

Wacław Typpa

Recenzja pracy doktorskiej magistra Krzysztofa Jachymskiego pod tytułem : **"Quantum control of collisional properties of ultracold atoms and molecules"**.

Praca doktorska magistra Krzysztofa Jachymskiego liczy około 100 stron, składa się z 5 rozdziałów. Została napisana w języku angielskim. Czyta się ją bardzo dobrze i tylko niekiedy natykamy się na pewne niezręczności językowe.

Pierwszy rozdział został poświęcony wprowadzeniu do problematyki zimnych zderzeń. Wykład jest napisany bardzo ładnie. Starając się czytać ten rozdział jakbym sam o zagadnieniu wiedział bardzo mało (a nie jest to bardzo dalekie od prawdy), zabrakło mi dostatecznie elementarnego wytłumaczenia takich pojęć jak kanał, w tym otwarty i zamknięty, czy istotnego dla pracy pojęcia zderzeń reaktywnych.

Zimne zderzenia stanowią bardzo ważny element fizyki zimnych gazów kwantowych. Tylko dzięki takim zderzeniom możliwe jest efektywne chłodzenie takiego gazu do nanokelwinowych temperatur. Elementarna, powszechnie znana teoria, dotyczy prostych zderzeń elastycznych, a w szczególności gdy dominują krótkozasięgowe oddziaływania van der Waalsa, które z powodzeniem można zastąpić pseudopotencjałem kontaktowym i opisać tylko jednym parametrem - długością rozpraszania. Problem się komplikuje, gdy mamy do czynienia ze zderzeniami w obecności zewnętrznych pól - ważny jest tu przykład rezonansów Feshbacha, których poprawny opis wymaga uwzględnienia co najmniej dwu kanałów. Inne, ważne komplikacje wynikają z obecności oddziaływań długozasięgowych, takich jak oddziaływania dipolowe. Dla obojętnych atomów chodzi o oddziaływania magnetyczne, a w obecności zewnętrznych pól elektrycznych i w przypadku zderzeń cząsteczek heteronuklearnych lub atomów w stanie Rydberga także, o znacznie silniejsze, oddziaływania dipolowe elektryczne. W doświadczeniach z gazami kwantowymi atomy i cząsteczki zderzają się w pułapkach magnetycznych lub w pułapkach optycznych, a nie w pustej przestrzeni. Komplikuje to sytuację zwłaszcza wówczas, gdy pułapka jest bardzo asymetryczna, drastycznie ograniczając ruch atomów w jednym lub dwu wymiarach.

Trzeba podkreślić, że nie są możliwe rachunki *ab initio* w przypadku interesujących nas zderzeń. Tym większe znaczenie rachunków przybliżonych. Szczególny walor mają tu metody uzależniające badane amplitudy rozpraszania od możliwie małej liczby dostępnych pomiarowi parametrów, takich jak na przykład prawdopodobieństwo reakcji chemicznej (owe reaktywne zderzenia), gdy nadlatująca cząstka przeniknie w bezpośrednie pobliże drugiej.

Przedstawiona praca doktorska magistra Jachymskiego opisuje istotne wyniki dotyczące zderzeń we wszystkich wymienionych powyżej złożonych sytuacjach, budując właśnie relacje pomiędzy amplitudami rozpraszania, a dobrze określonymi parametrami oddziaływania. Dyskusji tych różnych przypadków poświęcone są rozdziały II i III. W rozdziale drugim najbardziej podobało mi się roważenie rezonansów Feshbacha w przypadku pułapki (anharmonicznej), która nie pozwala na wydzielenie ruchu środka masy.

Spośród plejady istotnych wyników, które zostały opublikowane w 10 zbiorowych publikacjach w renomowanych czasopismach (Physical Review Letters, New Journal of Physics, Physical Review A, Journal of Chemical Physics), moim zdaniem, na szczególne wyróżnienie zasługuje opis zderzeń reaktywnych w wielce nieizotropowych pułapkach (rozdział III). Dynamika zostaje wówczas zredukowana do dwu lub nawet jednego wymiaru. Ten ważny doświadczalnie problem najbardziej odbiega bowiem od konwencjonalnej teorii rozpraszania.

