

Prof. dr hab. Marek Czachor  
Katedra Fizyki Teoretycznej i Informatyki Kwantowej  
Politechnika Gdańska

### Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr. Piotra Deuara

Na rozprawę habilitacyjną, zatytułowaną *Metody stochastyczne dla makroskopowej dynamiki kwantowej i ich zastosowania*, składa się dziewięć publikacji, z czego sześć ma charakter czysto teoretyczny, a trzy związane są ze współpracą autora z grupami eksperymentalnymi.

Należy od razu na wstępie podkreślić, iż wszystkie artykuły zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach (5 w Physical Review Letters, 3 w Physical Review oraz jedna w European Physical Journal). Jeden artykuł jest napisany samodzielnie, pozostałe mają współautorów, lecz jak wynika z ich oświadczeń, w pracach teoretycznych dr Deuar miał wkład zasadniczy. Artykuły tematycznie stanowią spójną całość i dotyczą problemów symulacji oddziaływań wielu ciał w zimnych gazach.

Kolejnym elementem godnym podkreślenia jest pozostały rozległy dorobek naukowy autora, nieuwzględniony w rozprawie habilitacyjnej. Składa się na niego 14 artykułów opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora oraz 10 z okresu późniejszego. Te ostatnie wydają się być przynajmniej częściowo powiązane z wynikami pochodzącymi z rozprawy doktorskiej, co tłumaczy ich nieuwzględnienie w rozprawie habilitacyjnej, pomimo zbliżonej tematyki badawczej. Wszystkie są to artykuły w bardzo dobrych czasopismach. Ponadto, jedna publikacja ukazała się w materiałach konferencyjnych, a jedna jest aktualnie w recenzji. Przeglądając prace P. Deuara na stronie Physical Review zauważyłem, iż trzy z nich (w tym dwie wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej) zostały wyróżnione jako „Editor's suggestion”, czyli uznano je za wyróżniające się pod względem zarówno wagi samego wyniku jak i sposobu jego opisanie. Prace oznaczone w autoreferacie jako H1-H3, wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej, a także jedna nieuwzględniona w rozprawie, zostały nagrodzone Nagrodą im. Stefana Pińkowskiego Wydziału III Nauk Matematycznych, Fizycznych i Chemicznych PAN, w dziedzinie fizyki w roku 2010. Wg Web of Science liczba cytowań prac P. Deuara wynosi niemal 600 a indeks H=14. Są to wyniki, moim zdaniem, bardzo dobre. Nie mam najmniejszych wątpliwości, iż poziom prac naukowych habilitanta jest bardzo wysoki.

Jako pracownik PAN dr Deuar ma w sposób naturalny mniejsze obciążenie dydaktyczne i mniejszy kontakt ze studentami. Niemniej, jak wynika z autoreferatu, prowadził on przez ok. trzy lata ćwiczenia laboratoryjne z fizyki i inżynierii na uniwersytecie w Queensland, przez jeden semestr prowadził ćwiczenia z mechaniki kwantowej na UKSW, a także przez ok. miesiąc wykladał współczesne problemy fizyki na Politechnice Warszawskiej. Podczas pobytu w Kanadzie sprawował opiekę naukową nad doktorantem. Na szczególne wyróżnienie w tym kontekście zasługuje opieka, w latach 2009-2011, nad laureatami konkursu „First step to Nobel Prize in physics”, organizowanego przez IF PAN.

Dr Deuar był współorganizatorem cyklu konferencji *Quantum technologies*, dotyczących ultrazimnych gazów i informacji kwantowej (2010, 2011, 2012, 2013). W roku 2000 współorganizował konferencję *CCP 2000 Conference on Computational Physics* w Australii. Co istotne, został on obecnie wybrany na „lokalnego organizatora i przewodniczącego” ważnej konferencji FINES, która odbędzie się w 2015 r. w Polsce. Współpraca zagraniczna dr. Deuara jest rozległa, jego wyniki były wielokrotnie przedstawiane na konferencjach i seminariach. Dr Deuar dwukrotnie brał udział w panelach eksperckich do oceny projektów badawczych (panel ST-2 Narodowego Centrum Nauki i zespół ekspercki Komisji Europejskiej do oceny projektów FP7 stypendiów M. Curie w dziedzinie fizyki).

