

Streszczenie

Teoria informacji kwantowej jest aktywnym kierunkiem badawczym, którego celem jest wykorzystanie mikroskopowych układów fizycznych do zadań związanych z przetwarzaniem informacji. Niektóre odkrycia na tym polu mogą mieć w niedalekiej przyszłości ogromny wpływ na technologie związane z przetwarzaniem informacji, np. eksponencjalne przyspieszenie w zadaniach obliczeniowych lub bezwarunkowo bezpieczne protokoły kryptograficzne. Te perspektywy są obiecujące, ale aby je osiągnąć, potrzebne są odpowiednie procedury weryfikacji: musimy być w stanie potwierdzić, że obliczenia kwantowe dokonywane są w sposób poprawny lub że implementacja protokołu kryptograficznego jest bezpieczna.

Procedury tego typu już istnieją, ale mimo intensywnych badań nie spełniają one jeszcze wszystkich wymagań. Najbardziej rygorystyczna metoda certyfikacji, zwana “samotestowaniem”, jest trudna do implementacji w eksperymencie. Ponadto istnieje niewiele wyników, które można zastosować do układów wysokowymiarowych, mimo że układy te są przydatne w wielu naturalnych zadaniach. Poza tym większość istniejących metod skupia się na certyfikacji całego układu fizycznego, a nie na konkretnych pożądanych własnościach, co w niektórych przypadkach jest niepraktyczne.

W ramach mojej pracy doktorskiej proponuję nowe i przyjazne z eksperymentalnego punktu widzenia procedury certyfikacji konkretnych istotnych cech układów wysokowymiarowych. W scenariuszu “przygotuj-i-zmierz”, który jest mniej wymagający z eksperymentalnego punktu widzenia, wraz ze swoimi współpracownikami proponuję dwie metody certyfikacji stanów i pomiarów kwantowych. Pierwsza metoda pozwala weryfikować prawdziwie wysokowymiarową naturę stanu i pomiarów kwantowych, co nazywamy “nieredukowalnością” układu. Wraz ze współpracownikami zastosowaliśmy tę metodę do fotonicznego eksperymentu w wymiarze 1024, gdzie pokazaliśmy, że kwantowo-optyczny układ zaimplementowany w eksperymencie jest nieredukowalny.

Druga metoda używa tego samego protokołu w scenariuszu “przygotuj-i-zmierz”, ale tym razem skupiam się na certyfikowaniu pewnej klasy pomiarów, które są niezwykle użyteczne w teorii informacji kwantowej: baz wzajemnie nieobciążonych. Wraz ze współpracownikiem pokazaliśmy, że te pomiary mogą być certyfikowane w scenariuszu “przygotuj-i-zmierz” w warunkach realistycznych z eksperymentalnego punktu widzenia. Ponadto byliśmy w stanie certyfikować dwie dodatkowe własności pomiarów: ich zdolność do generowania losowości i niekompatybilność.

W ostatniej części skupiam się na niekompatybilności pomiarów, a konkretniej na mi-

arach opartych na odporność na szum, które kwantyfikują w jakim stopniu dwa pomiary są niekompatybilne. Zrozumienie tych miar jest ważne, gdyż niekompatybilne pomiary są użytecznym zasobem w wielu kwantowych protokołach. Wraz ze współpracownikami zanalizowaliśmy szeroką gamę miar niekompatybilności, które odpowiadają naturalnym modelom szumu. Pokazaliśmy, że niektóre z miar, które są często używane w literaturze, nie spełniają pewnych naturalnych wymogów. Ponadto pokazaliśmy, że według jednej z miar bazy wzajemnie nieobciążone znajdują się wśród najbardziej niekompatybilnych pomiarów (w każdym wymiarze), ale to stwierdzenie nie jest prawdą dla innych miar. Nasze wyniki pokazują, że mimo pokaźnego wysiłku badawczego w tej tematyce, nasze zrozumienie miar niekompatybilności pomiarów wciąż jest niepełne.