



UNIwersytet  
Warszawski

Wydział Fizyki  
Instytut Fizyki Teoretycznej

Warszawa, 16.08.2021

dr hab. Rafał Demkowicz-Dobrzański, prof. ucz.  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
demko@fuw.edu.pl  
tel: +48 692484944

## **Recenzja dorobku naukowego dr Ana Belen Sainz w związku z jej postępowaniem habilitacyjnym**

Podstawą wniosku habilitacyjnego Pani dr Ana Belen Sainz jest cykl 12 publikacji pt. „Teoretyczne podstawy możliwości i ograniczeń nieklasycznych zjawisk kwantowego przetwarzania informacji”. Są to prace z dziedziny kwantowej teorii informacji poruszające jednocześnie fundamentalne zagadnienia podstaw samej mechaniki kwantowej. Dotyczą one trzech zagadnień:

- (i) sterowalności kwantowej (prace [A-F]),
- (ii) „prawie kwantowych korelacji” (prace [G-J]),
- (iii) korelacji w ogólnych strukturach przyczynowych (prace [K,L]).

Jak sama habilitantka pisze, wspólnym mianownikiem powyższych prac jest „badanie mechaniki kwantowej od zewnątrz”, przez co należy rozumieć wychodzenie poza standardowy formalizm kwantowy, aby z takiej szerszej perspektywy zrozumieć miejsce jakie zajmuje mechanika kwantowa wśród możliwych teorii fizycznych i zidentyfikować wyróżniające ją zasady fizyczne. Mam wrażenie, że sam tytuł cyklu przez swoją zbytnią ogólnikowość nie odzwierciedla tego faktu w wystarczający sposób. Poniżej, w skrócie podsumowuję główne wyniki cyklu.

(i) Jeśli chodzi o zagadnienie sterowalności kwantowej, habilitantka analizuje ilość klasycznej informacji koniecznej aby symulować kwantowe zjawiska związane ze sterowaniem [A], wskazując na konieczność nieskończonej ilości informacji w przypadku wiernej symulacji i logarytmicznej w przypadku przybliżonej symulacji. W pracy [B] rozważane są realistyczne modele uwzględniające straty i niedoskonałą detekcję i rozwijane są metody certyfikowania sterowalności w takich sytuacjach. W pracach [C-F] dr. Sainz analizuje zagadnienie sterowalności wychodząc poza formalizm kwantowy wprowadzając pojęcie sterowania postkwantowego. Jednym z głównych wyników jest wskazanie modelu sterowalnego zgodnego z zasadą „no-signaling”, który nie jest reprodukowalny w ramach teorii kwantowej. Jest to możliwe jedynie gdy wyjdzie się poza standardowy model dwóch graczy. Ponadto, wskazane są przykłady gdzie obecność sterowania nie prowadzi do łamania nierówności Bella, co pokazuje istotną jakościową różnicę pomiędzy pojęciem sterowalności a korelacjami bellowskimi. Do uzyskania wyników, konieczne było wykorzystanie subtelnych narzędzi



matematycznych, takich jak np. metoda odwzorowania dodatniego, oraz rozwinięcie metod numerycznych do testowania post-kwantowego sterowania.

(ii) Prace [G-J] dotyczą zagadnienia charakteryzowania korelacji kwantowych przy pomocy prostych zasad. Habilitanka skupia się na klasie „prawie kwantowych korelacji”, stosowanych w literaturze z uwagi na łatwość charakteryzacji i jednocześnie spełnianie większości znanych ograniczeń obowiązujących w standardowych modelach kwantowych. Jednym z najważniejszych wyników jest wskazanie na zasadę makroskopowej niekontekstualności [G], którą spełniają prawie kwantowe korelacje. Zasada mówi o tym, że makroskopowa wersja eksperymentu (czyli eksperyment z bardzo wieloma kopiami układu fizycznego, w którym wynikiem pomiaru nie są pojedyncze zdarzenia tylko rozkład natężeń) nie powinna prowadzić do nieklasycznych efektów. Ponadto, w kontekście testów Bella z wieloma obserwatorami, dr. Sainz wskazuje na możliwość rozróżnienia korelacji prawie kwantowych od kwantowych patrząc jedynie na nierówności Bella [H]. Pojęcie prawie kwantowych korelacji, mimo że obecne w literaturze od kilku lat, nie doczekało się operacyjnej/fizycznej interpretacji pozwalającej w prosty sposób odróżnić tę klasę od korelacji ściśle kwantowych. W pracach [I,J] zidentyfikowano dwie fizyczne zasady: zasadę braku ograniczeń (każdy matematycznie możliwy pomiar powinien być fizycznie realizowalny – zbiór efektów jest zbiorem dualnym do zbioru stanów) oraz zasadę Speckera (mówiąca, że jeśli spośród  $n$  pomiarów, każda para jest współmierzalna to wszystkie pomiary są współmierzalne), które są łamane przez modele korelacji prawie kwantowych, a nie są przez modele ściśle kwantowe.

(iii) W pracach [K-L] rozwijane jest ogólniejsze spojrzenie na scenariusz Bella, jako szczególny przypadek struktur przyczynowych. W szczególności analizowany jest tzw. scenariusz instrumentalny, który można traktować jako najprostszy nietrywialny scenariusz przyczynowy, w którym można wykazać różnice między modelem klasycznym i kwantowym [K]. W pracach z jednej strony pokazano jak znane metody analizy łamania nierówności Bella można zastosować w ogólniejszych strukturach przyczynowych, a z drugiej strony rozwinięto teorię zasobów dla korelacji bellowskich. Teoria zasobów wprowadza pojęcie „lokalnych operacji o dzielonej losowości” jako operacji darmowych i pozwala na porządkowanie korelacji z punktu widzenia ich potencjału nieklasycznego, wprowadzając monotony zasobów. Tym samym stworzono też podstawy teorii zasobów dla ogólniejszych schematów przyczynowych.

