

Warszawa, 04.12.2013r.

Prof. dr hab. Jerzy Kamiński
Katedra Optyki Kwantowej i Fizyki Atomowej
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Hoża 69
00-681 Warszawa
Email: Jerzy.Kaminski@fuw.edu.pl

Ocena osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych w związku z postępowaniem habilitacyjnym dr. Rafała Demkowicza-Dobrzańskiego

Uwagi ogólne.

Jednym z najważniejszych współcześnie problemów społecznych i gospodarczych jest ochrona informacji oraz bezpieczne przekazywanie jej z wykorzystaniem łącz satelitarnych lub internetowych. Ponieważ do tak przekazywanej informacji jest w zasadzie swobodny dostęp, zatem koniecznym stało się szyfrowanie przekazów. Szyfrowanie i deszyfrowanie powinno odbywać się bez konieczności częstego spotkania się nadawcy i odbiorcy w celu wymiany klucza. W związku z tym opracowany został w latach siedemdziesiątych XX wieku sposób generacji kluczy prywatnego i publicznego (jednym z praktycznych jego implementacji jest tzw. algorytm RSA). Nie jest to jednak metoda w pełni bezpieczna. Okazuje się jednak, że prawa mechaniki kwantowej stwarzają możliwość wykrycia podsłuchu na łączu transmisyjnym, dzięki czemu nawet najbardziej wyrafinowane sposoby podsłuchu stają się bezużyteczne. Przez takie kanały można w sytuacjach krytycznych przekazywać klucze jednorazowego użytku i być pewnym, że nie zostały one przechwycone. Nic dziwnego, że na badania tego typu przekazywane są ogromne środki finansowe, a dział fizyki zajmujący się problemami informacji kwantowej i obliczeń kwantowych stał się w ostatnich dwudziestu latach jednym z najintensywniej rozwijanych.

‘Informacja jest fizyczna’ – to zdanie, wypowiedziane na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku przez Rolfa Landauera, miało podkreślić nie tylko głęboki związek łączący utratę informacji z dyssypacją energii w maszynach obliczeniowych, ale również zwrócić uwagę na to, że informacja jest zachowywana, przesyłana i modyfikowana przez realnie istniejące układy fizyczne. Zatem pojęć informacja i obliczenia nie można oddzielić od praw fizycznych opisujących zachowanie się i działanie tych układów. Dotychczas na ogół miały tu zastosowanie zasady fizyki klasycznej, a dyssypacja energii związana z utratą informacji w trakcie jej przetwarzania była tak mała w porównaniu np. z ‘ciepłem ohmowym’ wydzielanym w obwodach elektrycznych, że związek teorii informacji z fizyką można było pominąć, co w konsekwencji doprowadziło do rozwoju teorii informacji jako niezależnej dziedziny nauki. Sytuacja ta ulega jednak bardzo szybkim zmianom wraz z postępem w miniaturyzacji układów obliczeniowych. W niedalekiej przyszłości nośnikami informacji staną się wielkości opisujące stany kwantowe obiektów mikroskopowych, np. spiny elektronów lub jąder atomowych, bądź wybrane stany związane atomów lub cząsteczek. W konsekwencji teoria informacji przestanie być – jak dotychczas – działem matematyki, a stanie się częścią fizyki, gdzie przygotowanie układów

fizycznych w odpowiednich stanach kwantowych oraz dokonywanie na nich pomiarów odgrywa fundamentalną rolę.

