszerzenie do uniwersalności. Rozwiązanie problemu przynależności kwantowej umożliwia stwierdzenie jakie dodatkowe operacje unitarne należy dodać do zbioru nieuniwersalnego, aby zmienić go w zbiór uniwersalny.

Głównym rezultatem pracy pana mgr. Mattioli jest podanie metod sprawdzania uniwersalności oraz przynależności kwantowej, które są zdecydowanie bardziej efektywne niż metody znane dotychczas, ponieważ ich skalowanie z wymiarem układu jest wielomianowe. Głównymi narzędziami użytymi do uzyskania tych wyników jest teoria grup i algebr Liego połączona z teorią reprezentacji i tak zwanych przybliżonych t -designów. Zbiór bramek jest t -designem, jeżeli momenty statystyczne do stopnia t policzone względem tego zbioru pokrywają się z momentami do rzędu t policzonymi względem miary Haara. Kluczowym jest, że zbiory o tej własności, mające jednocześnie strukturę grupy są możliwe tylko dla niewielkich t . Używając tego faktu mgr. Mattioli prezentuje dwa kryteria uniwersalności bramek kwantowych. Pierwsze w języku przybliżonych t -



**Center for Theoretical Physics
Polish Academy of Sciences**

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

designów oraz drugie w języku centralizatorów. Oba mają swoje zalety i wady, które mgr. Mattioli dokładnie analizuje. Ponadto, używając teorii reprezentacji, mgr. Mattioli podaje też przypadki, w których możliwe jest proste rozwiązanie problemu przynależności kwantowej.

Uzyskane wyniki zostały wysłane do czasopism Physical Review A oraz Quantum, a więc czasopism z listy filadelfijskiej. Były także prezentowane przez pana mgr. Mattioli podczas wykładów seminaryjnych w CFT PAN, oraz na konferencji w Toruniu. Należy też zauważyć duże zaangażowanie autora rozprawy w Seminaria obliczeń kwantowych, podczas których wygłosił pięć referatów na różne tematy, niezwiązane bezpośrednio z tematem rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, uważam, że wynikiem pracy naukowej pana mgr. Mattioli jest bardzo dobra, z uwagi na nowe wyniki, rozprawa doktorska zawierająca rezultaty mające kluczowe znaczenie dla matematycznych podstaw teorii informacji kwantowej.

Dr hab. Adam Sawicki, prof. CFT PAN