

dr hab. Wojciech Szajna, prof. UR
Uniwersytet Rzeszowski
Instytut Nauk Fizycznych
Katedra Badań Materiałowych i Spektroskopowych
ul. Pigonia 1, 35-310 Rzeszów
e-mail: wszajna@ur.edu.pl

Rzeszów, 08.04.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Autor: **Koray Dinçer**
Afiliacja: Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Tytuł: **Observation of 'Missing' Vibrational Levels and Extending Photoassociation Spectra of Excited Ultracold Cesium Dimers**
Promotorzy: prof. dr. hab. Paweł Kowalczyk, Uniwersytet Warszawski
dr. Mariusz Semczuk, Uniwersytet Warszawski

Przedstawiona do recenzji dysertacja autorstwa mgr. Koraya Dinçera ma charakter doświadczalny. Przedmiotem zrealizowanych badań było udoskonalenie technik eksperymentalnych spektroskopii fotoasocjacyjnej ultrazimnych cząsteczek cezu (Cs_2) w celu pierwszej poprawnej obserwacji dwóch „brakujących” najniższych położonych poziomów oscylacyjnych w zewnętrznej długozasięgowej części potencjału cząsteczkowego stanu $0_g^-(P_{3/2})$. Dostarczenie nowych wyników w znacznym stopniu uzupełniło dane niezbędne do właściwego numerycznego opisu potencjału tego stanu [Bouloufa et al. *Phys. Rev. A*, 75:052501 (2007)] oraz pozwoliło na krytyczną weryfikację wyników poprzednich prac eksperymentalnych [Zhang et al. *Phys. Rev. A*, 87: 030503 (2013); Ma et al. *J. Chem. Phys.*, 141: 244310 (2014)]. Jako uzupełnienie badań nad stanem $0_g^-(P_{3/2})$, ten sam układ doświadczalny został wykorzystany do rozszerzenia zakresu zaobserwowanych poziomów oscylacyjnych w stanach $0_u^+(P_{3/2})$ oraz $1_g(P_{3/2})$ do 300 cm^{-1} poniżej wspólnej ze stanem $0_g^-(P_{3/2})$ asymptoty ($6S_{1/2} + 6P_{3/2}$).

Zarówno tematyka podjętych przez Doktoranta badań oraz zastosowany warsztat eksperymentalny sytuują się w ważnych światowych trendach badawczych nad fizyką ultrazimnych atomów i molekuł. Rola atomów i dimerów metali alkalicznych jest w tym obszarze niezwykle istotna oraz bardzo dobrze ugruntowana. Nie ulega wątpliwości, że mam do czynienia z dysertacją przynoszącą wartościowe rezultaty dla dimeru Cs_2 , a zarazem z pracą o ogromnym potencjale aplikacyjnym do innych molekuł zawierających atomy metali alkalicznych.

Od strony formalnej: i) przygotowana przez Doktoranta rozprawa została napisana w języku angielskim; ii) liczy 165 stron i składa się z sześciu głównych, numerowanych rozdziałów z treścią; iii) całość poprzedzona jest dwoma streszczeniami (w języku angielskim oraz polskim) i uzupełniona wykazem bibliografii (253 pozycje). Użycie przez Autora języka angielskiego, który nie jest dla niego językiem ojczystym, nie nastręcza polskojęzycznemu czytelnikowi trudności w zrozumieniu opracowanych przez Doktoranta treści. Nie jestem osobą zawodowo zajmującą się proofreadingiem, nie znalazłem więc w tekście pracy istotnych błędów językowych.

Jak przystało na dobrą monografię o tematyce doświadczalnej – ten aspekt stanowi dominującą objętościowo i znaczeniowo część dysertacji. Poczynając od krótkiego przeglądu podstawowych

technik laserowego schładzania atomów (Rozdział 2), poprzez uzyskiwanie ultrazimnych molekuł (Rozdział 3.1) na bardzo szczegółowym opisie elementów układu pomiarowego oraz przeprowadzonych przez Doktoranta testów i eksperymentów kończąc (Rozdział 4). Ten wymiar dysertacji oceniam bardzo wysoko. Pomimo swojej obszerności Rozdział 4 czyta się bardzo dobrze. W tym miejscu należy wskazać klarowny sposób prezentowania przez Autora szczegółów technicznych oraz zawiłości eksperymentalnych. Liczne elementy graficzne (schematy, wykresy, ...) niewątpliwie podnoszą stronę wizualną pracy, a przede wszystkim dają czytelnikowi jaśniejszy obraz opisywanych przez Doktoranta treści.

