

Toruń, 18.01.2023

prof. dr hab. Roman Ciuryło
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
w Toruniu

**Ocena dorobku naukowego i jednotematycznego cyklu publikacji
dra Michała Parniaka pt.: „Generowanie i charakteryzacja makroskopowych stanów kwantowych
światła i materii”**

Dr Michał Parniak przedłożył do oceny osiągnięcie będące jednotematycznym cyklem ośmiu publikacji. Prace zostały opublikowane w następujących czasopismach naukowych: Optica – 1 prace, Nature Physics – 1 prace, Optics Express – 2 prace, Optics Letters – 1 praca, Communications Physics – 1 praca, Quantum – 1 praca, New Journal of Physics – 1praca. Wymienione czasopisma mają niekwestionowaną renomę w obszarze optyki kwantowej a wręcz są prestiżowe jak np. Nature Physics. Wszystkie te prace są wieloautorskie jednak w pięciu jest autorem korespondencyjnym, z czego w jednej jest pierwszym autorem a w czterech innych ostatnim. Ponadto w przypadku pracy opublikowanej w Nature Physics jest wśród czterech pierwszych autorów o równym wkładzie do niej. Mimo, że w zaledwie dwóch pracach habilitant określił swój wkład na 40% lub 50%, nie umniejsza to wagi przedstawionego osiągnięcia uwzględniając wielość autorów przedłożonych prac. To co jest istotne to wkład dra Michała Parniaka w prace, w których był autorem korespondencyjnym. We wszystkich tych pracach „opracował pomysł”, ale też „koordynował” projekt, „konstruował układ”, „rozwijał metodę analizy danych” lub/i przeprowadził „analizę teoretyczną”. Co za tym idzie bez cienia przesady można stwierdzić, iż rola dra Michała Parniaka w powstanie tych pięciu prac była wiodąca nawet jeśli miary procentowe na to jednoznacznie nie wskazują. Pokazuje to zresztą na wątpliwą użyteczność miary procentowej wkładu w powstanie danej pracy. Również w przypadku trzech pozostałych prac wkład ten był niebagatelny i polegał również na: „opracowaniu pomysłu”, „konstrukcji układu”, wykonaniu „pomiarów”, wykonaniu „wstępnych pomiarów”, „opracowaniu metody kalibracji”, „rozwoju metod analizy danych i teorii”, lub/i „modelowaniu teoretycznym”. Oświadczenia dra Michała Parniaka dotyczące jego wkładu w powstanie prac cyklu zawarte w wykazie osiągnięć naukowych są zgodne z oświadczeniami pozostałych współautorów. Pod względem spójności tematycznej dobór ośmiu prac cyklu jest jak najbardziej odpowiedni.

Przez niemal cały wiek XX jednym z głównych obszarów zainteresowania fizyków było zrozumienie zjawisk kwantowych zarówno od strony teoretycznej jak i doświadczalnej. Zjawiska kwantowe najłatwiej było obserwować na obiektach mikroskopowych takich jak cząstki elementarne, atomy czy cząsteczki. Wiele wysiłku włożono w to by badane doświadczalnie obiekty odizolować od złożonego otoczenia trudno opisywalnego teoretycznie. Umożliwiło to skonfrontowanie teorii



kwantowej z dobrze zdefiniowanymi i kontrolowanymi układami mikroskopowymi realizowanymi doświadczalnie. Pomimo ogromnej dokładności szeregu z tych testów trudno się dopatrzeć znaczących statystycznie rozbieżności między kwantową teorią a doświadczeniem. Móc sprawdzić na ile przewidywania teoretyczne zgadzają się z wynikami doświadczalnymi. Jednak wraz z narodzinami mechaniki kwantowej zaczęto badać makroskopowe zjawiska takie jak nadprzewodnictwo czy nadciekłość, które mają charakter kwantowych. Obecnie poszukiwanie nowych makroskopowych zjawisk, kwantowych ze swej natury, bardzo ważnym obszarem badań współczesnej fizyki. Właśnie w ten nurt wpisują się prace opublikowane przez dra Michała Parniaka. Głównym obiektem jego zainteresowań były makroskopowe stany splątane światła i materii realizowane w dwóch wariantach. W jednym przypadku były to atomy w fazie gazowej i światło a w drugim membrany i światło.

W recenzji skupie się na pięciu pracach cyklu, w których habilitant odegrał rolę wiodącą. Są to prace [A3], [A5], [A6], [A7], [A8].

