

Dr hab. Karol Bartkiewicz, prof. UAM  
Instytut Spintroniki i Informatyki Kwantowej  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Opinia i o dorobku i rozprawie habilitacyjnej dra Kamila Korzekwy

- 1) Informacje podstawowe o kandydacie  
- przebieg pracy zawodowej

Dr Korzekwa od ponad trzech lat jest zatrudniony jako adiunkt naukowy w roli kierownika grupy badawczej na Uniwersytecie Jagiellońskim. Wcześniej pracował przez pół roku jako adiunkt naukowy w Grupie Nowych Kwantowych Zasobów w Międzynarodowym Centrum Teorii Technologii Kwantowych Uniwersytetu Gdańskiego. Wcześniej habilitant odbył dwuletni staż naukowy w Quantum Science Group na Uniwersytecie w Sydney.

Habilitant nie umieścił w autoreferacie informacji o kierowaniu grantami. Jest on jednak liderem grupy badawczej Quantum Resources Group składającej się w sumie z czterech członków i kierownika. Działalność dydaktyczna habilitanta przedstawia się skromnie obejmuje głównie opiekę nad studentami i doktorantami oraz trzy serie wykładów wygłoszonych na trzech różnych uniwersytetach (University of Sydney, Imperial College London, Uniwersytet Wrocławski). Działalność popularyzatorska i organizacyjna habilitanta obejmuje takie elementy jak udział w organizowaniu seminariów specjalistycznych, szkoły letniej, oraz recenzowania grantu, około czterdziestu artykułów naukowych i trzech zgłoszeń konferencyjnych. W zakresie popularyzacji habilitant wymienia dwa artykuły w Physics Viewpoint odnoszące się do prac [H15] i [KK10]. Podaje on również artykuł promujący działania grupy badawczej, w której pracach uczestniczył, z The Sydney Herald. Habilitant może też pochwalić się licznymi stypendiami i wyróżnieniami, w tym sześcioma wyróżnionymi przez redakcje czasopism artykułami naukowymi, i wyróżnionym wykładem na konferencji Quantum Thermodynamics 2022.

- rozwój naukowy (uzyskanie stopnia doktora)

W roku 2016 habilitant obronił na Imperial College London rozprawę doktorską pt. „Quantum coherence, thermodynamics and uncertainty relations” przygotowaną pod opieką prof. Terryego Rudolpha i dr. Davida Jenningsa.

Praca nad doktoratem dobrze przygotowała go do kontynuacji badań w dziedzinie teoretycznej termodynamiki i informacji kwantowej. Przed uzyskaniem stopnia doktora, habilitant był współautorem dziesięciu prac publikowanych w czasopismach o międzynarodowej renomie, jak np. Physical Review X. Od tego czasu habilitant znacznie powiększył swój dorobek naukowy.

- 2) Charakterystyka dorobku naukowego  
- ocena liczebności dorobku i czasopism, w których publikowano prace

W autoreferacie habilitant wykazuje 17 prac (po doktoracie), których jest współautorem. Prace habilitanta ukazywały się głównie w Physical Review A (5), Physical Review Letters (2) i Physical Review X (2). Są to jedne z najbardziej cenionych czasopism przez fizyków, a PRA jest wysoko cenione przez wśród naukowców z takich dziedzin jak informatyka i optyka kwantowa oraz podstawy fizyki kwantowej. Dodatkowo kilka prac ukazało się w czasopismach takich jak Quantum (1), New Journal of Physics (1) czy PRX Quantum (1).

Biorąc pod uwagę wszystkie 27 prac habilitanta (w autoreferacie jest mowa o 30 pracach, ale wliczając prace dyplomowe), na dzień dzisiejszy według Web of Science, jego dorobek ma 749 cytowań (łącznie liczba cytowań bez autocytowań) a jego H-index wynosi 10. Za lwią część cytowań (521) odpowiadają jednak dwie prace powstałe przed uzyskaniem stopnia doktora, tj. w 2016 r. Przedstawione liczby cytowań są inne niż te deklarowane przez habilitanta, gdyż liczba cytowań wrosła z czasem. Uważam wartości tych wskaźników bibliometrycznych za adekwatnie podsumowujące dorobek naukowy habilitanta. Są to w mojej opinii wartości odpowiadające solidnej pracy naukowej. Oczywiście sama wartość wskaźnika H nie oddaje w pełni jakości publikowanych wyników. Średnio jedna praca habilitanta jest cytowana około 29 razy. Średnią

K. Bartkiewicz

zawyża tutaj wspomniana praca bardzo wysoko cytowana, a le poza nią habilitant jest również współautorem 10 prac, które są cytowane 10 i więcej razy. Oznacza to, że prace są zauważane i doceniane przez innych badaczy w dziedzinie. Liczebność oraz jakość dorobku wyróżniają się pozytywnie.

