



Toruń, 15.01.2020

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

**Ocena dorobku naukowego i jednotematycznego cyklu publikacji
dra Pawła Zina pt. : „Opis zjawisk wywołanych przez kwantowe i termiczne fluktuacje w układach
ultrazimnych gazów atomowych”**

Monotematyczny cykl publikacji dra Pawła Zina składa się z dziewięciu prac. Prace te zostały opublikowane w recenzowanych periodykach naukowych: Physical Review A – 7 prac, Euro Physics Letters – 1 praca, Journal of Physics B – 1 praca. Był jedynym autorem jednej z nich i pierwszym współautorem w sześciu innych. Informacje zawarte w wykazie dorobku pozwalają stwierdzić, iż wkład habilitanta w ich powstanie był dominujący, z wyjątkiem jednej pracy, i polegał na: opracowaniu metod opisu, wyprowadzeniu wyrażen analitycznych, wykonaniu obliczeń numerycznych oraz napisaniu części lub całości pracy. Jest to zbieżne z załączonymi oświadczeniami innych współautorów.

Wytworzenie ultrazimnych zdegenerowanych gazów atomowych o niskiej gęstości otworzyło nowe możliwości badawcze. Jednym z przykładów jest generowania splątanych par atomów. Innym jest użyciem kondensatu Bosego-Einsteina w badaniach szeregu efektów takich jak promieniowanie Hawkinga czy dynamiczny efekt Casimira, niedostępnych w praktyce laboratoryjne, poprzez ich analogii w fizyce atomowej. Prace nad tymi i innymi zagadnieniami stymulują rozwój metod opisu zdegenerowanych gazów atomowych. Opis szeregu nowych zjawisk fizycznych takich jak stabilizacja kropli kwantowych wymaga wyjścia poza przybliżenie pola średniego i zastosowania wyrafinowanych metod matematycznych. Właśnie w tą niezmiernie aktualną ale też jakże wymagającą tematykę badawczą wpisuje się przedłożony cykl prac stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego.

Pierwsze trzy prace dotyczą opisu oddziaływujących bozonów wychodzącego poza przybliżenie pola średniego pozwalającego charakteryzować zarówno spontaniczne złamanie symetrii jak fluktuacje liczby skondensowanych atomów.

Praca [H1] wykorzystuje podejście Bogolubowa co pozwala wyjść poza przybliżenie pola średniego w równaniu Grossa-Pitajewskiego do opisu kondensatu Bosego-Einsteina i uwzględnić niewielkie obsadzenia stanów wzbudzonych pułapki. Ten znany formalizm został wykorzystany do otrzymania efektywnego równania Schrödingera opisującego ruch w przestrzeni symetrycznych i antysymetrycznych stanów układu wieloatomowego. Wprowadzone równanie pozwoliło zbadać kwantowe fluktuacje w okolicy punktu krytycznego gdy oddziaływanie między atomowe jest



przyciągające i następuje spontaniczne złamanie symetrii. Autor pokazał że fluktuacje są największe właśnie w okolicach tego punktu krytycznym a ich względna wartość maleje wraz ze wzrostem liczby kondensowanych atomów. Co ciekawe zaproponowane podejście daje również dość dobre wyniki w sytuacji gdy warunki stosowalności przybliżenia Bogolubowa nie są spełnione.

Kolejna praca [H2] poświęcona jest analizie własności układu wielu bozonów w podwójnej symetrycznej studni. Użyty jest tu model Bosego-Hubbarda wraz z przybliżeniem pola średniego. Minimalizując wartość oczekiwaną energii systemu można znaleźć prosty warunek na wielkość przyciągania między bozonami, które prowadzi do spontanicznego złamania symetrii między obsadzeniami w obu częściach podwójnej studni. Jeden ze wzorów umieszczonych w autoreferacie wyjaśniających tę problematykę zawiera drobne błędy drukarskie jednak sięgnięcie do wzoru (6) w pracy [H2] rozwiewa wszelkie wątpliwości. Istotnym wynikiem tej pracy są równania takie jak równanie Schrödingera, którego rozwiązaniem jest uciślona funkcja określająca nie równowagę obsadzeń w obu częściach podwójnej studni. To podejście jest szczególnie atrakcyjne gdy liczba cząstek jest duża a złożoność dokładnych obliczeń uniemożliwia ich przeprowadzenie.

