



UNIwersytet Gdański



DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI  
WPŁYNEŁO

2019 -04- 15 *Biutek*

prof. dr hab. Marek Żukowski  
International Centre for Theory of Quantum Technologies  
80-308 Gdańsk  
tel. 506456064, e-mail: marek.zukowski@univie.ac.at

Gdynia 25.03.2019

**Opinia o dorobku i rozprawie habilitacyjnej dr Krzysztofa Pawłowskiego**

**(w związku jego przewodem o nadanie stopnia doktora habilitowanego)**

Mam bardzo dobrą opinię o wniosku kandydata o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego. Uzasadnienie powyższego przedstawiam poniżej.

*1. Informacje podstawowe o kandydacie:*

- przebieg pracy zawodowej (najbardziej istotne etapy)

W latach 2008-2014 asystent w Centrum Fizyki Teoretycznej (CFT) PAN; 2012-2014 stażysta podoktorski CNRS i IFRAF, Laboratoire Kastler Brossel, Ecole Normale Supérieure, Paryż; od 2014 adiunkt w CFT.

- rozwój naukowy - uzyskanie stopnia doktora

Stopień doktora uzyskany 31.01.2012, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, promotor: Prof. Kazimierz Rzażewski, tytuł rozprawy „Półklasyczne metody w badaniu kondensatu Bosego-Einsteina w podwójnej studni potencjału”

Rzeczony rozwój naukowy oceniam jako bardzo dynamiczny i zasługujący na wyróżnienie. Więcej w ocenie dorobku naukowego.

- stanowiska organizacyjne pełnione w uczelni, jednostkach badawczych i inne.

Nie znalazłem o tym żadnej informacji. Ale tu trzeba dodać, że kandydat kierował projektem badawczymi: SONATA NCN „Splątanie i dekoherencja ultrazimnych atomów”, oraz wcześniejszym projektem MNiSW (mylnie podanym jako KBN) ponadto był wykonawcą w czterech innych grantach naukowych

*2. Charakterystyka dorobku naukowego:*

- ocena liczebności dorobku i czasopism, w których publikowane były prace:

Habilitant jest współautorem 24 publikacji (w/g Web of Science), jedna z nich została opublikowana już po złożeniu rozprawy habilitacyjnej. „Liczebność” jest wysoka jak na ten etap kariery naukowej. Zdecydowana większość z nich została opublikowana w Phys. Rev. A (co mnie bardzo cieszy), jedna w Phys. Rev. Lett., po dwie w EPL i New J. Phys., pozostałe też w znanych czasopismach. Co do parametrów bibliograficznych to indeks Hirscha dotychczasowego dorobku wynosi 8, ogólnie prace były cytowane 165 razy, z tego w poprzednim roku aż 39 razy. Najbardziej cytowana praca to „Spontaneous Solitons in the Thermal Equilibrium of a Quasi-1D Bose Gas”, Phys. Rev. Lett., 29 cytowań. Zatem jego dotychczasowy dorobek zaczyna być zauważany. Sumarycznego IF nie będę dyskutował, bo jest to wskaźnik pozbawiony sensu.

- *główne kierunki badawcze:* stany splątane w ultra-zimnych gazach, fizyka kondensatów Bose'a-Einsteina, zjawiska temperaturowe w ultra-zimnych gazach, dipolowe efekty w ultra-zimnych gazach

- *udział kandydata w publikacjach zbiorowych,*

We wszystkich publikacjach, które stanowią rozprawę habilitacyjną udział habilitanta jest bardzo istotny (od deklarowanych 30% do 80%, najczęściej 40%). Co do pozostałego dorobku to tylko w przypadku trzech prac deklarowany udział jest dosyć niski 20% lub 10%. Oczywiście trzeba pamiętać, że takie deklaracje w zasadzie nic nie oznaczają i nie wiadomo według jakiego kryterium są (mają być?) dokonywane (waga pomysłów, wkładu intelektualnego, czy ilość czasu poświęconego pracy, a może coś innego?)

- *wykaz ważniejszych osiągnięć naukowych z podsumowaniem, co one wnoszą do nauki.*

Posumowanie prac wchodzących do rozprawy jest zawarte w następnym punkcie. Zatem skoncentruję się na pozostałym dorobku.

Habilitant rozpoczął swą pracę naukową od zagadnień związanych z teorią dekoherencji występującej podczas zderzeń kondensatów Bose'a-Einsteina (Phys. Rev. A 2009). Tematyka związana z fizyką kondensatów i generalnie optyką kwantową układów wieloatomowych była kontynuowana w szeregu następnych prac (w których zawsze współautorem był promotor). W ramach tych badań opisywano zanik spójności w sieciach optycznych w wyniku strat pojedynczych atomów, oraz zderzenia dwóch kondensatów, o względnej prędkości przewyższającej prędkość dźwięku (badano teoretycznie jak szybko kondensaty tracą spójność). Te badania były podstawą doktoratu.

