

Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania dr Anie Belén Sainz stopnia doktora habilitowanego

Recenzja dotyczy dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr Any Belén Sainz i powstała na podstawie autoreferatu dostarczonego przez habilitantkę oraz dwunastu publikacji naukowych współautorstwa dr Sainz opublikowanych w latach 2016-2020. Publikacje te składają się na osiągnięcie naukowe pt. *Teoretyczne podstawy możliwości i ograniczeń nieklasycznych zjawisk kwantowego przetwarzania informacji*. Wszystkie publikacje ukazały się w bardzo dobrych czasopismach (dwie w Physical Review Letters, dwie w New Journal of Physics, trzy w Quantum, pięć w Physical Review A). Wymaganie dotyczące publikacji współautorskich zostały spełnione poprzez deklaracje udziału w pracy nad każdą z nich złożone przez habilitantkę oraz stosowne oświadczenia współautorów.

Prezentowane dzieło jest dość obszerne, liczy bowiem w sumie ponad 250 stron. Tematyka dzieła dotyczy podstaw mechaniki kwantowej, a przede wszystkim różnic między mechaniką klasyczną i kwantową w ujęciu, zasadniczo, informatycznym, tzn. ze szczególnym naciskiem na wykorzystanie tych różnic w informatyce kwantowej.

Jednym z podstawowych i, z punktu widzenia informatyki kwantowej najważniejszym, aspektem różniącym mechanikę kwantową i klasyczną jest występowanie w mechanice kwantowej korelacji między podukładami układu złożonego, niemożliwych do zrealizowania w świecie klasycznym. Korelacje takie nie mogą być wytłumaczone za pomocą lokalnych zmiennych ukrytych i świadczą o nielokalności mechaniki kwantowej.

Przyczyną występowania nieklasycznych korelacji jest istnienie w mechanice kwantowej nieobecnych w fizyce klasycznej stanów splątanych. Splątanie – koncepcja wprowadzona przez Schrödingera w roku 1935 w dyskusji nad paradoksem Einsteina-Podolsky’ego-Rosena przejawia się w kilku postaciach. Jedną z nich jest nielokalność Bella przejawiająca się w łamaniu ograniczeń narzucanych na rozkłady wyników pomiarów przez klasyczną teorię prawdopodobieństwa (w tym nierówności Bella). Mniej zbadane jest tzw. sterowanie (również wprowadzone do dyskursu przez Schrödingera w roku 1935), czyli specyficzną zmianę stanu podukładu w wyniku pomiaru dokonanego na innym podukładzie, nawet odseparowanym przestrzennie w sensie możliwości przekazywania sygnałów. W pracy [A] wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego, sterowanie badane jest za pomocą ilości informacji klasycznej koniecznej do wymiany między podukładami, w celu symulowania sterowania. Z najciekawszy wynik tej analizy należy uznać pokazanie, że taki koszt komunikacyjny może być w pewnych wypadkach nieskończony.

Badania sterowania kontynuowane były w pracy [B], w której skonstruowano schemat certyfikacji sterowania w wypadku ograniczeń na efektywność detekcji. Interesującym wynikiem rozważań jest to, iż zaproponowana metoda ma szersze zastosowania, w szczególności do badania nielokalności Bella.

Obserwowana przyczynowość zjawisk fizycznych jest wynikiem zasady niesygnalizowania stwierdzającej, że rozkłady wyjściowe pomiarów dowolnego podzbioru podukładów w układzie złożonym są niezależne od rozkładu wejściowego, tzn. wyboru pomiarów w pozostałych podukładach. Mechanika klasyczna i kwantowa narzucają dodatkowe ograniczenia na tę ogólną strukturę przyczynową, niewystępujące w jej najbardziej ogólnym przypadku tzw. ogólnych teoriach niesygnalizujących (postkwantowych). Choć takich struktur nie zaobserwowano, to badanie ich pozwala na zrozumienie usytuowania mechaniki kwantowej pośród teorii niesygnalizujących, czy też, innymi słowy, jej struktury przyczynowej. Tego typu zagadnieniom poświęcone są cztery prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (prace [C-F]), w których badano sterownie w wypadku postkwantowym. Możliwość sterowania w takiej konfiguracji zostało tu po raz pierwszy opisane. Z najważniejsze wyniki badań uważam tu dowód, że postkwantowe sterowanie jest fenomenem niezależnym od postkwantowej nielokalności typu Bella, oraz pokazanie, że sterowanie postkwantowe jest możliwe tylko w układach wieloskładnikowych.