W pracy [A3] opublikowanej w *Optics Express*, której pierwszym współautorem był dr Michał Parniak zademonstrowano technikę usuwania szumu fazowego światła laserowego w zakresie relatywnie wysokich częstości. Badania te zostały wykonane w Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, w Danii w grupie, której liderem jest profesor Eugene S. Polzik. Techniki eliminacja szumu częstości promieniowania laserowego są kluczowe dla zawężania spektralnego jego widma. Zazwyczaj osiąga się to przy użyciu zewnętrznych ultrastabilnych wnęk optycznych. Innym podejście jest wykorzystanie interferometru Macha-Zendera z światłowodową linią opóźniającą. Te techniki pozwalają na redukcję szumu fazowego w zakresie relatywnie niskich częstotliwości rzędu 100-200 kHz. Bardzo znaczącym osiągnięciem habilitanta było pokonanie trudności technicznych i skonstruowanie układu eliminującego szum fazowy w MHz-wym zakresie częstotliwości. Wymagało to rozwiązania szeregu problemów z odpowiednio szybkim przetwarzaniem sygnałów elektrooptycznych. To osiągnięcie ma ważne konsekwencje umożliwiającą chłodzenie laserowe oscylujących makroskopowych membran mechanicznych do ich kwantowego stanu podstawowego. Badania te są ściśle związane z innymi pracami wykonanymi przez dra Michała Parniaka w grupie z Niels Bohr Institute: [A1] gdzie wykonany został ramanowski pomiar temperatury membrany blisko jej stanu podstawowego, [A2] gdzie dokonano splątania stanów oscylacyjnych mechanicznej membrany z kolektywnymi stanami spinowymi atomów cezu, [A4] gdzie zademonstrowana została nowa metoda, Coherently Induced Faraday Rotation (CIFAR), umożliwiająca wyznaczanie sprzężenie między nierezonansowym światłem a wieloatomowym spinowym oscyloatorem.

W pracy [A5] opublikowanej w *Optics Letters*, został zademonstrowany przestrzenny detektor fotonów, charakteryzujący się dużą szybkością i niskim poziomem szumów. Było to możliwe dzięki wykorzystaniu sensora sCMOS sprzężonego z układem FPGA, który w czasie rzeczywistym dokonuje analizy uzyskiwanych obrazów. Detektor tego typu jest szczególnie przydatny do badania złożonych stanów światła takich jak wielomodowe stany splątane badane w pracy [A6] i [A7]. Bez odpowiedniego oprzyrządowania charakterystyka takich stanów była by znacznie utrudniona i długotrwała.

W pracy [A6] opublikowanej w *Communication Physics*, zostało zademonstrowane splątanie Bella między atomami rubidu i emitowanymi przez nie fotonami do wielu modów równocześnie. Osiągnięto splątanie ponad 500 modów jednocześnie. Ponadto pokazano, że połowa modów jest przechowywana przez przynajmniej 45 μs . W pracy podkreślono, że takie podejście nie tylko umożliwia to multipleksowanie ale może stanowić punkt wyjścia do tworzenia nowych protokołów.

W pracy [A7] opublikowanej w *Quantum* wykorzystano pamięć kwantową [A6] w celu zademonstrowania nielokalności obserwowanej na podstawie pojedynczego obrazu w dalekim polu. Otrzymany parametr Bella $S = 2.227 \pm 0.007$ był w sensie statystycznym wyraźnie większy od dwóch.

W ostatniej pracy cyklu [A8] opublikowanej w *New Journal of Physics* przeprowadzona została teoretyczna analiza możliwości generowanych stanów splątanych jak w racach [A6] i [A7] do regenerowania stanów kwantowych, tzw. quantum repeater, i otrzymywania splątania na dużych odległościach. Użycie kwantowych pamięci do propagacji splątania na duże odległości pozwala pobić wykładniczy zanik typowy dla propagacji dwóch splątanych fotonów światłowodami. Głównym wynikiem pracy jest pokazanie quasi-deterministycznej możliwości generowania na duże odległości.