W mojej ocenie powyższe wyniki, stanowią znaczący wkład w dziedzinę informacji kwantowej i podstaw mechaniki kwantowej. Cykl stanowi również spójną całość, której wspólnym mianownikiem jest wspomniana powyżej analiza „mechaniki kwantowej od zewnątrz”. Jednym z najciekawszych wyników jest ten zawarty w pracy [G], gdzie zidentyfikowano zasadę makroskopowej niekontekstualności, jako fizyczną własność pozwalającą scharakteryzować korelacje prawie kwantowe. Kilka prac ma ponadprzeciętnie nowatorski charakter, otwierając zupełnie nowe pola badań, tj. teoria zasobów w ogólnych strukturach przyczynowych [L] czy też pokazanie metod analizowania zagadnienia sterowania w modelach post-kwantowych [C-F] i z pewnością będą miały duży oddźwięk w literaturze. Jednocześnie niektóre z uzyskanych wyników (np. B) mają charakter bardziej techniczny i ich wpływ na dziedzinę nie będzie w mojej ocenie znaczący. Nie mniej, cykl jako całość z całą pewnością spełnia wymagania habilitacyjne. Wyniki są opublikowane w prestiżowych czasopismach naukowych, a ogólne parametry bibliometryczne (25 publikacji, indeks Hirscha 9, cytowania 427) wskazują też na duży oddźwięk wyników habilitantki w środowisku naukowym.



Jako uwagę krytyczną, chciałbym wspomnieć błędy w polskiej wersji autoreferatu (zakładam, że jest to tłumaczenie wersji angielskiej), gdzie można znaleźć sporo literówek, ale co najważniejsze brakuje spójnej nomenklatury: czasem jest mowa o zespole stanów, czasem o asemblażu (!) itp. Są też sformułowania, które w tłumaczeniu zmieniają swoje znaczenie w porównaniu do oryginału, np. sterowany zamiast sterujący itp.

Analizując prace i deklaracje współautorów, nie mam wątpliwości co do znaczącego a często wiodącego wkładu dr. Sainz w publikacje należące do cyklu. Niemniej muszę przyznać, że dużo deklaracji współautorskich ma niestety bardzo ogólnikowy charakter sprowadzający się do zdania: „I have contributed to the main ideas, proofs of theorems, and editing” i ocena wkładu habilitantki siłą rzeczy bazuje głównie na jej własnych deklaracjach i fakcie, że w wielu pracach jest pierwszą autorką. Dodatkowym argumentem za jej wiodącym wkładem jest zmienna lista współautorów pokazująca, że jest ona jednym z kluczowych ogniw „ciągnących za sobą daną tematykę”. Zdając sobie sprawę z trudności uzyskania bardziej szczegółowych deklaracji w pracach wieloautorskich, już mniej zrozumiałe jest podobnie ogólnikowe stwierdzenie w pracach dwuautorskich [E,F].

Habilitantka ma ponadprzeciętnie bogatą historię współpracy międzynarodowej i pracy w wiodących grupach naukowych. Zrobiła doktorat w ICFO w Barcelonie pod opieką prof. Antoniego Acina (jednego z najbardziej znaczących postaci kwantowej teorii informacji). Następnie pracowała na Uniwersytecie w Bristolu w grupie Sandu Popescu, by następnie pracować w prestiżowym Perimeter Institute w Waterloo w Kanadzie i ostatecznie otrzymać stanowisko adiunkta na Uniwersytecie Gdańskim w Międzynarodowym Centrum Teorii Technologii Kwantowych.

Patrząc na tematykę cyklu habilitacyjnego i tematu pracy doktorskiej „Characterizing and witnessing multipartite correlations: from nonlocality to contextuality”, widać że habilitantka raczej kontynuuje tematykę rozpoczętą podczas doktoratu (i pracy magisterskiej). Jest jednak jakościowa różnica, pomiędzy dorobkiem habilitacyjnym, a wynikami uzyskanymi podczas doktoratu. Podczas gdy wyniki z doktoratu można traktować jako należące do głównego nurtu badań tego okresu, wyniki cyklu habilitacyjnego mają charakter znacznie bardziej nowatorski i raczej wyznaczają ścieżki rozwoju dziedziny niż nimi podążają. Ponadto, warto zwrócić uwagę na ciekawe wyniki habilitantki w pracach nie należących do cyklu, gdzie szczególnie interesujące są prace dotyczące kwantowych układów odniesienia [9-10].

Działalność organizacyjna, popularyzatorska i dydaktyczna są imponujące. Widać ogromną aktywność habilitantki na wszystkich tych polach. Jest aktywną recenzentką czasopism naukowych (19 recenzji), współorganizatorką konferencji (5) oraz uczestniczką i kierowniczką projektów badawczych (odpowiednio 3 i 4 projekty).

Podsumowując. Nie mam najmniejszych wątpliwości, że Pani dr Ana Belen Sainz zasługuje na przyznanie stopnia doktora habilitowanego i z prawdziwą przyjemnością rekomenduje komisji habilitacyjnej nadanie jej tegoż stopnia.

Rafał Demko - Dobrzański