Nie sposób w krótkiej recenzji podjąć się szczegółowego komentowania zasadności oraz formy prezentowania wszystkich podejmowanych w tej części rozprawy zagadnień. Jakakolwiek próba sprowadzałaby się w istocie do powielania bardzo szczegółowego opisu zaprezentowanego już przez samego Doktoranta. Warto jednak wskazać na celowość zastosowania specjalnie zaprojektowanego optycznego grzebienia częstości (OFC, *optical frequency comb*) w celu zwiększenia dokładności wyznaczania częstości laserów fotoasocjacyjnych, a co za tym idzie, dokładności pomiarów fotoasocjacji (Rozdział 4.6.2). Standardowa technika obserwacji „zdudnień” pomiędzy ustabilizowanymi częstościami grzebienia, a częstością badanego lasera pozwoliła na uzyskanie dokładności częstotliwości lasera na poziomie ok. 9 kHz, znacznie przewyższając dokładność pomiaru falomierzem (60 MHz). Jak się okazało, miało to istotne znaczenie w spektroskopii fotoasocjacyjnej cząsteczki Cs_2 w stanie $0_g^-(P_{3/2})$ (Rozdział 5.6).

W mojej ocenie opis zawarty w Rozdziale 4 jest kompletny, przejrzysty i w pełni uzasadniony. Autor z dużą biegłością prezentuje kolejne szczegóły eksperymentalne. Tym samym dobitnie dokumentuje swoje działania zmierzające do rozwiązania istotnego problemu badawczego, jakim było rozwinięcie technik fotoasocjacyjnego chłodzenia Cs_2 z użyciem aparatury zaprojektowanej pierwotnie do wytwarzania ultrazimnych cząsteczek KCs w różnych odmianach izotopowych. To planowane działanie prowadzące do znacznego rozszerzenia obszaru stosowania posiadanego układu pomiarowego - obecnie dla dimeru Cs_2 , zaś w planowanej przyszłości dla cząsteczek KAg oraz $CsAg$ - jest szczególnie ważne. Uniwersalizm posiadanej bazy sprzętowej to jej wielka zaleta, a zarazem cel wszystkich badaczy parających się fizyką eksperymentalną.

W podobnym eksperymentalnym duchu został zredagowany przez Doktoranta Rozdział 5, opisujący jego główne osiągnięcie badawcze. W pierwszej części (Rozdziały 5.1-5.4) Autor koncentruje się wokół opisu przeprowadzonych przez siebie procedur doświadczalnych podjętych w celu uzyskania wydajnego procesu fotoasocjacyjnego chłodzenia dimerów cezu. Choć jak sam wskazuje pierwotnie celem było badanie cząsteczek KCs w stanach wzbudzonych. Zwraca uwagę konsekwentne dążenie Doktoranta do wyjaśnienia istniejących w literaturze rozbieżności dotyczących jednoznacznej identyfikacji najniższych poziomów oscylacyjnych, $v = 0$ oraz $v = 1$, w zewnętrznym minimum stanu $0_g^-(P_{3/2})$ molekuly Cs_2 . Jak sam wskazuje, do chwili podjęcia przez niego badań rozbieżności te nie doczekały się satysfakcjonującego wyjaśnienia.

Realizacja założonych celów wymagała od Doktoranta kolejnych kroków optymalizujących warunki doświadczalne min.: wstępnej oceny wydajności fotoasocjacji cząsteczek Cs_2 w pułapce magneto-optycznej (MOT, *magneto-optical-trap*) oraz zabiegów zapewniających utrzymanie odpowiedniej polaryzacji spinowej atomów cezu w pułapce dipolowej. Zwieńczeniem tych zabiegów stało się zwiększenie (wzmocnienie) szybkości fotoasocjacji Cs_2 poprzez zastosowanie optycznej siatki dipolowej oraz wykorzystanie rezonansów Feshbacha (FOPA, *Feshbach-optimized photoassociation*) w odpowiednio dobranych polach magnetycznych.

