

**Prof. dr hab. Jacek Dziarmaga**  
**Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego**  
**ul. Łojasiewicza 11**  
**30-348 Kraków**  
**e-mail: [dziarmaga@th.if.uj.edu.pl](mailto:dziarmaga@th.if.uj.edu.pl)**

Kraków, 16 grudnia 2021

**Ocena dorobku doktora Krzysztofa Jachymskiego  
w związku z postępowaniem o nadanie tytułu doktora habilitowanego nauk fizycznych.**

Pan Krzysztof Jachymski studia magisterskie z fizyki ukończył na Uniwersytecie Warszawskim w roku 2011. Tamże obronił doktorat w roku 2015. Praca magisterska dotyczyła fizyki ultrazimnych gazów atomowych w potencjałach z nieporządkiem, a praca doktorska zderzeń ultrazimnych atomów i cząsteczek. W obydwu wypadkach promotorem był dr hab. Zbigniew Idziaszek, który jest wybitnym specjalistą w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej. Nie dziwi więc że, przy tak solidnym punkcie wyjścia oraz wobec aktualności tej tematyki, osiągnięcie habilitacyjne jest twórczym rozwinięciem doktoratu.

Po zakończeniu edukacji na UW dr Jachymski odbył dwa staże podoktorskie: 3-letni na Uniwersytecie w Stuttgarcie (stypendium Fundacji Humboldta), po którym nastąpił 2-letni staż w ośrodku badawczym w Juelich. Od lipca 2020 został zatrudniony jako adiunkt naukowy na macierzystym Uniwersytecie Warszawskim. Te dłuższe staże uzupełniają liczne krótkie wizyty w różnych ośrodkach naukowych, a w szczególności wizyta na Harvardzie w roku 2018. Na szczególną uwagę zasługuje współpraca z prof. Tilmanem Pfauem, który jest jednym z pionierów eksperymentów z ultrazimnymi gazami oddziałującymi dipolowo. Cechą charakterystyczną teoretycznych badań dr Jachymskiego jest ich bardzo ścisły związek z eksperymentem. Należy podkreślić, że teoria oddziaływań ultrazimnych atomów czy cząsteczek to nie jest temat bardzo medialny, który w szczególności nie generuje tzw. łatwych cytowań, ale są to niezwykle ważne rozważania, które torują drogę do nowych eksperymentów.

*Dorobek naukowy*

Na cykl habilitacyjny składa się 10 prac opublikowanych w czasopismach co najmniej klasy Physical Review. Na tym ogólnym tle wyróżniają się dwie publikacje w Physical Review Letters oraz jedna w Communications Physics. Choć impact factor czasopisma nie jest dla mnie zbyt istotny w ocenie jakości konkretnej pracy, to w ujęciu statystycznym, po uwzględnieniu specyfiki badań, można ocenić ten dorobek na solidny. Należy przy tym zauważyć, że poza cyklem habilitacyjnym znalazło się 11 prac opublikowanych po doktoracie, które pod względem tematycznym z powodzeniem mogłyby do niego należeć. Wśród pominiętych jest między innymi artykuł przeglądowy w Reviews of Modern Physics który dotyczy tematyki habilitacji, jak również praca w Nature Communicatons. Najwyraźniej habilitant, mogąc swobodnie czerpać ze swojego rogu obfitości, zdecydował się przedstawić nam do wglądu jedynie mniejszą a reprezentatywną próbkę swojej twórczości. Jako zapracowany recenzent nie mogę nie docenić tego miłego gestu.

Z oświadczeń współautorów można wywnioskować co najmniej istotny, jeśli nie decydujący, wkład habilitanta do wszystkich przedstawionych do oceny prac. W momencie pisania recenzji całkowita liczba cytowań według Google Scholar wynosiła 748, oraz szybko rosła, co, znowu po uwzględnieniu specyfiki badań, jest typową wartością tego wskaźnika w momencie starania się o habilitację i świadczy o co najmniej pozytywnym odbiorze twórczości naukowej dr Jachymskiego. O tym samym może świadczyć 90% nieautocytowań wśród wszystkich cytowań habilitanta, jak i 14 konferencyjnych referatów ustnych, w tym 3 zaproszone, oraz 11 plakatów po uzyskaniu stopnia doktora.

