

dr hab. Bogusław Furmann
Zakład Inżynierii Metrologii Kwantowej
Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej
Wydział Fizyki Technicznej
Politechnika Poznańska
Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5
60-965 Poznań
Tel +48 61 665 3226
boguslaw.furmann@put.poznan.pl

Poznań 18.04.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Łukasza Sobolewskiego pt.

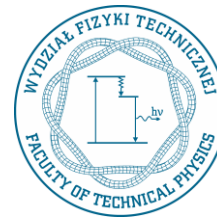
„Badanie parametrów spektroskopowych metali ciężkich”

Od czasu zastosowania mechaniki kwantowej do opisu atomu, pomiary właściwości poziomów elektronowych swobodnych atomów i jonów są jednym z podstawowych zadań doświadczalnej fizyki atomowej. Zapotrzebowanie na wyniki tego typu pomiarów wynika z tego, że każdy rodzaj oddziaływania w układzie jądro-powłoka elektronowa atomu powoduje rozszczepienie lub przesunięcie wartości energii poziomu elektronowego. Takie parametry jak wartość energii, stałe struktury nadsubtelnej i czynnik g_J poziomu elektronowego umożliwiają optymalizację funkcji falowej sprzężenia pośredniego. Wyniki badań eksperymentalnych z jednej strony mogą być porównywane z wynikami przewidywań *ab initio* mierzonych wielkości i tym samym testować prawidłowość tych ostatnich, z drugiej strony umożliwiają optymalizację wartości tzw. całek radialnych w parametrycznym opisie oddziaływań w atomie przez zastosowanie metody semi-empirycznej.

Trudno przecenić znaczenie tego typu badań dla rozwoju teorii budowy atomu. Postępy w planowaniu eksperymentów z zakresu optyki kwantowej, budowie optycznych wzorców czasu, wytwarzaniu stanów splątanych, chłodzeniu i pułapkowaniu laserowym, elektromagnetycznie indukowanej przezroczystości, budowie i testowaniu modeli obiektów w astrofizyce są w dużej mierze uwarunkowane posiadaniem precyzyjnych informacji na temat fizycznych właściwości poziomów elektronowych.

W ramach badań poziomów elektronowych prowadzonych w Polsce, poczesne miejsce zajmują prace powstałe w Instytucie Fizyki Doświadczalnej, Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego. Rozprawa doktorska mgr. Łukasza Sobolewskiego, którą mam przyjemność recenzować, jest godnym rozwinięciem tematyki badań prowadzonych przez nieodżałowanej pamięci prof. dr hab. Józefa Heldta, jego uczniów i następców.

Rozprawę doktorską mgr. Łukasza Sobolewskiego stanowi zbiór spójnych tematycznie 9 publikacji. Wszystkie publikacje ukazały się w czasopismach indeksowanych przez JCR. Najwięcej, 5 prac opublikowano w czasopiśmie *Journal of Quantitative Spectroscopy and*



Radiative Transfer o 5 letnim współczynniku $IF=2.638$, ocenionym przez MNiSW na 35 punktów. Pozostałe prace ukazały się w czasopismach punktowanych w zakresie 25-35pkt.

Przedstawione w ramach przewodu doktorskiego oświadczenia współautorów prac wskazują, że mgr Łukasz Sobolewski w istotny sposób przyczynił się do ich powstania.

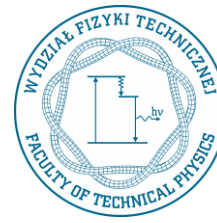
Rozprawa została uzupełniona przez Pana Łukasza Sobolewskiego o opis stosowanych technik i układów eksperymentalnych jak również opis oprogramowania i zawartości poszczególnych publikacji wchodzących w skład cyklu. Pomimo, że opis ten zawiera kilkanaście drobnych usterek, które wyszczególnię w dalszej części recenzji, uważam za bardzo cenne, że autor nie ograniczył się do opisu zawartości publikacji wchodzących w skład rozprawy. Po wprowadzeniu przez ustawę o stopniach i tytułach naukowych możliwości doktoryzowania na podstawie cyklu publikacji zdarza się, że jedyną informacją dla recenzentów na temat stosowanych układów pomiarowych jest opis zawarty w publikacjach, który często jest niepełny.

