

dr hab. Łukasz Cywiński, prof. IF PAN
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Al. Lotników 32/46
02-668 Warszawa

Ocena osiągnięcia naukowego i dorobku Pana dr Michała Oszmańca w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

1. Sylwetka naukowa habilitanta i ogólne omówienie osiągnięcia naukowego oraz udokumentowania wkładu habilitanta w prace składające się na osiągnięcie

Dr Michał Oszmaniec uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w styczniu 2015 roku na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego broniąc rozprawę p.t. „Applications of differential geometry and representation theory to description of quantum correlations”. Od lutego 2015 r. do maja 2017 r. przebywał na stażu podoktorskim w grupie kwantowej informacji prof. Antonio Acina w Instytucie Badań Fotonicznych w Barcelonie (ICFO), zaś od czerwca 2017 r. odbywa staż podoktorski (finansowany z grantu Homing przyznanego mu przez FNP) na Uniwersytecie Gdańskim.

Dziedziną badań dr Oszmańca jest fizyka matematyczna stosowana do zagadnień szeroko rozumianej informatyki kwantowej. Istnieje wyraźna ciągłość pomiędzy badaniami z okresu jego doktoratu, a pracami z późniejszego okresu, w tym pracami wchodzącymi w skład osiągnięcia habilitacyjnego. Widać jednakże wyraźny rozwój w kierunku pełnej dojrzałości naukowej: liczne techniki matematyczne, w stosowaniu których dr Oszmaniec jest biegły, zostały przez niego w ostatnich latach użyte do zaatakowania szeregu problemów o dużym znaczeniu zarówno czysto teoretycznym, jak i praktycznym. Podczas obu stażów podoktorskich dr Oszmaniec podjął współpracę z wieloma wysokiej klasy naukowcami. Zaowocowały one bardzo dobrymi pracami dotyczącymi różnorodnych zagadnień powiązanych z rozwojem teorii umożliwiających postęp w dziedzinie kwantowych technologii.

Jako osiągnięcie Habilitacyjne dr Michał Oszmaniec przedstawił jednotematyczny cykl publikacji naukowych p.t. „Kwantowa informacja przy ograniczonych zasobach”. Na cykl ten składa się sześć prac opublikowanych w bardzo dobrych czasopiśmie naukowych: dwie w Phys. Rev. Lett. oraz po jednej w Phys. Rev. X, Phys. Rev. A, New Journal of Physics i Quantum. Wszystkie prace są wieloautorские. W pięciu z nich dr Oszmaniec jest pierwszym autorem, a w jednej z nich jest drugim. Średni wkład dr. Oszmańca, obliczony na podstawie jego deklaracji, wynosi 50%. We wszystkich pracach był on autorem o największym wkładzie, lub jednym z dwóch autorów o równorzędnie największym wkładzie (w przypadku prac 2 i 4, przy czym praca 4 jest dwuautorska). Prace składające się na cykl zostały opublikowane w latach 2016-2019 i zostały dotąd zacytowane 60 razy (56 razy bez autocytowań), zaś dwie z nich uzyskały dotąd ponad 20 cytowań. Dane te świadczą o aktualności tematyki podjętej w tych parach, oraz o dobrym odbiorze tych artykułów przez środowisko.

Muszę przyznać, iż początkowo (zaraz po zapoznaniu się z samą listą publikacji wchodzących w skład osiągnięcia) chciałem wyrazić lekki żal, iż habilitant nie poczekał jeszcze roku albo dwóch, i nie złożył osiągnięcia składającego się z większej liczby prac, dodatkowo zawierającego może artykuł przeglądowy, bądź pracę jednoautorską. Z opisu jego niedawnej działalności naukowej jasno wynika, iż kontynuuje on badania składające się na osiągnięcie, n.p. preprint oznaczony jako [f] (niedawno opublikowany w Phys. Rev. A) w rozdziale poświęconym wynikom nie wchodzącym w skład osiągnięcia jest powiązany z artykułami [V] i [VI], które wchodzą w jego skład. Po zauważeniu, iż większość z prac [I-VI] jest bardzo obszerna – nawet w przypadku artykułu z Phys. Rev. Lett. oprócz głównego listu mamy też kilkanaście stron dodatkowego materiału, zawierającego szczegóły wyprowadzeń i dowodów – oraz po przeczytaniu autoreferatu (który omówię poniżej), stwierdziłem, iż nie ma najmniejszej potrzeby wyrażać jakiegokolwiek zaniepokojenia ilościowymi i jakościowymi cechami osiągnięcia.

