



dr hab. Magdalena Stobińska, prof. UW  
Instytut Informatyki  
Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki  
Uniwersytet Warszawski  
Banacha 2, 02-097 Warszawa  
Tel. 22 5544 226  
e-mail: mstobinska@mimuw.edu.pl

Warszawa, 15 września 2024

**Recenzja w postępowaniu  
w sprawie nadania mgr Beacie Zjawin  
stopnia naukowego doktora**

Podstawą w postępowaniu o przyznanie mgr Beacie Zjawin stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne, jest rozprawa zatytułowana *EPR Assemblages as Common-Cause Resources of Nonclassicality*, napisana w języku angielskim i opatrzona datą „czerwiec 2024”. Ma ona charakter trzech powiązanych tematycznie prac naukowych, z których dwie są publikacjami w czasopiśmie *Quantum*, a jedna jest nieopublikowanym jeszcze preprintem zamieszczonym w serwisie *ArXiv.org*. Rozprawa została przygotowana pod opieką naukową promotora, dr hab. Any Belén Sainz, prof. UG. Składa się na nią dwujęzyczny abstrakt, lista rzeczonych publikacji, w których Doktorantka jest pierwszym autorem, spisu treści, czterech rozdziałów oraz listy 72 referencji, a także kopii trzech prac naukowych, które są zasadniczą częścią rozprawy. Łącznie składa się z 156 stron, w tym strony tytułowej, 9 stron wstępnych oraz 40 stron tekstu rozdziałów wraz listą referencji. Praca jest przygotowana bardzo starannie i w bogatej jak na tę tematykę, nienagannej szacie graficznej, z użyciem systemu LaTeX, oraz jest napisana przejrzystym stylem w bardzo poprawnym języku angielskim.

Krótki rozdział pierwszy rozprawy poświęcony jest wprowadzeniu czytelnika do tematyki zasobów wytwarzanych w scenariuszach Einsteina-Podolsky’ego-Rosena (EPR) i ich uogólnieniach. Autorka zapoznaje w nim czytelnika z podstawowymi elementami teorii informacji kwantowej, niezbędnymi do zrozumienia pracy, w szczególności z problemem identyfikacji i kwantyfikacji zasobów, które są dowodem nieklasyczności. W tym celu porównuje twierdzenie Bella oraz teorie zasobów, zauważając, że te drugie opisują także nieklasyczne korelacje, które wykraczają poza teorię kwantową (są postkwantowe). Następnie podaje i opisuje różne rodzaje korelacji, skupiając się na korelacjach EPR, które są głównym tematem pracy. Opisuje także zestawy operacji lokalnych, które są wykorzystywane w testowaniu nieklasyczności, w szczególności pojęcie operacji lokalnych skorelowanych przez dzieloną zmienną losową (*local operations and shared randomness*, LOSR). Zauważa też lukę w dotychczasowych badaniach, które nie obejmowały LOSR jako zbioru darmowych operacji w teorii zasobów scenariuszy EPR i podaje cel rozprawy, jakim jest wypełnienie tej luki. Rozdział jest napisany bardzo przejrzysto i zawiera opis stanu wiedzy, z bogatymi odniesieniami do literatury w temacie, osadzając w ten sposób rozprawę w kontekście najnowszych badań i publikacji. Rozdział pierwszy także pokrótce omawia zawartość trzech prac naukowych Autorki i ich wzajemne powiązania, a także przedstawia dalszą strukturę rozprawy.