Przedstawione powyżej podejścia zostały następnie zaadaptowane w pracy [H3] do analizy zachowania oddziałujących ze sobą zespołów dwóch rodzajów atomów w podwójnej symetrycznej jamie potencjału. Jedną z głównych obserwacji tej pracy było stwierdzenie bardzo dużych fluktuacji w przypadku gdy wzajemne oddziaływanie obu rodzajów atomów oraz oddziaływanie między oboma rodzajami atomów są równe. Jest to konsekwencja między innymi bardzo silnej degeneracji ze względu na rozmieszczenie obu rodzajów atomów w obu studniach potencjału.

Kolejne dwie prace zmagają się z problemem opisu korelacji między atomami powstającymi w wyniku zderzeń dwóch kondensatów Bosego-Einsteina. Zderzenia tego typu mają szereg interesujących własności. Jednym z przykładów może być zależność rozkładu rozpraszanych atomów w zależności od długości rozpraszania opisującej oddziaływanie kontaktowe. Zmiany te są szczególnie dramatyczne gdy energia zderzenia odpowiada rezonansowi dla którejś z fal parcjalnych [N. R. Thomas, N. Kjærgaard, P. S. Julienne, A. C. Wilson, Phys. Rev. Lett. 93, 173201 (2004)], ale nie to jest przedmiotem zainteresowania tej rozprawy.

W pracy [H4] założono gęstość zderzających się kondensatów taką by średnia liczba rozproszonych atomów była mała w porównaniu ze średnią liczbą atomów w kondensacie. Dzięki temu rozsądne jest przyjęcie swobodnej gaussowskiej ewolucji kondensatów z warunkami początkowymi otrzymanymi z rozwiązania równania Grossa-Pitaevskiego i rozważenie, wynikającego z przybliżenia Bogoliubova, liniowego równania Heisenberga opisującego frakcję atomów rozproszonych. Takie podejście dało możliwość analitycznego opisu korelacji dwucząstkowych. Zastępując uproszczony opis podany w pracy [A. Perrin, H. Chang, V. Krachmalnicoff, M. Schellekens, D. Boiron, A. Aspect, and C. I. Westbrook, Phys. Rev. Lett. 99, 150405 (2007)]. Mimo swej złożoności analityczne wyrażenia pozwalają wnikać w znaczenie poszczególnych procesów fizycznych prowadzących do ostatecznego wyniku. Zgodność wyników proponowanego modelu z danymi doświadczalnymi grupy paryskiej w przypadku korelacji między rozproszonymi atomami o przeciwnych pędach jest bardzo dobra. W przypadku współliniowym obserwowana jest znacząca

rozbieżność w szerokości obserwowanych rezonansów. Kluczowe dla zrozumienia tych procesów okazuje się uwzględnienie oddziaływań międzyatomowych w ekspandującym kondensacie.

Autor w pracy [H5] rezygnuje z założenia o swobodnej Gaussowskiej ewolucji kondensatu na rzecz jej obliczenia przy użyciu równania Grossa-Pitaevskiego. Ponadto korzystając z zależnej od czasu zasady wariancyjnej, znajduje przybliżoną funkcję opisującą kondensat oraz wykorzystuje fakt iż długość fali rozpraszanych atomów jest znacznie mniejsza od rozmiaru kondensatu, z którym oddziałują, by zastosować przybliżenia półklasyczne. W konsekwencji otrzymane wyrażenia pozwoliły autorowi interpretować obserwowany doświadczalnie efekt Hanbury-Brown-Twiss i powiązać szerokość korelacji między atomami rozpraszonymi współliniowo z odwrotnością początkowej szerokości kondensatu. Należy podkreślić, iż mając 35 stron i opatrzona 7 dodatkami praca [H5] jest obszerna i zawiera dość kompletne przedstawienie badanych zagadnień.

