



Toruń, 19.12.2025

**Recenzja rozprawy doktorskiej pana Mateusza Bocheńskiego
pt. „Feshbach Spectroscopy of Potassium-Cesium Mixtures”**

W dniu 17.10.2025 r. przedłożono mi do recenzji rozprawę doktorską pana Mateusza Bocheńskiego pt. „Feshbach Spectroscopy of Potassium-Cesium Mixtures”. Rozprawa składa się z dziewięciu rozdziałów. Otwiera ją wstęp (rozdział 1) oraz dwa rozdziały omawiające strukturę atomów potasu i cezu (rozdział 2) oraz techniki chłodzenia i pułapkowania tychże atomów (rozdział 3). Rozdział 4 opisuje układ eksperymentalny użyty w raportowanych tu badaniach. Główną część pracy stanowią rozdziały 5 - 8, gdzie opisano nowe wyniki fizyczne uzyskane w ramach tego doktoratu. Rozprawę kończy rozdział 9 przedstawiający podsumowanie pracy i perspektywy.

W rozdziale 2, pan Mateusz Bocheński pokazał, że świetnie rozumie idee fizyki atomowej, struktury atomów, ich oddziaływania z polami zewnętrznymi oraz podstawy kwantowego opisu zderzeń atomowych. W rozdziale 3, wykazał się on szeroką i przekrojową wiedzą z zakresu technologii chłodzenia i pułapkowania atomów, w tym też tych najbardziej zaawansowanych takich jak *gray molasses cooling*. W rozdziale 4, opisał on najważniejsze (dla przeprowadzonych tu pomiarów) elementy układu eksperymentalnego i technologii pomiarowych. Rozdziały 5 i 6 przedstawiają oryginalne wyniki eksperymentalne nad chłodzeniem i pułapkowaniem różnych izotopów atomu potasu. W rozdziale 5 pokazano nowe podejście eksperymentalne umożliwiające chłodzenie dużej liczby atomów izotopu 40 potasu bez konieczności użycia źródła wzbogacanego izotopowo. Z kolei w rozdziale 6 zaprezentowano działanie pułapki magneto-optycznej i magnetycznej dla mieszaniny izotopów 39 i 40 potasu. W rozdziałach 7 i 8 przedstawiono pomiary rezonansów Feshbacha dla dwóch izotopologów molekuly KCs (^{39}KCs oraz ^{41}KCs). Dla izotopologu ^{39}KCs zmierzył on wiele wcześniej nieobserwowanych rezonansów Feshbacha. Dla izotopologu ^{41}KCs wykonał on pierwsze tego typu pomiary.

Rozprawę tę przeczytałem z ogromnym zainteresowaniem i satysfakcją. Pan Mateusz Bocheński wykonał ogromną pracę, przede wszystkim eksperymentalną i pomiarową. Czytanie w wielu miejscach sprawiło mi dużo przyjemności dzięki wyekstrahowaniu (w eksperymencie) prostych w interpretacji mechanizmów mechaniki kwantowej dzięki budowie niezwykle zaawansowanych technologii próżniowych, laserowych, elektronicznych, itd. Dobrym przykładem jest metoda izolowania stanów przy wykorzystaniu mechanizmu



Sterna–Gerlacha (Fig. 7.5) czy też piękne oscylacje Rabiego z Fig. 3.24., nie mówiąc o rezonansach Feshbacha z Fig. 7.6 i 8.7. Praca stymuluje wiele pytań i refleksji zarówno technicznych jak i ogólnych koncepcyjnych i czysto fizycznych. Np. odnośnie wyżej wspomnianych oscylacji Rabiego, jak bardzo niejednorodność wiązki laserowej wpływa na ich defazowanie się? Inny przykład, to czy współczynniki strat trójciałowych (równania 2.7 – 2.9) były liczone teoretycznie i jak wygląda ich porównanie z przedstawionymi w rozprawie wynikami eksperymentalnymi? (jak zależą one od temperatury próbki?) Największy jednak niedosyt odczuwam po przeczytaniu rozdziału 8. Bardzo chętnie wysłuchałbym w trakcie obrony bardziej wnikliwej dyskusji dotyczącej szczegółów obliczeń do których się odnoszono (co i jak dokładnie modyfikowano w obliczeniach po zmierzeniu rezonansu z Fig. 8.3), jak poprawione przewidywania zgadzały się kolejnymi pomiarami i jak dokładnie wyglądał cały ten proces wzajemnego wspierania się między eksperymentem i teorią.