Rozwój technologii bazujących na teorii informacji kwantowej przebiega dwutorowo. Jednym torem podążają badania, których ukoronowaniem ma być komputer kwantowy, mogący wykonać pewnego rodzaju obliczenia znacznie szybciej niż dotychczas używane komputery, których działanie opiera się w przeważającej części na prawach fizyki klasycznej. Jest to marzenie mające zarówno duże grono zwolenników jak i wielu sceptyków. Do tych drugich zalicza się np. wspomniany już Rolf Landauer. Z kolei drugim torem podążają badania nad przesyłaniem i przetwarzaniem informacji zakodowanej w stanach kwantowych wraz z wykorzystaniem zasad teorii kwantowej w celu zwiększenia dokładności pomiarów fizycznych. Wykorzystanie do tego celu stanów kwantowych ma kilka istotnych zalet, że wspomnę tu o gęstym kodowaniu informacji w kwantowych stanach splątanych, o dającym się wykryć przechwytywaniu informacji w trakcie jej przesyłania, czy też o wykorzystaniu np. stanów ściśniętych światła do zwiększenia precyzji pomiarów np. przy detekcji fal grawitacyjnych.

Dr Rafał Demkowicz-Dobrzański rozpoczął swoją karierę naukową w momencie, gdy zainteresowanie rozwojem algorytmów kwantowych już znalazło się w fazie opadającej. Sądzę, że za namową swojego pierwszego opiekuna naukowego - prof. Krzysztofa Wódkiewicza – skupił się na tym drugim z wyżej wymienionych kierunków badań w teorii informacji kwantowej. Z perspektywy czasu widać, że był to wybór słuszny, gdyż od czasu okrycia algorytmów Shora i Grovera w tzw. algorytmice kwantowej nic przełomowego się już nie dokonało. W swojej pracy magisterskiej, której byłem recenzentem, napisanej na Wydziale Fizyki UW pod kierunkiem prof. Krzysztofa Wódkiewicza, dr Demkowicz-Dobrzański zajmował się klonowaniem stanów kwantowych. Po zdanym egzaminie magisterskim zmienił do pewnego stopnia otoczenie naukowe, odbywając studia doktorskie pod kierunkiem prof. Marka Kusia z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN w Warszawie. Jego praca doktorska, której obrona odbyła się na Wydziale Fizyki UW, dotyczyła roli korelacji w kwantowej teorii estymacji. Po obronie doktoratu Pan Rafał Demkowicz-Dobrzański nawiązał ścisłą współpracę z prof. Konradem Banaszkiem, początkowo w Uniwersytecie Toruńskim, a od kilku lat już na Wydziale Fizyki UW. Przez cały ten okres śledziłem z dużym zainteresowaniem rozwój naukowy dr. Rafała Demkowicza-Dobrzańskiego i chociażby z tego względu mam nieukrywaną przyjemność ocenić Jego znaczący dorobek naukowy, organizacyjny i dydaktyczny w procedurze zmierzającej do nadania stopnia doktora habilitowanego.

Ocena działalności naukowej.

Zainteresowania naukowe dr. Rafała Demkowicza-Dobrzańskiego skupiają się na zagadnieniach związanych z kwantową teorią informacji i szerzej rozumianymi technologiami wspomaganymi kwantowo. Jego lista publikacji [30 pozycji opublikowanych w czołowych czasopismach z listy filadelfijskiej (Nature Photonics, Nature Communications, Physical Review Letters, Physical Review A, New Journal of Physics), o łącznej liczbie cytowań 300 (bez autocytowań) i o wskaźniku Hirscha 9 (dane te pochodzą z bazy Web of Science z listopada 2013 roku); są to znaczące wskaźniki na tym etapie rozwoju naukowego] świadczy o dobrze rozwiniętej umiejętności dostrzegania ciekawych i aktualnych problemów oraz ich twórczym i sprawnym rozwiązywaniu. Należy zauważyć, że prace dotyczą rozmaitych aspektów fizyki kwantowej, począwszy od zagadnień związanych z klonowaniem stanów kwantowych, poprzez bezpieczeństwo komunikacji kwantowej, a skończywszy na pomiarze fazy w realistycznych scenariuszach uwzględniających dekoherencję. Uzyskane wyniki w ostatnim z tych tematów przyciągnęły uwagę społeczności naukowej: praca w Physical Review Letters **102**, 040403

