

Recenzja osiągnięcia naukowego dr Jędrzeja Kaniewskiego w związku z procedurą nadawania autorowi stopnia doktora habilitowanego

Osiągnięcie habilitacyjne dr. Jędrzeja Kaniewskiego dotyczy podstaw teoretycznych współczesnych technologii kwantowych. Efektywne wykorzystanie planowanych urządzeń kwantowych wymaga potwierdzenia, że urządzenia te istotnie pracują zgodnie z postulowaną specyfikacją, tzn. ich certyfikacji. Ponieważ przewaga urządzeń kwantowych nad klasycznymi wynika właśnie z faktu, że wykorzystują one efekty kwantowe nieobecne na poziomie klasycznym, testowanie ich kwantowości za pomocą standardowych procedur klasycznych jest problematyczne, a przynajmniej bardzo trudne i czasochłonne.

Na omawiany cykl praca składa się dziewięć publikacji z lat 2016-2021, które ukazały się w *Physical Review Letters* (2 prace), *Physical Review A* (4 prace), *Physical Review Research* (1 praca), *Science Advances* (1 praca) oraz *Quantum* (1 praca). Trzy prace są jednoutorskie (w tym jedna w *Physical Review Letters*). Mimo stosunkowo niedługiego czasu od ich publikacji, były one cytowane 220 razy, co jest wynikiem imponującym i świadczy o wadze podejmowanych i rozwiązanych przez habilitanta problemów.

Certyfikacja urządzeń za pomocą przyrządów zewnętrznych wymaga wcześniejszej certyfikacji tychże przyrządów (np. dokonujących pomiarów tomograficznych stanu kwantowego), co prowadzi do nieskończonej sekwencji uwierzytelnień. Nie jest więc dobrym rozwiązaniem problemu. Pomysłem na uniknięcie tej trudności jest idea tzw. samotestowania kwantowego. Najprostszym przykładem modelowego układu samotestującego jest tzw. scenariusz Bella, w którym sprawdza się, czy dwa podukłady dzielą stan splątany. Łamanie przez korelacje kwantowe nierówności Bella w układzie dwóch kubitów potwierdza współdzielenie przez podukłady stanu splątanego, a w wypadku maksymalnego złamania, współdzielenie stanu singletowego.

Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że cała tematyka samotestowania jest tylko nową wariacją na temat blisko stuletnich (a zintensyfikowanych w ostatnim ćwierćwieczu), mocno wyeksploatowanych badań nielokalności w mechanice kwantowej, splątania stanów itp. Szczęśliwie tak nie jest. Problematyka ta ma bezpośrednie przełożenie na funkcjonalność i poprawność działania projektowanych urządzeń kwantowych i w tym zakresie przyniosła kilka wartościowych wyników, w tym będących autorstwa Habilitanta.

Idea samotestowania polega, w gruncie rzeczy, na odtworzeniu układu fizycznego na podstawie wyników doświadczeń. W pewnym sensie jest to odwrócenie tradycyjnego podejścia w naukach doświadczalnych (w szczególności w fizyce), tzn. przewidywania wyników na podstawie znajomości układu i jego oddziaływań. Samotestowane mogą być zarówno stany układów, jak i wykonane pomiary. Oboma zagadnieniami zajmuje się Habilitant w zgłoszonym osiągnięciu.

Prace składające się na osiągnięcie stanowią spójny i logicznie powiązany cykl koncentrujący się wokół zagadnień certyfikacji, w szczególności:

1. odporności na niedoskonałości pojawiające się w realizacji praktycznej trustów certyfikacyjnych
2. charakterystyki układów, które mogą być samotestujące oraz protokołów ich samotestowania.

