



U n i w e r s y t e t Ś l ą s k i
INSTYTUT FIZYKI
im. Augusta Chelkowskiego

40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4, tel./fax. +48(32) 2583-653, fax: +48(32) 2588-431

Recenzja
rozprawy habilitacyjnej dra inż. Tomasza Chwieja

**„Analiza elektronowych stanów zlokalizowanych i przewodzących
w półprzewodnikowych pierścieniach kwantowych”**

Pan dr inż. Tomasz Chwiej ukończył studia w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w roku 2001, gdzie następnie rozpoczął pracę nad swoim doktoratem.

Promotorem jego pracy doktorskiej: „Badania teoretyczne własności sztucznych molekuł i układów ekscytonowych w pojedynczych i sprzężonych kropkach kwantowych” był prof. dr hab. Stanisław Bednarek.

Stopień doktora nauk fizycznych pan Chwiej uzyskał na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w roku 2005. Już w tym okresie otrzymał dwie nagrody za pracę naukową. W latach 2005-2007 pracował jako asystent, a od 2007 roku jako adiunkt na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

W okresie przed doktoratem opublikował on 8 prac w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, choć informacji tej nie podał w autoreferacie.

Po doktoracie habilitant zajmował się bardzo istotnymi, zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i ewentualnych zastosowań, problemami z dziedziny nanofizyki. Jest to bardzo ważna dziedzina nauki i badań podstawowych. Stosując prawa mechaniki kwantowej można prześledzić, przy pomocy obliczeń numerycznych zachowanie się wielu mierzalnych wielkości fizycznych w różnych pomysłowych modelach, które dzięki szybkiemu rozwojowi nanotechnologii są lub będą potwierdzone w skomplikowanych doświadczeniach.

Znajomość zaawansowanych technik numerycznych pozwala na rozwiązanie wyrafinowanych zagadnień kwantowego transportu czy problemu lokalizacji cząstek w nanoobjektach, takich jak kropki czy pierścienie kwantowe.

Dr inż. Tomasz Chwiej prowadził badania w pierścieniach kwantowych oraz układach złożonych dwóch pierścieni i układu kropka- pierścień. Badania te stały się przedmiotem jego rozprawy habilitacyjnej.

Rozprawa habilitacyjna składa się z 6 prac naukowych, opublikowanych w Physical Review B, (ponumerowanych jako R1-R6) oraz autoreferatu. Otrzymane rezultaty zostały uzyskane metodą obliczeń numerycznych dla realistycznych modeli nanoukładów prostych i złożonych. Otrzymał on wiele ważnych, głęboko przemyślanych i dobrze uzasadnionych rezultatów.

Poniżej omówię skrótowo niektóre najciekawsze, uzyskane przez habilitanta wyniki.

W swej rozprawie przebadał on w sposób kompleksowy i systematyczny wybrane własności elektronowe stanów zlokalizowanych i przewodzących w różnych nanoukładach zawierających pierścienie kwantowe.

Badania habilitanta można podzielić na 2 części:

1. Analiza pierścieni zamkniętych.

Badania własności stanów zlokalizowanych dla $N = 1, 2, 3$ elektronów przedstawione są w pracach [R1, R2].

2. Analiza pierścieni otwartych.

Badania transportu koherentnego w obszarze balistycznym. [prace R3-R6].

Ad. 1

Badanymi nanostrukturami były pojedyncze pierścienie kwantowe oraz układ sprzężonych dwóch pierścieni kwantowych. Najpierw metodą dokładnej diagonalizacji rozwiązano zagadnienie własne dla $N = 1, 2, 3$ elektronów uwięzionych w pierścieniu kwantowym o zaburzonej symetrii obrotowej i umieszczonych w prostokątnym polu magnetycznym. Obliczono charakterystyki wielkości mierzalnych eksperymentalnie jak zmiany potencjału chemicznego i magnetycznego momentu dipolowego w polu magnetycznym.

Rozważano wpływ rodzaju symetrii i jej łamania na wyżej wymienione wielkości. Przeanalizowano charakter zmian momentu magnetycznego w pierścieniu z pojedynczym i podwójnym zaburzeniem. Obliczono m.in. wpływ zaburzenia potencjału tworzącego na prądy prawdopodobieństwa w polu magnetycznym. Pokazano, że w niejednowymiarowym pierścieniu paramagnetyczne i diamagnetyczne prądy trwale płyną odpowiednio na wewnętrznej i zewnętrznej krawędzi pierścienia. Te koherentne prądy w kwantowych pierścieniach wydają się być załączkiem prądów nadprzewodzących płynących w pierścieniach nadprzewodzących.

