

## Autoreferat, wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki

1. Imię i Nazwisko: Wojciech Wasilewski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Stopień doktora: nauk fizycznych w zakresie fizyki, specjalność: optyka kwantowa, nadany przez Radę Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w dniu 12/12/2007

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Źródła fotonów w łączności kwantowej”

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

2008- adiunkt na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

2008-2009 postdoc, Niels Bohr Institute, Kopenhaga

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):**

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Jednotematyczny cykl publikacji pt. *Rozwój metod kontrolowanego kolektywnego rozpraszania Ramana w zastosowaniu do generowania, przechowywania i odtwarzania stanów światła*

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa),

1. Jan Kołodyński, Jan Chwedeńczuk, Wojciech Wasilewski, *Eigenmode description of Raman scattering in atomic vapors in the presence of decoherence*, Phys. Rev. A 86, 013818 (2012)

udział wnioskodawcy: projekt pracy, koordynacja prac, część obliczeń, około 45%

2. R. Chrapkiewicz, W. Wasilewski, *Generation and delayed retrieval of spatially multimode Raman scattering in warm rubidium vapors*, Opt. Express 20, 29540-29552 (2012)

udział wnioskodawcy: projekt pracy, konstrukcja układu, koordynacja prac, część eksperymentu i obliczeń, około 49%

3. M. Parniak-Niedojadło, W. Wasilewski, *Direct observation of atomic diffusion in warm rubidium ensembles*, Appl. Phys. B 116, 415-421 (2014)

udział wnioskodawcy: projekt pracy, koordynacja prac, około 41%

4. Radosław Chrapkiewicz, Wojciech Wasilewski, Czesław Radzewicz, *How to measure diffusional decoherence in multimode Rubidium vapor memories?*, Opt. Comm. 317, 1-6 (2014)

udział wnioskodawcy: projekt pracy, koordynacja prac, część eksperymentu i obliczeń, około 47%

5. Michał Dąbrowski, Radosław Chrapkiewicz, Wojciech Wasilewski, *Hamiltonian design in readout from room-temperature Raman quantum memory*, Opt. Express 22, 26076-26091 (2014)

udział wnioskodawcy: projekt pracy, model teoretyczny, koordynacja prac, około 35%

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cykl publikacji opisuje konstrukcje układu eksperymentalnego i rozwój modelu teoretycznego kreowania, przechowywania i odtwarzania wzbudzeń kwantowych za pomocą kontrolowanego kolektywnego rozpraszania Ramana w parach rubidu.

Stanowią one pierwsze etapy badań, które mają na celu pokazanie, że jesteśmy w stanie wykorzystać wiele niezależnych fal (pseudo)spinowych, generowanych równocześnie, w komórce z parami rubidu, w temperaturze pokojowej, do generowania prostych stanów wielofotonowych.

Dzięki wykorzystaniu rozpraszania Ramana można wytwarzać kolektywne wzbudzenia atomowe (fale spinowe), przechowywać je przez pewien czas, a następnie w drugim akcie rozpraszania Ramana konwertować na fotony optyczne.

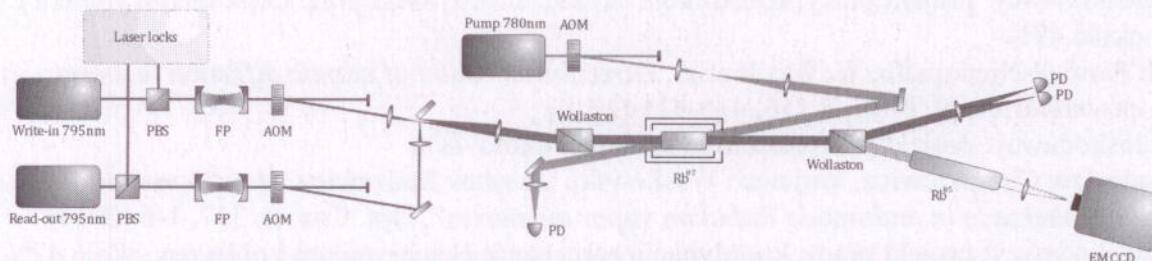
Wytwarzanie fali spinowej jest procesem dwuetapowym wykorzystującym wybrane dwa stany struktury nadsubtelnej, np.  $F=1$  i  $F=2$ ,  $m_F=0$  stanu podstawowego atomu rubidu-87. W pierwszym etapie pompujemy optycznie atomy w komórce do stanu  $F=1$ . Następnie oświetlamy w przybliżeniu cylindryczny obszar komórki impulsem laserowym wymuszającym spontaniczne rozpraszanie Ramana. Przy odpowiednim doborze średnicy wiązki oraz energii impulsu (około 1cm, 1us, 1mW, 1GHz odstrojenia) można wywołać pojedyncze akty rozproszenia. W każdym z nich powstaje para: foton rozproszony, który możemy zarejestrować, oraz jedno wzbudzenie atomowe do stanu  $F=2$ .

Cykl publikacji skupia się na sytuacjach, kiedy foton rozproszony emitowany jest pod pewnym kątem do wiązki lasera wymuszającego. Wówczas rozproszeniu towarzyszy przekaz pędu do atomów które przechodzą do stanu spójnej superpozycji. Jeden z nich jest wzbudzony do stanu  $F=2$ , ale nie wiadomo który. Przekazany pęd  $\hbar K$  zakodowany jest w relacjach fazowych pomiędzy atomami znajdującymi się różnych miejscach komórki. Taki stan nazwany jest w literaturze falą spinową.

Kreacja fali spinowej następuje pod warunkiem zarejestrowania rozproszonego fotonu. Jego położenie na detektorze umieszczonym w polu dalekim pozwala wywnioskować pęd fali spinowej  $\hbar K$ .

Unikalną cechą powyższej metody generowania wzbudzeń kwantowych jest czas, jaki mamy w tym momencie do dyspozycji. Możemy zareagować na zmierzoną wielkość pędu  $\hbar K$  i zależnie od niej dobrać np. kierunek wiązki użytej w następnym etapie.