- główne kierunki badawcze

Habilitant jest fizykiem teoretykiem specjalizującym się w fizyce układów otwartych, informatyce i termodynamice kwantowej. Zgłaszane osiągnięcie „Optymalizacja kwantowego przetwarzania informacji w obecności więzów” dobrze oddaje całokształt działalności naukowej habilitanta. Większość jego prac dotyczy teoretycznych aspektów procesów kwantowych zachodzących w układach otwartych, które poddawane są pewnym optymalizacjom w zależności od narzuconych warunków czy więzów. W autoreferacie habilitant wydzielił w zgłaszanym osiągnięciu takie aspekty badań jak: więzy pamięci, więzy termodynamiczne, więzy symetrii i więzy klasyczności. Jego warsztat naukowy obejmuje wachlarz zaawansowanych metod i teorii matematycznych, które z powodzeniem stosuje w swoich badaniach.

- udział kandydata w publikacjach zbiorowych

Spośród 17 prac opublikowanych po doktoracie, w 7 pracach habilitant jest pierwszym autorem (zwyczajowo miejsce zarezerwowane dla autora o dominującym wkładzie), w 3 pracach habilitant ostatnim autorem (zwyczajowo zarezerwowane dla lidera grupy badawczej). Dwie spośród prac to prace jednoautorskie. We wszystkich pracach zbiorowych stanowiących osiągnięcie naukowe habilitant miał znaczny wkład w powstanie artykułu. W pracach pisanych wspólnie dr. Lostaglio wkład autorów określany jest jako równy. Z oświadczeń habilitanta oraz współautorów wynika, że w przypadku wszystkich prac wkład habilitanta był znaczący. W wielu przypadkach inicjował i koordynował on badania oraz uzyskiwał istotne wyniki analityczne bądź numeryczne. Powyższe świadczy o samodzielności naukowej i oznacza, że habilitant jest gotowy do prowadzenia badań na własną rękę co potwierdzają dwie publikacje jednoautorskie.

- wyka z najważniejszych osiągnięć naukowych

Do najważniejszych osiągnięć habilitanta, można zaliczyć między innymi pracę napisaną przed zdobyciem stopnia doktora, tj. „Quantum coherence, time-translation symmetry, and thermodynamics” opublikowaną w 2015 r. w *Physical Review X* (cytowana 351 razy wg. Web of Science). W pracy oprócz podania dolnych i górnych ograniczeń na ewolucję koherencji, wykazano, że transfer koherencji pomiędzy poziomami energetycznymi przejawia nieodwracalność, która nie jest uchwycona przez energię swobodną.

Za jedno z najważniejszych osiągnięć naukowych uważam dość świeżą pracę ze zgłaszanego osiągnięcia [H15], gdzie autorzy podają: kompletny zestaw ograniczeń, które muszą spełniać wszystkie procesy termalizacji; dekompozycję procesu termalizacji na elementarne składniki; oraz algorytm, który daje przepis na osiągnięcie dowolnej pożądanej transformacji termicznej poprzez połączenie tych składników. Te wyniki pozwalają wskazać optymalne ścieżki termalizacji pomiędzy jednym stanem termodynamicznym a drugim. Autorzy pogodzili dwa podejścia, czasowo-ciągłe i skokowe (czasowo-dyskretne), dla układu słabo sprzężonego z bezpamięciowym środowiskiem o stałej temperaturze. Wyprowadzili również rodzinę nierówności związanych z produkcją entropii, które rozszerzają matematyczne sformułowanie drugiego prawa termodynamiki, tak aby uwzględniła dyskretną naturę ewolucji układu kwantowego. Wyniki mogą mieć zastosowania w np. w silnikach cieplnych i innych technologiach opartych na optymalnych przejściach między stanami termicznymi.

Inne osiągnięcia habilitanta są również bardzo wartościowe naukowo, a le to te dwa wyniki są w mojej opinii najważniejsze.

3) Ocena osiągnięcia habilitacyjnego wraz z uzasadnieniem co ono wnosi do nauki

Osiągnięcie habilitacyjne stanowi seria publikacji za tytułowaną „Optymalizacja kwantowego przetwarzania informacji.” Temat sugeruje różnorodność zagadnień, którą habilitant badał. W szczególności, w autoreferacie wyróżnione są cztery grupy zagadnień ze względu na ich specyfikę. Ich cechą wspólną jest przetwarzanie informacji kwantowej w obecności więzów, które mogą mieć podłoże fundamentalne (np. druga zasada termodynamiki) lub praktyczne (ograniczone zasoby fizyczne czy dostęp do pamięci). Celem cyklu było zbadanie warunków w jakich zasoby kwantowe mogą pozwolić na wykonanie danego zadania lepiej niż pozwala na to fizyka klasyczna.