Część prac po doktoracie lub nie związanych z nim bezpośrednio dotyczy efektów termicznych w kondensatach B-E i zagadnień pokrewnych. Przedmiotem było spontaniczne pojawianie się solitonów, którym nadano interpretacje podstawowych wzbudzeń układu (wspomniane Phys Rev. Lett.). Badano statystyczne własności jednowymiarowych gazów kwantowych (dla atomów przyciągających się EPL, 2011, dla atomów odpychających się, PRA 2011, oraz gazów z oddziaływaniami dipolowymi, PRA 2013), oraz tzw. quasi-kondensację (wysokie obsadzenie kilku modów),

Drugą grupą zagadnień są efekty dipolowe z ultra-zimnych gazach atomowych. Badania dotyczyły atomów o trwałym momencie magnetycznym. Badano współistnienie faz dla kondensatu składającego się z trzech fragmentów (pułapka z trzema studniami

potencjału). Wykazano, że stany splątane w takim układzie są bardzo wrażliwe na drobne zmiany parametrów, a zatem trudne do osiągnięcia (J. Phys. B, 2012). Badano też ultra-zimne układy fermionowe, o różnych stanach wewnętrznych (PRA, 2014). Wykazano istnienie ciemnych pseudo-solitonów (zanikających podczas wzajemnych zderzeń) w gazach o niezerowej temperaturze (PRA, 2015). Badano wzbudzenie solitonowe we wrzecionowatej pułapce harmoniczej i wykazano że częstotliwość oscylacji solitonów w pułapce zależy od oddziaływań, a nie bezpośrednio od częstotliwości charakteryzującej pułapkę (PRA, 2017).

Ogólnie rzecz biorąc prace Kandydata wnoszą istotny wkład do teorii ultra-zimnych układów atomowych i z reguły są oparte na bardziej dokładnym opisie zjawisk, dzięki czemu można lepiej określić zakres parametrów, które pozwalają obserwować szereg egzotycznych zjawisk.

3. *Ocena rozprawy habilitacyjnej lub zestawu publikacji składających się na habilitację wraz z uzasadnieniem, co przeprowadzone badania wnoszą do nauki.*

Rozprawa habilitacyjna „Powstawanie atomowych stanów splątanych na skutek nieliniowości typu Kerra” składa się z serii dziewięciu prac i autoreferatu. Siedem z nich zostało publikowanych w Physical Review A, a pozostałe w EPL i Eur. Phys. J. B.

Wstępem i podsumowaniem rozprawy jest autoreferat. Czytałem jego wersję angielską, chyba aby poznać do jakiego stopnia autor radzi sobie z przygotowaniem tekstu naukowego w tym języku. Tekst w publikacjach jest zawsze po prawkach redakcji, a po za tym jest w dużym stopniu dziełem wszystkich współautorów (ale mimo to np. w pracy [H3] w pierwszych trzech zdaniach mamy błąd gramatyczny i sformułowanie nieidiomatyczne). Tekst jest napisany dosyć jasno. Najczęściej występującym błędem, jest charakterystyczne dla nas Słowian, nadużywanie „the” i zapominanie o „a”.

Celem cyklu stanowiącego rozprawę habilitacyjną są badania fizyki układów zimnych atomów, z głównym naciskiem na możliwości i trudności związane tworzeniem stanów splątanych, o cechach kota Schroedingera, czyli opisujących układy o bardzo dużej ilości atomów, nazywane czasami przesadnie (ale nie przez habilitanta) „makroskopowymi”. Takie stany oprócz tego że są niemal kultowym zagadnieniem związanym z podstawami teorii kwantów, są wyzwaniem dla doświadczalników – jak daleko może sięgnąć nasza kontrola nad układami kwantowymi, do jakiego stopnia może być ona precyzyjna. Habilitant w swych pracach ukazuje szereg procesów, które mogą utrudnić tworzenie kotów Schroedingera, ale także metody i sposoby ominięcia tych trudności. Opis jest nadal w formie modeli z udziałem czynnika numerycznego, ale nie są to modele w których poprzez uproszczenia opisu usuwamy wszystko co utrudnia rzeczywiste obserwacje oczekiwanych efektów. Oczywiście to wszystko ma gdzieś odległą motywację kwantowo informacyjną, ale jak sądzę habilitant słusznie widzi tu raczej zastosowania metrologiczne (stąd akcent na informacje Fishera, jako wskaźnik kwantowości). Zasadą będącą klamrą spinająca pod-cykl prac [H2,4,6,7,9], oprócz koncentracji na zagadnieniach związanych z zimnymi atomami, jest próba w miarę precyzyjnego opisu badanych układów fizycznych, akcentującego wszystkie procesy które mogą utrudnić przygotowanie stanów splątanych i doprowadzić do ich

szybkiej dekoherencji. Jest to postawa wręcz odwrotna względem tego co często pojawia się projektach inżynierii kwantowej, w których często akcentuje się tylko to co sprzyja danemu efektowi, zakładając w ukryty sposób, że z czynnikami zaburzającymi jakoś kiedyś sobie poradzimy. Dlatego wyniki badań habilitanta są takie cenne. Przyczyniają się do identyfikacji podstawowych procesów fizycznych prowadzących do dekoherencji.