Prace składające się na osiągnięcie w naturalny sposób dzielą się na trzy grupy (z których każda zawiera dwa artykuły), dotyczące odpowiednio kwantowej metrologii, obliczeń kwantowych, oraz teorii kwantowego pomiaru. W przypadku wszystkich tych tematów, podjęcie badań było umotywowane dobrze postawionymi, ciekawym i ambitnymi pytaniami, a nie jedynie faktem, iż „da się policzyć coś dotyczącego aktualnie popularnego tematu przy użyciu narzędzi, które znamy”. Trzy główne ogólne zagadnienia badawcze podejmowane w pracach dr Oszmańca to wpływ dekoherencji na protokoły kwantowe, zrozumienie warunków, jakie należy spełnić aby pewne rodziny operacji na układach kwantowych rozszerzyć do uniwersalności (tzn. wzbogacić do stopnia, który pozwala na wykorzystanie ich do prowadzenia dowolnych obliczeń kwantowych), oraz efektywność różnorodnych protokołów kwantowych (zarówno metrologicznych, jak i pomiarowych) w obecności ograniczonych zasobów. Wszystkie te zagadnienia są nie tylko nietrywialne teoretycznie i matematycznie, ale mają też duże znaczenie praktyczne. Ponownie podkreślam ten aspekt prac dr. Oszmańca, gdyż muszę przyznać, iż jestem pod wrażeniem tego, w jaki sposób zdołał on wykorzystać wykształcenie w dziedzinie fizyki matematycznej do podjęcia badań dotyczących zagadnień związanych z pracami doświadczalnymi. Rozwijanie nietrywialnej teorii przy jednoczesnym utrzymaniu bliskiego związku z praktycznymi pytaniami nie jest łatwe.

Chciałem też podkreślić, iż artykuły przedstawione jako osiągnięcie dotyczą różnorodnych tematów, ale jednocześnie tworzą spójną całość: wszystkie dotyczą wpływu realistycznych ograniczeń na działanie protokołów realizujących praktyczne zadania z dziedziny informatyki kwantowej.

2. Szczegółowe omówienie osiągnięcia naukowego

Praca [I] poświęcona jest pytaniu o fundamentalnym (według mnie) znaczeniu dla kwantowej metrologii: jakie rodzaje kwantowych stanów wielu cząstek (nieodróżnialnych lub odróżnialnych) pozwalają na osiągnięcie metrologicznej przewagi nad fizyką klasyczną przy

zastosowaniu najprostszego protokołu metrologicznego (operacji „nadrukującej” estymowany parametr na dany stan oraz końcowego pomiaru tego stanu). Pokazano w niej, iż losowo wybrany stan czysty układu wielu cząstek rozróżnialnych (n.p. kubitów) nie pozwala na osiągnięcie metrologicznej przewagi nad fizyką klasyczną – ale losowy stan czysty układu nieodróżnialnych cząstek (identycznych bozonów) pozwala na osiągnięcie tzw. skalowania Heisenberga dokładności estymacji. Co ważniejsze, pokazano, że protokół metrologiczny prowadzący do takiego wyniku jest łatwy do implementacji, oraz że skalowanie Heisenberga jest stabilne w obecności strat cząstek (pod warunkiem tego, iż maksymalna liczba „zgubionych” cząstek jest ustalona i niezależna od liczby cząstek N). Praca jest bardzo obszerna, zawiera szczegółowe dyskusje wielu aspektów rozważanego problemu, w tym zagadnienia praktycznej możliwości generowania pseudolosowych stanów N bozonów przy użyciu optyki liniowej i jednej bramki opartej na nieliniowym oddziaływaniu typu Kerra. Należy zauważyć, iż analiza tego ostatniego zagadnienia zainspirowała badania opisane w pracy [III].