Stosując tą samą metodę obliczeniową rozwiązano również zagadnienie własne dla $N = 1, 2, 3$ elektronów uwięzionych w układzie dwóch bocznie

sprzężonych pierścieni kwantowych. Uzyskano tu również ciekawe rezultaty - m.in. pokazano, że z analizy zachowania się relacji dyspersji momentu magnetycznego i potencjałów chemicznych od pola magnetycznego dla układu z jednym i dwoma elektronami, można oszacować wielkość sprzężenia tunelowego pomiędzy pierścieniami. Pokazano też, jak zmieniając tylko pole magnetyczne można spowodować przepływ części ładunku między pierścieniami.

Ad.2

Wielospójna geometria pierścieni kwantowych powoduje, że w transporcie elektronów manifestują się efekty kwantowe, które mogą być zaburzane na wiele sposobów. Elektron w takim pierścieniu w obecności prostopadłego pola magnetycznego doznaje konstruktywnej lub destruktywnej interferencji która przejawia się w oscylacjach przewodnictwa.

Habilitant przebadał wpływ korelacji kulombowskich na oscylacje Aharonova-Bohma. Rozważył on modelowy układ kropki kwantowej umieszczonej wewnątrz pierścienia w niskich temperaturach, gdy efekty dekoherencji spowodowane oddziaływaniem elektron- elektron są małe. Autor rozwiązał zależne od czasu równanie Schroedingera dla układu dwóch naładowanych cząstek przy czym elektron rezyduje w pierścieniu, a druga cząstka (elektron lub dziura) w kropce. Przy założeniu braku sprzężenia tunelowego pomiędzy pierścieniem i kropką, nośniki ładunku znajdujące się w nich mogą korelować wzajemnie swoje położenia jedynie za pośrednictwem oddziaływania kulombowskiego. Pokazano, że prawdopodobieństwo przejścia elektronu przez pierścień oscyluje w polu magnetycznym ze względu na efekt Aharonova-Bohma, a jego amplituda silnie zależy od polaryzacji ładunkowej kropki i od wzajemnej relacji oddziaływania kulombowskiego i odległości poziomów energetycznych w kropce. W oparciu o te rozważania habilitant zaproponował też inne (niż autorzy wcześniej wykonanego eksperymentu), ciekawe wyjaśnienie obserwowanej eksperymentalnie redukcji amplitudy oscylacji Aharonova-Bohma w pomiarach magnetokonduktancji dla dwóch koncentrycznie ułożonych sprzężonych pojemnościowo pierścieni kwantowych.

Habilitant rozważył również problem oddziaływania bramki skanującej na transport elektronów w pierścieniu. Jeśli przestrzenny rozmiar zaburzenia potencjału w pierścieniu jest porównywalny z długością fali Fermiego elektronów przewodnictwa, wówczas można oczekiwać iż zmiany magnetokonduktancji pierścienia wywołane przemieszczającą się nad jego powierzchnią bramką skanującą powinny być skorelowane z rozkładem przestrzennym gęstości stanów elektronów z powierzchni Fermiego. Do analizy wykorzystano model numeryczny samouzgodnionego problemu Poissona-Schroedingera dla trójwymiarowego modelu pierścienia z umieszczoną nad nim metalową bramką skanującą. Dało to realistyczny opis zmian konduktancji, których charakter był zbliżony do tych obserwowanych w eksperymentach.

Problem ten przedyskutowano szczegółowo w zależności od położenia bramki w stosunku do pierścienia.

Obliczenia wykonane przez habilitanta umożliwiły też przeanalizowanie problemu odtwarzania lokalnej gęstości stanów poprzez pomiar magnetokonduktancji pierścienia w mikroskopii bramki skanującej w funkcji energii Fermiego i indukcji pola magnetycznego.

