

# Ultrazimne cząsteczki wieloatomowe: tworzenie, dynamika, zastosowania

## Popularnonaukowe streszczenie projektu

Michał Tomza

### I. CEL PROWADZONYCH BADAŃ

Postęp technik chłodzenia oraz pułapkowania umożliwił w przeciągu ostatnich kilku dekad dynamiczny rozwój badań nad materią w ultraniskich temperaturach, czyli temperaturach poniżej 1 milikelvina. Zimne i ultrazimne układy przyciągają uwagę badaczy, ponieważ kwantowa natura świata wyraźnie ujawnia się w takich warunkach, i badania nad takimi układami dają nowy wgląd w kwantową teorię materii oraz oddziaływań pomiędzy materią i światłem. Po spektakularnych sukcesach w dziedzinie ultrazimnych atomów – otrzymaniu kondensatów Bosego-Einsteina oraz zdegenerowanych gazów Fermiego – środowisko naukowe zwróciło swoją uwagę w kierunku badań nad ultrazimnymi cząsteczkami, a w ostatnich latach podjęto pierwsze próby produkcji ultrazimnych wieloatomowych cząsteczek.

Celem projektu jest zaproponowanie oraz teoretyczne zbadanie nowych metod tworzenia, właściwości, oddziaływań, dynamiki, oraz zastosowań ultrazimnych wieloatomowych cząsteczek w badaniach podstawowych. Przypuszczamy, że nowe ultrazimne wieloatomowe cząsteczki mogą zostać wyprodukowane i mogą znaleźć wiele nowych interesujących zastosowań we współczesnej fizyce i chemii ultrazimnej materii kwantowej. Możliwe zastosowania rozciągają się od badania kontrolowanych zderzeń i reakcji chemicznych do precyzyjnych pomiarów i kwantowych symulacji zjawisk ważnych dla fizyki kilku i wielu ciał.

### II. OPIS BADAŃ

Użyjemy nowoczesnych technik *ab initio* fizyki molekularnej oraz chemii kwantowej jak również rozwiniemy i zaimplementujemy nowe koncepcje i metody. Zaczniemy od zbadania struktury elektronowej i rowibracyjnej nowych wieloatomowych cząsteczek w kontekście ich skutecznego chłodzenia laserowego oraz zastosowań w dokładnych pomiarach. Następnie, zbadamy oddziaływania międzymolekularne oraz zimne zderzenia pomiędzy wieloatomowymi cząsteczkami, skupiając się na układach ważnych dla trwających prac eksperymentalnych. Pozwoli to określić stabilność ultrazimnych gazów cząsteczek wieloatomowych oraz perspektywy chłodzenia ich przez odparowanie oraz realizacji ultrazimnych kontrolowanych reakcji chemicznych. Zbadamy również oddziaływania i zderzenia ultrazimnych wieloatomowych cząsteczek z atomami w celu określenia możliwości współchłodzenia ich przez zderzenia z ultrazimnymi atomami. Oddziaływania i zderzenia zostaną zbadane zarówno dla cząsteczek i atomów w podstawowym jak i wzbudzonych stanach elektronowych. Z drugiej strony zbadamy możliwość produkcji oraz kontroli ultrazimnych wieloatomowych cząsteczek poprzez asocjację dwuatomowych cząsteczek przy pomocy zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Zaproponujemy nowe dokładne pomiary spektroskopowe, które z jednej strony będą komplementarne do rozwiniętej teorii, a z drugiej strony pozwolą na testowanie podstawowych praw fizyki poprzez porównanie wyników pomiarów z przewidywaniami teoretycznymi, pomiar zmienności w czasie i przestrzeni fundamentalnych stałych fizycznych lub pomiar elektrycznego momentu dipolowego elektronu.

### III. MOTYWACJA

Rozważając kombinacje znanych atomów, istnieje ponad dziesięć tysięcy możliwych cząsteczek dwuatomowych, podczas gdy liczba możliwych kombinacji trójatomowych przekracza milion, a liczba izomerów cząsteczek czteroatomowych – miliarda. Niezwykła różnorodność cząsteczek wieloatomowych daje obietnicę ich fascynujących właściwości i zastosowań, co skłania do poszukiwania nowych układów, które mogą mieć właściwości odpowiednie do badań w ultrazimnych fizycznych i chemicznych eksperymentach. W tym projekcie proponujemy i zbadamy nowe ultrazimne wieloatomowe cząsteczki, które są interesujące z fundamentalnego punktu widzenia i wciąż słabo poznane. Badanie zimnych zderzeń oraz reakcji chemicznych na najbardziej elementarnym kwantowym poziomie przyniesie znaczące pogłębienie zrozumienia fizycznych podstaw chemii, a dokładne pomiary spektroskopowe ultrazimnych wieloatomowych cząsteczek pozwolą lepiej zrozumieć ich strukturę oraz mogą rzucić nowe światło na fundamentalną fizykę. Otrzymane wyniki teoretyczne posłużą zainspirowaniu, pokierowaniu oraz wyjaśnieniu trwających oraz nadchodzących eksperymentów. Podjęte wysiłki zaowocują lepszym zrozumieniem kwantowej natury świata w mikroskali, co jest ważne dla wszystkich dziedzin fizyki i chemii.