W pracy [II] szczegółowo przeanalizowano zagadnienie kwantowej estymacji gradientu pola magnetycznego przy pomocy układu kubitów rozmieszczonych wzdłuż linii (np. jonów w pułapce). W rozważaniach uwzględniono obecność kolektywnego defazowania splątanych stanów N -kubitowych dla pułapkowanych jonów (zaobserwowanego w pracy Monz et al., Phys. Rev. Lett. (2011)).

W dwuautorskiej pracy [III] przeanalizowane sposoby, na jakie można pewne standardowe rodziny bramek, stosowane do manipulowania układami nierozróżnialnych bozonów i fermionów, rozszerzyć do uniwersalności, tzn. jakie dodatkowe bramki należy dołączyć do w miarę „łatwo” dostępnego zestawu, aby móc dokonywać dowolnych unitarnych transformacji na układzie. W pracy tej zastosowano nietrywialne metody matematyczne do rozwiązania dobrze umotywowanego problemu fizycznego/ informatycznego o praktycznym znaczeniu dla rozwoju informatyki kwantowej.

Artykuł [IV] poświęcony jest innemu, bardzo aktualnemu, problemowi powiązanemu z dokonywaniem pewnego rodzaju obliczeń kwantowych przy użyciu liniowej optyki: tzw. „próbkowaniu bozonów” („boson sampling”), czyli zaproponowanemu parę lat temu protokołowi manipulacji i pomiarów na stanach wielu fotonów, którego udana implementacja byłaby dowodem na „obliczeniową przewagę” fizyki kwantowej nad klasyczną (w dużym uproszczeniu: wyniki takiego doświadczenia byłyby niezwykle trudne do zasymulowania przy użyciu klasycznych komputerów). Teoretyczne i doświadczalne badania nad tym zagadnieniem są ostatnio bardzo popularne: pierwsza praca teoretyczna i pierwsze prace doświadczalne były cytowane kilkaset razy w ciągu ostatnich 8 lat. W pracy [IV] przeanalizowano dwa realistyczne modele strat fotonów w eksperymencie próbkowania bozonów i pokazano, dla jakich poziomów strat wyniki doświadczenia mogą być efektywnie klasycznie zasymulowane. Uzyskane wyniki pokazują, iż udowodnienie istnienia „kwantowej wyższości” w takim doświadczeniu będzie bardzo trudne. Jest to wniosek o dużym znaczeniu poznawczym (jako że jest to nietrywialny przykład tego, jak szum/straty niszczą „kwantową wyższość obliczeniową”) oraz praktycznym. Praca ta została ściągnięta ze strony New

Journal of Physics około 1500 razy od września 2018 roku. Web of Science znajduje 8 jej cytowań, ale Google Scholar, które zlicza też cytowania od nieopublikowanych jeszcze preprintów, podaje 26 cytowań (w tym 20 z 2019 roku). Dane te potwierdzają, iż praca ta została dostrzeżona.

Prace [V] i [VI] poświęcone są kwantowym pomiarom. W artykule [V] opisano, jakie pomiary uogólnione można wykonać przy pomocy pomiarów rzutowych, randomizacji (tzn. losowego wyboru, który pomiar rzutowy ma być wykonany), oraz klasycznego przetwarzania uzyskanych wyników. Z twierdzenia Naimarka wiadomo, iż każdy pomiar uogólniony można wykonać poprzez pomiar rzutowy na rozszerzonej przestrzeni Hilberta, tzn. należy do badanego układu dołączyć dodatkowy kwantowy układ, i na obu z nich dokonać pomiaru. Uzyskane w pracy [V] wyniki pokazują, iż w wielu przypadkach można wykonać pomiary uogólnione bez konieczności takiego powiększania układu. Dodatkowym wynikiem, uzyskanym w tej pracy, jest przesunięcie zakresu tzw. widzialności (poziomu zasumienia), dla której dwu kubitowy stan Wernera posiada model lokalny dla wszystkich pomiarów uogólnionych. Jest to bardzo ciekawy i nietrywialny wynik dotyczący splątania stanów mieszanych i jego związku z nielokalnością tych stanów. Jak w poprzednio omówionych przypadkach, praca [V] ma dużą wartość czysto poznawczą, oraz praktyczną. Była ona dotąd cytowana 22 razy według WoS, zaś 42 razy według Google Scholar (w tym 26 razy w 2019 roku).