W swoich badaniach doktorant posługiwał się trzema technikami eksperymentalnymi: spektroskopią emisyjną wysokiej rozdzielczości oraz spektroskopią laserową z wykorzystaniem lampy z katodą wnekową jako źródła swobodnych atomów i jonów. W przypadku spektroskopii laserowej zastosowano dwa sposoby detekcji, optogalwaniczną (OG) oraz detekcję laserowo indukowanej fluorescencji (LIF). Metody zostały odpowiednio dobrane do rozwiązania konkretnego problemu eksperymentalnego.

Przechodząc do tego co najważniejsze czyli zawartości merytorycznej publikacji wchodzących w skład rozprawy uważam przede wszystkim, że przedstawiony zbiór publikacji przekracza znacznie dorobek zwyczajowo wymagany do osiągnięcia stopnia doktora. Wszystkie prace, których współautorem jest mgr Łukasz Sobolewski zawierają istotne elementy nowości naukowej.

Pierwsze dwie prace z przedstawionego cyklu dotyczą pomiarów struktury nadsubtelnej oraz czynników g_J w atomie bizmutu oraz antymonu. W pomiarach zastosowano metodę klasycznej spektroskopii emisyjnej z wykorzystaniem interferometru Fabry-Perot skrzyżowanego ze spektrografem PGS-2. Uważam, że wybór metody badań jest prawidłowy. Linie badanych atomów są rozrzucone po całym zakresie widmowym, przy czym rozszczępienie linii niejednokrotnie znacznie przekracza zakres przestrajania typowych komercyjnych laserów. Zatem zastosowanie spektroskopii laserowej jest w tym wypadku bardzo trudne i mało efektywne. W pracy [2] zamieszczono ponadto wyniki obliczeń semi-empirycznych struktury subtelnej i nadsubtelnej. Autorem obliczeń jest prof. S. Bouazza, ale fakt, że uzyskano dość dobre dopasowanie i wiarygodne wyniki wartości całek radialnych jest zasługą solidnych wyników eksperymentalnych stanowiących podstawę metody semi-empirycznej, czyli zasługą doktoranta.

Trzecia praca cyklu poświęcona jest pomiarom przesunięć izotopowych w atomie antymonu wraz z interpretacją otrzymanych wyników. Wykorzystanie pomiarów przesunięć izotopowych w fizyce atomowej i jądrowej zmierza w dwóch kierunkach. Pierwszy kierunek to obliczanie rozkładu ładunku elektrycznego w jądrze. Ponieważ rozkład ładunku zależy od

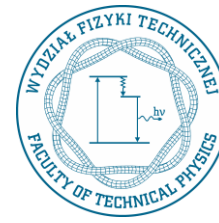


wartości składowej polowej przesunięcia izotopowego, konieczna jest w tym wypadku bardzo precyzyjna separacja efektu masowego i polowego, którą dla pierwiastków posiadających więcej niż dwa izotopy wykonuje się metodą tzw. diagramów Kinga. Drugi kierunek badań przesunięć izotopowych to obliczanie efektów związanych z polaryzacją rdzenia i ekranowaniem powłok elektronowych. Ponieważ antymon ma tylko 2 izotopy trwale nie można było zastosować metody diagramów Kinga. Do separacji specyficznego przesunięcia masowego i przesunięcia polowego zastosowano metodę wykorzystującą oszacowanie specyficznego przesunięcia masowego z zastosowaniem tzw. całek Vinci obliczanych *ab-initio* (wykorzystano kod Cowana). Biorąc pod uwagę zastosowane uproszczenia uzyskano zadowalającą zgodność przewidywanych i zmierzonych wartości przesunięć izotopowych.

Praca oznaczona numerem [4] poświęcona jest wyznaczeniu wartości energii, jak również liczby kwantowej J oraz stałych struktury nadsubtelnej oddziaływania magnetycznego dipolowego i oddziaływania elektrycznego kwadrupolowego nowych poziomów elektronowych w atomie lantanu. Badania wykonywano metodą spektroskopii laserowej z detekcją optogalwaniczną oraz detekcją LIF. Wynikiem pracy jest 14 nowych poziomów elektronowych. Zastosowany sposób identyfikacji poziomów elektronowych niesklasyfikowanych linii widmowych jest oparty na wstępnych pomiarach struktury nadsubtelnej metodą optogalwaniczną oraz pomiarach długości fali kanałów fluorescencji z dolnego poziomu wzbudzanego przejścia (tzw. fluorescencji w przeciwfazie). W swoich badaniach również stosowałem powyższą metodę mogę zatem potwierdzić, że w odniesieniu do atomu lantanu jest ona najbardziej efektywna. Natomiast niestety nie jest to metoda uniwersalna, która daje wyniki w przypadku badań różnych pierwiastków. Bardzo cenne jest, że autorzy obserwowali więcej przejść z udziałem nowych poziomów co znacznie uwiarygodnia wyniki i jest dowodem rzetelności autorów w tym doktoranta.