Konwersji fali spinowej na światło można dokonać za pomocą drugiego impulsu laserowego. W procesie tym również zachowany jest pęd, co oznacza, że można dokładnie przewidzieć kierunek



Rysunek 1. Schemat układu doświadczenia pamięci kwantowej z interfejsem Ramanowskim. Laser pompujący (pump, 780nm) pompuje atomy do stanu  $F=1$ . Następnie laser zapisujący (write, 795nm) wywołuje przejścia Ramanowskie pojedynczych atomów do stanu  $F=2$  z jednoczesną emisją fotonów Stokesowskich rejestrowanych na kamerze CCD. Na końcu laser odczytujący (read, 795nm) konwertuje wzbudzenia atomowe na fotony anti-Stokesowskie.

Lasery wymuszające filtrowane są za pomocą wnek rezonansowych stabilizowanych przy użyciu modulacji długości wężki i demodulacji natężenia światła odbitego. Światło rozproszone oczyszczane jest polaryzacyjnie (wollaston) a następnie za pomocą komórki filtrującej z parami Rb-85. Impulsy wykrawane są z wiązek laserowych za pomocą modulatorów AOM.

*Wł*

rozproszenia fotonu oraz nim sterować, zmieniając kierunek impulsu laserowego.

W ramach przedstawionego cyklu publikacji rozwijałem te koncepcje prowadząc równoległe badania teoretyczne i doświadczalne.

W badaniach doświadczalnych używamy układu doświadczalnego skonstruowanego w większości przeze mnie w IFD UW przedstawionego na rys. 1.

Rejestracja słabego światła rozproszonego wymaga zastosowania odpowiednich środków technicznych. Lasery wymuszające przejścia Ramanowskie były przepuszczane przez wnęki rezonansowe o dobroci około 50 celem stłumienia podkładu emisji spontanicznej. Rozproszone fotony Stokesowskie i anty-Stokesowskie emitowane są, dla dużych dostrojzeń od multipletu stanu wzbudzonego, z polaryzacją prostopadłą do wiązki wymuszającej. Dzięki temu możliwe jest stłumienie światła z lasera około  $10^5$  raza przy użyciu polaryzatorów krystalicznych. Dodatkowe 6 rzędów wielkości tłumienia światła z lasera uzyskujemy przepuszczając światło rozproszone przez komórkę z Rb-85 umieszczoną w poprzecznym polu magnetycznym, dobranym tak, aby poszerzyć absorpcję aż do częstotliwości używanego lasera.

Sekwencja impulsów laserowych przygotowywana jest w układzie FPGA w którym zaimplementowałem maszynę stanów wykonującą program eksperymentu, każdorazowo przygotowany w postaci binarnej za pomocą interfejsu w LabVIEW na PC. Maszyna steruje układami DDS (AD9959 na płycie własnego projektu) które wytwarzają sygnał dla modulatorów AOM. Dzięki temu możliwa jest precyzyjna i bardzo szybka modulacja wiązek, również modulacja częstotliwości i kąta ugięcia. Dodatkowo z układu FPGA można wyzwalać lub bramkować kamerę, oscyloskop etc. za pomocą szeregu wyjść cyfrowych z rozdzielczością czasową 12.5ns, możliwą do poprawienia w razie potrzeby.

Laser zapisujący stabilizowany jest przy użyciu metody DAVLL<sup>1</sup>, tzn. sygnałem błędu jest sygnał Faradaya. Jako detektor służy para fotodiod zintegrowana wraz z polaryzatorem i wzmacniaczami na jednej płycie własnej konstrukcji. Sygnał różnicowy trafia do pętli analogowej o charakterystyce PI/lowpass z której wyjście moduluje prąd lasera i jednocześnie, po całkowaniu, steruje położeniem siatki. Pętla jest załączana cyfrowo i wyposażona w mikroprocesor (STM32) skanujący laser i zbierający sygnały ze spektroskopii atomowej. Ten sam mikroprocesor steruje interferometrem filtrującym laser zapisujący. Dzięki temu możliwe jest jednoczesne skanowanie lasera i interferometru w sposób służący bądź to weryfikacji pracy jednomodowej lasera bądź też płynnemu przestrajaniu częstości wychodzącej z interferometru. Sterowanie wszystkimi funkcjami odbywa się z poziomu LabVIEW.

Laser odczytujący jest interferowany z zapisującym na fotodiodzie mikrofalowej i sygnał kierowany do komparatora częstotliwości i fazy z podzielnikami a następnie do odpowiednio dobranej pętli sprzężenia zwrotnego<sup>2</sup>. Podobnie jak w laserze zapisującym, mikrokontroler załącza pętlę i skanuje interferometr.

Zbudowany układ eksperymentalny umożliwia łatwe zbieranie dużych statystyk, rzędu  $10^4$  powtórzeń eksperymentu i łatwe zaprogramowanie dowolnych zmian sekwencji impulsów. Umożliwia także automatyczne wstrzymanie eksperymentu w razie przypadkowego przeskoku częstotliwości któregośkolwiek z laserów i łatwe sprowadzenie jej do zadanej wartości.

Przejdę teraz do opisu poszczególnych prac z monotematycznego cyklu.

W pracy [1] skonstruowaliśmy uproszczony model teoretyczny Ramanowskiego interfejsu atomyświatło. W przybliżeniu niewielkiej liczby generowanych wzbudzeń można opisywać pełen

<sup>1</sup> Dichroic atomic vapour laser lock, np. Kristan L. Corwin, Zheng-Tian Lu, Carter F. Hand, Ryan J. Epstein, and Carl E. Wieman, "Frequency-stabilized diode laser with the Zeeman shift in an atomic vapor" Appl. Opt. 37, 3295 (1998).

