



# Uniwersytet Warszawski

## Wydział Fizyki

Jacek A. Majewski



Ul. L. Pasteura 5, 02-093 Warszawa, tel.: (0-22)5532924,

e-mail: [jacek.majewski@fuw.edu.pl](mailto:jacek.majewski@fuw.edu.pl)

Warszawa, 8 września 2017

### Recenzja pracy doktorskiej pani mgr inż. Edyty Osiki

Rozprawę doktorską pani mgr inż. Edyty Osiki zatytułowaną **“Dynamics of spin-valley transitions in carbon nanotube quantum dots”** (w tłumaczeniu recenzenta na polski: „Dynamika przejść spinowo-dolinowych w kropkach kwantowych wytworzonych w nanorurkach węglowych”), zgodnie z ustawą o stopniach i tytule naukowym, stanowi sześć prac naukowych tworzących spójny tematycznie zbiór prac i opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (cztery prace w Physical Review B, oraz dwie prace w Journal of Physics: Condensed Matter) na przestrzeni lat 2014-2017. We wszystkich sześciu pracach doktorantka jest pierwszym autorem. Rozprawa dotyczy teorii struktury elektronowej w kropkach kwantowych wygenerowanych elektrostatycznie w nanorurkach węglowych i przejść kwantowych wywołanych zmiennym polem elektrycznym. Przeprowadzone badania wpisują się w poszukiwanie układów fizycznych pozwalających na realizację idei komputerów kwantowych oraz informatyki kwantowej. Tematyka Rozprawy jest niezwykle ważna i aktualna zarówno dla badań podstawowych jak i aplikacyjnych. Zanim przedstawię szczegółową analizę Rozprawy, chciałbym podkreślić, że jest to bardzo dobra praca doktorska zawierająca nowe i interesujące wyniki oraz wnosząca znaczący wkład do teorii materii skondensowanej.

Rozprawę stanowi seria sześciu publikacji naukowych poświęconych strukturze elektronowej pojedynczej kropki kwantowej oraz podwójnych kropek kwantowych wytworzonych przez zewnętrzne pole elektryczne w nanorurkach węglowych, jak również przejściom kwantowym wywołanym polem elektrycznym zmiennym w czasie. Do opisu tego problemu zastosowano atomistyczny opis w ramach pół-empirycznej metody ciasnego wiązania [ang. tight-binding, T-B]. Elementy ‘on-site’ hamiltonianu T-B zawierają człony opisujące wkład potencjału determinującego obszary stanowiące kropkę (lub kropki) kwantową, zewnętrzne pole elektryczne (zmiennie w czasie) oraz Zeeman’owskie oddziaływanie spinu elektronu z zewnętrznym polem magnetycznym. W teorii wprowadzono elementy hamiltonianu T-B opisujące przeskok elektronu pomiędzy węzłami (tzw. hopping) zależne od spinu dla opisanego oddziaływania spin-orbita o międzywęzłowym charakterze. Atomowe oddziaływanie spin-orbita nie zostało uwzględnione w elementach ‘on-site’, co ze względu na jego małą wartość dla atomów węgla oraz charakter opisywanych zjawisk może mieć swoje uzasadnienie. Tak zdefiniowany hamiltonian T-B został użyty do opisu stanów

elektronowych. W przypadku rozpatrywania stanów wieloelektronowych dodano do hamiltonianu oddziaływanie elektron-elektron. Tak określony hamiltonian posłużył do zbadania następujących zjawisk fizycznych w badanych układach:

- i) przejść z odwróceniem spinu i między-dolinowych w kropce kwantowej wywołanych oscylującym polem elektrycznym (praca oznaczona A.1);
- ii) charakteru stanów jednoelektronowych i dwuelektronowych w podwójnych kropkach kwantowych (praca A.2);
- iii) analizy oddziaływań spin-orbita w wygiętych nanorurkach i rezonansowego charakteru przejść spinowych (A.3);
- iv) struktury elektronowej i przejść w układach wieloelektronowych w podwójnych kropkach kwantowych (A.4);
- v) dynamiki przejść spinowo-dolinowych w nanorurkach z potencjałem modyfikowanym przez system elektrod (A.5);
- vi) tunelowania elektronów pomiędzy kropkami kwantowymi w obecności promieniowania elektromagnetycznego (fotonów) (ang. PAT, photon assisted tunneling) (praca A.6).