K. Bunt.

Pierwsza wyróżniona przez habilitanta część osiągnięcia poświęcona jest więzom termodynamicznym. W pracach [H1,H4,H5,H6,H12,H14,H15] zbadano m.in. relację między termodynamiką a statystyką małej ilości układów oddziałujących z łaźnią cieplną przy różnych założeniach dotyczących rozważanych układów kwantowych. Dzięki temu w rozważaniach termodynamicznych uwzględniono rolę fluktuacji energii i superpozycji stanów kwantowych, które typowo przestają być istotne w granicy termodynamicznej. Wyniki pozwalają na lepsze zrozumienie fizyki spójnych układów kwantowych sprzęgniętych ze środowiskiem. Wyniki obejmują analizy optymalnych wydajności protokołów termodynamicznych poza granicą termodynamiczną. Dodatkowo zbadano relację fluktuacji energii swobodnej a dyssypacją w takich układach jako naturalnego odpowiednika twierdzenia fluktuacyjno-dyssypacyjnego. Rozwinięto też formalizm matematyczny pozwalający na skuteczne badanie i opisywanie takich układów. Jest to ważne zagadnienie z punktu widzenia rozwoju technologii kwantowych.

Druga część osiągnięcia zawiera wyniki poświęcone więzom pamięci. Oznacza to tutaj zawężenie klasy badanych układów do układów markowskich. Publikacje dotyczące tego osiągnięcia [H2,H9,H14,H15] dotyczą zagadnienia korzystania z pamięci podczas transformowania stanu układu kwantowego i porównania z przypadkiem klasycznym, gdzie niektóre operacje konieczne wymagają dostępu do pamięci. Wyniki wskazują na potencjalną przewagę przetwarzania informacji w układach kwantowych, w szczególności w procesach chłodzenia. Dodatkowo zbadano rolę pamięci w protokołach termodynamicznych przy uwzględnieniu standardowo pomijanych ograniczeń praktycznych związanych z kontrolą nad oddziaływaniami i korelacjami między układem a łaźnią cieplną. Znalezione optymalne protokoły ekstrakcji pracy i chłodzenia i wykazano jaką rolę pełnią w nich więzy pamięci

Trzecia grupa wyników dotyczy więzów symetrii. Osiągnięcie zawiera wyniki łączące symetrię translacyjną w czasie z zasadą zachowania energii. W interesujący sposób wiąże zasadę zachowania z przetwarzaniem koherencji kwantowej między stanami o różnych energiach. W szczególności uzyskana jest relacja uogólniająca relację dla czasów spójności  $T_2 \leq 2 T_1$  [H2], która obowiązuje dla układów dwupoziomowych. Uzyskana relacja obowiązuje przy założeniu markowskości ewolucji. Łamanie takiej relacji można zatem powiązać z efektami pamięciowymi w dynamice układu. Kolejną rozważaną symetrią jest symetria operacji kwantowych względem transformacji opisywanych przez uogólnioną grupę Liego  $G$  i powiązana z symetrią zasadą zachowania [H8]. Wyniki zawierają ograniczenie na odchylenia dynamiki układu od dynamiki zamkniętej w funkcji odchylenia od zasady zachowania powiązanej z symetrią względem  $G$ . Przykładem zastosowania jest przypadek odwracania spinu jednej cząstki przez cząstkę o większym spinie przy założeniu operacji o symetrii obrotowej. Analiza symetrii kanałów kwantowych pozwoliła również na przeanalizowanie optymalnego protokołu przesyłania informacji zakodowanej w asymetrii względem grupy  $G$ , przy różnych ograniczeniach wynikających z założeń dotyczących np. klasy operacji dozwolonych w protokole [H13]. Uzyskane wyniki mogą mieć zastosowanie w protokołach komunikacji kwantowej.

Ostatnia część osiągnięcia skupia się na więzach klasyczności. Wyniki zaliczone do tej części zostały opublikowane w pracach [H3,H7,H10,H11] i dotyczą, oprócz [H10], procesu koheryfikacji odpowiadającemu klasycznej macierzy przejścia. Wskazano że unistochastycznym macierzom przejścia odpowiadają odwracalne procesy unitarne. W pracy [H7] podano warunki na istnienie  $M$  idealnie rozróżnialnych koheryfikacji zadanego kanału klasycznego. W pracy [H11] całkowicie scharakteryzowano własności niskowymiarowych macierzy unistochastycznych. W pracy [H10] wprowadzono i opisano własności defazujących superkanałów, które obniżają spójność kwantowa przesyłanego stanu kwantowego, ale nie wpływają na odpowiadające przypadkowi klasycznemu macierze przejścia. Za proponowano w jaki sposób takie superkanały mogą być zrealizowane doświadczalnie.

