

Warszawa, 15 marca 2022 r.

prof. dr hab. Jana Mostowski
Instytut Fizyki PAN
Aleja Lotników 32/46
02-668 Warszawa

Recenzja osiągnięcia habilitacyjnego oraz dorobku dr Piotra Kolenderskiego w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Dr Piotr Kolenderski ukończył studia na Wydziale Fizyki w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu w roku 2006. Stopień doktora fizyki uzyskał na tym samym wydziale UMK w roku 2010. Jego praca doktorska nosiła tytuł „Inżynieria par fotonów w generowanych w ośrodkach nieliniowych”, promotorem był dr hab. Konrad Banaszek. W okresie 1.10.2010 – 30.09.2013, był tak zwanym „post-dokiem” w Institute for Quantum Computing, University of Waterloo, w Kanadzie. Od roku 2013 jest adiunktem w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Opis i ocena cyklu prac składających się na „osiągnięcie habilitacyjne”

Osiągnięcie naukowe będące podstawą habilitacji dr Piotra Kolenderskiego nosi tytuł „Metody generowania, kontroli i detekcji pojedynczych foton w oraz ich zastosowania w badaniach podstawowych i stosowanych”. Na to osiągnięcie składa się 8 artykułów opublikowanych w latach 2014 – 2021, z tego 3 w Science Reports, (H1,H4,H8), 2 w Physical Review A, (H2,H6), 1 w Optics Letters (H3), 1 w Optics Express (H5), 1 w Optica (H7). Wszystkie prace są współautorskie, w dokumentach znajdują się oświadczenia współautorów, oraz oświadczenie dr. Kolenderskiego, określające rolę poszczególnych autorów.

Wątkiem wspólnym prac dr. Kolenderskiego stanowiącym osiągnięcie habilitacyjne jest badanie splątanych par fotonów z uwzględnieniem ich właściwości spektralnych. O ile splątane fotony były badane od dawna przez różnych autorów, to gruntowne zbadanie i wykorzystanie właściwości spektralnych stanowi oryginalne osiągnięcie autora.

Tematyka artykułów dotyczy w dwóch typów zagadnień. Pierwsza grupa to wytwarzanie i zastosowanie pojedynczych fotonów. Standardowa metoda wytwarzania pojedynczych fotonów polega na wykorzystaniu zjawiska nieliniowego zachodzącego w niektórych kryształach, a polegającego emisji par fotonów o częstotliwości dwukrotnie mniejszej niż częstotliwości silnej wiązki laserowej padającej na kryształ. Zjawisko to nosi nazwę „spontaneous parametric down conversion”, tłumaczone przez dr. Kolenderskiego na „spontaniczna parametryczna konwersja w dół” (nie jest to chyba udany neologizm, ale nie ma lepszego).

Następna część „osiągnięcia” dotyczy podstawowych zjawisk fizycznych wykorzystujących pojedyncze, na ogół splątane fotony. Pierwsze z tych doświadczeń, opisane w H8, to współczesna wersja doświadczenia Younga dotycząca interferencji światła na dwóch szczelinach. Powstawanie obrazu interferencyjnego w przypadku interferencji pojedynczych fotonów jest rzeczą znaną. W omawianej pracy powstawanie obrazu interferencyjnego zostało zanalizowane z wielką starannością, zadbano bowiem o kontrolowanie zarówno czasu dojścia fotonu do detektora jak i miejsca jego detekcji. Było to możliwe dzięki zastosowaniu splątanych par fotonów, jeden foton używany był do doświadczenia interferencyjnego podczas gdy drugi foton służył do tak zwanego obwieszczania, czyli określania czasu nadejścia pary fotonów oraz potwierdzenia faktu przejścia jednego fotonu przez dwie szczeliny i zachodzenia interferencji.

Prace H5-H7 stanowią cykl prac teoretycznych dotyczących wykorzystania splątanych fotonów oraz ich widma do eliminacji szumu w światłowodach, w optycznej tomografii koherencyjnej oraz w kwantowej komunikacji. Podobnie jak w innych pracach dr. Kolenderskiego, rozpatrywane są pary splątanych fotonów pochodzące z parametrycznej konwersji. Fotony takie mają szerokie widmo, co na ogół traktuje się jako utrudnienie w ich wykorzystywaniu. Jednak to szerokie widmo może być zaletą, co pokazują prace dr. Kolenderskiego.

Praca H7 jest pracą teoretyczną dotyczącą propagacji splątanych fotonów w światłowodach jednomodowych. Podobnie jak w innych pracach, rozpatrywane są pary splątanych fotonów pochodzące z parametrycznej konwersji. Fotony takie mają szerokie widmo. Światłowody w kwantowej komunikacji, jak również w innych dziedzinach optyki, są fotony, stanowią ośrodek dyspersyjny. Jak wiadomo, zjawisko dyspersji prowadzi do zwiększenia czasu trwania impulsu świetlnego i w efekcie do zwiększenia szumu. W tej pracy zostało pokazane, w jaki sposób splątanie fotonów może być wykorzystane do eliminacji tego efektu, a w konsekwencji do zmniejszenia szumu. Zastosowana idea polega na tym, żeby nie badać pojedynczych fotonów, ale korelacje pomiędzy fotonami.