W opinii recenzenta, zastosowana metodologia teoretyczna jest jak najbardziej adekwatna do postawionych problemów. Na szczególne podkreślenie, zasługuje słuszny, zdaniem recenzenta, wybór podejścia atomistycznego w ramach metody T-B, a nie podejścia opartego na efektywnym hamiltonianie dla stanów niskoenergetycznych, powszechnie stosowanego do opisu pochodnych grafenu i nanorurek węglowych. Metoda T-B ma w kontekście badanych problemów znacznie większe perspektywy dla innych nanostruktur. Zarówno przy zdefiniowaniu hamiltonianu, jak przy wyborze metod obliczeniowych opierano się na istniejącej literaturze, w sposób właściwy dobierając narzędzia teoretyczne. Sześć powstałych prac stanowi kopalnię interesujących wyników rzucających światło i powiększających znacząco zrozumienie możliwości modyfikacji stanów kwantowych poprzez elektryczny dipolowy rezonans spinowy oraz tunelowanie z asystą fotonu. Praca poświęcona temu zjawisku tunelowania robi też największe wrażenie na recenzencie. Przedstawiona w sześciu publikacjach metodologia ma bardzo duże znaczenie dla dalszego rozwoju fizyki materii skondensowanej, a w szczególności materiałów dwuwymiarowych. Podobne zjawiska spinowo-dolinowe są obecne np. w dichalkogenkach metali przejściowych (np.  $\text{MoS}_2$ ) i naukowcy badający te związki będą mogli w dużym stopniu korzystać z rozwiniętej tutaj metodologii.

Sześć publikacji stanowiących spójny tematycznie zbiór zostało uzupełnione komentarzem w języku polskim i krótkim omówieniem tych prac. Na 20 stronach przedstawiono w sposób niezwykle jasny motywację i kontekst pracy doktorskiej, streszczenie artykułów stanowiących Rozprawę, podsumowanie i wnioski, oraz najważniejsze pozycje literaturowe.

W odróżnieniu od procedury oceny tematycznego zbioru prac stanowiących rozprawę habilitacyjną, nie przedstawiono oświadczeń współautorów prac A.1 – A.6 określających ich udziału w powstaniu tych sześciu prac. Niemniej, zdaniem recenzenta, sam udział doktorantki w sześciu tak znaczących publikacjach byłby wystarczającą rekomendacją do otrzymania

stopnia doktora nauk fizycznych. Lektura polskiego omówienia potwierdza zresztą głębokie zrozumienie przez doktorantkę problematyki badawczej i umiejętność jej jasnego przedstawienia.

Ogólnie, oceniam Rozprawę jako bardzo dobrą a nawet wyróżniającą się. W opinii recenzenta, przedstawiona Rozprawa stanowi duże osiągnięcie badawcze Doktorantki. Doktorantka wykazała się umiejętnością sprawnego posługiwania się różnymi metodami teoretycznymi, umiejętnością krytycznej oceny otrzymanych wyników, dobrą znajomością badanego zagadnienia, i jest w stanie wskazać nowe perspektywy badań. Rozprawa zawiera nowe wartościowe wyniki oraz demonstuje potencjał manipulacji stanami kwantowymi w celu praktycznej realizacji algorytmów informatyki kwantowej. Zdaniem recenzenta przedstawiona Rozprawa całkowicie spełnia wymagania ustawy i jednoznacznie kwalifikuje Doktorantkę do otrzymania stopnia doktora. W związku z tym **wnoszę o dopuszczenie pani mgr inż. Edyty Osiki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Oceniając dorobek naukowy Doktorantki, nie sposób nie odnieść się do dobrego na tym etapie kariery naukowej dorobku publikacyjnego, obejmującego w sumie 8 prac z lat 2013 – 2017, 6 stanowiących Rozprawę oraz dwóch nie włączonych do tego cyklu (Physical Review B z roku 2013 oraz Physical Review X z roku 2017). Na podkreślenie zasługuje fakt, że pani mgr inż. Edyta Osika jest pierwszym autorem wszystkich ośmiu prac. Pani E. Osika prezentowała wyniki swoich badań na 13 konferencjach, uczestniczyła w projekcie badawczym OPUS i kierowała projektem badawczym ETIUDA. Biorąc pod uwagę bardzo wysoką jakość wyników przedstawionych w Rozprawie, jej niezwykle ważną i nowatorską tematykę, oraz całościowy dorobek publikacyjny doktorantki **wnoszę o wyróżnienie niniejszej Rozprawy.**

Z poważaniem



Prof. dr hab. Jacek A. Majewski