Odkrycie możliwości kontroli oddziaływań międzyatomowych przy pomocy magnetycznych, potem optycznych, rezonansów Feshbacha otworzyło całkowicie nowe możliwości eksperymentalne. Do niektórych celów, takich jak demonstracja akustycznego analogu dynamicznego efektu Casimira [J. C. Jaskula, G. B. Partridge, M. Bonneau, R. Lopes, J. Ruaudel, D. Boiron, C. I. Westbrook Phys. Rev. Lett. 109, 220401 (2012)] prowadzącego do powstania par fononów, modulacje efektywnego oddziaływania można uzyskać modulując jego gęstość poprzez zmiany potencjału pułapkującego. Kolejne dwie prace habilitanta poświęcone są opisowi zachowania kondensatu gdy stała oddziaływania międzyatomowego ulega periodycznym zmianom.

Praca [H6] analizuje sytuację gdy w kondensacie dokonywana jest periodyczna zmiana stałej oddziaływania między atomowego. Autor pokazał w niej, iż w ramach przybliżenia Bogolubowa można pokazać proces tworzenia par atomowych o dobrze zdefiniowanych przeciwnych prędkościach. Szczególną uwagę zwrócono na oddziaływanie quasicząstek pominięte w tym przybliżeniu. Okazało się, że stosując formalizm Kieldysza można wykazać wpływ tego oddziaływania na produkcję par atomowych których stany wykazują cechy splątania. Uzyskane wyniki dały podstawy dla interpretacji relatywnie słabego wzmocnienia produkcji skorelowanych par atomowych obserwowanych eksperymentalnie [J. C. Jaskula, G. B. Partridge, M. Bonneau, R. Lopes, J. Ruaudel, D. Boiron, C. I. Westbrook Phys. Rev. Lett. 109, 220401 (2012)].

Praca [H7] wykazała, że interpretacja danych eksperymentalnych jest istotnie bardziej złożona. Jednowymiarowość badanego układu zmusiła habilitanta do użycia półklasycznego opisu wzbudzeń termicznych. Okazało się, że fluktuacje termiczne w badanym przypadku miały dominujące znaczenie w porównaniu z fluktuacjami kwantowymi.

Ostatnie dwie prace poświęcone są zdegenerowanym systemom dwu komponentowym ich własnościom i dynamice.

Obiektem zainteresowania pracy [H8] są krople kwantowe powstałe z dwukomponentowego kondensatu Bosego-Einsteina, który stabilizuje się dzięki kwantowym fluktuacjom. Taki układ jest nieściśliwy jak ciecz jednak jego gęstość jest o rzędy wielkości mniejsza niż zwykłej cieczy. Opis tego typu układów wymaga wyjście poza teorie pola średnie. Pierwszą korektę można otrzymać w ramach sformułowania Lee-Huang-Yanga dla jednokomponentowego

przypadku trój wymiarowego. W celu zbadania struktur dwu i jednowymiarowych w pracy [H8] uogólniono podejście LHY na te właśnie przypadki dla kondensatu jednokomponentowego. Następnie te wyniki zostały zastosowane do obiektów dwu komponentowych. Wyniki tej pracy pomagają ustalić warunki eksperymentalne by badać nisko wymiarowe kwantowe krople dwukomponentowe bozonowo-bozonowe.

Ostatnia praca [H9] tego cyklu, której Dr Paweł Zin jest jedynym autorem, generalizuje podejścia wykorzystujące stochastyczne funkcje falowe do opisu zdegenerowanych układów bozonowych i fermionowych. Dr Paweł Zin po raz pierwszy formułuje tego typu opis dla układów dwukomponentowych bozonowo-fermionowych. Co ważne prezentowana teoria pozwala uwzględnić oddziaływania więcej niż dwucząstkowe.

Przedstawione przez dra Pawła Zina w ramach niniejszego cyklu prac: opis oddziaływujących bozonów wychodzący poza przybliżenie pola średniego pozwalający charakteryzować zarówno spontaniczne złamanie symetrii jak fluktuacje liczby skondensowanych atomów [H1, H2, H3]; sformułowanie analitycznego opisu korelacji dwucząstkowych generowanych w zderzeniu dwóch kondensatów [H4,H5]; wkład w zrozumienie efektywności produkcji skorelowanych par atomowych w akustycznym analogu dynamicznego efektu Casimira [H6,H7]; uogólnienie sformułowania Lee-Huang-Yanga na nisko wymiarowe kwantowe krople dwukomponentowe bozonowo-bozonowe [H8]; rozwinięcie podejścia stochastycznej funkcji falowej dla zdegenerowanych układów dwukomponentowych bozonowo-fermionowych [H9], stanowią istotne osiągnięcie.