Rozdział drugi jest gruntownym przeglądem pojęć, których poznanie jest niezbędne do zrozumienia teorii przedstawionej w zasadniczych publikacjach. Obejmuje szereg sekcji, od ogólnego wprowadzenia do teorii zasobów, wymieniając ich rodzaje i definiując darmowe zasoby, relacje między nimi zachodzące oraz klasy ekwiwalencji i konwersje, poprzez kwantowe splątanie w kontekście teorii zasobów, splątanie związane z operacjami lokalnymi z klasyczną komunikacją (*local operations and classical communication*, LOCC), porównania LOCC i LOSR, po zasoby o wspólnej przyczynie (*common-cause*), które mogą być klasyczne, kwantowe lub postkwantowe. Bardzo ciekawą sekcją tego rozdziału jest 2.1.2, która jest poświęcona porównaniu przykładów różnych typów zasobów: dwuczęściowych systemów kwantowych przygotowanych w stanie splątanym, scenariuszy Bella, scenariuszy EPR, scenariuszy EPR z dodatkowym kanałem kwantowym, scenariuszy EPR z bezpieczeństwem niezależnym od pomiaru (MDI), oraz dwu- i wieloczęściowych scenariuszy EPR. Jest to zrealizowane z użyciem przejrzystych ilustracji. Opisano jak LOSR działają na zasoby oraz pokreślono ich uniwersalność. Rozdział poświęca także jedną z sekcji na omówienie podstaw programowania półokreślonego (*semidefinite programming*, SDP), które jest szeroko wykorzystane w pracy do numerycznej optymalizacji.

W rozdziale zabrakło jedynie intuicyjnej definicji zasobów postkwantowych, które nie są powszechnie znane, nawet w środowisku fizyki kwantowej, a nie zostały szerzej wprowadzone. Ułatwiłoby to zrozumienie niektórych pojęć przez czytelnika.

Rozdział trzeci to omówienie głównych wyników pracy. Podzielony jest na sekcje związane z poszczególnymi pracami naukowymi:

Pierwszy artykuł, B. Zjawin, D. Schmid, M. J. Hoban, A. Belén Sainz, *Quantifying EPR: The Resource Theory of Nonclassicality of Common-Cause Assemblages*, *Quantum* 7, 926 (2023), został opublikowany w czasopiśmie *Quantum* w formie Open Access. W artykule tym przedstawiono pierwszą zasobową teorię nieklasyczności dla asamblaży w wieloczęściowych scenariuszach EPR, z darmowymi operacjami zdefiniowanymi jako LOSR. Jest to teoria, która może służyć do badania nieklasyczności procesów o wspólnej przyczynie. Motywacją tego podejścia jest przyczynowa struktura scenariuszy EPR, także w przypadkach, w których działania Alicji pozwalają jej wnioskować o fizycznym stanie systemu Boba, bez sterowania nim. Udowodniono w niej także, że konwersje zasobów mogą być testowane przy użyciu pojedynczego programu SDP, zarówno w dwu- jak i wieloczęściowych scenariuszach EPR, co pozwala na ich badanie w sposób systematyczny. Skonstruowano także nowe monotony EPR, które mogą być użyteczne w innych zadaniach. Pokazano na przykład, że zbiór darmowych zasobów i zbiór darmowych operacji są spójne i że darmowe zasoby to dokładnie te, które można skonstruować z darmowych operacji. Publikacja kończy się załącznikami, które zawierają obszernie wyprowadzenia i dowody matematyczne. Wyniki z tej pracy mają potencjalne zastosowania w łączeniu różnych pojęć dotyczących nieklasyczności i mierzenia ilości nieklasyczności lub postkwantowości zasobów, a także ich samotestowania.

Drugi artykuł, B. Zjawin, D. Schmid, M. J. Hoban, A. Beln Sainz, *The Resource Theory of Nonclassicality of Channel Assemblages*, *Quantum* 7, 1134 (2023) został także opublikowany w czasopiśmie *Quantum* w formie Open Access. Przedstawiono w nim zasobową teorię nieklasyczności zespołów kanałów w ramach LOSR. Zaprezentowana ogólniejsza teoria składa się ze wszystkich niesygnalowych złożeń kanałów (w tym postkwantowych), a darmowa podteoria jest zbiorem asamblaży generowanych przez klasyczne wspólne przyczyny. Omówione przypadki dotyczą ogólnych scenariuszy EPR, scenariusza EPR z dodatkowym wejściem oraz scenariusza EPR niezależnego od pomiaru. Wykorzystano programy SDP do testowania konwersji zasobów, co doprowadziło do znalezienia potencjalnie ciekawych ich własności. Wartością pracy jest pokazanie, jak jedne rodzajów zasobów mogą być konwertowane w inne, co znacznie rozszerza paletę ich zastosowań i pozwala na tworzenie nowych zasobów. Praca ta także zawiera załączniki z obszernymi wyprowadzeniami i dowodami twierdzeń,

