

Streszczenie pracy “Kwantowa kontrola własności zderzeniowych ultrazimnych atomów i cząsteczek”

Głównym problemem badanym w pracy jest teoretyczny opis ultrazimnych zderzeń atomów i cząsteczek. Najważniejszym celem było opracowanie możliwie prostego modelu mogącego opisywać jak najszerszą klasę układów. Pod uwagę wzięte zostały reakcje chemiczne, rezonanse Feshbacha oraz zderzenia zachodzące w ciasnych pułapkach o różnym kształcie. Do stworzenia odpowiednio ogólnego modelu użyto teorii defektu kwantowego.

We wstępie zamieszczono krótkie wprowadzenie do zagadnień fizyki ultrazimnych gazów kwantowych ważnych w kontekście pracy oraz do idei na bazie których powstała teoria defektu kwantowego. Pierwszy rozdział zawiera zastosowanie tej teorii do problemu nieelastycznego rozpraszania cząstek oddziałujących na dużych odległościach izotropowym potencjałem typu $1/r^n$. Wyprowadzono analityczne wzory na stałe szybkości zderzeń elastycznych i reaktywnych dla bardzo niskich energii zderzeń. Pokazano, że dla większych energii wystąpić mogą rezonanse kształtu, przez które reaktywność układu może wzrosnąć znacznie powyżej oczekiwań bazujących na przybliżeniu klasycznym.

Rozdział drugi podejmuje problem rezonansów Feshbacha, które zachodzą na skutek sprzężeń ze stanami związanymi w zamkniętych kanałach rozpraszania. Większość istniejących modeli rezonansów Feshbacha koncentruje się na przypadku jednego izolowanego rezonansu. Dzięki zastosowaniu formalizmu teorii defektu kwantowego udało się opisać przypadek wielu przekrywających się rezonansów i wyprowadzić analitycznie wzór opisujący długość rozpraszania w ogólnym przypadku. W drugiej części rozdziału przedyskutowano opis rezonansu Feshbacha zachodzącego pomiędzy cząstkami umieszczonymi w pułapce. Szczególną wagę przywiązano do przypadku, w którym kształt pułapki nie pozwalała na rozdzielenie zmiennych na ruch względny i środka masy.

W rozdziale trzecim kontynuowany jest temat zderzeń w pułapkach, skupiając się na reakcjach chemicznych zachodzących w pułapce anizotropowej, która zmniejsza wymiarowość układu. W przypadku, gdy charakterystyczna dla pułapki skala długości jest znacznie większa od typowych skal długości oddziaływania można w prosty sposób zaadaptować model opisany w rozdziale pierwszym i uzyskać wzory na stałe szybkości reakcji w przypadkach quasi-jedno- i quasi-dwuwymiarowym. Używając wyprowadzonych wzorów, zanalizowano wyniki eksperymentu przeprowadzonego w Ulm w grupie prof. Johannesesa Denschlaga, w którym badane były zderzenia cząsteczek $^3\Sigma\text{Rb}_2$ w ciasnej, anizotropowej pułapce. Ostatnia część rozdziału poświęcona jest problemowi reaktywnych zderzeń cząstek oddziałujących potencjałem dipol-dipol w quasi-jednowymiarowej pułapce. W tym przypadku pojawia się kolejna charakterystyczna skala długości i problem staje się zbyt skomplikowany, by rozwiązać go analitycznie. Wyniki numeryczne można jednak zrozumieć na gruncie prostych przybliżeń, takich jak przybliżenie Borna dla zderzeń elastycznych lub przybliżenie adiabatyczne dla reaktywnych.

Dwa ostatnie rozdziały mają charakter bardziej aplikacyjny. Rozdział czwarty skupia się na zastosowaniu modelu wprowadzonego w rozdziale pierwszym do zrozumienia wyników eksperymentów badających jonizację Penninga przeprowadzonych przy użyciu techniki połączonych wiązek molekularnych. W celu uzyskania zgodności z ekspery-

tem model został rozszerzony do przypadku bardziej skomplikowanych potencjałów oddziaływania i wielu możliwych produktów reakcji.

W rozdziale piątym zaproponowano nowy schemat implementacji bramek kwantowych przy pomocy neutralnych atomów. Przedstawione rozwiązanie polega na użyciu dwóch fermionów umieszczonych w bardzo silnym potencjale pułapkującym w kształcie podwójnej studni. Takie pułapki można zrealizować przy użyciu nanostruktur plazmonicznych. Obecnie znane techniki eksperymentalne nie pozwalają na kontrolę pojedynczych cząstek w tak ciasnej pułapce. Źródłem kontroli w opisanym przypadku jest zamiast tego rezonans Feshbacha, który pozwala efektywnie wyeliminować część stanów z dynamiki układu. Użycie metod optymalnej kontroli pozwala w tym przypadku na uzyskanie czasów jednej operacji o rząd wielkości krótszych niż w do tej pory proponowanych schematach obliczeń kwantowych z zimnymi atomami.

Na końcu pracy zamieszczono krótkie podsumowanie wyników.