<sup>2</sup> J. Appel, A. MacRae, and A. Lvovsky "A versatile digital Ghz phase lock for external cavity diode lasers", Measurement Science and Technology 20 (2009)

rozciął układ atomów oddziałujących z poruszającym się polem świetlnym jakby miał infinitezmalną grubość i wyeliminować nietrywialne zależności od położenia wzdłuż zespołu atomów. Wówczas można tak dobrać bazę modów pola świetlnego oraz bazę modów wzbudzeń atomowych (fal spinowych) aby każdy mod światła oddziaływał tylko z jednym, każdorazowo ortogonalnym, modem fali spinowej.

Takie przybliżenie pozwala znakomicie uprościć zrozumienie skomplikowanych przestrzenno-czasowych zjawisk poprzez ich dekompozycję przestrzenną. Równania ewolucji każdej pary sprzężonych modów przyjmują prostą postać dwumodowego ściskania w stratnej wnęce. Dzięki temu można łatwo obliczyć dowolne potrzebne w eksperymencie wielkości, uwzględnić dekoherencje w ośrodku atomowym czy jednocześnie występowanie więcej niż jednego procesu Ramanowskiego. Model ten znakomicie upraszcza rozumienie eksperymentów w czasie ich wykonywania, bez konieczności prowadzenia bardzo skomplikowanych obliczeń.

W pracy [2] zademonstrowaliśmy możliwość przechowywania wielomodowych stanów fal spinowych. Za pomocą pomiarów korelacji natężeniowych między rozproszeniem Stokesowskim a anti-Stokesowskim wykazaliśmy, że fale spinowe w używanej wówczas konfiguracji wiązek przenoszą kilka modów przestrzennych, z których niestety wyższe zanikają prawie natychmiast ze względu na dyfuzję. Zmierzyliśmy również dynamikę procesu kreacji wzbudzeń w różnych gazach buforowych. Uzyskane rezultaty są jakościowo zgodne z modelem z pracy [1], pojawia się jednak szereg rozbieżności wynikających prawdopodobnie z poszerzenie ciśnieniowego bądź innych bardziej złożonych mechanizmów dekoherencji uaktywniających się w momencie oświetlenia zespołu atomów.

W pracy [3] użyliśmy wypracowanych metod do dokładnego pomiaru dekoherencji fal spinowych pod nieobecność światła – w czasie przechowywania wzbudzeń w pamięci kwantowej. W przypadku gdy pragniemy wykorzystać szereg modów przestrzennych fal spinowych, dominującym mechanizmem dekoherencji jest dyfuzja. Wartości współczynników dyfuzji które można znaleźć w literaturze cechuje duży rozrzut, najpewniej spowodowany raczej zawiłymi sposobami jej mierzenia 40 lat temu. Dlatego też uznaliśmy że warto opublikować metodę za pomocą której można, przy użyciu współcześnie standardowo dostępnych przyrządów, precyzyjnie wyznaczyć współczynnik dyfuzji w danej, zamkniętej komórce. Opracowana metoda opiera się na pomiarze szybkości zaniku sygnału odczytanego z pamięci kwantowej w funkcji kąta rozpraszania, proporcjonalnego do długości wektora falowego  $K$  fali spinowej. Fale o dużym wektorze falowym charakteryzują się szybką zmianą fazy spójności między stanami podstawowymi w funkcji położenia i jako takie szybko ulegają dekoherencji na skutek przypadkowego przemieszczania atomów w trakcie ich dyfuzji w gazie buforowym. Po dłuższym czasie spójność atomowa ulega uśrednieniu przestrzennemu i obserwujemy jedynie rozpraszania na wprost. Pomiaru stałej czasowej zaniku fal spinowych w funkcji długości i kierunku wektora falowego  $K$  można łatwo dokonać przy użyciu kamery. Kwadratowa zależność uzyskanych wyników od długości  $K$  dodatkowo potwierdza poprawne wykonanie pomiaru.

W związku z dużą wagą procesu dekoherencji i koniecznością jego dokładnej charakteryzacji opracowaliśmy zupełnie niezależną metodę pomiaru współczynników dyfuzji, tym razem poprzez obserwację rozplywania się zlokalizowanego początkowo napompowania atomów w komórce [4]. Metoda jest koncepcyjnie nad wyraz prosta. Za pomocą impulsu pompującego propagującego się w wiązce średnicy ułamka milimetra lokalnie przepompowujemy atomy do stanu podstawowego o  $F=1$ . Następnie po upływie regulowanego czasu oświetlamy komórkę bardzo dużą wiązką dostrojoną do przejścia  $F=1 \rightarrow F'=2$  i obrazujemy cień przepompowanych atomów na kamerę. Analiza fourierowska przestrzennej zależności gęstości optycznej pozwala wyznaczyć czas zaniku komponentu o zadanym wektorze falowym. Dalsze postępowanie jest analogiczne jak w przypadku poprzedniej pracy. Tym niemniej w tym pomiarze próbujemy populacje a nie spójność stanu podstawowego.

Używając metod opracowanych w pracy [3] i [4] potwierdziliśmy niektóre dane literaturowe. Obie metody dały praktycznie takie same wyniki. Dodatkowo po raz pierwszy zmierzaliśmy bezpośrednio stałe dyfuzji rubidu w ksenonie. Ten ostatni wynik może mieć znacznie w związku z rosnącym zainteresowaniem ksenonem hiperspolaryzowanym w obrazowaniu biomedycznym.