W pracy [VI] opisano badania mające na celu stworzenia operacyjnej charakteryzacji pomiarów, czyli stwierdzenia, czy dany pomiar daje pewną konkretnie zdefiniowaną przewagę nad pomiarami z pewnej dobrze zdefiniowanej klasy (n.p. czy pozwala on na rozróżnienie stanów, które nie mogą być rozróżnione przez pomiary z danej klasy). Badania opisane w tym artykule mają bardziej abstrakcyjny charakter (tzn. motywacją dla nich jest raczej pewien dobrze postawiony problem teoretyczny, a nie konkretny problem powiązany z pracami doświadczalnymi). Wpisują się one w silnie w ostatnich latach rozwijający się nurt teoretycznej klasyfikacji różnych rodzajów „zasobów”. Należy docenić, iż dr Oszmaniec, skupiając się na klasyfikacji pomiarów w ramach teorii zasobów (a nie na przykład na splątaniu, nielokalności, czy koherencji) stara się otworzyć nowy front badań tego typu.

Prezentacja osiągnięcia w autoreferacie

Chociaż autoreferat formalnie nie podlega (ku mojemu nieustającemu zdziwieniu) ocenie, poświęcę mu jednak nieco miejsca. Uważam bowiem, iż poprzez napisanie dobrego autoreferatu naukowiec pokazuje swoją dojrzałość, oraz daje przykład swoich umiejętności edukacyjnych.

Rozpocznę od łyżki dziegciu: łatwo jest zauważyć, iż polska wersja autoreferatu jest oryginalna, zaś angielska wersja jest tłumaczeniem, które, niestety, jest często dość niezręczne, a w paru miejscach zawiera błędy językowe lub składniowe, które zmuszają czytelnika do przeczytania danego zdania w wersji polskiej (i tam już nie ma problemu). Jestem jednak w stanie zrozumieć znużenie pojawiające się podczas tłumaczenia

kilkudziesięciu stron tekstu. Polska wersja autoreferatu jest napisana dobrym językiem (mimo kilku niezręczności), co pokazuje, iż dr Oszmaniec nie powinien w przyszłości mieć problemów z pisaniem n.p. artykułów popularnonaukowych w ojczystym języku.

Przejdę teraz do struktury i zawartości merytorycznej autoreferatu. Muszę przyznać, iż jestem pod ogromnym wrażeniem tego, w jaki sposób dr Oszmaniec umieścił swoje prace w kontekście wcześniejszych badań i ogólnych kierunków rozwoju dziedziny, oraz jak w przejrzysty sposób wytłumaczył motywację dla ich podjęcia, znaczenie wyników, oraz powiązania (techniczne oraz koncepcyjne) pomiędzy pracami składających się na osiągnięcie. Dla każdej z nich możemy przeczytać też bardzo dobry wstęp, w którym habilitant pokrótce (ale bardzo efektywnie, a czasem też efektownie) opisuje podstawy teorii koniecznej do zrozumienia dalej opisanych wyników. Jako osoba stosująca mniej zaawansowane matematycznie techniki do badań o dość podobnej tematyce, bardzo doceniam wycucie z jakim dr Oszmaniec dozuje w autoreferacie formalizm matematyczny, a następnie jasno tłumaczy koncepcyjny rdzeń metody prowadzącej do uzyskania ostatecznych wyników. Uważam, iż przedłożony autoreferat jest wybitnym osiągnięciem w dziedzinie komunikacji wyników swoich badań. Mam nadzieję, iż dr Oszmaniec postara się powtórzyć to osiągnięcie w przyszłości, pisząc artykuły przeglądowe. Sposób doboru informacji oraz ich prezentacji w autoreferacie pozwala mi też podejrzewać, iż habilitant powinien być w stanie opracować ponadprzeciętnie przejrzyste wykłady monograficzne.

