

## **Opinia o osiągnięciach naukowych dra Johna Selbyego w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne**

### **Spełnienie wymogów formalnych (art. 219 Ustawy)**

- 1) Stopień doktora fizyki został nadany panu Selby'emu w roku 2018 przez Imperial College w Londynie.
- 2) Dr Selby przedstawił jednotematyczny cykl trzynastu publikacji, zatytułowany "Spostrzeżenia na temat podstaw fizyki i przetwarzania informacji wynikające z paradygmatu uogólnionych teorii probabilistycznych", który stanowi znaczący wkład w rozwój podstaw fizyki kwantowej i kwantowej teorii informacji.
- 3) Dr Selby wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną na Uniwersytecie Gdańskim, na Uniwersytecie Waterloo i w Perimeter Institute for Theoretical Physics w Kanadzie oraz w Imperial College w Wielkiej Brytanii.

### **Omówienie cyklu publikacji pt.: "Spostrzeżenia na temat podstaw fizyki i przetwarzania informacji wynikające z paradygmatu uogólnionych teorii probabilistycznych"**

Przedstawiony cykl składa się z trzynastu wieloautorskich prac oznaczonych [A-M], które ukazały się w znakomitych międzynarodowych czasopismach naukowych. We wszystkich pracach dr Selby odegrał istotną, bądź wiodącą rolę, co potwierdzają oświadczenia współautorów. Uważam, że przedstawiony cykl może śmiało stanowić podstawę nadania stopnia doktora habilitowanego. Przedstawione wyniki można podzielić na cztery grupy, a ich istotę omawiam poniżej.

W skład pierwszej grupy wchodzi prace [A, B, C], które dotyczą specyficznych protokołów przetwarzania informacji w uogólnionych teoriach probabilistycznych. Praca [A] koncentruje się na problemie zobowiązania bitowego w tym kontekście, rozwijając wcześniejsze wyniki Chiribelli, D'Ariano i Perinottiego (2010). Autorzy przedstawiają nowy, uproszczony dowód niemożliwości realizacji tego protokołu, wykorzystując optymalizację stożkową. Ponadto rozszerzają swoje podejście na problem zobowiązania całkowitoliczbowego.

Praca [B] również wykorzystuje optymalizację stożkową, pokazując, że w uogólnionych teoriach probabilistycznych można wprowadzić niepodrabialne pieniądze, co stanowi uogólnienie koncepcji Wiesnera. Miara bezpieczeństwa (niepodrabialności) jest sformułowana jako problem optymalizacyjny, który opiera się na różnych założeniach dotyczących bezpieczeństwa. Możliwość podrabiania jest związana z klonowaniem stanów, co oznacza, że bezpieczeństwo w tych scenariuszach zależy od tego, czy w danej teorii możliwe jest klonowanie. Autorzy wykazują, że w zależności od siły przyjętego

kryterium bezpieczeństwa system może być albo całkowicie podatny na fałszerstwo, jak w fizyce klasycznej, albo całkowicie odporny, jak w teorii kwantowej.

Praca [C] dotyczy protokołu rzutu monetą, czyli generowania idealnej, współdzielonej losowości między dwiema stronami. Realizacja takiego protokołu jest niemożliwa zarówno w fizyce klasycznej, jak i kwantowej. Autorzy rozszerzają ten wynik na uogólnione teorie probabilistyczne. W przeciwieństwie do wcześniejszych prac, tym razem stosują szerszy zakres metod – zamiast ograniczać się do optymalizacji stożkowej, wykorzystują programowanie pół-nieskończone (*semi-infinite programming*).

Uważam, że główną wartością prac [A, B, C] nie są same wyniki dotyczące protokołów przetwarzania informacji, lecz demonstracja, że metody optymalizacji stożkowej oraz programowanie pół-nieskończone mogą być skutecznymi narzędziami w analizie uogólnionych teorii probabilistycznych. Może to mieć istotne znaczenie dla dalszych badań w tej dziedzinie.