Autoreferat jako taki nie podlega ocenie jednak należy podkreślić, iż ten autorstwa dra Pawła Zina dość sprawnie prowadzi recenzenta przez złożoną tematykę prac stanowiących rozprawę habilitacyjną. Tekst nie jest jednak wolny od usterek. Na przykład pisząc o pracy [H6] na stronie 13-tej i wcześniej autor miał na myśli pracę [H5], co po chwili zagubienia można rozszyfrować. W przypadku załącznika 4, wykazu dorobku, bardziej czytelna byłaby chronologiczne kolejność prac nie wchodzą w skład osiągnięcia habilitacyjnego.

Dorobek naukowy dra Pawła Zina wymieniony w dokumentacji obejmuje 31 publikacji. Do roku uzyskania stopnia doktora włącznie opublikowane zostało 9 prac, cykl habilitacyjny jest złożony również z 9 prac, natomiast pozostały dorobek uzyskany po doktoracie stanowi 13 prac. Wśród prac z poza cyklu habilitacyjnego dra Pawła Zina znajdujemy prace opublikowane w takich renomowanych czasopismach jak Physical Review A, Physical Review D, Physical Review E. Co godne podkreślenia są wśród nich dwie prace opublikowane w prestiżowym Physical Review Letters. Prace te poruszają zagadnienia związane z: dynamiką Bogoliubova, zderzeniami kondensatów, mieszaniem czterech fal w kondensacie, relatywistycznymi oddziaływaniami gazu Bosego, analogiem promieniowania Hawkinga. Prace autora są interesujące dla wielu specjalistów. Liczba obcych cytowań wszystkich jego prac jest równa 269 a indeks H wynosi 11 zgodnie z Web of Science i należy te parametry uznać za warte podkreślenia. Wyniki badań były prezentowane na kilku konferencjach. Ten aspekt działalności jest niestety dość ograniczony. Mimo to habilitant zyskał rozpoznawalność poza granicami kraju o czym świadczy recenzowanie prac dla takich czasopism jak Physical Review A czy prestiżowego Physical Review Letters. Dr. Paweł Zin łącznie spędził niemal trzy lata na

uniwersytetach Paryżu, Amsterdamie i Hanowerze. Na od bycie dwudziestomiesięcznego stażu na Universite-Paris Sud w Orsay pod Paryżem uzyskał Stypendium MNiSW Mobilność Plus. Był wykonawcą ośmiu grantów.

Mimo kariery zawodowej związanej z Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Warszawie instytucji o profilu badawczym pozytywnie zaskakuje zaangażowanie dra Pawła Zina w działalność dydaktyczną. Pełnił rolę opiekuna naukowego studentów w przypadku: dwóch licencjatów, dwóch prac magisterskich i jednego doktoratu promowanych przez prof. dr. hab. Marka Trippenbacha. Prowadził zajęcia dydaktyczne na Uniwersytecie Warszawskim oraz szkoły letniej dla studentów. Na uznanie zasługuje jego zaangażowanie w popularyzacji nauki poprzez pokazy doświadczeń fizycznych w szkołach i przedszkolach.

Podsumowując dr Paweł Zin rozwinął nowe metody teoretyczne opisu zdegenerowanych układów atomowych. Jego osiągnięcia wpisują się w bardzo aktualny dział współczesnej fizyki mający fundamentalne znaczenie dla rozwoju tej dziedziny nauki. Habilitant wykazał się dużą erudycją w posługiwaniu się narzędziami współczesnej fizyki teoretycznej oraz zdolnością do stawiania sobie złożonych problemów badawczy i skutecznego ich rozwiązywania. Przedstawione osiągnięcie oraz pozostały dorobek naukowy spełniają ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane w przewodach habilitacyjnych. Tym samym wnoszę o przystąpienie do dalszych kroków przewodu i nadanie doktorowi Pawłowi Zinowi stopnia doktora habilitowanego.