Trzecia praca naukowa składająca się na rozprawę to B. Zjawin, M. J. Hoban, P. Skrzypczyk, A. Belén Sainz. *Activation of post-quantumness in bipartite generalised EPR scenarios*, arXiv:2406.10697 (2024) który został umieszczony na otwartym serwerze preprintów. W pracy tej badano korelacje generowane w uogólnionych scenariuszach EPR, które mogą generować zachowania postkwantowe. Zaprezentowano protokół aktywacji postkwantowości w dwuczęściowych scenariuszach EPR typu „Bob z dodatkowym wejściem” oraz np. niezależnych od pomiaru. Pokazano jak składać zasoby w większej sieci, poprzez wprowadzenie odpowiednich nierówności Bella. Podobnie jak dwie poprzednie, praca traktuje temat bardzo kompleksowo, zawierając szczegółowe opisy scenariuszy i dowody matematyczne.

Rozdział czwarty zawiera krótkie podsumowanie pracy z punktu widzenia znaczenia uzyskanych wyników oraz możliwości przyszłych kierunków badań z niej wynikających.

Ogólnie, rozprawa mgr Beaty Zjawin dotyczy specjalistycznego obszaru, jakim jest teoria informacji kwantowej, w szczególności w zakresie nielokalności i innych zasobów które mogą mieć znaczenie w technologiach kwantowych, takich jak np. kwantowa komunikacja, losowość oraz samotestowanie. Temat jest ujęty ciekawie i wykorzystuje nowoczesne metody, włączając zarówno zaawansowany aparat matematyczny jak i techniki numeryczne SDP.

Mimo bardzo dobrego dorobku Autorki, pewną wadą rozprawy jest brak szczegółowych informacji o wkładzie jej i innych współautorów w poszczególnych pracach, które się na nią składają. Ponieważ mgr Beata Zjawin jest umieszczona w nich jako główna autorka, jej wkład jest zapewne największy, niemniej czytelnik powinien móc poznać jego zakres bardziej szczegółowo.

Należy także zauważyć, że oprócz samych prac składających się na rozprawę, mgr Beata Zjawin jest współautorką pięciu innych prac, opublikowanych w następujących recenzowanych czasopismach z listy Journal Citation Reports / Web of Science: *Science Advances* (1 praca), *Quantum* (1 praca), *EPL* (1 praca), a także indeksowanych materiałów konferencyjnych 2018 *European Frequency and Time Forum (EFTF)* (2 prace). Wszystkie publikacje mgr Zjawin były cytowane łącznie 105 razy. Autorka może się także pochwalić prezentacjami na konferencjach: 37th *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence* oraz 18th *International Conference on Quantum Physics and Logic*, obydwie z 2021 r. Ponadto jest ona kierownikiem aktualnie realizowanego, 3-letniego grantu Narodowego Centrum Nauki „Preludium” pt. *Samotestowanie z perspektywy nieklasyczności* (nr 2021/41/N/ST2/02242, lata 2022-2025), a także pracuje na stanowisku asystentki w Międzynarodowym Centrum Teorii Technologii Kwantowych, finansowanym przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej. Działalność naukowa mgr Beaty Zjawin została także wyróżniona nagrodą Oddziału PAN w Gdańsku dla młodych naukowców za najlepszą pracę twórczą opublikowaną w 2023 r. Ogółem jest to bardzo dobry dorobek na tak wczesnym etapie kariery naukowej.

Podsumowując, uważam, że wniosek w sprawie nadania mgr Beacie Zjawin stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne, jest uzasadniony z uwagi na wysoką jakość prowadzonych przez nią badań. Przedstawiona rozprawa pt. *EPR Assemblages as Common-Cause Resources of Nonclassicality*, składająca się z powiązanych tematycznie prac naukowych, z których dwie zostały opublikowane w recenzowanym czasopiśmie, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje zatem o dopuszczenie pani mgr Beaty Zjawin do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



dr hab. Magdalena Stobińska, prof. UW