(2009), do której dr. Demkowicz-Dobrzański wniósł wiodący wkład, zebrała ponad 90 cytowań i niewątpliwie można ją już teraz włączyć do kanonu tej tematyki. Otrzymane rezultaty zaowocowały także zaproszeniem do napisania krótkiej pracy przeglądowej (Commentary) podsumowującej obecny stan wiedzy w metrologii kwantowej, która została opublikowana w *Nature Photonics* **3**, 673 (2009). Co więcej, dr Demkowicz-Dobrzański, opierając się na wcześniejszych własnych wynikach, opracował schemat eksperymentu wykonanego we współpracy z fizykami doświadczalnymi z Warszawy, Torunia i Oksfordu, którego wyniki ukazały się w *Nature Photonics* **4**, 357 (2010). W projekcie tym dr. Demkowicz-Dobrzański samodzielnie wykonał pełną, zaawansowaną teoretycznie analizę danych doświadczalnych, która wykazała możliwość poprawy precyzji pomiarów ponad ograniczenie szumu śrutowego nawet w przypadkach występowania mechanizmów dekoherencji. Badania tego typu mają charakter interdyscyplinarny i nie wiążą się jedynie z problemami optyki kwantowej.

Ostatnie prace, napisane już w pełni z afiliacją Wydziału Fizyki UW, wskazują na możliwość wykorzystania rozwijanych przez dr. R. Demkowicza-Dobrzańskiego idei np. do detekcji fal grawitacyjnych. W okresie bezpośrednio poprzedzającym złożenie wniosku habilitacyjnego (lata 2011-2013) dr Demkowicz-Dobrzański opublikował 8 prac naukowych w międzynarodowych czasopismach naukowych o bardzo wysokim wskaźniku oddziaływania (w tym w *Nature Communications* - 1, *Physical Review Letters* - 2, *Physical Review A* - 2). Za pracę w *Nature Communications* otrzymał w 2012 Nagrodę Rektora Uniwersytetu Warszawskiego. Godne podkreślenia jest szerokie grono osób z Nim współpracujących. Są to osoby zajmujące się nie tylko fizyką teoretyczną, ale również doświadczalnicy, dla których idee teoretyczne rozwijane przez dr. Demkowicza-Dobrzańskiego stanowią impuls do wykonania nowych doświadczeń bądź pozwalają zinterpretować wyniki pomiarów. Wyniki swoich badań przedstawiał na wielu międzynarodowych konferencjach w postaci wykładów, również proszonych, bądź na proszonych seminariach w wiodących ośrodkach naukowych na świecie oraz na konwersatorium IFT. W tych badaniach naukowych dr Demkowicz-Dobrzański zajmuje się rozwijaniem matematycznych narzędzi opartych o geometrię kanałów kwantowych, pozwalających na analizę użyteczności splątanych stanów kwantowych w zwiększaniu precyzji pomiarów interferometrycznych w realistycznych warunkach eksperymentalnych. Znaczącym wynikiem było pokazanie, że w obecności wielu typowych mechanizmów dekoherencji skalowanie Heisenberga dla precyzji estymacji parametru zamienia się asymptotycznie na skalowanie typowe dla szumu śrutowego, natomiast użycie stanów nieklasycznych pozwala w reżimie asymptotycznym poprawić czynnik multiplikacyjny dla precyzji. Uzyskane wyniki pozwoliły między innymi porównać obecnie uzyskiwane precyzje w interferometrach fal grawitacyjnych (np. GEO600 pod Hanoverem) z fundamentalnymi ograniczeniami nakładanymi przez mechanikę kwantową. Habilitant wykazał w szczególności, że w przypadku silnych wiązek laserowych wykorzystanie stanów ściśniętych światła prowadzi do optymalnej precyzji. Dr Demkowicz-Dobrzański przeanalizował ponadto użyteczność tzw. produktowych (iloczynowych) stanów macierzowych (MPS) w metrologii kwantowej i wykazał, że w obecności dekoherencji stany MPS niskiego rzędu pozwalają osiągnąć praktycznie tę samą precyzję estymacji co stany optymalne.