W pracy [H6], „Limits of atomic entanglement by cavity feedback: from a weak to strong coupling”, o szacowanym na 80% udziale habilitanta są wyprowadzone ograniczenia możliwych do uzyskania stanów ścięśnionych atomów we wnęce rezonansowej pompowanej laserem. Jest to bardzo istotne zagadnienie ponieważ tego typu układy pozwalają obecnie najefektywniej uzyskiwać stany ścięśnione układów atomowych. Jednym z wyników jest wyprowadzenie prostego wzoru na optymalny parametr ścięśnienia (66). Intersującym wynikiem jest to, że istnieje krytyczna liczba atomów powyżej której inne zakresy parametrów są optymalne dla tworzenia splątania. Przechodzi się z reżimu dyspersyjnego do silnego sprzężenia. Co więcej dekoherencja, poprzez częste rozpraszanie fotonów sprzyja ścięśnianiu stanu.

Jak autor podkreśla, najważniejszą jego pracą z tego cyklu jest [H4], „Macroscopic quantum superpositions in bimodal Bose-Einstein condensates: decoherence and strategies to counteract it” (PRA, 2017), o wkładzie autora 70%. Praca koncentruje się na najważniejszych procesach, które mogą utrudnić przygotowanie stanów typu kot Schroedingera w dla układu ultra-zimnych atomów. Analiza skupia się na stratach jedno-atomowych, uznanych za główną przyczynę dekoherencji w pułapkach. Są one spowodowane resztkowym gazem z komorze próżniowej, w której jest pułapka. Resztkowe atomy mają duże pędy i wybijają w zderzeniach atomy z pułapki. Straty tego typu i inne były rozpatrywane w także pracach [H2], [H7] i [H9], ale praca [H4] zawiera najbardziej wszechstronną analizę.

W [H7] i [H9] wyodrębniono poszczególne mechanizmy niszczenia spójności: szum fazowy z racji straty atomu w nieznannej chwili, mieszanie się stanów wynikające ze strat cząstek o różnych stanach wewnętrznych (nazwane to jest moim zdaniem niefortunnie „destruktywną interferencją”) i nieliniowe tłumienie z racji strat dwu-atomowych. Autorzy ukazują też sposób na zmniejszenie szumu fazowego.

Natomiast praca [H5] ukazuje aktywne metody utrzymania splątania w przypadku oddziaływania dwuosiowo kontra-skręcającego (two axis counter twisting, TACT). W optymalnym momencie należy dokonać „obrotu stanu” aby zapewnić długie trwanie splątania. Zapewnia to wysoką wartość informacji Fishera. Praca ta należy do podcyklu optymistycznego, nie skupiającego się na trudnościach w realizacji rozpatrywanych schematów, ale na propozycjach takich schematów, lub analizie dlaczego w ich przypadku możemy generować stany splątane, albo uzyskiwać nieklasyczne wartości informacji Fishera. W [H5] nie ma jednak choćby szkicowego opisu kwantowo-optycznej konfiguracji, która mogła by pozwolić na wykorzystanie tej metody. Z tego powodu tę pracę cenię najniżej.

W pracy [H8], „Spin squeezing and EPR entanglement of two bimodal condensates in state dependent potentials” (PRA, 2013) jest zaproponowana metoda splątania stanów spinów tworzących w dwu-modowy kondensat BE. Autorzy pokazują, że zderzenia elastyczne w potencjale zależnym od stanu generują jednocześnie