Rozprawa obejmuje obszerny zakres materiału (zarówno ogólna wiedza teoretyczna, charakterystyka układu eksperymentalnego, szereg oryginalnych wyników eksperymentalnych, oraz ich analiza i interpretacja). Objętość 177 stron jest jak najbardziej właściwym rozmiarem dla typowych rozpraw doktorskich z fizyki. Praca od strony językowej i formalnej została napisana poprawnie (nieliczne uwagi techniczne do rysunków czy błędy językowe które udało mi się wychwycić w mojej ocenie nie są warte wspominania w recenzji). Pozytywnie oceniam fakt, że rozprawa została napisana w języku angielskim co istotnie zwiększa liczbę odbiorców. Pozytywnie oceniam bardzo obszerny i właściwie dobrany zbiór odniesień do współczesnej literatury naukowej (to pokazuje, że pan Mateusz Bocheński posiada szerokie rozeznanie i wiedzę w dziedzinie którą się zajmuję).

Silną stroną przedstawionych tu wyników jest to, że część z nich została już opublikowana w dobrych czasopismach naukowych (*Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* oraz *Optics Express*). Jasne jest dla mnie to, że wyniki jeszcze nie opublikowane (przede wszystkim wyniki z rozdziałów 7 - 8) mają potencjał do ukazania się w czasopismach jeszcze wyższej rangi. Tu należy podkreślić, że do uzyskania tych wyników należało zbudować, uruchomić i utrzymać w pracy jeden z najbardziej zaawansowanych technologicznie układów eksperymentalnych w naszym kraju, co naturalnie ogranicza szybkość generowania publikowalnych wyników.

Konkluzja

Niniejsza recenzja jednoznacznie uzasadnia stwierdzenie, że przedłożona rozprawa doktorska pana Mateusza Bocheńskiego pt. „Feshbach Spectroscopy of Potassium-Cesium Mixtures” **prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie nauk fizycznych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** Ogólna wiedza teoretyczna została zaprezentowana wprost w rozdziałach 2 i 3 oraz pośrednio poprzez jej praktyczne zastosowanie w rozdziałach 5 - 8. **Przedmiotem przedłożonej rozprawy jest oryginalne rozwiązanie szeregu nietrywialnych problemów naukowych zarówno związanych z budową zaawansowanych układów eksperymentalnych, samymi pomiarami, realizacją eksperymentów jak i analizą danych i interpretacją wyników.** W mojej ocenie, rozprawa ta spełnia wszelkie wymagania w zakresie oryginalności i jakości badań stawiane rozprawom doktorskim. **Pracę tę oceniam jednoznacznie pozytywnie i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Pan Mateusz Bocheński w ramach swojej pracy doktorskiej zaprezentował pomiary rezonansów Feshbacha dla dwóch izotopologów molekuly KCs (^{39}KCs oraz ^{41}KCs). Dla izotopologu ^{39}KCs nie tylko potwierdził kilka dotychczasowych rezonansów, ale zmierzył też wiele wcześniej nieobserwowanych. Dla izotopologu ^{41}KCs wykonał pierwsze tego typu pomiary. Szczególnie imponujący jest przeprowadzony proces poszukiwania rezonansów w ^{41}KCs oparty na silnej współpracy z grupą teoretyczną i krytyczną analizą zarówno wcześniejszych jak i współczesnych danych teoretycznych. Pokazano skuteczne wykorzystanie niezwykle zaawansowanych technologii pomiarowych do wyprodukowania mocnych (w skali międzynarodowej) wyników z zakresu fizyki atomowej i molekularnej. **W mojej ocenie uzasadnia to wyróżnienie rozprawy pana Mateusza Bocheńskiego o co niniejszym wnoszę.**

prof. dr hab. Piotr Wcisło
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu