



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ
I MATEMATYKI STOSOWANEJ

Prof. dr hab. Józef Eugeniusz Sienkiewicz
Zakład Fizyki Teoretycznej i Informatyki Kwantowej
Tel. +58 347 22 25
E-mail: jozef.sienkiewicz@pg.edu.pl

POLITECHNIKA POZNAŃSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ		
DNIA	26-09-2023	DNIA
WPLYNĘŁO		

DF-63/107/2023

Gdańsk, dn. 21 września 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Suskiego

pt. *Wyznaczanie kanałów fluorescencji w atomach terbu i europu na podstawie pomiaru stałych struktury nadsubtelnej i czynników Landégo g*

zrealizowanej na Wydziale Fizyki Technicznej i Inżynierii Materiałowej
Politechniki Poznańskiej
pod kierunkiem promotora dr. hab. Bogusława Furmanna, prof. PP

Prezentowana rozprawa zawiera badania struktury nadsubtelnej oraz jej rozszczepienia w efekcie Zeemana w atomach terbu i europu. Jest ona oparta na cyklu sześciu tematycznie spójnych publikacji przy czym w trzech z nich mgr Marcin Suski jest pierwszym autorem. Z załączonych oświadczeń współautorów tych publikacji wynika, że niepodważalny wkład doktoranta polegał na udziale w badaniach, formalnej analizie i samodzielnym bądź pomocniczym opracowaniu otrzymanych wyników. Dodatkowo, tam gdzie jest pierwszym i korespondencyjnym autorem był odpowiedzialny za redakcję manuskryptu i przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Kandydat jasno zdefiniował tezy swojej rozprawy skoncentrowane na znalezieniu kanałów fluorescencji, doświadczalnym wyznaczeniu stałych struktury nadsubtelnej oraz czynników Landégo dla terbu i europu. Wykorzystanie fluorescencji indukowanej laserem w lampie wyładowczej z katodą wnątkową i odpowiednie wsparcie na specjalistycznym oprogramowaniu jest solidnym i skutecznym wyborem metodologicznym. Wybór zakresu badawczego obejmujący struktury atomowe terbu i europu jest bardzo trafny z uwagi na ich używanie w różnych urządzeniach obejmujących wyświetlacze ciekłokrystaliczne, oświetlenie fluorescencyjne i scyntylatory oraz w bardzo różnych obszarach fizyki takich jak reakcje jądrowe, pułapkowanie magnetoptyczne czy przyszłościowo w komputerach kwantowych. Tym samym badania widm terbu i europu mogą potencjalnie wpłynąć zarówno na konwencjonalne, jak i kwantowe zastosowania oraz dalsze analizy teoretyczne.

Wyniki uzyskane w pierwszej pracy wchodzącej w skład spójnego cyklu publikacji (*Hyperfine structure studies of the odd-parity electronic levels of the terbium atom* B. Furmann, D. Stefańska, M. Chomski, M. Suski, S. Wilman *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 237, 106613, 2019) znacznie wzbogaciły dostępną bazę danych eksperymentalnych atomu terbu dotyczących stałych struktury nadsubtelnej poziomów o nieparzystej konfiguracji. Otrzymane wyniki będą przydatne w półempirycznej analizie struktury subtelnej i nadsubtelnej układu nieparzystych poziomów energetycznych. W pracy zbadano strukturę nadsubtelną 43 poziomów o nieparzystej konfiguracji atomu terbu. Dla 41 poziomów stałe struktury nadsubtelnej A i B zostały określone po raz pierwszy. W przypadku dwóch poziomów, zbadanych wcześniej, uzyskano dodatkowe dane, co pozwoliło na ocenę ulepszonych wartości tych stałych. Zostały również poprawione stałe hfs dla dwóch wcześniej zbadanych parzystych poziomów.