W pracy [5] wyzyskaliśmy wyniki poprzednich prac aby zademonstrować możliwości inżynierskiego w zamyśle konstruowania Hamiltonianu oddziaływania atomy-światło w procesie rozpraszania Ramana. W atomie wielopoziomowym, takim jak Rubid, zazwyczaj w układzie poziomów typu lambda ta sama wiązka wymuszająca, o ustalonej częstotliwości i polaryzacji, może jednocześnie pobudzać zarówno przejście Stokesowskie przenoszące atom do pustego stanu  $F=2$ , jak i anty-Stokesowskie przenoszące atom z powrotem. Skutkiem tego jest oddziaływanie bardziej złożone niż czysty odczyt czyli konwersja wzbudzeń atomowych na fotony, lub czysty zapis czyli generowanie par wzbudzeń. W szczególności można łatwo odstroić laser wymuszający tak aby oba typy rozpraszania zachodziły z równą amplitudą. Wówczas oddziaływanie między atomami a światłem jest typu QND (ang. Quantum Non-Demolition measurement), tzw. kwantowego oddziaływania nieniszczącego, które umożliwia mni. częściowy pomiar wartości jednej kwadratury fal spinowych kosztem akumulacji szumu śrutowego w kwadraturze sprzężonej. W przypadku jeśli dominuje sprzężenie anty-Stokesowskie, wypadkowe oddziaływanie można przedstawić jako wymianę wzbudzeń między polem świetlnym a fal spinowych z jednoczesnym jednomodowym ściskaniem każdego z pól bezpośrednio po wymianie. Stopień ściśnięcia jest zdeterminowany przez względny udział sprzężenia Stokesowskiego.

W pracy [5] zmierzaliśmy natężeniowe znamiona współistnienia przejść Stokesowskiego i anty-Stokesowskiego. Po pierwsze oddziaływania te określają dynamikę czasową procesu rozpraszania. Przewaga procesu anty-Stokesowskiego odznacza się zanikiem wykładniczym znamionującym odczytanie wzbudzeń z fali spinowej do światła i zanik tej pierwszej. Przeciwnie, przewaga procesu Stokesowskiego powadzi do narastania fali spinowej a wraz z nią natężenia rozproszonego światła w czasie. Po drugie, udział poszczególnych procesów w rozpraszaniu można wyznaczyć dokonując pomiarów korelacji natężeniowych między światłem rozproszonym w odpowiednio dobranych kierunkach. W tym celu należy przez przygotowany ośrodek atomowy przepuścić kolejno dwa impulsy wywołujące rozpraszanie Ramana, propagujące się w nieco innych kierunkach w komórce. Pierwszy ma odstrojenie tak dobrane, alby przede wszystkim pobudzać rozpraszanie Stokesowskie i powodować kreowanie par foton-fala spinowa. Częstotliwość drugiego regulujemy i badamy udział dwóch elementarnych procesów w funkcji odstrojenia. Zauważmy, że z falą spinową o wybranym wektorze falowym  $K$  sprzężone będą trzy mody pojedynczych fotonów. Dla ustalenia uwagi niech  $K$  będzie skierowany w prawo. Fotony wykreowane w trakcie pierwszego impulsu zaświadczające o kreacji wzbudzeń w wybranej fali spinowej powędrują wówczas na lewo od pierwszej wiązki wymuszającej. Z kolei w trakcie trwania drugiego impulsu fotony rozproszone Stokesowsko powędrują na lewo, zaś anty-Stokesowsko na prawo od drugiej wiązki wymuszającej. Dzięki temu poszczególne w/w pola można rozdzielić na kamerze umieszczonej w polu dalekim. Ilość wzbudzeń wygenerowanych w każdej iteracji eksperymentu w fali spinowej o wybranym wektorze falowym  $K$  jest wielkością losową opisywaną statystyką termiczną, ale jest bardzo dobrze skorelowana z ilością rozproszonych w pierwszym impulsie fotonów Stokesowskich. Korelacja ta przenosi się na fotony rozproszone w drugim impulsie. Dzięki pomiarowi kowariancji natężeń pomiędzy punktami gdzie padają fotony sprzężone z tą samą falą spinową możliwe jest wyznaczenie wkładów poszczególnych procesów do strumienia rozproszonego światła poprzez odpowiednią analizę statystyczną.

Reasumując, w pracy [5] pokazaliśmy, w jakim zakresie możliwe jest regulowanie udziału procesów Stokesowskiego i anty-Stokesowskiego w procesie mieszania 4 fal. Nasze wyniki mogą zainspirować teoretyków konstruujących protokoły komunikacji kwantowej ponieważ pokazują możliwość łatwej realizacji dużo szerszej niż się zazwyczaj przyjmuje klasy oddziaływań atomy światło. Jednocześnie uzyskane rezultaty pozwalają szacować wpływ dekoherencji a co za tym

idzie – szeregować protokoły pod względem łatwości rzeczywistej implementacji.

Wyniki składające się na opisywane osiągnięcie stanowią solidną bazę do dalszych eksperymentów z pamięcią kwantową. Kolejnym krokiem będzie pokonanie ograniczeń technicznych i zejście do poziomu przechowywania i odtwarzania pojedynczych fotonów a co a tym idzie do stanów nieklasycznych. W obecnej chwili żadnej grupie na świecie się to jeszcze nie udało w gorących atomach. W przypadku gdyby nasze zastosowanie któregoś ze sposobów filtrowania zakończyły się powodzeniem, otwarte zostanie nowe, bardzo interesujące pole do dalszych zastosowań. Pamięci z gorącymi parami atomowymi są bowiem dużo prostsze w budowie niż te z zimnymi i dlatego warte są wysiłku włożonego w opanowanie dużo większej różnorodności efektów pasożytniczych skutecznie przeszkadzających na dzień dzisiejszy w realizacji najciekawszych potencjalnych eksperymentów.

## 5. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt 4) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych

### A. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)

#### i. osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Pracę naukową rozpocząłem pod kierunkiem prof. Czesława Radzewicza wraz z początkiem studiów na Wydziale Fizyki UW w roku 2000. Uczestniczyłem w badaniach doświadczalnych propagacji bardzo silnych impulsów femtosekundowych w szklach [A20], oraz w rozwoju metod wytwarzania, kształtowania i charakteryzacji ultrakrótkich impulsów [A9, A10, A13, A15, A16], część w ramach współpracy z prof. Ianem Walmsleyem z Oxfordu. Równolegle rozwijałem zdolności obliczeniowo-teoretyczne pod kierunkiem prof. Marka Trippenbacha uczestnicząc w projektach z zakresu optyki nieliniowej [A17, A18, A19]. W tamtym okresie miałem również okazję uczestniczyć we współpracy z prof. Maciejem Wojtkowskim [A11, A12].