Dr. Rafał Demkowicz-Dobrzański posiada bardzo żywe kontakty naukowe z zagranicznymi zespołami badawczymi prowadzonymi przez znanych naukowców, m. in. w Hiszpanii (Barcelona, M. Lewenstein), Włoszech (Pavia, G. M. D'Ariano) oraz Wielkiej Brytanii (Oksford, I. A. Walmsley), które podtrzymuje i rozwija całkowicie samodzielnie. Odbił On kilkutygodniowe staże naukowe w wielu zagranicznych ośrodkach naukowych, w tym Hanowerze, Barcelonie, Dreźnie, Pawii i Londynie, których wyniki są udokumentowane wspólnymi publikacjami naukowymi. O pozycji naukowej kandydata świadczą także otrzymane zaproszenia do wygłoszenia referatów na międzynarodowych konferencjach, np. w Barcelonie (*Laser Physics*

2009), Gdańsku (NATO Advanced Research Workshop, 2009), Zakopanem (Quantum Optics VII, 2009), Moffett Field, Kalifornia (First NASA Quantum Future Technologies Conference, 2012), Toronto, Kanada (Workshop on Mathematical Methods of Quantum Tomography, 2013). Był również członkiem Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji 'Quantum Optics VIII', organizowanej przez Wydział Fizyki wspólnie z Instytutem Fizyki PAN i Centrum Fizyki Teoretycznej w Warszawie, która odbyła się w maju tego roku. Na szczególne podkreślenie zasługuje również kierowanie licznymi grantami naukowymi krajowymi i europejskimi: QUASAR (Quantum States: Analysis and Realization; jest to międzynarodowy projekt uzyskany w ramach konkursu ERA-NET CHIST-ERA 2010 i finansowany przez NCBiR; okres trwania projektu: od stycznia 2012 do końca 2013) oraz SIQS (finansowanego ze środków 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej).

Szerokie spektrum zainteresowań naukowych, aktualna tematyka oraz umiejętność współpracy z grupami doświadczalnymi czynią z dr. Demkowicza-Dobrzańskiego bardzo cennego pracownika Wydziału Fizyki UW oraz wyjątkowo aktywnego młodego przedstawiciela polskiego środowiska naukowego, zajmującego się różnorodnymi aspektami teorii informacji kwantowej.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej.

Godnym uwypuklenia jest wyjątkowe zaangażowanie dr Demkowicza-Dobrzańskiego w dydaktykę na Wydziale Fizyki. Poza zajęciami kursowymi, specjalistycznymi i monograficznymi, dr Demkowicz-Dobrzański współorganizował na naszym Wydziale przez dwa kolejne lata Festiwal Nauki oraz Letnią Szkołę Fizyki, na których wygłosił w 2012 roku wykład pt. *Kot Schrödingera w detektorach fal grawitacyjnych*. Wykład ten, jak i inne Jego zajęcia, spotkał się z bardzo ciepłym przyjęciem przez słuchaczy. Aktualnie dr Demkowicz-Dobrzański, wspólnie z innymi pracownikami Wydziału Fizyki, prowadzi seminarium poświęcone kwantowej teorii informacji.

