Recenzja wniosku o nadanie dr. Pawłowi Zinowi stopnia doktora habilitowanego

Z prawdziwą przyjemnością przedstawiam recenzję wystąpienia dr. Pawła Zina o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Od szeregu lat obserwuję rozwój działalności naukowej Pawła Zina, choć nie mam bezpośredniej styczności (w sensie wspólnych publikacji czy nawet współpracy) z Jego dokonaniami. Z drugiej strony trudno nie znać Jego dokonań w stosunkowo wąskiej dziedziny fizyki zimnych atomów, którą obaj reprezentujemy.
Dr Paweł Zin przedstawił jako osiągnięcie habilitacyjne cykl 9 kilku-autorskich prac pod wspólnym tytułem „Opis zjawisk wywołanych przez kwantowe i termiczne fluktuacje, w układach ultrazimnych gazów atomowych". W 6 z nich dr Zin jest pierwszym autorem w dwóch drugim, jedna jest samodzielna. W załączonych materiałach znajdują się oświadczenia współautorów prac, wynika z nich w sposób jednoznaczny, że dr Zin miał wiodący wkład w postawienie problemów badawczych i wybór metod ich rozwiązania, dominujący wkład dr. Zina w zaproponowaniu teoretycznych modeli jak i ich analityczną analizę jest udokumentowany. Aby nie wydawać werdyktu przed opisaniem treści rozprawy przejdę do jej zwięzłego omówienia.
Nie ulega wątpliwości, że mamy do czynienia ze spójnym, monotematycznym cyklem prac poświęconym opisowi zimnych gazów atomowych wychodzącemu poza przybliżenie średniego pola. Jest tak pomimo dość dużego okresu czasu, w którym powstawały publikacje wchodzące w skład rozprawy (4 z lat 2008-11, 5 z 2017-18) – w międzyczasie dr Zin pracował nad trochę innymi problemami, co wzbogaciło jego doświadczenia jak i pozostały dorobek.
Pierwsze trzy prace [h1]-[h3] dotyczą fluktuacji kwantowych w pobliżu kwantowego przejścia fazowego. Prace [h1]-[h2] opisują zjawisko spontanicznego łamania symetrii, do którego dochodzi w opisie poprzez teorię pola średniego kondensatu z przyciągającymi oddziaływaniami, a konkretniej opisują kwantowe fluktuacje wykraczające poza ten średniopolowy opis. W przypadku potencjału podwójnej studni, przyciągających oddziaływań i wystarczającej liczby cząstek stan łamiący symetrię (gdy cząstki zgromadzą się w jednym z minimów) może być energetycznie korzystniejszy od symetrycznego rozkładu obsadzeń. Elegancka analiza przeprowadzona w pracy pokazała, że w problemie pojawia się w naturalny sposób, przy podejściu półklasycznym, standardowy potencjał Landaua modelujący kwantowe przejście fazowe. To w naturalny sposób pokazało, że fluktuacje kwantowe są największe w punkcie krytycznym. W pracy [h2] przeanalizowano z kolei jednorodny jednowymiarowy gaz Bosego w pudełku z periodycznymi warunkami brzegowymi. Dla przyciągających oddziaływań o wystarczającej sile, rozwiązaniem łamiącym symetrię jest rozwiązanie solitonowe (efektywny potencjał to kapelusz meksykański zatem wybór fazy – położenia na pierścieniu - takiego rozwiązania jest dowolny). Pełny wielociałowy symetryczny stan podstawowy to superpozycja indywidualnych rozwiązań średniopolowych. Opis taki uzyskano analizując układ w trzech najniższych modach pędowych. Ponownie fluktuacje kwantowe są największe w okolicy przejścia fazowego. Praca [h3] powraca do podwójnej studni, ale analizuje w niej mieszaninę dwóch gazów bozonowych. Przy równych energiach oddziaływania między bozonami występuje wielokrotna degeneracja stanów kwantowych co daje duże fluktuacje każdego ze składników w pojedynczej studni.
Kolejna część cyklu dotyczy własności skorelowanych par atomowych generowanych czy to zderzeniach kondensatów czy poprzez rezonans parametryczny. Oczywiście to nie atomy są generowane, a raczej zmienia się stan atomów, które pojawiają się w początkowo nieobsadzonych modach. Tak nisko obsadzone mody wymagają ostrożnego opisu własności