Z upływem czasu moje zainteresowania przesunęły się ku optyce kwantowej. Wraz z powstaniem Krajowego Laboratorium FAMO w Toruniu miałem przyjemność uczestniczyć w projektach z tego zakresu [A14] a następnie udałem się tam przygotować doktorat pod kierunkiem prof. Konrada Banaszka. Wykonaliśmy szereg prac teoretycznych celem znalezienia kanonicznej postaci stanów generowanych w rzeczywistych wzmacniaczach parametrycznych [A5, A6, A7] oraz opracowania metod ich przekształcania i wykorzystania w przesyłaniu informacji kwantowej [A4].

Równolegle już z mojej inicjatywy opracowaliśmy nowe metody eksperymentalnej charakteryzacji źródeł fotonów [A1, A3, A8] a przy okazji też specyficzne metody charakteryzacji ultrakrótkich impulsów z których te fotony powstawały [A2].

- A1. Wojciech Wasilewski, Czesław Radzewicz, Robert Frankowski and Konrad Banaszek, *Statistics of multiphoton events in spontaneous parametric down-conversion* Phys. Rev. **A 78**, 033831 (2008). Udział wnioskodawcy: opracowanie metody i danych, pomiary, software, pisanie pracy, około 70%.
- A2. M. Kacprowicz, W. Wasilewski and K. Banaszek, *Complete characterisation of weak, ultrashort near-UV pulses by spectral interferometry*, Appl. Phys. **B 91**, 283-286 (2008). Udział wnioskodawcy: pomysł, obliczenia, nadzór prac, pisanie pracy, około 40%.
- A3. W. Wasilewski, P. Kolenderski and R. Frankowski, *Spectral density matrix of a single photon measured*, Phys. Rev. Lett. **99**, 123601 (2007). Udział wnioskodawcy: Pomysł, wykonanie eksperymentu, opracowanie danych, pisanie pracy, około 75%
- A4. W. Wasilewski and K. Banaszek, *Protecting an optical qubit against photon loss*, Phys. Rev. **A 75**, 042316 (2007). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, udział w pisaniu pracy, około 50%.
- A5. A. I. Lvovsky, Wojciech Wasilewski, Konrad Banaszek, *Decomposing a pulsed optical parametric amplifier into independent squeezers*, J. Mod. Opt. **54**, 721-733 (2007). Udział

- wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, interpretacja wyników, udział w pisaniu pracy, około 50%
- A6. Wojciech Wasilewski, A. I. Lvovsky, Konrad Banaszek, Czesław Radzewicz, *Pulsed squeezed light: simultaneous squeezing of multiple modes*, Phys. Rev. A 73, 063819 (2006). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, analiza wyników, udział w pisaniu pracy, około 67%
- A7. Wojciech Wasilewski, M. G. Raymer, *Pairwise entanglement and readout of atomic-ensemble and optical wave-packet modes in traveling-wave Raman interactions*, Phys. Rev. A 73, 063816 (2006). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, analiza wyników, pisanie pracy, około 80%
- A8. Wojciech Wasilewski, Piotr Wasylczyk, Piotr Kolenderski, Konrad Banaszek, Czesław Radzewicz, *Joint spectrum of photon pairs measured by coincidence Fourier spectroscopy*, Opt. Lett. 31, 1130 (2006). Udział wnioskodawcy: pomysł, przygotowanie i wykonanie eksperymentu, udział w pisaniu pracy, około 60%
- A9. A. S. Radunsky, E. M. Kosik Williams, I. A. Walmsley, P. Wasylczyk, W. Wasilewski, A. B. U'Ren, M. E. Anderson, *Simplified Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-Field Reconstruction using a thick nonlinear crystal*, Opt. Lett. 31, 1008 (2006). Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach, około 10%
- A10. Piotr Wasylczyk, Ian A. Walmsley, Wojciech Wasilewski, Czesław Radzewicz, *A broadband noncollinear optical parametric amplifier using a single crystal*, Opt. Lett. 30, 1704 (2005). Udział wnioskodawcy: model teoretyczny, udział w pomiarach, udział w pisaniu pracy, około 30%
- A11. Maciej Szkulmowski, Maciej Wojtkowski, Tomasz Bajraszewski, Iwona Gorczyńska, Piotr Targowski, Wojciech Wasilewski, Andrzej Kowalczyk and Czesław Radzewicz, *Quality improvement for high resolution in vivo images by Spectral domain optical coherence tomography with supercontinuum source*, Optics Comm. 246, 569 (2005). Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach, około 10%
- A12. Maciej Wojtkowski, Tomasz Bajraszewski, Iwona Gorczyńska, Piotr Targowski, Andrzej Kowalczyk, Wojciech Wasilewski and Czesław Radzewicz, *Ophthalmic Imaging by Spectral Optical Coherence Tomography*, Am. J. Ophthalmol. 138, 412–419 (2004). Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach, około 10%
- A13. Piotr Wasylczyk, Wojciech Wasilewski, Czesław Radzewicz, *A single-shot autocorrelator based on a Babinet compensator*, Rev. Sci. Instr. 75, 2482-2484 (2004). Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach, udział w pisaniu pracy, około 30%
- A14. K. Banaszek, A. Dragan, W. Wasilewski, C. Radzewicz *Experimental demonstration of entanglement-enhanced classical communication over a quantum channel with correlated noise*, Phys. Rev. Lett. 92, 257901 (2004) . Udział wnioskodawcy: udział w przygotowaniu eksperymentu i pomiarach, około 30%
- A15. W. Wasilewski, P. Wasylczyk, C. Radzewicz, *Femtosecond laser pulses measured with a photodiode - FROG revisited*, Appl. Phys. B 78, 589-592 (2004). Udział wnioskodawcy: udział w przygotowaniu eksperymentu, pomiarach, opracowanie danych, model teoretyczny, około 60%
- A16. C. Radzewicz, P. Wasylczyk, W. Wasilewski, J. S. Krasieński *Piezo-driven deformable mirror for femtosecond pulse shaping*, Opt. Lett. 29, 177 (2004). Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach, opracowanie danych, software, około 30%
- A17. Michał Matuszewski, Wojciech Wasilewski, Marek Trippenbach and Y. B. Band, *Self-consistent treatment of the full vectorial nonlinear optical pulse propagation equation in an isotropic medium*, Opt. Comm. 221, 337 (2003). Udział wnioskodawcy: część obliczeń, udział w pisaniu pracy, około 40%