Z punktu widzenia praktycznej realizacji scenariuszy samotestowania podstawowym problemem jest sprawdzenie ich odporności, a innymi słowy, jakie wyniki pomiarów wystarczają do certyfikacji, w wypadku, gdy pomiary te nie są optymalne (np. nie pozwalają na osiągnięcie maksymalnych wartości pewnych wielkości idealnie certyfikujących stan układu ze względu na nieuniknione wpływy zakłóceń pomiarowych, czy, w ogólności szumu). Praca [1] wchodząca w skład osiągnięcia habilitacyjnego jest tu bardzo ważnym osiągnięciem. Przede wszystkim, dzięki zastosowaniu nowego pomysłu na obliczenie ograniczenia dolnego na funkcję określającą możliwość ekstrakcji stanu pożądanego (np. maksymalnie splątanego) ze stanu startowego, udało się znaleźć progową wartość łamania nierówności CHSH dla estymacji stanu maksymalnie splątanego w scenariuszu Bella. Ponadto opracowane w [1] metody samotestowania znalazły zastosowanie do szerokiej gamy problemów, także rozwiązanych w innych pracach cyklu. W samej pracy [1] zaprezentowano również zastosowanie do certyfikacji trzycząstkowych stanów GKS przy użyciu nierówności Mermin.

Jak już wspomniałem, metody pracy [1] były wykorzystane w innych pracach cyklu. W szczególności w pracy [3] do scenariuszy wykraczających poza scenariusz Bella, mianowicie w scenariuszu „przygotuj i zmierz” oraz w pracy [4], gdzie analizowano samotestowanie w wypadku większej liczby urządzeń pomiarowych. W wyniku uzyskano zależność między łamaniem nierówności CHSH w różnych kombinacjach pomiarowych. W pracy [6] rozszerzono metody pracy [1] w sposób pozwalający na samotestowania stanów niemaksymalnie splątanych za pomocą pewnego uogólnienia nierówności CHSH.

Duża część rozważań zaprezentowanych w pracach cyklu dotyczy problemu w pewnym sensie „komplementarnego” w stosunku do certyfikacji stanów, a mianowicie samotestowania pomiarów kwantowych. W takim scenariuszu, obserwacja łamania nierówności wynikających z nielokalności mechaniki kwantowej, pozwala na wydedukowanie postaci, czy raczej własności, mierzonych obserwabli. Tu przełomową pacą jest publikacja [2], w której sformułowano poprawną definicję samotestowania pomiarów wykorzystującą relacje komutacyjne między obserwabliami. Podstawowym wynikiem pracy jest stwierdzenie dotyczące możliwości samotestowania par obserwabli na kubicie oraz zbadanie własności takiego samotestowania, w szczególności omawianej powyżej odporności na szum (tzn. na dopuszczalną niedokładność pomiaru korelacji).

W opinii piszącego tę ocenę, na uwagę zasługują badania dotyczące różnych aspektów scenariuszy Bella zaprezentowane w pracach [7]-[9]. Dotyczą one konstrukcji nierówności Bella pozwalających na samotestowanie za pomocą pomiarów w tzw. bazach wzajemnie nieobciążonych [7], analizę sytuacji, gdy możliwe jest samotestowanie stanów, mimo braku pełnej charakterystyki zastosowanych pomiarów [8]. W pracy [9] przedstawiono zastosowania do kryptografii kwantowej niezależnej od urządzeń (a więc idealnych, z punktu widzenia

bezpieczeństwa komunikacji, sposobów kryptograficznych, dla których jakiegokolwiek konkretne realizacje sprzętowe nie stanowią słabego punktu).

Nie ulega więc dla mnie wątpliwości, że zaprezentowany jako osiągnięcie cykl praca pana dr Jędrzeja Kaniewskiego zasługuje na duże uznanie. Prace wnoszą istotny wkład do informatyki kwantowej, są oryginalne i zawierają nowatorskie pomysły i idee, stanowią tym samym istotną podwalinę dla dalszych badań problemów samotestowania.

Dla porządku chciałbym krótko wspomnieć inne osiągnięcia pana dr Kaniewskiego. Jest on już w tej chwili doświadczonym naukowcem, o rozległych kontaktach międzynarodowych, a na szczególną uwagę zasługują jego umiejętności w pozyskiwaniu środków na badania w ramach kierowanych przez niego prestiżowych projektów grantowych (Marie Skłodowska-Curie Action, HOMING, POLONEZ i SONATA).

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe pana dr Jędrzeja Kaniewskiego, zgłoszone w związku z postępowaniem nadania mu stopnia doktora habilitowanego, znacznie przekracza poziom w tego typu postępowaniach. Popieram więc w pełni wniosek o nadanie mu stopni naukowego doktora habilitowanego.



prof. dr hab. Marek Kuś