Prace [E,G,H,I,L,M] dotyczą kontekstualności, a dokładniej jej uogólnionej wersji według Spekkensa. Praca [E] rozszerza koncepcję uogólnionej kontekstualności na dowolne scenariusze kompozycyjne, wprowadzając formalizm teorii procesów do modeli ontologicznych. Autorzy dowodzą, że każdy uogólniony niekontekstualny model ontologiczny musi mieć silne ograniczenia. Wykazują także równoważność trzech kryteriów klasycznego modelu: istnienia niekontekstualnego modelu ontologicznego, dodatniości łącznego rozkładu prawdopodobieństwa oraz modelu ontologicznego dla uogólnionej teorii prawdopodobieństwa. Wyniki te ograniczają swobodę konstruowania modeli niekontekstualnych i upraszczają metody ich detekcji.

Praca [G] wprowadza geometryczne kryterium istnienia uogólnionego niekontekstualnego modelu ontologicznego — zanurzenie w sympleksie. Autorzy pokazują, jak sformułować teorię operacyjną w języku uogólnionych teorii prawdopodobieństwa, a następnie dowodzą, że taka teoria ma uogólniony niekontekstualny model ontologiczny, jeśli odpowiadająca jej uogólniona teoria prawdopodobieństwa jest zanurzalna w sympleksie. Wynik ten prowadzi do nowych metod wykrywania silnej nieklasyczności. Wyniki tej pracy zostały rozszerzone w pracy [I], a na ich podstawie zaproponowano liniowy program do testowania nieklasyczności — praca [M]. Program jest dostępny w repozytorium GitHub. Uważam, że ze względu na jego dostępność i względną prostotę, wspomniany program z pewnością zostanie wykorzystany przez innych naukowców w badaniach nad nieklasycznością układów kwantowych oraz uogólnionych teorii prawdopodobieństwa.

W pracy [H] wykazano, że dla uogólnionej kontekstualności niekompatybilność pomiarów nie jest konieczna, co jeszcze bardziej uwydatnia różnice między tym podejściem a klasyczną wersją kontekstualności sformułowaną przez Kochena i Speckera. Autorzy proponują metodę umożliwiającą zastąpienie dowolnego zbioru niekompatybilnych pomiarów pojedynczym, nieostrym pomiarem, który nadal spełnia ograniczenia narzucone przez niekontekstualny model. Ponadto przedstawiają przykład takiej kontekstualności dla pojedynczego kubitu. Wynik ten ma istotne znaczenie z fundamentalnego punktu widzenia, ponieważ otwiera nowe perspektywy w badaniach nad kontekstualnością.

Praca [L] dotyczy związku między uogólnioną niekontekstualnością a podteorią stabilizatorów, która opisuje specjalną klasę stanów kwantowych, operacji i pomiarów. Podteoria ta charakteryzuje się efektywnym opisem klasycznym (zgodnie z twierdzeniem Gottesmana-Knilla) i odgrywa kluczową rolę w protokołach korekcji błędów. Autorzy wykazują, że w przestrzeniach Hilberta o nieparzystym wymiarze jedynymi nieujemnymi rozkładami kwaziprawdopodobieństwa opisującymi podteorię stabilizatorów są dyskretne funkcje Wignera wyprowadzone przez Grossa. Wynik ten łączy podteorię

stabilizatorów z niekontekstualnym modelem Spekkensa. Co więcej, w przestrzeniach Hilberta o parzystym wymiarze uogólniona kontekstualność jest nieunikniona. Wyniki tej pracy mają istotne znaczenie dla obliczeń kwantowych, ponieważ wskazują, które elementy obliczeń mogą wykazywać właściwości nieklasyczne.

Prace [D,J,K] skupiają się na zasobach kwantowych. Praca [D] rozważa koherencję jako zasób w kontekście układów złożonych z więcej niż jednej części. Autorzy opisują dekoherencję w języku teorii procesów. Następnie rozważają oni zbiór wolnych operacji (ogólnodostępnych i nie wymagają tych zasobów) i pokazują, że niektóre operacje uznawane za wolne w przypadku układów jednoczęściowych, nie są najlepszymi kandydatami na wolne operacje w przypadku układów złożonych. Co ważne, wyniki z tej pracy stosują się nie tylko do teorii kwantowej, lecz również do uogólnionych teorii probabilistycznych.