Praca naukowa dr Jachymskiego dotyczy ultrazimnych gazów atomowych. Jest to dynamicznie rozwijająca się dziedzina badań. Jej oficjalne cele obejmują realizację kwantowych symulatorów jak również stanów silnie splątanych przydatnych w kwantowej metrologii. Kluczem do takiej inżynierii wielu ciał kwantowych jest zrozumienie mechanizmów oddziaływania pomiędzy atomami. Jednym z podstawowych narzędzi modyfikacji tych

oddziaływań jest rezonans Fano-Feshbacha pomiędzy otwartym a zamkniętym kanałem rozpraszania. Efekt Zeemana pozwala zmieniać położenie względem punktu rezonansu, a tym samym regulować w szerokim zakresie długość rozpraszania w fali parcjalnej typu s. Praca [H10] uogólnia ten mechanizm na przypadek kilku przekrywających się rezonansów w anizotropowej pułapce harmonicznej, a praca [H6] rozważa rezonans w podwójnej studni potencjału (udającej sieć periodyczną), w której pojawia się sprzężenie pomiędzy ruchem względnym a ruchem środka masy. W obydwu przypadkach stłoczenie atomów w pułapce ma sprzyjać tworzeniu się molekuł bez udziału trudnych w kontroli efektów trójciałowych. Praca [H5] pokazuje, że stany wzbudzone środka masy powodują występowanie szeregu ostrych pików w zależności szybkości strat od pola magnetycznego, co pozwala na pełną charakterystykę rezonansu uwzględniającą nie tylko jego położenie i szerokość ale także jego siłę. Metody rozwinięte w [H10,H6,H5] są bardzo ogólne. Ich zastosowanie może usprawnić wytwarzanie ultrazimnych cząsteczek.

Lantanowce charakteryzują się silnymi oddziaływaniami dipolowymi oraz dużą gęstością rezonansów. Oddziaływanie dipolowe wymaga uwzględnienia wielu fal parcjalnych, ale ostatecznie prowadzi do stosunkowo prostego wzoru na amplitudę rozpraszania w przybliżeniu Borna, który uwzględnia kąt pomiędzy orientacją dipoli a wektorem łączącym atomy. Jednak jego stosowalność w zasadzie powinna ograniczać się do niskich energii oraz obszarów z dala od rezonansu Feshbacha. W pracy [H9] uwzględniono zarówno oddziaływanie van der Waalsa jak i dipolowe. Okazało się, że prosty wzór na ogół nieźle się stosuje, chociaż wymaga użycia efektywnej długości dipolowej, która jednak różni się od gołej długości zaledwie o kilka procent. Natomiast w pobliżu rezonansu wzór załamuje się całkowicie, gdyż wobec rozmiarów przestrzennych stanu związanego oddziaływanie dipolowe staje się nieistotne. Wyliczona poprawka pozwala na uzyskanie nieco lepszej zgodności obszaru nieoczekiwanej stabilności dipolowych kropli kwantowych z eksperymentem.

Zderzenia dwuatomowe w ciasnej pułapce pozwalają nie tylko na precyzyjną charakteryzację parametrów rezonansu Feshbacha ale także, odwrotnie, na precyzyjny pomiar pola magnetycznego. Ciasne pułapkowanie zwiększa skalę energii występujące w problemie, co umożliwi szybsze przygotowanie stanu układu. W pracach [H7,H8] zbadano jednowymiarowe rozpraszanie atomów na atomie umieszczonym w środku rurki. Uwzględniono przesunięcie rezonansu w wyniku ciasnego pułapkowania. Jak można było oczekiwać, największa czułość amplitudy rozpraszania na wartość pola magnetyczne występuje w pobliżu rezonansu. Dodatkowo w układzie wielu rurek staje się możliwy pomiar gradientu pola magnetycznego. Jak zwykle obliczenia zostały wykonane od początku do końca z precyzją pozwalającą na zaprojektowanie realistycznego eksperymentu.

Osobnym zagadnieniem jest ruch jonu zanurzonego w kondensacie, któremu poświęcony jest cykl prac teoretycznych i doświadczalnych [H4,H3,H2]. Teoretyczny opis procesów nieelastycznych z udziałem jonu, a prowadzących do powstawania molekuł był tematem pracy [H4], gdzie użyto metody zniekształconej fali parcjalnej (a w istocie dokładniejszej fali parcjalnej niż zwyczajowa fala płaska). To narzędzie teoretyczne użyto następnie do modelowania eksperymentu w pracy [H3]. Z kolei praca [H2] opisuje sam eksperyment przeprowadzony w laboratorium prof. Meinerta, który polegał na przeciągnięciu przy pomocy pola elektrycznego jonu poprzez kondensat Bosego-Einsteina. Wykonano pomiary zarówno mobilności jonu, określonej przez zderzenia elastyczne, jak i cząsteczek powstałych w wyniku nieelastycznych zderzeń jonu. Jak na pierwszy tego typu eksperyment i przybliżony charakter teorii zgodność jest satysfakcjonująca. Dr Jachymski miał wiodący wkład w modelowanie teoretyczne.

