

Chłodzenie i dynamika wieloatomowych jonów molekularnych zanurzonych w ultrazimnych gazach atomowych

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Michał Tomza

I. CEL PROWADZONYCH BADAŃ

Postęp technik laserowych oraz chłodzenia umożliwił w przeciągu ostatnich kilkunastu lat dynamiczny rozwój badań nad materią w ultraniskich temperaturach, czyli poniżej 1 miliKelvina. Po spektakularnych sukcesach w dziedzinie ultrazimnych atomów – otrzymaniu kondensatów Bosego-Einsteina oraz zdegenerowanych gazów Fermiego – środowisko naukowe zwróciło swoją uwagę z jednej strony w kierunku badań nad gazami ultrazimnych cząsteczek, a z drugiej strony w kierunku hybrydowych układów jonów atomowych zanurzonych w ultrazimnych gazach atomowych. W tym projekcie połączymy te dwa nowe kierunki badań.

Celem projektu jest zaproponowanie oraz teoretyczne zbadanie właściwości, oddziaływań, dynamiki oraz potencjalnych zastosowań wieloatomowych jonów molekularnych zanurzonych w ultrazimnych gazach atomowych. Jony molekularne mogą być schwyte w pułapce Paula lub po wstępnym schłodzeniu w pułapce dipolowej, a następnie zanurzone w schłodzonym do temperatury poniżej $1\ \mu\text{K}$ w pułapce dipolowej gazie atomów metali alkalicznych lub ziem alkalicznych. Pierwsze pytanie, na które odpowiemy, dotyczy tego co się stanie z jonami molekularnymi po zanurzeniu ich w ultrazimnym gazie atomów. Zbadamy czy w wyniku oddziaływania z zimnym gazem ruch translacyjny i rotacyjny jonów zostanie schłodzony, oraz jakie warunki muszą zostać spełnione aby chłodzenie było efektywne. Następnie zbadamy oddziaływania i zderzenia zimnych jonów molekularnych z zimnymi atomami oraz możliwości realizacji w badanych układach ultrazimnych reakcji chemicznych kontrolowanych zewnętrznymi polami laserowym oraz magnetycznym. Na końcu proponujemy wykorzystanie zbadanych układów w dokładnych pomiarach spektroskopowych.

II. OPIS BADAŃ

Pierwszym krokiem będzie zbadanie struktury elektronowej jonów wieloatomowych, skupiając się na sztywnych liniowych anionach, oraz wybranie najbardziej obiecujących układów do dalszych badań. Wykorzystując zaawansowane metody chemii kwantowej, obliczymy potencjały oddziaływania kilkunastu wybranych jonów z metalami alkalicznymi oraz ziem alkalicznych. Pozwoli to scharakteryzować i zrozumieć oddziaływania w badanych układach. Następnie, otrzymane potencjały oddziaływania wykorzystamy w obliczeniach rozproszonych. Zimne zderzenia elastyczne i nieelastyczne oraz reakcje chemiczne pomiędzy jonami molekularnymi oraz atomami zostaną zbadane w zależności od temperatury zderzenia, struktury i stanu kwantowego jonu oraz atomu. Porównanie prawdopodobieństw zderzeń elastycznych i nieelastycznych pozwoli scharakteryzować proces chłodzenia jonów. Zbadamy wpływ pól laserowego i magnetycznego na zderzenia elastyczne, reakcje chemiczne oraz proces chłodzenia. Zaproponujemy nowe schematy kontroli zimnych reakcji chemicznych. Wpływ jonów molekularnych na kondensat Bosego-Einsteina lub gaz Fermiego zbadamy przy wykorzystaniu kwantowej teorii wielu ciał. Zrozumienie badanych układów pozwoli zaproponować nowe dokładne pomiary spektroskopowe, które będą komplementarne do rozwiniętej teorii.

III. MOTYWACJA

Jony molekularne są ważne w wielu dziedzinach chemii, od syntezy organicznej po astrochemię. Wykorzystanie wieloatomowych cząsteczek i jonów molekularnych jest też kierunkiem, w którym w najbliższych latach podążać będą badania nad ultrazimną materią. Badanie zimnych zderzeń oraz reakcji chemicznych na najbardziej elementarnym kwantowym poziomie przyniesie znaczące pogłębienie zrozumienia fizycznych podstaw chemii, a dokładne pomiary spektroskopowe zimnych jonów molekularnych pozwolą lepiej zrozumieć strukturę cząsteczek. Jednocześnie jednak wiedza na temat właściwości i dynamiki wieloatomowych jonów zanurzonych w ultrazimnych gazach atomów jest obecnie znikoma, co znacząco ogranicza tempo prac eksperymentalnych nad tego typu układami. Dlatego, poza chęcią zrozumienia zaproponowanych układów interesujących z fundamentalnego punktu widzenia, ważnym celem projektu jest także zbadanie i zaproponowanie optymalnych i interesujących ścieżek realizacji nowych eksperymentów nad ultrazimnymi jonami molekularnymi.