Będąc Przewodniczącym Wydziałowego Zespołu Zapewnienia Jakości Kształcenia na Wydziale Fizyki UW otrzymuję liczne komentarze odnośnie stylu i jakości prowadzonych na Wydziale zajęć dydaktycznych. Komentarze nie zawsze są przychylnie, o czym można się dowiedzieć chociażby z prowadzonych już od wielu lat na Wydziale Fizyki ankiet studenckich lub z bezpośrednich rozmów z Samorządem Studenckim lub bezpośrednio ze studentami lub doktorantami. Z zebranych w ten sposób informacji wnoszę, że prowadzone przez dr. Demkowicza-Dobrzańskiego wykłady (kursowe i specjalistyczne), ćwiczenia oraz seminaria charakteryzują się dużą jasnością i entuzjazmem w przekazywaniu wiedzy. Na uwagę zasługuje także działalność popularyzatorska na Festiwalach Nauki i warsztatach Krajowego Funduszu na rzecz Dzieci oraz zaangażowanie w organizację Olimpiady Fizycznej. Aktywność ta daje doskonale przygotowanie do pracy naukowo-dydaktycznej i popularyzatorskiej, która jest bardzo ważnym elementem działalności w Wyższych Uczelniach.

Na uwagę zasługuje także aktywna opieka prowadzona przez dr. Demkowicza-Dobrzańskiego nad młodszymi badaczami. Obecnie samodzielnie prowadzi projekty naukowe mgr. Jana Kołodyńskiego i mgr. M. Jarzyny, doktorantów w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. Ponadto, sprawuje opiekę nad licznymi pracami licencjackimi, które w najbliższym czasie zapewne przekształcą się w opiekę nad pracami magisterskimi i doktorskimi. Otrzymane pod Jego kierunkiem i wspólnie ze studentami i doktorantami Wydziału Fizyki ścisłe wyniki dotyczące asymptotycznego zachowania się precyzji pomiarów zostały opublikowane w najlepszych czasopismach naukowych (Nature Communications, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. A).

Uwagi końcowe.

Na cykl prac składających się na habilitację dr Demkowicz-Dobrzański wybrał aż 10 publikacji. Mimo, że są to prace jednotematyczne, to w moim odczuciu, bez szkody dla wysokiej oceny ich wartości naukowej, można było tę listę ograniczyć do sześciu publikacji, w których Habilitant skupił się na zagadnieniach teoretycznych i w których pojawia się znacznie mniejsza ilość współautorów. Wiąże się to z uciążliwym procesem zbierania oświadczeń współautorów o ich wkładzie w powstanie konkretnej publikacji. Ponieważ nie są to oświadczenia znane naukowcom z Europy Zachodniej i Stanów Zjednoczonych, zatem z oczywistych względów wzór takiego oświadczenia musi być tym osobom przygotowany przez stronę polską. Prowadzi to czasami do składania oświadczeń z błędami (w tym konkretnie przypadku jest to powtórzenie w kilku z nich słowa 'that'), co mogłoby sugerować, że autorzy nie wiedzą co podpisują. Wyjątkiem jest dr B. J. Smith, który ten błąd skorygował. Fakt ten jednak nie może pomniejszyć dominującego (na pewno od strony teoretycznej) wkładu dr. Rafała Demkowicza-Dobrzańskiego w powstanie tych publikacji.

Materiały składające się na proces habilitacyjny zostały przygotowane bardzo sumiennie. Ale i tu można się doszukać w moim przekonaniu nieznacznych uchybień. Razi mnie niepotrzebne tłumaczenie tytułów prac z języka angielskiego, które po dokładnym przetłumaczeniu na język polski czasami brzmią niepoważnie. Np. tytuł pracy 25 po przetłumaczeniu brzmi: *Globalne własności płączące sprzężonych kopanych bąków*. Nie jest to tytuł odzwierciedlający sens i treść fizyczną tej pracy.

W związku z moją bardzo wysoką oceną osiągnięć naukowych Habilitanta oraz Jego sumiennego podejścia do obowiązków dydaktyczno-organizacyjnych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oświadczam, że dorobek naukowy dr. Rafała Demkowicza-Dobrzańskiego spełnia wszystkie wymogi ustawowe i wnoszę o nadanie dr. Rafałowi Demkowiczowi-Dobrzańskiemu stopnia doktora habilitowanego.