ściśnięcie spinu w każdym z kondensatów, i wzajemne splatanie kolektywnych spinów obu kondensatów. Autorzy jako miarę splatania przyjmują „splatanie EPR” (które obecnie raczej nazwalibyśmy sterowalnością, steering). Nie jestem pewny czy jest to parametr optymalny, ale jest to spojrzenie po sześciu latach od powstania tej pracy – autorzy zastosowali być może najlepsze kryterium z tych, które były wtedy „na rynku”. Autorzy opisują w pewny sensie natychmiastowo narzucający się sposób splątywania. Mamy dwie pułapki i atomy w nich są wprowadzane w stan w superpozycji (wewnętrznego) stanu podstawowego i wzbudzonego. Potencjał pułapki dla stanu wzbudzonego kondensatów jest stopniowo zmieniany (efektywnie: przesuwany) tak aby wzbudzone i niewzbudzone frakcje odpowiednio kondensatu A i B pokryły się przestrzennie. Po pewnym czasie oddziaływania potencjały wracają do swej początkowej konfiguracji, ale kondensaty są już splatane. Mamy tu znowu podejście optymistyczne, ale z racji tego, że trwają próby realizacji takiego procesu w ramach „chipów atomowych” ta analiza, co można by otrzymać gdyby wszystko zadziało i nie było kłopotów, jest bardzo cenna. Co więcej bardziej precyzyjna analiza tego schematu jest kontynuowana w pracy [H3] (PRA, 2017). Uwzględniona jest tam przestrzenna dynamika zimnego gazu.

Praca [H1] jest teoretycznym stadium użyteczności bozonowego kondensatu spinów-1 o makroskopowej magnetyzacji, w jednorodnym polu magnetycznym, w atomowej interferometrii o zastosowaniach metrologicznych. Można uzyskać heisenbergowskie skalowanie się informacji Fishera w przypadku stanów równowagi termicznej. To wszystko jest możliwe pod warunkiem, że fluktuacje magnetyzacji są małe. To dodam, że dużą wadą redakcyjną tej pracy jest nadużywanie akronimów i brak ich wyjaśnienia w sekcji „conclusions”, co utrudnia czytanie osobom pragnącym szybko zorientować się w istotnych elementach pracy.

Cały cykl [H1-9] zawiera wiele bardzo istotnych wyników, wymagających dobrego warsztatu teoretycznego i numerycznego i z nawiązką spełnia wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym. Ciekawym wyróżnikiem cyklu jest to, że nie zawiera on ani jednej pracy z promotorem dra Pawłowskiego, mimo że Panowie nadal aktywnie współpracują.

#### 4. Charakterystyka dorobku dydaktycznego:

Dorobek dydaktyczny mogę ocenić tylko na podstawie deklaracji Habilitanta zawartych w materiałach habilitacyjnych. W sensie praktyki jako wykładowcy uniwersyteckiego jest on bardzo skromny: prowadzenie ćwiczeń w 2010 roku. Oczywiście wynika to z faktu, że Habilitant pracuje i pracował wyłącznie na stanowiskach naukowo-badawczych. Zatem nie może to być istotny czynnik w ocenie jego ogólnego dorobku. Na uwagę jednak zasługuje opieka nad studentami stażystami, oraz wypromowany licencjat (UW). Co istotne jest promotorem pomocniczym doktoranta.

Habilitant jest autorem dwóch artykułów naukowych w Delcie, bierze udział w Piknikach Naukowych, Festiwalu Naukowym i wielu tego typu imprezach. Jest to niezmiernie cenne.

*5. Działania innowacyjne i wdrożeniowe:*

Badania Habilitanta mają charakter teoretyczny i dotyczą zagadnień fundamentalnych. Mogą znaleźć zastosowanie w inżynierii kwantowej, ale na obecnym etapie nie są związane z innowacjami technicznymi.

*6. Współpraca krajowa i międzynarodowa:*

Habilitant od wielu lat współpracuje z wieloma czołowymi ośrodkami krajowymi i znajdującymi się w Europie Zachodniej (Francja, Niemcy, Szwajcaria). Uczestniczył w wielu konferencjach międzynarodowych (wymienia 11 wygłoszonych referatów, w tym 3 wykłady zaproszone, oraz 9 plakatów) i był w Komitecie organizacyjnym konferencji FINES 2015. Odbył staże naukowe w Ecole Normale Supérieure (2012-2014) i na uniwersytecie w Stuttgarcie 2011 i 2012. Uczestniczył w programie COST, Quantum Technologies with Ultra-Cold Atoms.

*7. Wyróżnienia i odznaczenia.*

Nagroda za najlepszą pracę magisterską wykonaną na Wydziale Fizyki UW.

**8. Podsumowanie i wnioski.**

Stwierdzam, że Pan dr Krzysztof Pawłowski jest ekspertem w dziedzinie teorii ultra-zimnych układów atomowych, a jego rozprawa jest istotnym wkładem do naszego zrozumienia zjawiska dekoherencji stanów splątanych w tego typu układach, zawiera również ciekawe propozycje nowych sposobów generacji „kotów Schroedingera”. Habilitant wykazuje się bardzo dużą aktywnością naukową. Intensywnie współpracuje z wieloma naukowcami z Polski i ośrodkami z Europie Zachodniej. Zatem jego kandydatura spełnia kryteria zawarte w Ustawie z o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Wnioskuje zatem o dopuszczenie Pana Dr Krzysztofa Pawłowskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

*dr. D. Jankowski*