



Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Wójs, prof. zw.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Skubis
*Symulacje działania bramek kwantowych wykonujących operacje
na spinie elektronu*

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr Anny Skubis została zrealizowana w Katedrze Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pod kierunkiem prof. dr hab. Stanisława Bednarka.

Rozprawa dotyczy dwóch wciąż aktualnych i niezwykle istotnych zagadnień fizyki materii skondensowanej: (i) podstawowych właściwości tzw. kropek kwantowych (czyli zero-wymiarowych nanostruktur półprzewodnikowych wiążących niewielką i kontrolowaną liczbę elektronów w tak małym obszarze, że jednoelektronowe widmo energii ma istotnie dyskretny charakter) oraz (ii) możliwości realizacji w takich strukturach kwantowych operacji logicznych.

Zagadnienia podjęte w rozprawie należą do konkurencyjnego i atrakcyjnego obszaru badań, zarówno ze względu na bogactwo koncepcji sformułowanych w ciągu kilku dekad, które zdążyły upłynąć od pionierskich eksperymentów i prac teoretycznych dotyczących kropek, pozorną prostotą układów niewielu cząstek (tu: zaledwie jednego elektronu) umożliwiającą zarówno realizację eksperymentalną, jak i stosowanie (i testowanie) metod analitycznych i numerycznych mechaniki kwantowej, a także realne perspektywy zastosowań tych układów w nanotechnologii, zwłaszcza w nano-urządzeniach do przetwarzania informacji kwantowej.

Cel niniejszej rozprawy jest dwojaki: (i) zrozumienie i możliwie wierny opis działania rzeczywistego nanourządzenia opisanego w pracy innych autorów: [50] K. C. Nowack i in., *Electric fields coherent control of a single electron spin*, *Science* 318, 1430 (2007), realizującego podstawowe operacje logiczne na stanie kwantowym spinu jednego elektronu uwięzionego w kropce, bez użycia pola magnetycznego, natomiast stosując odpowiednią inżynierię kwazi-trajektorii pakietu falowego elektronu w materiale ze sprzężeniem spinowo-orbitalnym; (ii) optymalizacja geometrii tego typu nanourządzenia pod kątem szybkości i wierności jego działania.



Politechnika Wroclawska

Katedra Fizyki Teoretycznej

Rozprawa liczy 95 stron, składa się z 6 rozdziałów i zawiera 50 rysunków.

Rozdział 1, czyli „Wstęp”, właściwie wprowadza czytelnika w problematykę rozprawy, a także umieszcza przedstawione dalej oryginalne badania i rezultaty w szerszym kontekście badań prowadzonych dotychczas przez innych autorów. Moje zastrzeżenia do tego rozdziału dotyczą wyłącznie języka czyli staranności opracowania co zostanie jeszcze wspomniane w podsumowaniu recenzji.

Rozdział 2, czyli „Wybór heterostruktury”, zawiera więcej niż sugeruje tytuł, a mianowicie także opis metody i wyniki obliczeń statycznej gęstości ładunku w wybranej do badań heterostrukturze opisanej w pracy doświadczalnej [50]. Treść tego koncepcyjnie prostego rozdziału nie budzi zastrzeżeń. Ale jednak oprócz błędów językowych występują w nim liczne rażące uchybienia, których przynajmniej znaczna część powinna być skorygowana przy choćby pobieżnej lekturze (np. przez Autorkę lub Promotora) przed skierowaniem rozprawy do recenzji. Na przykład: Rys. 1 (nie jedyny) jest w języku angielskim; podpis pod nim (jak i wieloma innymi) jest zbyt lakoniczny; stwierdzenie, że potencjał od (tu: punktowych) źródeł pola się uśrednia jest co najmniej nieściśle; zmieniane jest znaczenie kierunków przestrzennych y i z ; zdanie że widmo operatora $H(y)$ zależy od wektora falowego q w kierunku OY jest fałszywe; q jest oczywiście gęstością ładunku, lecz w tekście występuje też jako ładunek; kryterium „aby gęstość zdążyła się wyzerować” jest najpewniej nieściśle – brak informacji jakie kryterium faktycznie przyjęto w obliczeniach; brak sprecyzowania, że q jest gęstością objętościową, a σ powierzchniową; równania (2.14) i (2.15) podane są bez uzasadnienia; wzór (2.16) jest błędny; równanie (2.17) zawiera niezdefiniowane wielkości Φ_{conf} i Ω_{dot} ; na czym polega użycie „jednostek atomowych” energii i długości w równaniu (2.20)?; waga w po równaniu (2.22) nie jest zdefiniowana (nie podano też jej wartości); określenie, że obliczenia „można wykonać na komputerze PC” nie określa złożoności obliczeń (należało podać jakąkolwiek informację ilościową); na Rys. 4-8 brak opisów osi i skali koloru; podpis (zresztą także innych rysunków) ma niepoprawną (nielogiczną) treść i zawiera literówki; na str. 33 pojawia się nielogiczne pojęcie „środką ciężkości ładunku elektronu”; elektrody w jednym miejscu oznaczono literą „e”, w innym „E”; podobnie napięcia – w jednym miejscu „ v ” a w innym „ V ”.