Kolejne dwa rozdziały przynoszą analizę uzyskanych wyników dla stanów $0_u^+(P_{3/2})$ i $1_g(P_{3/2})$ (Rozdział 5.5) oraz stanu $0_g^-(P_{3/2})$ (Rozdział 5.6) cząsteczki Cs_2 . Dla stanów $0_u^+(P_{3/2})$ i $1_g(P_{3/2})$

wyznaczono energie dla poziomów oscylacyjnych w zakresie do 300 cm^{-1} poniżej poziomu dysocjacji, podczas gdy wcześniejsze prace pokrywały obszar do -120 cm^{-1} . Wykazano również jednoznacznie, że dwa poziomy oscylacyjne zidentyfikowane we wcześniejszych pracach eksperymentalnych [Zhang et al. *Phys. Rev. A*, 87: 030503 (2013); Ma et al. *J. Chem. Phys.*, 141: 244310 (2014)] jako najniżej leżące w zewnętrznym minimum stanu $0_g^-(P_{3/2})$ w istocie należą do stanu $0_u^+(P_{3/2})$ (Figure 5.14). Dla kolejnego stanu $0_g^-(P_{3/2})$ po raz pierwszy wyznaczono poprawne położenia poziomów oscylacyjnych $v = 0$ oraz $v = 1$.

Omówione powyżej w recenzji wyniki eksperymentalnie nie wyczerpują wszystkich dokonań Doktoranta. Na uwagę zasługuje ponadto min.: analiza efektu predysocjacji w stanach $0_u^+(P_{3/2})$ i $1_g(P_{3/2})$ obserwowanego na podstawie poszerzenia profili widmowych, analiza i wyznaczenie krzywych potencjalnych dla stanów elektronowych będących przedmiotem obserwacji oraz nowa identyfikacja (numeracja) poziomów rotacyjnych dla $v = 0$ oraz $v = 1$ stanu $0_g^-(P_{3/2})$.

Doktorant zrealizował oryginalny projekt badawczy wypełniając założone cele prac podejmowanych w ramach dysertacji. Wyniki swoich badań odniósł do aktualnych rezultatów innych prac doświadczalnych. Przedstawione w dysertacji liczne odniesienia literaturowe jednoznacznie uzasadniają i potwierdzają wartość uzyskanych przez Doktoranta wyników i wskazują na dobrą orientację Doktoranta w obecnym stanie zarówno teoretycznych jak i praktycznych badań w dziedzinie będącej przedmiotem dysertacji. Należy podkreślić, że przeprowadzenie prac badawczych wymagało od Doktoranta nie tylko obszernej wiedzy z zakresu teoretycznych podstaw uzyskiwania ultrazimnych molekuł, ale także wysokich umiejętności praktycznych. Niebagatelna też jest zdolność Doktoranta do sprawnego łączenia współczesnych dokonań teoretycznych oraz eksperymentalnych w zastosowaniu do zagadnień spektroskopii fotoasocjacyjnej dimerów metali alkalicznych.

W mojej ocenie Doktorant jest bardzo dobrze przygotowany do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Przedstawiona przez niego dysertacja jest doskonale przygotowana i zredagowana pod względem naukowym. Tematyka pracy koncentruje się wokół wciąż „gorącego” zagadnienia eksperymentalnego z zakresu fizyki ultrazimnej materii - wnioskuje zatem o **wyróżnienie rozprawy**.

Jedynym nasuwającym się drobnym mankamentem edytorskim pracy jest umieszczenie przez Doktoranta swojego współautorskiego artykułu na pozycji [145] w ogólnym zestawieniu bibliografii. Tym samym na Recenzencie spoczywa obowiązek weryfikacji spełniania przez Doktoranta warunku opisanego w Art. 186 ust.1 pkt 3a) o posiadaniu przez kandydata do stopnia doktora, co najmniej jednego opublikowanego artykułu naukowego.

Konkluzja pozytywna

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji **rozprawa doktorska mgr. Koraya Dinçera jednoznacznie spełnia wszystkie wymagania** określone w Art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668). Wnoszę o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony** oraz o dopuszczenie Doktoranta mgr. Koraya Dinçera do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Wojciech Gajda