Przedstawione do oceny osiągnięcie dr Michała Parniaka nie tylko stanowi istotny wkład do fizyki makroskopowych stanów splątanych ale zawiera szereg wyników zasługujących na wyróżnienie. Wymienię tu osiągnięcia instrumentalno-technologiczne: redukcja szumu fazowego lasera w w MHz-zakresie częstości [A3], konstrukcja szybkiego nisko szumnego przestrzenny detektor fotonów [A5]. Z fizycznego punktu widzenia bez wątplenia wyróżniającym osiągnięciem jest wykorzystanie pamięci kwantowej w celu zademonstrowania nielokalności obserwowanej w dalekim polu [A7]. Warto w tym miejscu dodać, że *Nature Physics* wyróżniło pracę [A2] notatką „News&Views”, *Quantum* wyróżniło pracę [A7] notatką „Perspective”, a *Communications Physics* wyróżniło pracę [A6] umieszczając ją wraz ze zdjęciem układu eksperymentalnego na głównej stronie czasopisma. Tym samym wnioskuję o wyróżnienie tej rozprawy habilitacyjnej.

Dorobek naukowy dra Michała Parniaka, obejmuje 2 patenty, 2 wnioski patentowe oraz 31 prac opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych. Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikował 17 prac (w siedmiu pracach był pierwszym współautorem). Na osiągnięcie habilitacyjne składa się 8 prac (w pięciu pracach był pierwszym lub ostatnim współautorem). Pozostały dorobek opublikowany po doktoracie stanowi 6 prac (w trzech pracach był ostatnim współautorem). Dorobek opublikowany po doktoracie z wyłączeniem osiągnięcia habilitacyjnego nie wygląda na liczny jednak jakościowo jest bardzo znaczący i zawiera prace opublikowane w prestiżowych periodykach naukowych takich jak: *Physical Review Letters*, *Nature Communication* czy *Optica*. Należy nadmienić, że dorobek po doktoracie został zebrany w niezmiernie krótkim czasie, w zaledwie trzy lata. Oznacza to, że habilitant publikował niemal 5 prac rocznie. Biorąc pod uwagę jakość tych prac jest to świetne osiągnięcie. Dr Michał Parniak wykazał się istotną aktywności naukową nie tylko na Uniwersytecie Warszawskim ale również w czasie trwania swego stażu podoktorskiego w Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, w Danii, prace [A1], [A2], [A3], [A4]. Jego wyniki były prezentowane na szeregu renomowanych konferencja takich ja Quantum

Optics, DAMOP czy CLEO. Prace dra Michała Paniaka był cytowane 235 razy przez innych autorów zgodnie z Web of Science a indeks H wynosi 12.

Habilitant miał szczęście rozwijać się pod kierunkiem Profesora Wojciecha Wasilewskiego na Uniwersytecie Warszawskim i w pełni tą szansę wykorzystał. Jego praca magisterska otrzymała nagrodę PTF im. Arkadiusza Piekary, był laureatem Stypendium Start FNP, Stypendium MNISW, doktorat obronił z wyróżnieniem a jego praca doktorska otrzymała nagrodę KCIK. Najświeższym laurem dra Michała Parniaka jest Nagroda im. Franka Wilczka.

Dr Michał Parniak odbył trzymiesięczny staż ICFO, Barcelona w Hiszpanii oraz wieloletni staż w części podoktorski w Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, w Danii. Aktualnie kieruje grupą w Międzynarodowej Agencji Badawczej finansowanej przez FNP, kieruje grantem Sonata NCN i jest mentorem w grantie Preludium NCN. Wcześniej otrzymał Diamentowy Grant przyznany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, kierował grantem Preludium NCN, realizował grant ERC Advanced i brał udział w realizacji szeregu innych grantów finansowanych przez instytucje polskie, duńskie, amerykańskie. Był recenzentem w szeregu czasopismach, wymienię tylko kilka: Physical Review Letters, Physical Review X, Optica, Optics Letters, Communication Physics. Był też recenzentem w ramach programu Fulbright Polska oraz doktoratu w Hiszpanii.

Dorobek dydaktyczny dra Michała Parniaka obejmuje pracownie na poziomie podstawowy i bardzo zaawansowany. Opiekował się licencjatami i magistrantami. Jest też promotorem pomocniczym jednego doktoranta.

Osiągnięcia naukowe dra Michała Parniaka są wyróżniające. Jest w pełni ukształtowanym bardzo młodym uczonym samodzielnie organizującym pracę swojej grupy. Jego pracę cechuje przełamywanie barier technologicznych i otwieranie nowych obszarów badawczych. Podsumowując stwierdzam, iż przedstawione osiągnięcie oraz pozostały dorobek naukowy w pełni spełniają ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane w przewodach habilitacyjnych. Tym samym wnoszę o przystąpienie do dalszych kroków postępowania i nadanie doktorowi Michałowi Parniakowi stopnia doktora habilitowanego.