W pracy [J] autorzy przedstawiają nową wersję uogólnionej teorii probabilistycznej, w której występują korelacje silniejsze od korelacji kwantowych. Jednak korelacje te pozostają fizyczne w tym sensie, że nie naruszają zasady niemożności sygnalizacji, czyli nie pozwalają na przesyłanie informacji z prędkością większą niż prędkość światła. Dotychczasowe badania nad takimi teoriami koncentrowały się głównie na łamaniu nierówności Bella. Głównym wkładem tej pracy jest rozszerzenie tych analiz o zjawisko sterowania, które umożliwi przygotowywanie stanów na odległość. Autorzy przedstawiają przykłady postkwantowego sterowania, którego efektów nie da się odtworzyć w ramach mechaniki kwantowej. W szczególności pokazują, że w nowej teorii przygotowanie stanu na odległość wymaga jedynie jednego bitu komunikacji, podczas gdy w teorii kwantowej to samo zadanie wymaga dwóch bitów.

Praca [K] dotyczy niesygnalizujących kanałów w uogólnionych teoriach probabilistycznych. Autorzy przedstawiają dekompozycję wieloczęściowych kanałów jako afiniczną kombinację kanałów lokalnych, wykorzystującą kwaziprawdopodobieństwa. Taki zabieg pozwala wyjść poza klasę map stochastycznych, co umożliwia określenie miary nieklasyczności kanałów oraz lepsze zrozumienie natury braku sygnalizacji w fizyce.

Ostatnia praca z cyklu, oznaczona jako [F], odbiega od głównej tematyki. Niemniej jednak porusza niezwykle interesujące zagadnienie: czy wykrycie splątania pomiędzy dwoma masywnymi obiektami kwantowymi, powstałego na skutek oddziaływań grawitacyjnych, oznacza, że grawitacja ma naturę kwantową? Jest to kluczowe pytanie, ponieważ od dawna naukowcy starają się sformułować kwantową teorię grawitacji. W pracy udowodniono twierdzenie, które daje twierdzącą odpowiedź na to pytanie. Co więcej, autorzy wykorzystują uogólnione teorie probabilistyczne, pokazując, że stanowią one naturalne narzędzie do badania nieklasycznych aspektów grawitacji.

## **Ocena aktywności naukowej dra Selbyego**

Dotychczasowa działalność naukowa dr. Selby'ego koncentrowała się wokół trzech międzynarodowych ośrodków badawczych. Obecnie kieruje zespołem badawczym w Międzynarodowym Centrum Teorii Technologii Kwantowych na Uniwersytecie Gdańskim. Wcześniej zdobywał doświadczenie w Perimeter Institute oraz na Uniwersytecie Waterloo w Kanadzie, gdzie uzyskał tytuł magistra fizyki teoretycznej i odbył staż podoktorski, a także w Imperial College London w Wielkiej Brytanii, gdzie ukończył studia magisterskie z fizyki i kontrolowanej dynamiki kwantowej oraz obronił doktorat z fizyki.

Dr Selby jest współautorem 44 prac naukowych dostępnych w serwisie arXiv, z czego ponad 30 zostało opublikowanych w renomowanych czasopismach, w tym pięć w prestiżowym Physical Review Letters, jedna w PRX Quantum oraz jedna w npj Quantum Information. Jego badania koncentrują się głównie na podstawach teorii kwantów.

O wysokiej randze jego działalności naukowej świadczy fakt, że pełnił rolę głównego badacza w sześciu projektach grantowych, koordynował jeden z węzłów w europejskim projekcie badawczym oraz uczestniczył jako wykonawca w kilku innych inicjatywach naukowych. Regularnie prezentuje swoje wyniki na międzynarodowych konferencjach oraz był wielokrotnie zapraszany do renomowanych ośrodków badawczych na wykłady i seminaria. Wykazuje się również znaczną aktywnością organizacyjną, angażując się w organizację konferencji, szkół i seminariów naukowych.

Wszystkie te osiągnięcia jednoznacznie wskazują, że dr Selby jest wybitnym młodym naukowcem, który w pełni zasługuje na nadanie stopnia doktora habilitowanego.

### **Podsumowanie**

Przedstawione osiągnięcia naukowe spełniają wszystkie formalne i zwyczajowe wymogi stawiane w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, zatem wnioskuję o dopuszczenie dra Selbyego do dalszego etapu postępowania.

  
Paweł Kurzyński