Podsumowując, zgłaszane osiągnięcie stanowią liczne i istotne wyniki dla rozwoju nauki, w szczególności w zakresie badań nad teoretycznym przetwarzaniem informacji kwantowej w obecności ograniczeń narzuconych przez środowisko oddziałujące z układem kwantowym w sposób markowski oraz innych zasadnie założonych ograniczeń technologicznych.

4) Charakterystyka dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego oraz innych działań na rzecz rozwoju nauki

Dr Korzekwa nie prowadził zajęć dydaktycznych przez większość swojej kariery. Jednak może pochwalić się pewnym doświadczeniem dydaktycznym. W roku 2018 przez miesiąc prowadził krótką serię wykładów na

K. Bunt

University of Sydney. Natomiast w roku 2014 prowadził ćwiczenia z matematyki dla studentów fizyki n Imperial College London. W roku 2016 wygłosił krótką serię wykładów dla doktorantów na Uniwersytecie Wrocławskim.

Habilitant opiekował się pracami dyplomowymi studentów pierwszego (2) i drugiego (2) stopnia. Jest obecnie promotorem pomocniczym dwóch doktoratów. Poświęca też czas na działania popularyzatorskie czy promujące naukę (np. The Imperial Festival, The Amazing Quantum World Show). Wspiera on organizację cyklicznych spotkań naukowych grup roboczych. Jest kierownikiem grupy badawczej Quantum Resources Group.

W trakcie swojej kariery po uzyskaniu stopnia doktora habilitant prezentował swoje wyniki (11 różnych prezentacji) na 15 międzynarodowych konferencjach i seminariach [Australia (7), USA (2), Japonia (2), Niemcy (2), Singapur (1), Wielka Brytania (1), Szwajcaria (1), Łotwa (1), Węgry (1), Holandia (1)]. Wygłosił również 13 referatów na zaproszenie na polskich uczelniach i w instytutach badawczych. W mojej ocenie aktywność konferencyjna habilitanta na tym etapie kariery jest bardzo duża. Jego praca naukowa jest zauważana i doceniana przez organizatorów konferencji co jest potwierdzone licznymi zaproszeniami i wyróżnieniami.

Jako recenzent habilitant przygotował recenzje artykułów naukowych dla dziesięciu uznanych czasopism. Od 2014 wymienionych jest 39 recenzji, w tym większość dla Physical Review A (17). Artykuły były również recenzowane do takich czasopism jak np. Quantum (8), Physical Review Letters (5), Nature Physics (1), PRX Quantum (2). Habilitant recenzował również projekt Preludium dla NCN. Aktywność grantowa habilitanta ogranicza się do udziału w grantach zdobywanych przez innych.

Wymienione dokonania naukowe świadczą o tym, że habilitant jest doświadczonym i uznanym naukowcem w kraju i za granicą. Jednak jego zaangażowanie w dydaktykę i aktywność grantowa mogły by być większe.

#### 5) Działania innowacyjne i wdrożeniowe

Dr Korzekwa nie wykazał działań innowacyjnych i wdrożeniowych w dokumentacji wniosku.

#### 6) Współpraca międzynarodowa

Poza naukowcami z macierzystej jednostki, dr Korzekwa współpracował z wieloma uznanymi naukowcami z Polski (np. K. Życzkowskim, Z. Puchałą, P. Horodeckim, P. Horodeckim) i z zagranicy. W trakcie swojej kariery współpracował z naukowcami z 16 różnych jednostek naukowych w Polsce i zagranicą. Wymienione jednostki zagraniczne to ICFO, University of Technology Sydney, University of Sydney, University of Oxford, Delft University of Technology, National University Singapore, Perimeter Institute for Theoretical Physics, University of Amsterdam, Imperial College London. Uważam, że tak rozwinięta współpraca dobrze wpłynie na dalszy rozwój naukowy habilitanta.

#### 7) Podsumowanie

Dotychczasowy dorobek naukowy i osiągnięcia pokazują, że dr Korzekwa jest produktywnym i samodzielnym naukowcem, który prowadzi badania na międzynarodowym poziomie o potencjalnych zastosowaniach praktycznych. Sam wniosek przygotowany jest starannie a osiągnięcia przedstawione są w sposób spójny. Ilość i poziom wyników naukowych objętych cyklem publikacji są imponujące. Uważam, że przedstawione osiągnięcia habilitacyjne z nadkładem spełnia wymogi ustawowe, zatem wnioskuję o dopuszczenie dra Korzekwę do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

K. Bantwinicz