Praca H5 rozwija zastosowanie metody splątanych fotonów do optycznej tomografii koherencyjnej. Idea polega na dodatkowym wykorzystaniu korelacji w dziedzinie częstości do określenia koincydencji par fotonów. Pełna informacja o strukturze badanego obiektu zakodowana jest w widmie łącznym i można ją odtworzyć za pomocą transformacji Fouriera. W przeciwieństwie do standardowej optycznej tomografii koherencyjnej w rozpatrywanej konfiguracji nie jest konieczne skanowanie głębokości. Praca ta stanowi, moim zdaniem, istotny wkład w optyczną tomografię.

W pracy H6 pokazana jest możliwość wydłużenia maksymalnej odległości w bezpiecznej komunikacji kwantowej. Odbywa się to poprzez manipulowanie korelacją widmową w parze fotonów i optymalizację dyspersji chromatycznej w łączach transmisyjnych. Wbrew typowym

oczekiwaniom pokazane jest, że w niektórych sytuacjach można zwiększyć bezpieczną odległość komunikacyjną wprowadzając dodatkową dyspersję.

Prace H1 oraz H3 dotyczą optycznej tomografii koherencyjnej. Co jest ciekawe, inspiracją do udoskonalenia tomografii koherencyjnej był jej kwantowy odpowiednik – kwantowa tomografia koherencyjna. W pracy H3 zastosowano światłowód do wprowadzenia opóźnień czasowych impulsów świetlnych. Ze względu na dyspersję w światłowodzie to opóźnienie czasowe jest zależne od długości fali światła. Uzyskane zostały obrazy przy bardzo małych natężeniach światła, rzędu 10 pW, co jest istotne w badaniach medycznych.

Praca H1 jest dalszym rozwinięciem pracy H3. Wykazane zostało, że wprowadzona modyfikacja optycznej tomografii koherencyjnej zwiększa zdolność rozdzielczą tomografii optycznej o czynnik 2 w stosunku do standardowej konfiguracji pomiarowej. Kluczowym parametrem umożliwiającym poprawę rozdzielczości osiowej w wprowadzonej metodzie opartej na zasadzie korelacji intensywności widmowej, jest wspomniany czynnik 2, przez który są mnożone argumenty fazowe wszystkich składników strukturalnych w sygnałach.

W pracy H4 wyznaczono teoretycznie charakterystyki par fotonów, optymalne dla komunikacji kwantowej wykorzystującej światłowody. Osiągnięto to poprzez minimalizację czasu trwania impulsów fotonowych. Pokazano, że w ten sposób można potencjalnie zwiększyć maksymalną odległość bezpieczeństwa nawet o kilkadziesiąt kilometrów, czyli o około 30%.

W pracy H2 wprowadzony został schemat tomografii stanów kwantowych oparty na pomiarach w dziedzinie czasowej. Pomiarom podlegają, jak zwykle, liczby fotonów. Głównym wynikiem tej pracy jest wyznaczona minimalna wierność pomiaru stanu kwantowego w funkcji długości światłowodu. W szczególności wykazano możliwość rekonstrukcji fazy stanu kwantowego w przypadku kubitów i kutritów. Jest to znaczący wkład w teorię kwantowej komunikacji.

Podsumowując „osiągnięcie habilitacyjne” należy podkreślić, że autor zastosował oryginalny pomysł łącznego wykorzystania splątania par fotonów oraz ich właściwości spektralnych do komunikacji kwantowej oraz do tomografii koherencyjnej prowadząc do znacznego postępu w tych dziedzinach. Stwierdzam, że cykl prac dr Kolenderskiego stanowi znaczący wkład w rozwój optyki kwantowej.

Ocena pozostałej działalności naukowej

Zarówno przed doktoratem, jak i w późniejszym okresie dr Kolenderski zajmował się problemami optyki kwantowej. Podczas pobytu w Kanadzie w latach 2010 – 2013 rozszerzył tematykę badań pozostając w ogólnym temacie kwantowej optyki. W tym okresie dr

Kolenderski zbudował układy eksperymentalne, które pozwalały na wytwarzanie pojedynczych par splątanych fotonów. Te pary były wykorzystywane w badaniach nad komunikacją kwantową. Duże wrażenie zrobiła na mnie praca dotycząca powstawanie obrazu interferencyjnego z szumu wynikającego z detekcji pojedynczych fotonów. Nie mniej ciekawa jest praca o oddziaływaniu pojedynczych obiektów kwantowych (centrów NV w diamentach) z pojedynczymi fotonami. Oprócz wspomnianych wyników dotyczących podstaw fizyki kwantowej, uzyskane pary fotonów wykorzystywane były w doświadczeniach i pracach teoretycznych nad komunikacją kwantową. Oryginalne pomysły dr. Kolenderskiego prowadzą do zwiększenia zasięgu komunikacji poprzez zmniejszenie szumu.

