

# Ultrazimne kwantowe mieszaniny jonów z atomami, cząsteczkami i atomami rydbergowskimi: nowe hybrydowe układy i zastosowania

## Popularnonaukowe streszczenie projektu

Michał Tomza

### I. CEL PROWADZONYCH BADAŃ

Zimne i ultrazimne układy przyciągają uwagę badaczy, ponieważ kwantowa natura świata wyraźnie ujawnia się w ultraniskich temperaturach, czyli temperaturach poniżej 1 milikelwina, i badania nad takimi układami dają nowy wgląd w kwantową teorię materii oraz oddziaływań pomiędzy materią i światłem. Ultrazimne gazy są również doskonałymi układami do inżynierii nietrywialnych stanów materii, ponieważ pozwalają przygotować, kontrolować oraz mierzyć z wielką dokładnością silnie oddziałujące układy kwantowe. Postęp technik laserowych oraz chłodzenia umożliwił w ciągu ostatnich kilkunastu lat dynamiczny rozwój badań nad ultrazimnymi gazami kwantowymi. Po spektakularnych sukcesach w dziedzinie ultrazimnych atomów, środowisko naukowe zwróciło ostatnio swoją uwagę w kierunku badań nad ultrazimnymi cząsteczkami, atomami rydbergowskimi i jonami oraz ich mieszaninami z ultrazimnymi atomami.

Celem projektu jest zaproponowanie nowych hybrydowych układów opartych o ultrazimne kwantowe mieszaniny jonów atomowych z atomami, cząsteczkami i atomami rydbergowskimi, oraz teoretyczne zbadanie ich właściwości, oddziaływań, dynamiki oraz możliwych zastosowań w badaniach podstawowych. Przypuszczamy, że takie kwantowe mieszaniny mogą znaleźć wiele interesujących zastosowań we współczesnej fizyce i chemii ultrazimnej kwantowej materii. Możliwe zastosowania rozciągają się od badania reakcji chemicznych i produkcji jonów molekularnych do kwantowych symulacji zjawisk ważnych dla fizyki kilku i wielu ciał. Można również zaproponować wiele nowych sposobów inżynierii właściwości tych układów.

### II. OPIS BADAŃ

Użyjemy nowoczesnych technik *ab initio* chemii kwantowej oraz fizyki molekularnej oraz rozwiniemy i zaimplementujemy nowe koncepcje i metody. Zacznijemy od zbadania struktury elektronowej oraz zimnych zderzeń pomiędzy jonami atomowymi i atomami, skupiając się na układach ważnych dla trwających prac eksperymentalnych. Otrzymane dane struktury elektronowej użyjemy do zbadania selektywnego tworzenia oraz kontroli dwuatomowych jonów molekularnych z użyciem pól magnetycznego oraz laserowego. Zaproponujemy nowe wydajne ścieżki tworzenia, używając zarówno fotoasocjacji jak i magnetoasocjacji. Pokażemy w jaki sposób pola zewnętrzne mogą być użyte do kontroli zimnych zderzeń i tworzenia jonów molekularnych. Zbadamy oddziaływania i reakcje chemiczne dwudodatnich jonów ziem alkalicznych zanurzonych w ultrazimnych kwantowych gazach atomowych. Scharakteryzujemy energetykę oraz kanały reakcji chemicznych w jonowych trójatomowych układach. Zbadamy oddziaływania, zimne zderzenia oraz reakcje chemiczne jonów atomowych z dwuatomowymi cząsteczkami oraz dwuatomowych jonów molekularnych z atomami. Przystudiujemy także słabo związane jonowe trójatomowe układy, w których jon atomowy jest zanurzony w ultrazimnym gazie cząsteczek Feshbacha. Zbadamy nowe hybrydowe układy jonów atomowych z atomami rydbergowskimi oraz wzbudzenia rydbergowskie w jonach atomowych i molekularnych. Ostatnia część projektu będzie poświęcona wielociałowej fizyce jonu atomowego spulapkowanego razem z fermionowymi atomami w jedno- i trójwymiarowej pułapce harmoniczej. Zaproponujemy także nowe zastosowania jonów atomowych w pomiarach kwantowych i próbkowaniu właściwości ultrazimnych gazów.

### III. MOTYWACJA

Hybrydowe układy schłodzonych jonów oraz atomów, połączone w jednym eksperymencie, stały się w ostatnich latach nowym narzędziem do badań podstawowych w kwantowej fizyce i chemii. Układy te łączą najlepsze cechy dwóch rozwiniętych dziedzin: spulapkowanych jonów oraz ultrazimnych atomów. W tym projekcie zbadamy mieszaniny jonów atomowych z atomami, cząsteczkami i atomami rydbergowskimi - układy interesujące z fundamentalnego punktu widzenia i wciąż słabo poznane. Szczegółowa wiedza o zimnych oddziaływaniach, zderzeniach, reakcjach chemicznych i wpływie pól zewnętrznych w tych układach przyniesie nowe sposoby inżynierii ultrazimnych kontrolowanych układów jonowo-neutralnych oraz ich zastosowania w badaniu różnych zjawisk kwantowych. Otrzymane wyniki teoretyczne posłużą wyjaśnieniu, pokierowaniu oraz zainspirowaniu trwających oraz nadchodzących eksperymentów. Podjęte wysiłki zaowocują lepszym zrozumieniem kwantowej natury świata w mikroskali, co jest ważne dla wszystkich dziedzin fizyki i chemii.