W ramach drugiej pracy (*Hyperfine structure investigations of the odd-parity electronic levels of the terbium atom Landé g_J factors of the even-parity electronic levels of the terbium atom* M. Suski, B. Furmann, M. Chomski, S. Mieloch, P. Głowacki, D. Stefańska *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 298, 108492, 2023) stałe hfs zostały określone dla 26 nieparzystych poziomów energii na podstawie badań 62 linii spektralnych. Wszystkie wyniki są prezentowane po raz pierwszy. Dodatkowo, stałe hfs dla czterech poziomów energii należących do parzystej konfiguracji, wyznaczone w starszych pracach grupy prof. Furmanna, zostały ponownie oszacowane. Wyniki przedstawione w tej pracy stanowią dalsze rozszerzenie dostępnej bazy danych eksperymentalnych dotyczących struktury nadsubtelnej atomu terbu. Mogą one w dużym stopniu ułatwić dalszą półempiryczną analizę struktury subtelnej i nadsubtelnej poziomów o nieparzystej konfiguracji, która jest wciąż trudna z powodu złożoności wynikającej z silnego mieszania konfiguracji. Dostarczone w tej pracy dane, wraz z wcześniejszymi badaniami, dotyczące zarówno stałych hfs, jak i czynników Landégo g_J , są cenne z punktu widzenia możliwych zastosowań terbu. Mimo, że badane i dotychczas nieklasyfikowane linie spektralne są raczej słabe, to jednak przy spełnieniu określonych warunków mogą one znaleźć zastosowanie w zabezpieczaniu banknotów.

W trzeciej pracy (*Landé g_J factors of the even-parity electronic levels of the terbium atom* M. Suski, M. Chomski, B. Furmann, J. Ruczkowski, D. Stefańska *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 288, 108270, 2022) przedstawiono eksperymentalne wyniki czynników Landégo g_J dla 17 poziomów elektronowych o parzystej konfiguracji, które uzyskano po raz pierwszy. Wartości te są bliskie wartościom przewidywanym teoretycznie w granicach niepewności eksperymentalnych. Stosunkowo niewielkie odchylenia od wartości przewidywanych są szacowane średnio na 1,5%. Ponadto zweryfikowano wartości czynników g_J dla 17 poziomów należących do nieparzystej konfiguracji. Dla dwóch nieparzystych poziomów, na podstawie zarejestrowanych widm, znaleziono znacząco różne wartości g_J niż wcześniej opublikowane. Nowe uzyskane tutaj wyniki stanowią rozszerzenie dostępnej bazy danych wartości czynników Landégo g_J dla atomowego terbu i przyczyniają się do znaczącej poprawy analizy struktury tego atomu.

W czwartej pracy (*Landé g_J factors of the odd-parity electronic levels of the terbium atom determined by laser spectroscopy* M. Suski, B. Furmann, M. Chomski, J. Ruczkowski, D.

Stefańska, S. *Mieloch Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 291, 108342, 2022) przedstawiono eksperymentalnie wyznaczone wartości czynników Landégo g_J dla 20 poziomów energetycznych, należących do nieparzystej konfiguracji. Wszystkie wyniki uzyskano po raz pierwszy. Rzędy wielkości całkowitych niepewności, zdominowane przez wkład z fluktuacji pola magnetycznego, nie przekraczają 5% średniej wartości czynnika g_J . Ponadto zweryfikowane czynniki Landégo g_J dla 15 parzystych poziomów energetycznych. Wyniki przedstawione w tej pracy są rozszerzeniem tematu podjętego w jednej z poprzednich prac i mogą przyczynić się do rozszerzenia bazy danych struktury atomu terbu oraz ułatwić jej półempiryczną analizę. Kompleksowe dane dotyczące możliwych przejść w terbie mogą być cenne z punktu widzenia dalszego rozwoju aplikacji opartych zarówno na właściwościach fluorescencyjnych, jak i magnetycznych.