Po powrocie do Polski dr Kolenderski kontynuował rozpoczęte w Kanadzie prace i rozpoczął nowe. Rozszerzył swoje zainteresowania na tomografię koherencyjną oraz jej zastosowania. Część z jego wyników została włączona do „osiągnięcia habilitacyjnego”. Ważną tematyką jego badań stała się też komunikacja kwantowa. Jeszcze inną dziedziną, w której dr Kolenderski jest ekspertem, stała się komunikacja satelitarna. Ta dziedzina ma najmniej wspólnego z tzw. czystą fizyką, ale wiedza i doświadczenie dr. Kolenderskiego w zakresie komunikacji światłowodowej są tu bardzo istotne.

Dr Piotr Kolenderski jest autorem lub współautorem 34 prac naukowych, w tym 8 przed doktoratem. Wszystkie prace publikowane były w czołowych czasopismach z dziedziny fizyki lub optyki, takich jak Physical Review Letters, Physical Review A, Optics Letters itp. Wszystkie te pisma mają wysoki „impact faktor”. Warto podkreślić, że 20 prac było rezultatem współpracy nawiązanej podczas pobytu w University of Waterloo w Kanadzie. W sumie prace dr. Kolenderskiego były cytowane 406 razy, a indeks Hirscha wynosi $h = 11$.

Dr Kolenderski często prezentował swoje wyniki na konferencjach naukowych, miał referaty lub postery na 20 konferencjach w różnych częściach świata, od USA do Malezji, oprócz tego był szereg razy zapraszany na różnego typu wykłady i seminaria.

Dr Kolenderski wielokrotnie recenzował prace dla czołowych czasopism międzynarodowych, takich jak Nature, Nature Physics, Physical Review Letters. Był też członkiem paneli oceniających projekty badawcze w Polsce (dla MNiSW, FNP, NAWA) oraz Ministerstwa Nauki w Rumunii. Świadczy to o uznaniu dr Kolenderskiego i jego wysokiej w środowisku naukowym.

Ocena działalności edukacyjnej i organizacyjnej

Dr. Piotr Kolenderski ma duże sukcesy w zdobywaniu funduszy na badania. W okresie 2013 – 2022 był kierownikiem kilku grantów, niektóre nie są jeszcze zakończone. Po powrocie z Kanady uzyskał prestiżowe stypendium Homing Plus (2013 -2015), później był kierownikiem programu luventus Plus (2015 -2017), następnie uzyskał kolejny prestiżowy grant FNP First

Team (2017 – 2023), oraz Sonata 12 (2017 – 2021). Kilku jego doktorantów ma granty Preludium bis. Z uzyskanych w ten sposób środków finansowane jest Laboratorium Aplikacji Pojedynczych Fotonów w ramach KL FAMO w Toruniu. Ponadto dr Kolenderski bierze czynny udział, jako kierownik po stronie UMK, w trzech dużych projektach NCBiR oraz MNiSW dotyczących komunikacji satelitarnej. Wkład dr. Kolenderskiego w komunikacje satelitarną nie ogranicza się do badań naukowych; aktywnie współpracuje też z firmami (Syderal Polska, Work Microwave GmbH, Cilium Engineering, Sybilla Technologies, Exatel) w tym zakresie. Komunikacja satelitarna jest przyszłościową dziedziną, doświadczenia dr. Kolenderskiego w zakresie komunikacji z udziałem pojedynczych fotonów mogą mieć znaczący wkład w jej rozwój.

Wysoko oceniam działalność dr. Kolenderskiego w zakresie edukacji i wkładu w rozwój kadry naukowej. Jako pracownik Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu dr Kolenderski prowadził szereg zajęć dydaktycznych dla studentów. Były to zarówno zajęcia na poziomie podstawowym, (Fizyka I, Fizyka II, Fizyka III, Ćwiczenia z Podstaw Metod Opracowywania Wyników Pomiarów), jak również zajęcia specjalistyczne dla studentów wyższych lat studiów, czyli wykład i ćwiczenia z przedmiotu Quantum Information in Applications. Ponadto dr Kolenderski był opiekunem 10 magistrantów lub doktorantów oraz opiekunem lub promotorem pomocniczym sześciu doktorantów. Należy też docenić stworzenie przez dr Kolenderskiego laboratorium aplikacji pojedynczych fotonów, gdzie pracuje kilku doktorów, sześciu doktorantów oraz studenci. Wszyscy finansowani są z grantów dr. Kolenderskiego. Ta działalność dr. Kolenderskiego dotyczy nie tylko kształcenia kadry naukowej, ale też oznacza znaczący wkład w organizację badań naukowych.

Podsumowanie

Nadanie stopnia doktora habilitowanego oznacza przyznanie uprawnień, z których najważniejsze to prawo do promowania doktorów. Z pełnym przekonaniem uważam, że dr Piotr Kolenderski ma kwalifikacje do samodzielnego prowadzenia doktoratów i do promowania doktorów. Moim zdaniem dorobek naukowy dr. Piotra Kolenderskiego, jak również jego działalność w zakresie edukacji oraz organizacji badań naukowych, w pełni kwalifikuje go do stopnia doktora habilitowanego. Gorąco popieram wniosek na nadanie mu tego stopnia.



Jan Mostowski