Prace [G-K] wchodzące w skład dzieła poświęcone są analizie tzw. korelacji prawie kwantowych. Zostały one skonstruowane w pracy Navascuesa, Guryanovej, Hobana i Acina z roku 2015. Podstawowym celem było znalezienia takiego zbioru korelacji, który, po pierwsze obejmowałby w sposób właściwy zbiór korelacji kwantowych, a po drugie, służył do testowania różnych koncepcji wyróżnienia mechaniki kwantowej spośród innych teorii niesygnalizujących za pomocą fundamentalnych zasad dotyczących np. złożoności komunikacyjnej, złożoności obliczeniowej, przyczynowości przesyłania informacji i innych. Testowanie to było zasadniczo bardzo skuteczne, gdyż eliminowało prawie wszystkie próby charakteryzacji zbioru korelacji w mechanice kwantowej. Próby te nie wykluczały, bowiem, właśnie korelacji prawie kwantowych. Z drugiej strony, odróżnienie korelacji prawie kwantowych od kwantowych za pomocą wynikające z jakiejś fundamentalnej zasady okazało się być trudne. Najważniejsze wyniki tego cyklu prac to: analiza korelacji prawie kwantowych w wypadku wielu podukładów i wskazanie istotnych różnic jakie występują między takimi układami, a układami dwuskładnikowymi, ale przede wszystkim pokazanie, że tzw. zasada Speckera dotycząca współmierzalności wszystkich par pomiarów i wszystkich pomiarów, nie może być spełniona w żadnej teorii, w której występują prawie korelacje kwantowe, co jest milowym krokiem w poszukiwaniu ogólnej zasady oddzielającej mechanikę kwantową i występujące w niej korelacje i teorie z korelacjami prawie kwantowymi, o której wspomniałem powyżej.

Ostatnie dwie prace składające się na osiągnięcie naukowe (prace [K] i [L]) poświęcone są badaniom struktur przyczynowych, tzn. sytuacji, gdy w odległych laboratoriach, które dzielą między sobą zasoby i dokonują na nich pewnych operacji (pomiarów). Przyczynowość narzuca ograniczenia na korelacje wyników pomiarów. W ujęciu zaprezentowanym w pracach chodzi o znalezienia najprostszych struktur przyczynowych pozwalających na odróżnienie korelacji klasycznych, kwantowych i postkwantowych. W szczególności zainteresować może zaprezentowana w pracy [L] analiza „stopnia nieklasyczności” korelacji w scenariuszu typu Bella w terminach teorii zasobów pozwalająca np. na wybór optymalnych protokołów przekazywania informacji, czy kryptografii.

Jaka widać z powyższego bardzo skrótowego opisu na zaprezentowane osiągnięcie naukowe składają się wyniki dotyczące dwóch obszarów tematycznych. Pierwszy z nich to problematyka sterowania (prace [A-F]), drugi zaś dotyczy przed wszystkim analizy i charakteryzacji korelacji prawie kwantowych. W obu obszarach osiągnięto szereg bardzo istotnych wyników, z których tylko najważniejsze, w mojej subiektywnej opinii, wspomniałem powyżej. Każdy z dwóch wymienionych zbiorów publikacji mógłby wystarczyć jako prezentacja istotnego osiągnięcia naukowego potrzebnego do nadania stopnia doktora habilitowanego. Nie podważ to jednak w żadnym wypadku decyzji Habilitantki, aby przedstawić osiągnięcie, na które składa się dwanaście publikacji. W końcu bowiem, wszystkie łączy wspólna tematyka – analiza kwantowo-informatyczna korelacji.

Pani dr Sainz jest ponadto współautorką siedmiu publikacji z dziedziny informatyki kwantowej i podstaw mechaniki kwantowej, poświęconych także korelacom, ale także twz. lokalnej ortogonalności i kwantowym układom odniesienia, których nie zdecydowała się włączyć do prac składających się na habilitacyjne osiągnięcie naukowe. Istotnie, ich tematyka, mimo pozostawania w dużym związku z zagadnieniami analizowanymi w pracach [A-L] jest nieco bardziej oddalona od głównych tematów zaprezentowanego osiągnięcia naukowego.

Habilitantka dysponuje doświadczeniem dydaktycznym (wykłady na uniwersytetach w Argentynie i Hiszpanii oraz szkołach i warsztatach). Ma też niebagatelne osiągnięcia organizacyjne (współdziałał w organizacji blisko dziesięciu konferencji) i popularyzacyjne (artykuły i wykłady).

Podsumowując stwierdzam, że przedstawione przez panią dr Anę Belén Sainz osiągnięcie naukowe pt. *Teoretyczne podstawy możliwości i ograniczeń nieklasycznych zjawisk kwantowego przetwarzania informacji* jest bardzo wysokiej próby i wypełnia ze sporym naddatkiem wymagania stawiane przy wystąpieniach o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Niniejszym popieram więc nadania jej tego stopnia.

prof. dr hab. Marek Kuś

Warszawa 24.08.2021