Ocena pozostałej działalności naukowej, dydaktycznej, oraz popularyzatorskiej

Dr Oszmaniec jest współautorem 19 artykułów, które dotąd uzyskały 197 cytowań (176 bez autocytowań, czyli tzw współczynnik samouwielbienia na poziomie 10% nie budzi żadnych zastrzeżeń), a jego czynnik Hirscha wynosi 9. Są to co najmniej dobre wyniki dla osoby, która zaczęła publikować w 2012 r. Co ważniejsze, jest jasnym, iż należy się w najbliższych latach spodziewać wzrostu liczby cytowań oraz, mam nadzieję, liczby publikacji.

Habilitant jest współautorem 6 artykułów opublikowanych po jego doktoracie, które nie weszły w skład osiągnięcia habilitacyjnego. Nie jest to duża liczba, choć należy docenić jakość tych prac, oraz ich zakres tematyczny, rozszerzający (i tak szeroki) zakres tematyki badań składających się na osiągnięcie. Nie mam jednak wątpliwości, iż liczba ta byłaby większa, gdyby ten sam wniosek habilitacyjny został złożony za rok. Ze względu na moją bardzo wysoką ocenę osiągnięcia habilitacyjnego, mogę stwierdzić, iż lekki pośpiech w rozpoczęciu procedury habilitacyjnej nie powinien wzbudzać niepokoju.

Dr Oszmaniec kierował grantami Preludium oraz Homing, oraz był wykonawcą w kilku innych grantach (w tym dwóch grantach ERC). W 2019 r. został liderem grupy badawczej w ramach programu Team-Net FNP (brał on udział w przygotowywaniu wniosku wspólnie z jego kierownikiem, prof. Markiem Kusiem).

Habilitant wygłosił pięć referatów zaproszonych (w tym dwa poza Gdańskiem i Warszawą), oraz dziewięć prezentacji ustnych na konferencjach międzynarodowych. Współorganizował

trzy konferencje. W czasie pobytu w Gdańsku poprowadził autorski wykład monograficzny „Group- theoretic techniques in quantum information”. Nie jest to duży dorobek dydaktyczny, ale wynika to najpewniej z tego, iż dr Oszmaniec dotąd pracował na stanowiskach typu postdoca (choć mógł on być może bardziej zaangażować się w dydaktykę w Gdańsku). Chciałem wyrazić nadzieję, iż w przyszłości nie zaniedba on tego pola działalności. Całkowicie pozytywnie oceniam wkład dr Oszmańca w opiekę naukową nad studentami: pracował on z trzema stażystami, opiekuje się obecnie magistrantem i doktorantem, a wcześniej współpracował z doktorantami podczas prowadzenia badań opisanych w dwóch z wyżej omówionych prac.

Nie można mieć żadnych zastrzeżeń do współpracy międzynarodowej (oraz wewnątrz-krajowej) habilitanta. Odbył on staż podoktorski w Hiszpanii (i ciągle współpracuje z naukowcami z ICFO), nawiązał owocne współprace z naukowcami z Uniwersytetu w Siegen (Niemcy), University College London i Wigner Research Centre w Budapeszcie, Perimeter Institute w Kanadzie, rozwija współprace z prof. Terhal z QTech Delft oraz z prof. Eisertem z Freie Universitat Berlin. Lista współpracowników zagranicznych oraz polskich jest imponująca, biorąc pod uwagę etap pracy naukowej habilitanta.

Podsumowanie

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę habilitacji dr Michała Oszmańca oraz jego pozostałe dokonania naukowe wypełniają ustawowe i zwyczajowe wymagania. Samo osiągnięcie naukowe uważam za wyróżniające się. Z pełnym przekonaniem popieram wniosek o nadanie dr Michałowi Oszmańcowi stopnia doktora habilitowanego.



dr hab. Łukasz Cywiński, prof. IF PAN