Przechodząc do oceny prac zawartych w rozprawie habilitacyjnej należy zauważyć, iż dotyczą one ważnego, trudnego i stosunkowo nowego obszaru badawczego – dynamiki

ultrazimnych gazów. Pierwsze wyniki eksperymentalne, dotyczące kondensatów atomowych, pojawiły się w czerwcu 1995 r. a już w 2001 r. nagrodzono je Nagrodą Nobla z fizyki dla Cornella, Ketterlego i Wiemana. Z teoretycznego punktu widzenia zagadnienie jest trudne z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, mamy do czynienia z oddziaływaniem dosłownie milionów atomów, a więc układów bardzo dużych, ale w których zjawiska stricte kwantowe nie tylko nie są pomijalne, ale wręcz dominują. Wszelkie przybliżenie półklasyczne mają tu sens bardzo ograniczony, więc pojawia się konieczność przeprowadzania realistycznej symulacji dynamiki układów o wykładniczo rosnącej liczbie wymiarów. W praktyce oznacza to równoczesną czasochłonność obliczeń numerycznych oraz kumulowanie się błędów, co może wręcz uniemożliwić wykonanie symulacji. Po drugie, stopień skomplikowania oddziaływań (nieliniowości trzeciego stopnia w równaniach Heisenberga) nie pozwala na znalezienie rozwiązań dokładnych metodami analitycznymi na poziomie operatorowym. Nie są bowiem znane metody solitonowe, które dałoby się zastosować do równań operatorowych pojawiających się teorii kondensatów atomowych. Trudnościami teoretycznym towarzyszy lawinowy rozwój metod eksperymentalnych. Fizyków doświadczalnych coraz mniej interesują rozwiązania przybliżone i półklasyczne, gdyż dokładność przeprowadzanych przez nich pomiarów jest już bardzo duża. Potrzebne są nowe metody teoretyczne i symulacyjne. Właśnie w takim obszarze badawczym należy umiejscowić działalność naukową dra Deuara.

Pierwsza publikacja, H1, napisana w 2007 r. we współpracy z promotorem rozprawy doktorskiej, testowała metodę „P-reprezentacji” na układzie 150 000 oddziałujących atomów, przy czym parametry dobrano tak, by odtworzyć jeden z eksperymentów grupy z MIT. Dynamikę kwantowego modelu aproksymowano przez dwa sprzężone 1-atomowe nieliniowe równania Schrodingera z niezależnymi członami stochastycznymi (typu Ito). Metoda zadziałała bardzo dobrze a praca spotkała się ze sporym oddźwiękiem w środowisku zajmującym się kondensatami atomowymi. Jednym z wyników było pokazanie, iż dynamika atomów w rejonie tzw. halo jest bardziej złożona, niż przypuszczano. Porównanie z jedyną dotychczasową metodą przybliżoną, nadającą się do analizy zderzeń kondensatów (tzw. obciętej reprezentacji Wignera), pokazywało, iż ta ostatnie generuje duży błąd w obszarze dużych pędów, jeżeli nie są spełnione pewne relacje pomiędzy liczbą atomów a wymiarem przyjętej przestrzeni stanów. Co ważne, warunki takie właśnie nie są spełniane w typowych eksperymentach, a więc rachunki opierające się na metodzie Wignera generują duże błędy, w przeciwieństwie do metody Deuara-Drummonda.

Kolejna, tym razem jednoautorska praca, H2, została opublikowana dwa lata później. Wprowadzono tam nowy pomysł, by szacować wyniki dokładne poprzez porównywanie wyników przybliżonych, ale uzyskanych różnymi metodami. Odpowiednio dobierane metody alternatywne generują coś w rodzaju „paska błędów”, co nie daje co prawda wyniku dokładnego, ale przynajmniej przewidywania obarczone są z ustaloną z góry wartością błędu. Podejście takie może być wystarczające do analizy eksperymentów, gdyż – z samej natury rzeczy – są one zawsze obarczone niedoskonałościami pomiarowymi. Metoda okazała się szczególnie skuteczna w obszarze parametrów leżącym na pograniczu stosowalności różnych metod przybliżonych (np. pomiędzy zakresem rachunków perturbacyjnych i półklasycznych). Jednakże, w konfrontacji z rzeczywistymi eksperymentami okazało się, że nowa metoda również ma swoje ograniczenia, ze względu na zbyt szybkie narastanie szumu, przynajmniej w skalach czasowych dostępnych w laboratoriach.

Stąd pomysł, żeby nie rozwiązywać pełnego zagadnienia kwantowego, lecz ograniczyć metody kwantowe jedynie do opisu fluktuacji – wszystkie efekty rozproszeniowe w obszarze halo można więc opisywać dokładnie, niejako na tle zmieniającej się czasowo i przestrzennie funkcji falowej kondensatu. Metoda „dodatniego-P”, używana przez autora wcześniej, generuje w takiej sytuacji mniejszy szum i może być stosowana do eksperymentów przeprowadzanych w dłuższych skalach czasowych. Właśnie opis takich konkretnych dwóch eksperymentów, w których P. Deuar pełnił rolę teoretyka, zawierają trzecia i czwarta z omawianych publikacji, oznaczone jako H3 i H4.

Piąta publikacja, H5, napisana z teoretykami z Uniwersytetu Warszawskiego, dotyczy analogicznego przeformułowania tzw. metody Bogoliubowa w języku przestrzeni fazowej i – podobnie jak w H3 i H4 – opis kwantowy zostaje ograniczony do części odpowiadającej

fluktuacjom kondensatu. Metoda jest przetestowana na konkretnych przykładach i porównana z trzema innymi metodami symulacyjnymi. Tematyka jest kontynuowana i rozwijana w kolejnej pracy, H6, napisanej przez tych samych autorów. Habilitant bardzo szczegółowo omawia obie prace w autoreferacie. Techniki wypracowane w artykule H5 zostały użyte również do wyliczenia przewidywań teoretycznych w sytuacji, gdy eksperyment jest w stanie zmierzyć długozasięgowe korelacje pomiędzy atomami kondensatu. Jest to interesujący przypadek, w którym pojawia się nieklasyczne splątanie różnych obserwabli, a więc kondensat staje się naturalnym kandydatem na układ przetwarzający informację w sposób kwantowy (procesor kwantowy). Odpowiednim testem w takim przypadku jest badanie kwantowości korelacji przy pomocy jednego z kryteriów w rodzaju nierówności Bella. W pracy H7 omówiono eksperyment, w którym rolę takiego właśnie kryterium pełniła nierówność Cauchy'ego-Schwartza. Przewidywania teoretyczne, uzyskane metodami Deuara i współpracowników, dobrze zgodziły się z danymi eksperymentalnymi. Temat korelacji nieklasycznych został rozwinięty w pracy H8, napisanej ponownie we współpracy z grupą M. Trippenbacha z UW. Podjęto tu bardzo staranną analizę możliwych źródeł degradacji splątania par atomowych. Okazało się przy tym, iż decydującą rolę odgrywa tu niemonochromatyczność kondensatu. Żeby to wykazać, współautorzy P. Deuara wymyślili nową metodę stochastyczną, eliminującą wzmocnienie bozonowe.

Ostatni z artykułów składających się na rozprawę habilitacyjną opisuje zastosowanie metod przestrzeni fazowej do oddziałujących układów spinowych. Jest to właśnie jedna z trzech prac wyróżnionych przez redakcję Physical Review jako „Editor's suggestion”. Autor ocenił swój wkład w tę publikację na 50%.

Powyższe prace stanowią spójną, jednotematyczną całość. Wyniki naukowe są istotnie nowe, a wkład autora w ich powstanie jest bardzo duży. Prace opublikowano w bardzo dobrych czasopismach, a sam dr Deuar jest osobą rozpoznawalną w międzynarodowym środowisku naukowym, badającym zimne gazy kwantowe.

Podsumowując, nie mam wątpliwości, iż dorobek naukowy, organizacyjny i dydaktyczny jest w pełni wystarczający dla nadania doktorowi Piotrowi Deuarowi stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Gdańsk, 4 lipca 2014 r.



Marek Czachor