Z kolei w piątej pracy (*Investigations of the hyperfine structure and isotope shifts in the even-parity level system of atomic europium* B. Furmann, M. Chomski, M. Suski, S. Wilman, D. Stefańska *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 251, 107070, 2020) zaprezentowano wyniki pomiarów stałych struktury nadsubtelnej oraz przesunięć izotopowych dla 26 poziomów energii należących do parzystej konfiguracji w atomie europu. Te dane znacząco rozszerzają bazę wyników eksperymentalnych, a tym samym ułatwiają półempiryczną interpretację struktury subtelnej i nadsubtelnej. Ze względu na położenie mierzonych poziomów na skali energetycznej, w regionie, gdzie występuje silne mieszanie konfiguracji, interpretacja wyników jest trudna, ale jest to jedyny sposób określenia parametrów dla wyższych konfiguracji. Włączając wyniki niniejszej pracy, łączna liczba parzystych poziomów atomu europu, dla których dostępne są wyniki eksperymentalne dotyczące stałych A i B oraz przesunięć izotopowych, przekracza 110. Ponieważ te wyniki są rozproszone w kilkudziesięciu publikacjach, zostały one podsumowane w odpowiedniej tabeli, która może być pomocna w półempirycznych obliczeniach struktury subtelnej i nadsubtelnej, a także w innych zastosowaniach, jako kompleksowa baza danych dotycząca właściwości poziomów o parzystej konfiguracji atomu europu.

W ostatniej pracy z tego cyklu (*Landé g_J factors of the electronic levels of the europium atom* B. Furmann, J. Ruczkowski, M. Chomski, M. Suski, S. Wilman, D. Stefańska *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 255, 107258, 2020) przedstawiono wyniki czynników Landégo g_J dla 20 poziomów atomu europu, w tym 16 poziomów należących do nieparzystej konfiguracji i czterech poziomów należących do parzystej konfiguracji. Te wyniki uzyskano po raz pierwszy. Dodatkowo poprawiono wartości g_J dla trzech poziomów należących do parzystej konfiguracji. Otrzymane wartości są zbliżone do tych przewidzianych przez półempiryczne obliczenia, ale jednak ogólnie odbiegają od nich o więcej niż granice niepewności eksperymentalnej. Udowodniono, że zastosowana metoda badania efektu Zeemana w strukturze nadsubtelnej może być stosowana nie tylko do pierwiastków z jednym stabilnym izotopem, ale także do tych, które mają więcej izotopów.

W konkluzji stwierdzam, że w rozprawie znajdujemy opis systematycznego podejścia doświadczalnego, z dobrze zaplanowaną metodologią i jasną prezentacją wyników. Zakres badań, obejmujący atomy terbu, jak i europu, jest obszerny i godny uznania. W szczególności należy podkreślić wyznaczenie stałych struktury nadsubtelnej dla 69 poziomów energetycznych

terbu wraz dodatkowymi korektami wcześniej znanych stałych. Wyznaczono czynniki Landégo dla 37 poziomów energetycznych terbu, w tym dla ich części jest to pierwsze doświadczalne określenie ich wartości. Z kolei badania atomu europu dostarczyły cennych danych dla 26 poziomów energetycznych, ze szczególnym naciskiem na parzyste konfiguracje. Istotny wkład w identyfikację i korektę wcześniej znanych wartości podkreśla solidność opisanych badań. Jednak moim zdaniem mocniejsze zwrócenie uwagi na temat potencjalnych wyzwań i napotkanych ograniczeń mogłoby pomóc w bardziej całościowym obrazie podjętych badań.

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi znaczący wkład w fizykę atomową, w zakresie struktur nadsubtelnych terbu i europu. Kandydat wykazał się bardzo dobrym zrozumieniem tematu i skutecznie uczestniczył w przeprowadzaniu zaawansowane eksperymentów oraz opracowaniu otrzymanych wyników. Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wszystkie zwyczajowe i określone prawem wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynierii materiałowej i wnoszą o dopuszczenie mgr. Marcina Suskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

J. G. Sienkiewicz