

Wrocław, 11 lipca 2017 r.

dr. hab. Andrzej Szczepkiewicz
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytetu Wrocławskiego

Recenzja pracy doktorskiej magistra Daniela Rudnickiego pt. „Podłużna relaksacja spinowa w centrach barwnych azot-wakancja w diamencie”

Tematyka pracy

Własności optyczne centrów barwnych azot-wakancja w diamencie są obecnie intensywnie badane w wielu laboratoriach na świecie. Praca doktorska Daniela Rudnickiego należy do tej stosunkowo nowej i wciąż intensywnie rozwijającej się dziedziny. Doktorant postawił sobie za cel poznanie i zrozumienie mechanizmów rządzących podłużną relaksacją spinową w centrach NV^- .

Struktura i zawartość rozprawy

Rozprawa zawiera osiem rozdziałów (nie licząc krótkiego podsumowania), z których pięć stanowi wprowadzenie w tematykę, a trzy stanowią zasadniczą część pracy. Spośród rozdziałów wprowadzających wyróżnia się obszerny rozdział trzeci, gdzie doktorant, opierając się na wielu pracach źródłowych, podjął się niełatwego zadania syntezy aktualnej wiedzy dotyczącej struktury energetycznej centrum NV^- . Za szczególnie interesujący tutaj uważam podrozdział 3.2, gdzie doktorant omawia związek symboli poziomów energetycznych A oraz E z teorią reprezentacji grup. Podjęcie tego tematu jest dla fizyka-doświadczalnika przedsięwzięciem ambitnym.

W rozdziale szóstym doktorant opisuje swoją aparaturę oraz wyniki pomiarów czasów podłużnej relaksacji spinowej (T_1):

- (1) Przeprowadzone pomiary T_1 dla różnych kierunków pola magnetycznego pozwoliły rozeznaczyć się w skomplikowanej strukturze widm ODMR spowodowanej występowaniem czterech możliwych orientacji przestrzennych centrów NV^- .
- (2) Z kolei pomiary T_1 dla różnych wartości pola magnetycznego wykazały istnienie wyraźnych rezonansów zeropolowych, to znaczy wykazały, że szybkość

relaksacji wzrasta dla małych pól magnetycznych, co zostało zinterpretowane w pracy jako rezultat relaksacji krzyżowej spowodowanej oddziaływaniem dipol-dipol.

(3) Doktorant badał również zależność czasu T_1 od temperatury. Okazało się, że uzyskane szybkości relaksacji są zgodne z wynikami wcześniejszych publikacji i dają się przybliżyć analitycznym wzorem uwzględniającym relaksację w wyniku dwufononowego procesu Orbacha oraz dwufononowego procesu Ramana.

Przedstawione w tym rozdziale wyniki zostały opublikowane w roku 2015 w czasopiśmie „EPJ Quantum Technology”. Daniel Rudnicki jest wymieniony jako drugi spośród sześciu autorów tej publikacji.

Kolejny, siódmy rozdział ma charakter teoretyczny. Doktorant podaje w nim, omawia i rozwiązuje układ różniczkowych równań kinetycznych opisujących populację stanów. W wyniku obliczeń okazuje się, że relaksacja populacji w centrum NV^- ma charakter dwuwykładniczy.

Wyniki rozdziału siódmego okazują się ważne w rozdziale ósmym, w którym doktorant zajął się szczegółowo samą metodą pomiaru kluczowej dla pracy wielkości T_1 . Na początku znajdujemy tutaj omówienie i dokładne teoretyczne uzasadnienie standardowej metody pomiaru T_1 , w której fluorescencja układu badana jest po tzw. „czasie ciemnym”. Następnie znajdujemy opis i szczegółowe uzasadnienie alternatywnej metody pomiaru T_1 , będącej oryginalnym pomysłem autora rozprawy. W metodzie tej sygnał fluorescencji jest rejestrowany w trakcie procesu pompowania optycznego. W końcowej części rozdziału znajdują się wstępne wyniki pomiarów, świadczące o tym, że metoda alternatywna jest zgodna z metodą standardową z dokładnością do czynnika 2.

Redakcja rozprawy

Rozprawa zredagowana jest starannie, z dbałością o szczegóły, zawiera bardzo czytelne i precyzyjnie opisane wykresy i diagramy. Nieznacznym mankamentem redakcyjnym rozprawy jest duża ilość odnośników w tekście do późniejszych części rozprawy. Dyskusyjne jest również umieszczenie opisu procedury pomiaru czasu T_1 dopiero w rozdziale ósmym, już po przedstawieniu wyników pomiarów T_1 .