Pokazano, że charakter zmian pochodnej konduktancji jest taki sam jak dla współczynnika korelacji zmian konduktancji spowodowanych oddziaływaniem z bramką skanującą i lokalnej gęstości stanów w pierścieniu. Pozwala to określić wartości indukcji magnetycznej dla której, z pomiaru konduktancji, można oszacować poszukiwane rozkłady lokalnej gęstości stanów. Problemem pozostaje tu jednak wymagany do tej analizy mały zasięg potencjału generowanego przez bramkę. Wynikające z oszacowań zasięgi mogą być bardzo trudne do osiągnięcia eksperymentalnie. Obliczenia dla szerokości potencjału zaburzenia rzędu 5 nm wydają się być nierealistyczne; również szerokość krzywej Lorentza modelującej bramkę skanującą rzędu 30 nm może być trudna do osiągnięcia. Ostatnio jednak pojawiają się doniesienia o możliwości ekranowania końcówki ostrza skanera warstwą metalu przeciwnie naładowanego aby zmniejszyć zasięg potencjału zaburzającego. Rozważania habilitanta stają się wtedy ważną wskazówką dla eksperymentatorów, bo przecież rolą teoretyków jest, oprócz wyjaśniania już obserwowanych efektów, przewidywanie nowych (tzw. „making predictions”).

Badania eksperymentalne układów złożonych pierścieni kwantowych dla których Dr inż. Chwiej wykonał obliczenia numeryczne nie są na razie zaawansowane. Konfrontacja otrzymanych rezultatów, już częściowo potwierdzonych, z doświadczeniem zwiększy wiarygodność otrzymanych wyników i wyciąganych wniosków.

Przed doktoratem dr inż. Chwiej opublikował 8 prac w bardzo dobrych recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, a po doktoracie opublikował 10 prac naukowych (w tym prawie wszystkie w Physical Review B). Całkowita ilość jego publikacji to 18. Prace jego były cytowane ok. 230 razy, index Hirscha: 8.

Dorobek naukowy dra inż. Chwieja ilościowo nie jest zbyt duży. Jednak to nie ilość, ale jakość jego prac jest powodem mojej wysokiej oceny jego dorobku naukowego. Zgodnie z jego oświadczeniem, w znacznej części prac zaproponował on sposób rozwiązania postawionego problemu, a w prawie wszystkich wykonał obliczenia przy użyciu własnego oprogramowania. Jego wkład procentowy w prace wchodzące w skład habilitacji wynosi ok. 85%.

Zarówno prace habilitanta jak i autoreferat napisane są w sposób jasny, zrozumiały i przejrzysty, także czyta się je z przyjemnością i zaciekawieniem. Przeprowadzone badania charakteryzuje duża staranność, rzetelność,

wnikliwość i pomysłowość. Poszerzają one w znaczący sposób naszą wiedzę o badanych nanoukładach.

Po doktoracie dr inż. Chwiej brał udział w kilku konferencjach naukowych, prezentując swoje prace w formie posterów. Odbył jeden staż zagraniczny w Uniwersytecie w Antwerpii.

Współpracował ze znanymi naukowcami w kraju i za granicą, m.in. z prof. Bartłomiejem Szafranem, prof. Januszem Adamowskim, prof. Stanisławem Bednarkiem, prof. Francois M. Peetersem.

W czasie swojej pracy brał udział jako wykonawca w grantach MNiSW i OPUS NCN. Otrzymał wiele nagród naukowych Rektora AGH i nagrodę zespołową Ministra Edukacji Narodowej. Wygląda na to, że jest on osobą przedkładającą pracę w zaciszu laboratorium nad częste wyjazdy naukowe, jednak w niczym nie umniejsza to znaczących wyników jego pracy naukowej.

W czasie swojej pracy w Akademii Górniczo-Hutniczej habilitant prowadził wiele zajęć dydaktycznych, w tym m.in. ćwiczenia do następujących wykładów: Fizyka ogólna, Mechanika kwantowa, Fizyka teoretyczna. Prowadził też wykład „Metody numeryczne” i ćwiczenia z metod obliczeniowych fizyki, metod numerycznych i podstaw informatyki.

Podsumowując dorobek naukowy habilitanta oceniam wysoko. Dr inż. Tomasz Chwiej jest w pełni ukształtowanym, samodzielnym badaczem naukowym.

Uważam, że recenzowana rozprawa oraz dorobek naukowy i dydaktyczny habilitanta spełniają ustawowe wymagania i wnoszą o dopuszczenie dra inż. Tomasza Chwieja do dalszych czynności przewodu habilitacyjnego.

Prof. dr hab. Elżbieta Zipper

Katowice, 26.05.2015