Rozdział 3, czyli „Symulacja obrotu spinu”, opisuje pierwszą część kluczowych oryginalnych rezultatów rozprawy, a mianowicie obliczenia ewolucji czasowej nanourządzenia zdefiniowanego w Rozdziale 2 (kropki kwantowej zawierającej jeden elektron) przy określonej zmienności potencjałów elektrod. W kolejnych podrozdziałach przedstawione są metoda obliczeń i własne wyniki symulacji dla realizacji w tym układzie bramek logicznych NOT i Hadamarda. Podane są między innymi oszacowania minimalnego czasu operacji tych bramek przy zachowaniu dostatecznej wierności. Przedstawiony w tym rozdziale modelowy opis działania wybranych bramek logicznych w rzeczywistej strukturze wraz

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

tel. 320-25-79, fax 328-36-96,
e-mail wppt.kft@pwr.edu.pl

REGON: 00001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wroclawska

Katedra Fizyki Teoretycznej

z oszacowaniem ich szybkości to jedno z dwóch twórczych osiągnięć rozprawy. Również ten rozdział zawiera stanowczo zbyt wiele uchybień, które nie są tylko zwykłymi błędami językowymi. Na przykład: Rys. 10 jest po angielsku i ma zbyt lakoniczny podpis; stwierdzenie, że opisany układ warstw „uniemożliwia ruch elektronu w kierunku pionowym (OY) i liczba jego stopni swobody redukuje się do dwóch” jest istotnie nieścisłe z paru powodów; stwierdzenie „dokładność tej metody jest rzędu Δt ze względu na krok czasowy i $(\Delta x)^2$ ze względu na krok przestrzenny” jest nieprecyzyjne (a wielkość Δx w ogóle nie jest zdefiniowana); stwierdzenie że potencjał jest „odczuwany przez funkcję falową” jest błędne, a stwierdzenie „funkcja falowa elektronu znajdującego się w studni kwantowej położonej w punkcie y_0 ” nie ma sensu; także pojęcie „środka ciężkości chmury elektronowej” jest nielogiczne; określenie „ujemne napięcia na elektrodach” jest niepoprawne; przed równaniem (3.15) podano ujemną wartość amplitudy; na Rys. 12 nie opisano poziomicy, a podpis zawiera błędy; na str. 44 jest odniesienie do trajektorii elektronu w kropce (zaznaczonej na Rys. 11); na Rys. 13 wstawka przekrywa się z głównym wykresem (brak też opisów osi, a podpis ma błędy); na str. 45 pojawia się niezdefiniowane (więc może nieadekwatne) określenie „rozpad funkcji falowej”; brak jest definicji bramki Hadamarda (rozprawa ta powinna zresztą podać ogólną definicję bramki logicznej, wprowadzić pojęcie uniwersalnego zbioru bramek i uzasadnić wybór konkretnej pary bramek do analizy); Rys. 22 jest niskiej jakości, a jego podpis jest niedostateczny; brak jest kryteriów ilościowych do oceny ewolucji czasowej układu, a zamiast tego np. na str. 57 używa się pojęcia „ładnej trajektorii”.

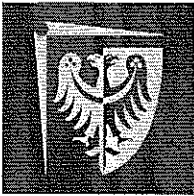
Rozdział 4, czyli „Optymalizacja nanourządzenia”, zawiera drugą część ważnych rezultatów rozprawy, a mianowicie obliczenia dotyczące własnej propozycji nanostruktury, o uproszczonym układzie elektrod w stosunku do pracy [50], w której jak pokazują oryginalne obliczenia Autorki rozprawy, możliwa jest znacznie szybsza realizacja bramek logicznych NOT i Hadamarda. Ta teza wraz z przedstawioną w tym rozdziale szczegółową analizą ilościową zagadnienia stanowią drugie twórcze osiągnięcie rozprawy. Do uchybień jakich dopuściła się Autorka w tym rozdziale należą m.in.: brak definicji optymalnego rozkładu elektrod oraz procedury optymalizacji; błędy na rysunkach; np. Rys. 30 jest złej jakości i brak mu opisu poziomicy na wykresach po prawej stronie, a w jego podpisie brak jest odniesienia do wykresów c-f i wyjaśnienia wykresów po prawej; na Rys. 31 brakuje opisu osi poziomej na górnym wykresie więc nie jest jasne jaki przedział czasowy on przedstawia (podpis też zawiera błędy); na str. 66 na temat czasów działania bramek pojawia się zdanie „nie jest to jeszcze oczekiwany rezultat”, ale brakuje określenia owego oczekiwania czy jakiegoś ilościowego kryterium; również wniosek, że „już teraz widać, że czas ten można jeszcze poprawić” jest nieuzasadniony; w opisie Rys. 37 brakuje wyjaśnienia jak wyznaczono pokazane profile potencjału i co jest przyczyną niemonotonicznej zależności głębokości jamy potencjału od częstości wymuszającej; na Rys. 41