Prace [5-9] dotyczą pomiaru czynników g_J w atomach lantanu oraz prazeodymu. W badaniach zastosowano oryginalną metodę opartą na pomiarze rozszczepienia w polu magnetycznym struktury nadsubtelnej linii widmowych wzbudzanych światłem lasera i rejestrowanych z zastosowaniem sygnału optogalwanicznego lub sygnału LIF. Pole magnetyczne w lampie z katodą wnątkową wytwarzano w bardzo pomysłowy sposób za pomocą magnesów neodymowych umieszczonych przy korpusie lampy w zbiorniku na ciekły azot. Do obliczania czynników g_J zastosowano oryginalne, opracowane na Uniwersytecie Gdańskim oprogramowanie. Kalibrację pola magnetycznego realizowano przez pomiar linii gazu buforowego między poziomami o znanych wartościach g_J . Efektem powyższych prac jest uzyskanie 78 nowych wartości g_J w atomie lantanu i prazeodymu. Należy w tym miejscu podkreślić, że metoda zastosowana w pracach 5-9 jest w pełni oryginalna. Połączenie spektroskopii laserowej struktury nadsubtelnej linii z badaniem rozszczepienia w polu magnetycznym umożliwia wyjście z okresu stagnacji zagadnienia pomiaru czynników g_J . Należy również zauważyć, że pole magnetyczne jest wytwarzane prostą i taną metodą.

W ostatniej części recenzji pozwolę sobie przedstawić kilka uwag dotyczących opisu układów pomiarowych, technik eksperymentalnych oraz oprogramowania stosowanego w trakcie realizacji pracy.



W części wstępnej Pan Łukasz Sobolewski przedstawił historię badań czynników Landego, struktury nadsubtelnej i przesunięć izotopowych czyli tych wielkości fizycznych, których dotyczy rozprawa. Rys historyczny uzupełniony został analizą znaczenia pomiarów poszczególnych wielkości dla badania oddziaływań w atomie złożonym. Ta część pracy wskazuje na to, że doktorant w sposób dojrzały potrafi określić cel eksperymentu i ocenić jego znaczenie dla rozwoju nauki.

Drugą część poświęcono zastosowanym metodom i układom pomiarowym. Opis układów pomiarowych jest wyczerpujący, chociaż autor nie uniknął kilku drobnych nieścisłości, które wskazują na to, że nie jest specjalistą w zakresie technik laserowych.

W przedstawionym na rys 3.2 str.13 schemacie układu do detekcji optogalwanicznej brak połączenia sygnału do wzmacniacza Lock-in. (Schemat zamieszczony w pracy [5] jest kompletny).

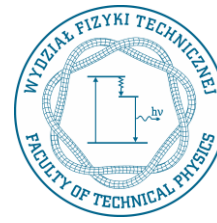
Na stronie 14 opisując lasery, których używał, doktorant napisał „*laser barwnikowy Coherent cw-Ring Laser 986...*”. Mimo długich poszukiwań nie udało mi się znaleźć danych o takim modelu. Spośród barwnikowych laserów pierścieniowych firmy Coherent znane mi są modele Cr 699-21 i Cr 899-21. Jest też seria laserów MBR ale to już raczej z monokryształem TiSa a nie z barwnikiem. W tym przypadku nie pomogło też poszukiwanie w tekstach publikacji. Sprawa modelu lasera jest o tyle istotna, że zakres przestrajania lasera 20GHz podany przez doktoranta jest pewnym ograniczeniem możliwości badawczych. Z własnych doświadczeń wiem, że w niektórych modelach można ten zakres zwiększyć.