Praca [H2] zawiera również symulacje Monte Carlo polaronu, jaki może się wytworzyć w ultrazimnym gazie bozonów wokół jonu w przypadku, gdy dwuciałowy problem jon-atom posiada stan związany. W pierwszym przybliżeniu dostępne atomy zapełniają ten stan związany. W przybliżeniu pola średniego maksymalna liczba związanych tak atomów jest ograniczona przez ich wzajemne punktowe odpychanie. Przedstawione obliczenia Monte Carlo wychodzą poza opis średniopłowy, uwzględniając zubożenie związanego kondensatu przez oddziaływanie atomów, i przewidują znaczne zmniejszenie maksymalnej liczby atomów związanych w polaronie jonowym.

Praca [H3] zawiera jeszcze inny wynik niż opisany wyżej, a mianowicie przepis na kwantowy symulator modelu Holsteina-Hubbarda, gdzie odpychające się wzajemnie cząstki (najchętniej fermiony) odkształcają sieć krystaliczną tak, że zostają ubrane w fonony, a tym samym stają się polaronami, które ewentualnie mogą łączyć się w pary, zwane bipolaronami, o małej masie efektywnej a wysokiej temperaturze kondensacji (przejścia w stan nadprzewodzący/nadciekły). Podwalinę modelu stanowią jony umieszczone w jednowymiarowej pułapce na tyle

ciasnej by uniknąć przejścia do fazy zygakowatej. Badanie małych fluktuacji efektywnie klasycznych jonów pozwala znaleźć mody normalne czyli fononowe. Realistyczny opis oddziaływania jonów z atomami pozwala uzupełnić hamiltonian do modelu Holsteina-Hubbarda. Jest to ciekawy przykład kwantowego symulatora, który wart byłby realizacji doświadczalnej.

Podsumowując, po pierwsze dr Jachymski jest ekspertem jeśli chodzi o opis oddziaływań atomów i cząsteczek. Po drugie opanował szeroki wachlarz metod analitycznych i numerycznych, które potrafi bardzo elastycznie i z wyczuciem stosować do najprzeróżniejszych zagadnień istotnych z punktu widzenia aktualnych eksperymentów. Po trzecie wszystkie analizy prowadzi ze znakomitym zrozumieniem realiów eksperymentalnych. Ta precyzja co najmniej raz została nagrodzona współtworzeniem nowatorskiego eksperymentu, co jest w jego dziedzinie badań najbardziej obiektywnym wyznacznikiem sukcesu.

#### *Dorobek dydaktyczny i organizacyjny*

Pan doktor Krzysztof Jachymski był opiekunem dwóch prac licencjackich (w Warszawie i Stuttgarcie), a także jednej pracy magisterskiej na Uniwersytecie w Kolonii. Oprócz wczesnych doświadczeń dydaktycznych, które zdobył jako doktorant na UW, w Stuttgarcie współprowadził z prof. Marią Daghofer ćwiczenia i wykład z zaawansowanej mechaniki kwantowej, a także samodzielnie seminarium studenckie na temat ultrazimnych gazów atomowych. Następnie w Kolonii prowadził ćwiczenia do wykładu o przetwarzaniu informacji kwantowej. Są to bardzo solidne doświadczenia edukacyjne. Od czasu do czasu dr Jachymski wychodził poza sztywne akademickie ramy na przykład popularyzując fizykę kwantową wśród łódzkich licealistów lub warszawskich miłośników nanorurek. Ten dorobek wskazuje, że habilitant jest jak najbardziej predestynowany do pracy zarówno z młodszą jak i nieco starszą młodzieżą.

Według deklaracji habilitanta jest on aktywnym recenzentem w czasopiśmie naukowych z najwyższej półki, dla których wykonał około 30 recenzji. Po części do dorobku organizacyjnego można przypisać także kierowanie kilkoma projektami badawczymi: od PRELUDIUM w fazie doktoratu, poprzez „Polskie powroty” po powrocie na UW, po uzyskany niedawno grant OPUS.

#### *Podsumowanie*

Dr Krzysztof Jachymski przedstawił spójną tematycznie serię prac na temat inżynierii kwantowej ultrazimnych układów atomowych. Dowodzi ona niezwyklej kompetencji badacza, którego wysiłki zostały uwieńczone sukcesem w postaci bardzo istotnego wkładu w przeprowadzenie nowatorskiego eksperymentu. Główne wyniki zostały przedstawione klarownie. W prezentacji daje się wyczuć entuzjazm i pasję badawczą, którą habilitant powinien mieć możliwość zarażać swoich podopiecznych doktorantów. Nie mam najmniejszych wątpliwości, że dr Jachymski w zupełności zasługuje na przyznanie stopnia doktora habilitowanego i z przyjemnością rekomenduję komisji habilitacyjnej nadanie mu tej godności.

Z wyrazami szacunku,

Jacek Dziarmaga