- A18. M. Trippenbach, W. Wasilewski, P. Kruk, G. W. Bryant, G. Fibich, Y. B. Band, *An Improved Nonlinear Optical Pulse Propagation Equation*, Optics Comm. **210**, 385 (2002). Udział wnioskodawcy: część obliczeń, udział w pisaniu pracy, około 35%
- A19. W. Wasilewski, M. Trippenbach, K. Rzążewski, *Bose-Einstein condensates in optical lattices*, Acta Physica Polonica **101**, 47 (2002). Udział wnioskodawcy: obliczenia numeryczne, udział w pisaniu pracy, około 55%
- A20. P. Wasylczyk, W. Wasilewski, M. Trippenbach, C. Radzewicz, *Nonlinear Effects with Ultrashort Laser Pulses*, Acta Physica Polonica **101**, 89 (2002). Udział wnioskodawcy: obliczenia numeryczne, udział w eksperymencie i pisaniu pracy, około 35%

ii. osiągnięcia po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Po doktoracie zostałem zatrudniony na Wydziale Fizyki UW i przeprowadziłem kilka projektów wykorzystując idee z doktoratu do przewidzenia zachowania wzmacniaczy parametrycznych ultrakrótkich impulsów światła i próby okiełznania problemu występującego w nich szumu kwantowego pochodzenia [A27, A35]. Dokończyliśmy również zagadnienia teoretyczne związane ze źródłami par fotonów [A26, A31, A33] oraz konsultowałem prace teoretyczne i doświadczalne nad kwantowo zoptymalizowanymi pomiarami [A24, A29, A32, A34].

Po doktoracie zdecydowałem się przystąpić do badań zupełnie nowego źródła fotonów, tzn. kontrolowanego rozpraszania Ramana, jako że na papierze miało ono zupełnie nieodparty urok. W celu zapoznania się z tą zupełnie nową tematyką udałem się na staż podoktorski do prof. Polzika do Kopenhagi. Zapoznałem się tam dokładnie z tematyką jednomodowych pamięci kwantowych pracujących w reżimie zmiennych ciągłych [A25]. Udało nam się znacznie udoskonalić opis teoretyczny zjawiska [A30] co zaowocowało szeregiem prac w których zademonstrowaliśmy kilka nowych i ciekawych efektów [A22, A23, A28].

- A21. R. Chrapkiewicz, W. Wasilewski, K. Banaszek, *High-fidelity spatially resolved multiphoton counting for quantum imaging applications*, Opt. Lett. **39**, 5090 (2014). Udział wnioskodawcy: przygotowanie aparatury, konsultacje, około 15%
- A22. H. Krauter, C. A. Muschik, K. Jensen, W. Wasilewski, J. M. Petersen, J. I. Cirac and E. S. Polzik, *Entanglement Generated by Dissipation and Steady State Entanglement of Two Macroscopic Objects*, Phys. Rev. Lett. **107**, 080503 (2011). Udział wnioskodawcy: przygotowanie aparatury i oprogramowania, około 15%
- A23. K. Jensen, W. Wasilewski, H. Krauter, T. Fernholz, B. M. Nielsen, A. Serafini, M. Owari, M. B. Plenio, M. M. Wolf, E. S. Polzik, *Quantum memory for entangled continuous-variable states*, Nature Physics **7**, 13-16 (2011). Udział wnioskodawcy: przygotowanie aparatury i oprogramowania, część modelu teoretycznego, nadzór i część pomiarów, opracowanie wyników, około 45%
- A24. Tomasz Wasak, Piotr Szańkowski, Wojciech Wasilewski, and Konrad Banaszek, *Entanglement-based signature of nonlocal dispersion cancellation*, Phys. Rev. A **82**, 052120 [5 pages] (2010). Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 5%
- A25. M. V. Balabas, K. Jensen, W. Wasilewski, H. Krauter, L. S. Madsen, J. H. Müller, T. Fernholz, and E. S. Polzik *High quality anti-relaxation coating material for alkali atom vapor cells*, Opt. Express **18**, 5825-5830 (2010). Udział wnioskodawcy: przygotowanie aparatury, oprogramowania, udział w pomiarach, około 12%
- A26. Radosław Chrapkiewicz, Wojciech Wasilewski, *Multimode Spontaneous Parametric Down-Conversion in the Lossy Medium*, J. Mod. Opt. **57**, 345-355 (2010). Udział wnioskodawcy: pomysł, nadzór prac, pisanie pracy, około 30%
- A27. Piotr Migdał, Wojciech Wasilewski, *Noise reduction in 3D noncollinear parametric amplifier*, Appl. Phys. B. **99**, 657-671 (2010). Udział wnioskodawcy: pomysł, nadzór prac, pisanie pracy, około 30%



- A28. W. Wasilewski, K. Jensen, H. Krauter, J.J. Renema, E.S. Polzik, *Quantum Noise Limited and Entanglement-Assisted Magnetometry*, Phys. Rev. Lett. 104, 133601 (2010). Udział wnioskodawcy: udział w planowaniu i pomiarach, przygotowanie aparatury i oprogramowania, opracowanie wyników, model teoretyczny, udział w pisaniu pracy, około 45%
- A29. M. Kacprowicz, R. Demkowicz-Dobrzanski, W. Wasilewski, K. Banaszek, I. A. Walmsley, *Experimental quantum-enhanced estimation of a lossy phase shift* Nat. Photon. 4, 357 - 360 (2010). Udział wnioskodawcy: udział w projektowaniu eksperymentu i przygotowaniu aparatury, konsultacje, około 5%
- A30. W. Wasilewski, T. Fernholz, K. Jensen, L. S. Madsen, H. Krauter, C. Muschik and E. S. Polzik *Generation of two-mode squeezed and entangled light in a single temporal and spatial mode*, Opt. Express 17, 14444-14457 (2009). Udział wnioskodawcy: udział w planowaniu i pomiarach, przygotowanie aparatury i oprogramowania, opracowanie wyników, model teoretyczny, udział w pisaniu pracy, około 50%
- A31. Piotr Kolenderski, Wojciech Wasilewski *Derivation of the density matrix of a single photon produced in parametric down-conversion* Phys. Rev. A 80, 015801 (2009). Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 15%
- A32. R. Demkowicz-Dobrzanski, U. Dorner, B. J. Smith, J. S. Lundeen, W. Wasilewski, K. Banaszek, I. A. Walmsley *Quantum phase estimation with lossy interferometers* Phys. Rev. A 80, 013825 (2009). Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 5%
- A33. Piotr Kolenderski, Wojciech Wasilewski, Konrad Banaszek *Modelling and optimization of photon pair sources based on spontaneous parametric down-conversion* Phys. Rev. A 80, 013811 (2009). Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 10%
- A34. U. Dorner, R. Demkowicz-Dobrzanski, B. J. Smith, J. S. Lundeen, W. Wasilewski, K. Banaszek, I. A. Walmsley *Optimal Quantum Phase Estimation* Phys. Rev. Lett. 102, 040403 (2009). Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 5%
- A35. Jan Chwedeńczuk, Wojciech Wasilewski *Intensity of parametric fluorescence pumped by ultrashort pulses*, Phys. Rev. A 78, 063823 (2008). Udział wnioskodawcy: pomysł, planowanie prac, pisanie pracy, około 30%

B. Wynalazki, wzory użytkowe, patenty itp.

- A21. R. Chrapkiewicz i W. Wasilewski: „Przestrzalny, wąskopasmowy filtr optyczny do filtrowania wiązek laserowych i sposób filtrowania wiązek laserowych” nr: [WIPO ST 10/C PL408059]; Wniosek przyjęty dnia 29.04.2014, Urząd Patentowy RP; Udział wnioskodawcy: konsultacje, przygotowanie aparatury, 30%

C. Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt 5 A lub B:

- C1. Michał Dąbrowski, Michał Parniak, Daniel Pęczak, Radosław Chrapkiewicz, Wojciech Wasilewski, *Spontaneous and parametric processes in warm rubidium vapours*, accepted for publication in Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. Udział wnioskodawcy: konsultacje, przygotowanie aparatury, około 15%
- C2. K. Jensen, W. Wasilewski, H. Krauter, T. Fernholz, B. M. Nielsen, J. M. Petersen, J. J. Renema, M. V. Balabas, M. Owari, M. B. Plenio, A. Serafini, M. M. Wolf, C. A. Muschik, J. I. Cirac, J. H. Muller and E. S. Polzik, *Quantum memory, entanglement and sensing with room temperature atoms*, J. Phys.: Conf. Ser. 264 012022, (2011). Udział wnioskodawcy: udział w planowaniu i pomiarach, przygotowanie aparatury i oprogramowania, opracowanie wyników, model teoretyczny, około 30%
- C3. K. Jensen, W. Wasilewski, H. Krauter, J. J. Renema, M. V. Balabas and E. S. Polzik, *Quantum noise limited and entanglement-assisted magnetometry*, Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), (2010). Udział

Wwa

- wnioskodawcy: udział w planowaniu i pomiarach, przygotowanie aparatury i oprogramowania, opracowanie wyników, model teoretyczny, około 30%
- C4. M. Kacprowicz, W. Wasilewski, R. Demkowicz-Dobrzanski, K. Banaszek, *Interferometric phase measurement with two-photon states*, Lasers and Electro-Optics 2009 and the European Quantum Electronics Conference, CLEO Europe - EQEC 2009. Udział wnioskodawcy: udział w planowaniu i pomiarach, przygotowanie aparatury i oprogramowania, około 10%
- C5. R. Demkowicz-Dobrzanski, M. Kacprowicz, W. Wasilewski, K. Banaszek, U. Dörner, B. J. Smith, J. S. Lundeen, I. A. Walmsley, *Quantum-enhanced phase estimation in the presence of loss*, Lasers and Electro-Optics 2009 and the European Quantum Electronics Conference. CLEO Europe - EQEC 2009. Udział wnioskodawcy: konsultacje, około 5%
- C6. W. Wasilewski, M. G. Raymer, *Pairwise entanglement and readout of atomic-ensemble and optical wave-packet modes in traveling-wave Raman interactions*, Lasers and Electro-Optics, 2006 and 2006 Quantum Electronics and Laser Science Conference. CLEO/QELS (2006). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, analiza wyników, około 50%
- C7. A. Radunsky, E. Williams, I. Walmsley, P. Wasylczyk, W. Wasilewski and A. U'Ren, *Simplified spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction using a thick nonlinear crystal*, 2005 Conference on Lasers & Electro-Optics (CLEO), Vol. 3, 1820-1822, (2005), Udział wnioskodawcy: udział w pomiarach i analizie wyników, około 10%
- C8. K. Banaszek and W. Wasilewski, *Linear-optics manipulations of photon-loss codes*, Proceedings of NATO Advanced Research Workshop "Quantum Communication and Security", quant-ph/0702091. Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, około 30%.
- C9. Piotr Wasylczyk, Wojciech Wasilewski, Marek Trippenbach, and Czesław Radzewicz, *Observation of critical self focusing during propagation of femtosecond light pulses in bulk media*, Proc. SPIE 5949, 59491M (2005). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, udział w pomiarach, około 25%.
- C10. Andrzej Dragan, Wojciech Wasilewski, Konrad Banaszek, and Czesław Radzewicz, *Demonstrating Entanglement-Enhanced Communication over Noisy Communication Channels*, AIP Conf. Proc. 734, 55 (2004). Udział wnioskodawcy: udział w przygotowaniu aparatury i pomiarach, około 20%.
- C11. P. Wasylczyk, W. Wasilewski, M. Matuszewski, M. Trippenbach, C. Radzewicz, *Nonlinear propagation of femtosecond laser pulses in dielectrics*, Proc. SPIE Vol. 5258, 20 (2003). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, udział w pomiarach, około 25%.
- C12. C. Radzewicz, W. Wasilewski, P. Wasylczyk, M. Trippenbach, J. S. Krasinski, *Propagation of ultrashort laser pulses through transparent dielectrics in nonlinear regime*, Proc. SPIE Vol. 4992, 55 (2003). Udział wnioskodawcy: wykonanie obliczeń, udział w pomiarach, około 25%.

D. Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych

Brak.

E. Sumaryczny *impact factor* wg. listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania: 160.6

F. Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): 1014

Cytowania bez autocytowań wg. bazy Web of Science: 978

G. Indeks Hirscha wg. bazy Web of Science: 15

H. Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

- a. Kierownik w projektach:
  - i. Diagnostyka homodynowa wielomodowych kwantowych stanów światła, N202 157 31/2958 (zakończony)
  - ii. IUWENTUS PLUS, 2011, „Wielomodowy generator stanów kwantowych na parach atomowych” (zakończony)
  - iii. SONATA, 2012-2016, „Generowanie, przetwarzanie i odtwarzanie wielu kolektywnych wzbudzeń w parach atomowych”
- b. Wykonawca w projektach:
  - i. Nieliniowa propagacja ultrakrótkich impulsów laserowych w dielektrykach 2P03B 029 26, kierownik: prof. C. Radzewicz (zakończony)
  - ii. Nowoczesne metody fizyki zimnej materii i inżynierii kwantowej w grupie Inżynieria stanów kwantowych - sterowanie kwantowe i generacja stanów splątanych fotonów i atomów (prace kierowane przez prof. dr hab. Czesława Radzewicza) PBZ/KBN/043/P03/2001 (zakończony)
  - iii. Parametryczne wzmacnianie femtosekundowych impulsów światła KBN 2P03B01918, kierownik: prof. C. Radzewicz (zakończony)
  - iv. Zastosowanie technik kwantowej korekcji błędów w kryptografii kwantowej, 1 P03B 011 29, kierownik: dr hab. K. Banaszek (zakończony)
  - v. Zintegrowany projekt Europejski “Qubit Applications”, kierownik: dr hab. K. Banaszek (zakończony)
  - vi. Parametryczne wzmacnianie ultrakrótkich impulsów światła; rola konfiguracji niewspółosiowej N202 019 32/0698, kierownik: prof. C. Radzewicz (zakończony)
  - vii. Ultraprecyzyjne pomiary metodami optyki i fizyki atomowej, N N202 1489 33, projekt KL FAMO (zakończony)
  - viii. Projekt TEAM FNP pt. „Photonic Implementations of Quantum-Enhanced Technologies” kierownik: prof. K. Banaszek (zakończony)

#### I. Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną

- a. Stypendium dla wybitnych młodych naukowców MNiSW (2013)
- b. Stypendium dla młodego doktora w ramach programu „Nowoczesny Uniwersytet” (2009).
- c. Nagroda Prezesa Rady Ministrów za pracę doktorską (2008)
- d. Nagroda im. Profesora Stefana Pieńkowskiego (2007)
- e. Stypendium Marszałka Województwa Kujawsko-Pomorskiego dla doktorantów „Krok w przyszłość” 2006/07
- f. Stypendium FNP dla młodych naukowców, 2006/07

#### J. Wykłady zaproszone na konferencjach

- a. Quantum Optics VII, 8-12 czerwiec 2009, Zakopane, „Robust source of ultra narrowband entanglement”
- b. XII International Conference on Quantum Optics and Quantum Information, Wilno, 20-23 wrzesień 2008, “Experimental characterization of down conversion based photon sources”

#### 6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

- A. Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

Koordynator pakietu prac 3 – zakupy i utrzymanie aparatury w projekcie Phoqus@UW (finansowanym w ramach programu REGPOT - Potencjał badawczy regionów konwergencji 7. Programu Ramowego)

B. Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych  
Jak w pkt. 5J

C. Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych  
Brak

D. Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt 5I  
Brak

E. Udział w konsorcjach i sieciach badawczych  
Brak

F. Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w pkt 5H  
Brak

G. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism  
Brak

H. Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych  
Brak

I. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki  
Brak

J. Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji  
Prace inżynierskie: 4 osoby na UMK  
Prace licencjackie: 7 osób na UW (P. Podlaski, M. Machalica, M. Dąbrowski, W. Postek, J. Zielińska, M. Parniak, A. Leszczyński)  
Prace magisterskie:  
Mateusz Bawaj, UMK, 2010  
Radosław Chrapkiewicz, UW, 2011  
Michał Dąbrowski, UW, 2014  
Daniel Pęczak, UW, 2014 – specjalność fizyka teoretyczna  
Michał Parniak, obecnie student 5 roku naszego Wydziału, uzyskał Diamentowy Grant na badania pod moją opieką.

K. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego  
Jestem promotorem pomocniczym doktoratu mgra Radosława Chrapkiewicza oraz mgra Michała Dąbrowskiego.

L. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich  
2008-2009 Niels Bohr Institute Kopenhaga:  
Postdoc w grupie prof. E. Polzika

M. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

Brak

N. Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Brak

O. Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

Brak

P. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Począwszy od 2005 roku, przygotowanie w sumie ponad 10 recenzji dla czasopism międzynarodowych: Physical Review Letters, Physical Review A, Optics Letters, Optics Express, Optics Communications.

Q. Inne osiągnięcia, nie wymienione w pkt 6A–6P

Koordinacja i prowadzenie zajęć na indywidualnej pracowni fizycznej (wersja rozszerzona dawnej I pracowni),

Przygotowanie i prowadzenie części optycznej wykładu „Wstęp do optyki i fizyki materii skondensowanej R”

Wojciech  
Waszkowski