Kolejne stwierdzenie „*Z lasera pompującego wiązka światła prowadzona jest do lasera barwnikowego*” jest moim zdaniem niepotrzebne, gdyż nic istotnego nie wnosi a brzmi dziwnie. Z kolei obecne również na str 14 zdanie: „*W badaniach wykorzystywano lasery barwnikowe z ciągłym przepływem barwnika przez obszar aktywny, aby nie doprowadzić do przegrzania barwnika lub spadku jego aktywności wskutek bezpromienistego przeniesienia większości wzbudzonych cząsteczek na metastabilne poziomy energetyczne nieprzydatne w akcji laserowej*” jest prawdziwe, ale mylnie sugeruje, że można zbudować laser CW również bez przepływu barwnika.

Nie wiem co należy rozumieć przez stwierdzenie „*....czyniąc profil wiązki laserowej jak i długość fali bardziej doprecyzowanymi.*”

Opisując działanie miernika długości fali autor używa zdania „*Miernik ten pracuje na zasadzie interferencji światła laserowego oraz światła lasera referencyjnego*”. Może lepiej byłoby „*Do wyznaczenia długości fali wykorzystana jest analiza obrazu wytworzonego przez interferencję światła lasera mierzonego i lasera referencyjnego*”

Przy opisie bardzo ważnej części układu eksperymentalnego-markera, autor używa nazwy „*marker etalonowy*”. Moim zdaniem bardziej zrozumiałe byłoby określenie „*stabilizowany interferometr Fabry-Perot*”



Wartość FSR markera jest podana z bardzo dużą dokładnością, do ułamków kHz. Wydaje się to nieuzasadnione. Z jednej strony aby uzyskać stałość FSR tego rzędu niezależnie od długości fali, oprócz stabilizacji temperatury niezbędne jest obniżenie i stabilizacja ciśnienia, wilgotności itp.. Z drugiej strony niepewność pomiarowa wnoszona do ostatecznych wyników przez zmiany FSR mniejsze niż 0.1 MHz jest znacznie mniejsza niż niepewności pochodzące z innych źródeł.

W opisie układu detekcji fazoczułej występuje zdanie: „*Wiązka światła laserowego była przesyłana chopperem, który obracał się z ustaloną częstotliwością (około 370 Hz).*”. Na podstawie moich doświadczeń, taki „chopper” jest wirującą tarczą z otworami. Z powyższego zdania nie wiadomo czy to tarcza wirowała z częstotliwością 370Hz?, czy uwzględniając liczbę otworów i prędkość wirowania otrzymano ostatecznie modulację światła z częstotliwością 370Hz?

Jeszcze raz chciałbym zaznaczyć, że mimo powyższych drobnych uwag do tekstu opisującego badania oraz kilku problemów stylistycznych, uważam, że w pracy bardzo dobrze opisano zarówno przedmiot badań jak i zastosowaną metodykę.

Ostatnia część rozprawy poświęcona jest opisowi oprogramowania zastosowanego na etapie planowania eksperymentu oraz opracowywania wyników. Oprogramowanie zawiera zarówno programy symulacyjne, jak i programy obliczeniowe wykorzystujące metodę najmniejszych kwadratów. Pan Łukasz Sobolewski co prawda nie jest autorem programów, które stosował, ale zarówno z opisu oprogramowania jak i z tekstu publikacji wynika, że bardzo dobrze radzi sobie z jego obsługą.

Przechodząc do podsumowania jest mi bardzo miło stwierdzić, że przedstawiona rozprawa doktorska świadczy o tym, że mgr Łukasz Sobolewski posiada dużą wiedzę w zakresie doświadczalnej fizyki atomowej, opanował i wzbogacił szereg technik eksperymentalnych, wykazał się dużą pomysłowością i solidnością w realizacji przedstawionych badań.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr Łukasza Sobolewskiego całkowicie spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki Dz.U. RP nr 65 poz. 595 z 2003r. wraz z późniejszymi zmianami, w tym Ustawą z dnia 18 marca o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw z 2011 Dz.U. R.P.nr 84 poz. 455 z 2011r. oraz Ustawą z dnia 28 kwietnia 2017 o zmianie ustawy o stopniach naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki Dz.U. R.P. poz. 859 z 2017r. Wnioskuje do Rady Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie mgr Łukasza Sobolewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto uważam, że wartość naukowa rozprawy, jest na tyle wysoka, że zasługuje ona na wyróżnienie. W związku z tym składam formalny wniosek do Rady Wydziału o wyróżnienie rozprawy.