kwantowych. Do opisu zderzenia dwóch kondensatów użyto metody Bogoliubowa, gdzie chmurę rozproszonych atomów opisuje się kwantowo poprzez mody Bogoliubowa z efektywnym członem zależnym od funkcji falowej kondensatu. Tą ostatnią znajduje się poprzez rozwiązanie średniopolowe czyli poprzez równanie Grossa-Pitajewskiego. Procedurę tę można znacznie uprościć w sytuacji zmierzającej do bezpośredniego opisu istniejących ówcześnie eksperymentów francuskich, które pozwalały na szereg perturbacyjnych przybliżeń, m.in. zaniedbaniu nieliniowości w równaniu Grossa-Pitajewskiego. Te z kolei prowadziły do prostych stosunkowo wyrażeń na dwucząstkową funkcję korelacji atomów rozproszonych, które w przypadku korelacji naprzeciwległych (atomy rozpraszane w parach z przeciwnie skorelowanymi prędkościami) pokazały dobrą zgodność z doświadczeniem. Co ciekawsze, korelacje bliskich prędkości (powiazane ze wzmocnieniem bozonowym) nie opisywały danych eksperymentalnych, przyjęte przybliżenia były za grube. Problem został rozwiązany w pracy [h5] gdzie metodą wariacyjną rozwiązywano zależne od czasu równanie GP. Takie podejście pozwoliło, dzięki analitycznemu opisowi funkcji falowej, na zbadanie korelacji dwuatomowych w szerokim przedziale parametrów. Kolejnym rozszerzeniem tych prac była obszerna analiza korelacji dwu-atomowych w pracy [h6] gdzie przeprowadzono staranną analizę półklasyczną, pokazując jej ograniczenia. Pozwoliło to na zrozumienie, w jakich sytuacjach można mieć nadzieję na poprawny opis korelacji przy wykorzystaniu metod półklasycznych.

Obszerna praca [h6] przynosi także analizę kierunkowej emisji par w wyniku rezonansu parametrycznego wywołanego periodycznym potrząsaniem układu. Taki model stymulowany pracami eksperymentalnymi w Palaiseau był analizowany zarówno metodą Bogoliubova jak i nierównowagowym podejściem teorii pola - tzw. metodą Kieldysza. Stosując wysublimowane przybliżenia znaleziono jednocząstkowe funkcje Greena badanego układu oraz za ich pomocą również wyższe funkcje korelacji. Pokazano, że współczynnik tłumienia kwazicząstek (określający ich czas życia) ma decydujący wpływ na generację splątania w układzie (jednym z celów eksperymentów jest wykazanie wielocząstkowego splątania). Ten ciekawy opis teoretyczny jest ograniczony do układów typowo trójwymiarowych. Dla układów eksperymentalnych, realizowanych w geometrii cygara, czyli quasi-jednowymiarowych, przeprowadzono analizę metodą pól klasycznych [h7] co pozwoliło na konfrontację teorii z eksperymentem. Obliczenia te wykazały istotną rolę jaką odgrywają w warunkach eksperymentalnych klasyczne fluktuacje termiczne.

Kilka ostatnich lat przyniosło ciekawe badania wpływu poprawek drugiego rzędu do energii pola średniego oddziałujących mieszanin, tzw. wyrazu Lee-Huang-Yanga. Powstawanie w nich stabilnych kropel kwantowych zapostulował Dima Petrov. Ich istnienie potwierdzono doświadczalnie, co spowodowało duże zainteresowanie tym nowym stanem materii. W pracy [h8] przebadano możliwość realizacji kropli w układach ze zredukowaną wymiarowością pokazując, że obserwacja kropel niżej wymiarowych wymaga bardzo dużego ściskania.

Wreszcie ostatnia z prac cyklu [h9] analizuje przypadek mieszanin fermionowo-bozonowych stosując opis przez tzw. stochastyczną funkcję falową. Jest to jedna z przybliżonych metod opisu układów wielocząstkowych, w pracy uogólniono ten formalizm początkowo rozwinięty dla bozonów, a potem fermionów na przypadek mieszaniny. Jest to samodzielny wkład Autora w rozwój technik badawczych dla oddziałujących układów.

Przedstawiona rozprawa habilitacyjna nie pozostawia wątpliwości co do faktu, że jej Autor to w pełni ukształtowany fizyk teoretyk o dogłębnie opanowanym szerokim warsztacie badawczym, pozwalającym mu na analityczne, a czasem numeryczne atakowanie aktualnych

problemów fizycznych. W mojej ocenie przedstawiony cykl publikacji spełnia z nawiązką wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym.

Godny podkreślenia jest pozostały dorobek naukowy habilitanta składający się z 22 prac, z których znakomita większość została opublikowana po uzyskaniu stopnia doktora w 2007 roku. Prace te dotyczą symulacji pojedynczej realizacji kwantowego układu wielociałowego czy pojedynczego pomiaru, sredniopolowego opisu gazu bozonowego w różnych konfiguracjach, opisu rozproszonych atomów w zderzeniach metodami stochastycznymi, zaniku kondensatu, rozpraszaniu ramanowskiemu atomów z quasikondensatu, splątaniu kwantowemu dla atomów itp. Różnorodnośc atakowanych i rozwiązywanych problemów świadczy o szerokich zainteresowaniach naukowych habilitanta, którego bogaty warsztat badawczy umożliwia też tak szerokie badania (jhak np. kwantowe analogie promieniowania Hawkinga).

Działalność dydaktyczna dr. Zina jest dość skromna i związana głównie z okresem gdy był powiązany z Uniwersytetem Warszawskim. Nie jest to jednal przedmiot oceny w tym wniosku.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna dr. Zina czyli cykl publikacji pt. „Opis zjawisk wywołanych przez kwantowe i terminczne fluktuacje w układach ultrazimnych gazów atomowych" **spełnia z naddatkiem** wymagania ustawowe stawiane rozprawom habilitacyjnym. Podobnie pozostały dorobek naukowy jest istotny, oryginalny i wszechstronny. Wnoszę o dalsze procedowanie sprawy przez Rade Naukową NCBJ.

Jakub Zakrzewski

9.10.19