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
www.pwr.edu.pl

tel. 320-25-79, fax 328-36-96,
e-mail wppt.kft@pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wroclawska

Katedra Fizyki Teoretycznej

aby wykazać, że „wartość parametru rośnie z kwadratem amplitudy” należało użyć dopasowania funkcją bez członu liniowego. Natomiast na str. 85 pojawia się zdanie „Najbardziej optymalne (sic) wydaje się być przyjęcie szerokości studni równej 12nm, uzyskujemy wówczas bardzo ładny wykres obrotu spinu (...) i zadowolająca jego efektywność, $\langle \sigma_z \rangle$ min i max wynoszą odpowiednio -0.99 i 0.98.”, które natychmiast rodzi pytanie o ilościowe kryterium jakości działania bramki w kontekście wzmiankowanej optymalności (czy jest nim po prostu jakaś kombinacja ekstremów $\langle \sigma_z \rangle$?).

Rozdział 5 stanowi krótkie „Podsumowanie” rezultatów rozprawy.

Rozdział 6, czyli „Bibliografia”, zawiera wykaz 63 artykułów źródłowych i innych pozycji literaturowych zacytowanych w rozprawie. Tutaj zagęszczenie błędów redakcyjnych czy zwykłego niechlujstwa (np. niekonsekwencji w stosowaniu skrótów, mieszania języka polskiego i angielskiego, mieszania konwencji opisu, podawania tytułów tylko niektórych prac, literówek, itp.) jest zgoła najwyższe i recenzentowi trudno oprzeć się wrażeniu nie tylko zwykłego braku należytej staranności przy opracowywaniu bądź co bądź oficjalnego tekstu, ale też chyba jednak nadzwyczajnego lekceważenia Rady Naukowej, której przedłożono tę rozprawę do oceny, a pośrednio także jej recenzentów. Nie bez zażenowania stwierdzam, że podczas gdy w głównym tekście rozprawy niemal na każdej stronie znalazłem jakiś rażący błąd gramatyczny czy literówkę, to w spisie literatury takie błędy pojawiają się m.in. w każdej z kilku pierwszych pozycji.

Podsumowując, na materiał przedstawiony w niniejszej rozprawie składają się nieopublikowane wcześniej przez Autorkę wyniki analizy ewolucji czasowej konkretnej heterostruktury opisanej w pracy doświadczałnej innych autorów z 2007 roku [50], a także uproszczonego układu modelowego realizującego analogiczne funkcje logiczne (bramki NOT i Hadamarda), podobnego do układu analizowanego wcześniej w podobnym kontekście w pracy z 2013 roku [60] współautorstwa Autorki rozprawy. Główne wyniki przedstawione w rozprawie to symulacja rzeczywistego układu z pracy [50] oraz oparta na konkretnych wyliczeniach propozycja poprawy parametrów układu przez optymalizację geometrii elektrod i częstości zmian przykładowych napięć elektrycznych.

Niestety, rozprawa została napisana wyjątkowo niestarannie, roi się od błędów redakcyjno-językowych, których nawet nie próbowałem wymieniać w recenzji i zawiera (wypisane powyżej) uchybienia merytoryczne różnej wagi, nieraz wręcz poddające w wątpliwość profesjonalizm a nawet wykształcenie Autorki. Również rysunki włączone do rozprawy mają różne usterki – niektóre są złej jakości, większość jest nieodpowiednio podpisana, nieraz brakuje im opisów osi itp. wymaganych informacji. Wręcz popisem niechlujstwa jest spis literatury.

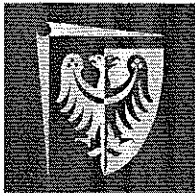
Jednak same przedstawione wyniki, choć nie oceniam ich jako odkrywcze czy imponujące koncepcyjnie, uważam za dostateczne do dopuszczenia do obrony.

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
www.pwr.edu.pl

tel. 320-25-79, fax 328-36-96,
e-mail wppt.kft@pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wroclawska

Katedra Fizyki Teoretycznej

Moje pytania do rozprawy, na które będę oczekiwał odpowiedzi podczas obrony są następujące:

- Proszę doprecyzować i uzasadnić pojęcie trajektorii elektronu w kontekście ewolucji czasowej badanych układów.
- Proszę sformułować i uzasadnić kryteria jakości działania badanych bramek.
- Proszę uzasadnić wybór do analizy konkretnych bramek Hadamarda i NOT.

Konkluzja: Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska pani mgr Anny Skubis pt. „Symulacje działania bramek kwantowych wykonujących operacje na spinie elektronu” spełnia wymagania określone Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595, z późn. zmianami).

W związku z tym wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl

tel. 320-25-79, fax 328-36-96,
e-mail wppt.kft@pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434