Wypunktowanie wyników, sformułowanie wniosków, określenie własnych osiągnięć

Z punktu widzenia recenzenta poważnym mankamentem rozprawy jest brak wyraźnego wypunktowania wyników i wniosków pracy oraz brak wyraźnego określenia własnych osiągnięć. Być może wynika to z nadmiernej skromności autora. Wstęp do pracy liczy niecałe dwie strony, a podsumowanie jest krótsze niż strona. To zdecydowanie za mało. W pracach wykonywanych w zespole należałoby sprecyzować, które elementy aparatury zostały zaprojektowane lub wykonane przez doktoranta oraz w których konkretnie pomiarach jego wkład był najważniejszy. Dotyczy to w szczególności wyników opisanych w rozdziale szóstym.

Z kolei w rozdziale siódmym brakuje mi odnośników do literatury: przez pierwsze 3 strony nie pojawia się żaden odnośnik i w rezultacie nie jest jasne, co tutaj jest zaczerpnięte z literatury, a co jest oryginalnym wkładem doktoranta. Sam model siedmiopoziomowy pojawił się już w pracy Tetienne i in. z roku 2012, ale odnośnik do tej pracy ([66]) pojawia się w rozprawie dopiero kilkanaście stron dalej. Nie jest również jasne, czy dane liczbowe użyte do wykonania wykresu 7.2 pochodzą z literatury, czy też z pomiarów własnych autora. Nie jest niczym złym, jeżeli pochodzą z literatury, ale jeżeli tak jest, należy podać źródło.

W rozdziale ósmym jest inny problem: metoda pomiarowa jest innowacyjna i wyniki są ciekawe, ale brakuje komentarza faktu, że dwie metody pomiarowe T_1 dają rozbieżność o czynnik dwa. Moim zdaniem taka rozbieżność nie jest duża, ale chciałbym wiedzieć, co na ten temat sądzi autor, i jaka jest jego hipoteza co do przyczyn rozbieżności.

Publikacje doktoranta oraz ich cytowania

Najważniejsze wyniki pracy, opisane w rozdziale szóstym, zostały opublikowane w czasopiśmie „EPJ Quantum Technology”. Wprawdzie nie jest to czasopismo z listy filadelfijskiej, ale nie można mu odmówić światowej renomy. Należy ono do wydawanej przez Springer’a rodziny czasopism European Physics Journal. Pierwszy numer czasopisma ukazał się we wrześniu 2014 r, stąd *impact factor* nie został jeszcze obliczony. Redaktorem czasopisma jest Gerard Milburn, współautor znanego podręcznika optyki kwantowej (D.F. Walls, G.J. Milburn, Quantum Optics, Springer, 2008).

Ponadto doktorant jest współautorem 4 publikacji z listy filadelfijskiej. Spośród nich szczególnie wysoką dynamikę cytowań ma praca z roku 2015 doty-

cząca zastosowania do badania centrów NV^- anteny mikropaskowej wytwarzającej kołowo spolaryzowane mikrofałe. Godny uwagi jest również fakt, że praca z EPJ Quantum Technology jest cytowana aż pięciokrotnie (!) w tekście pracy, która ukazała się w marcu br. w Physical Review Letters (PRL 118, 093601).

Konkluzja recenzji

Podsumowując: Daniel Rudnicki w ramach swojej pracy doktorskiej uzyskał oryginalne wyniki, które już zdążyły znaleźć istotny oddźwięk w literaturze światowej. Praca doktoranta spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Dodatek: kilka uwag do L^AT_EXowej redakcji technicznej

Występujące w pracy drobne błędy składu drukarskiego nie mają wpływu na przekaz merytoryczny, ale mogą rozpraszać czytelnika. Oto moje uwagi:

Pisownia jednostek fizycznych. Powinno się je pisać czcionką prostą: na przykład nie $2200\,Wm^{-1}K^{-1}$ (strona 9 rozprawy), ale $2200\,W\,m^{-1}K^{-1}$, co kodujemy `$\mathrm{2200~W\,m^{-1}K^{-1}}$` .

Pisownia NV^- . „N” jako symbol pierwiastka chemicznego zapisujemy czcionką prostą. Analogicznie piszemy „V”. Zatem nie NV^- (np. strona 1 rozprawy), ale NV^- , co kodujemy `$NV^--$` lub `$\mathrm{NV^-}$` .

Myślnik to „-”, a nie „-” (np. strona 9 rozprawy). Prawidłowe kodowanie to `--`.

Cudzysłów powinniśmy w języku polskim pisać tak: „barwny”, a nie ”barwny” (np. strona 10 rozprawy). Prawidłowe kodowanie to `,,barwny’’`.

U. Szaepkowiak