Dwa ostatnie rozdziały są nieco inne. Można powiedzieć, że opisują zastosowania rozwiniętej wcześniej teorii. Rozdział IV poświęcono tak zwanej jonizacji Penninga. Jest to nieelastyczny proces zderzeniowy, w wyniku którego jedna ze zderzających się cząstek zostaje pozbawiona elektronu. Takie doświadczenia wykonywane są zwykle z udziałem atomów helu we wzbudzonym stanie metastabilnym. Stosując rozwinięte w rozdziale pierwszym metody uzyskano zadowalający opis niedawnych doświadczeń z jonizacją Penninga w zderzeniach z atomami argonu. Znacznie trudniej opisać jonizację Penninga z udziałem cząsteczek. Należy bowiem uwzględnić złożoną strukturę ich widma energetycznego. Obliczenia wchodzą wówczas wyraźnie w obszar chemii kwantowej. Dla zderzeń z amoniakiem udało się uzyskać dobrą zgodność z doświadczeniem, choć, jak wynika z opisu rysunku 4.4, wymagało to przeskalowania wyników doświadczalnych, bowiem w doświadczeniu nie zmierzono bezwzględnej wydajności reakcji.

W rozdziale V przedstawiono, powiązany ze zderzeniową tematyką pracy, pomysł elementarnej bramki potencjalnego komputera kwantowego opartego na dwu identycznych fermionach o dwu dostępnych stanach spinowych, umieszczonych w bardzo głębokiej jamie potencjalnej pułapki. Zakłada się, że w konfiguracji pary jam, odległość między nimi jest znacznie mniejsza niż długość fali stosowanego światła. W takiej konfiguracji nie ma mowy o oddzielnych pomiarach pojedynczych atomów. Okazuje się jednak, że nie jest to potrzebne. Istotnym elementem pracy jest ścisłe rozwiązanie równania Schrödingera dla owych dwu atomów z uwzględnieniem możliwości ich "sklejenia" w cząsteczkę. Zdolność do takiego sklejenia zależy od natężenia zewnętrznego pola

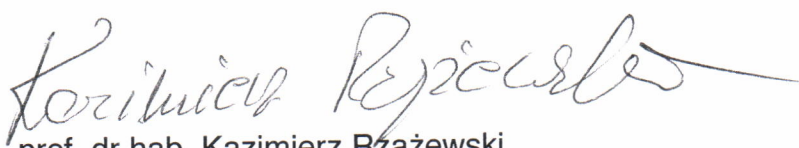
magnetycznego, które przy określonej wartości generuje rezonans Feshbacha. To właśnie element kontroli takiej bramki. Idea wydaje mi się świeża i interesująca, choć należę do sceptyków co do realności zbudowania w przewidywalnej przyszłości użytecznego uniwersalnego komputera kwantowego (nie mówię tu o kwantowych symulatorach).

Przedstawiona do oceny praca doktorska zawiera wiele ważnych wyników. Imponująca bibliografia świadczy o erudycji autora. Bardzo wcześnie zdobył znaczącą pozycję międzynarodową.

Należy podkreślić, że zbiorowe prace, których magister Jachymski jest współautorem, a których imponujące wyniki złożyły się na ocenianą pracę doktorską, oprócz, co zrozumiałe, promotora Zbigniewa Idziaszka, często powstały także z udziałem Paula Julianne'a z NISTu, niewątpliwie najwybitniejszego specjalisty w dziedzinie zimnych zderzeń. Oznacza to, w szczególności, że magister Jachymski przeszedł przez najlepszą z możliwych szkół.

Nie tylko ważkość przedstawionych w pracy doktorskiej wyników, ale także dojrzały sposób ich przedstawienia zasługują na uwagę i uznanie.

Stawiam wniosek o dopuszczenie magistra Jachymskiego do publicznej obrony i wnioskuję o wyróżnienie jego doktoratu.


prof. dr hab. Kazimierz Rzążewski

Warszawa, 18 maja 2015 roku.