

Prof. dr hab. Stanisław Krukowski  
Instytut Wysokich Ciśnień PAN  
01-142 Warszawa  
ul. Sokołowska 29/37

Rada Naukowa  
Instytutu Fizyki PAN  
02-668 Warszawa  
Al. Lotników 32/46

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Cezarego Śliwy  
**pt. Efektywne odkształcenia w magnetycznych stopach półprzewodnikowych**

Rozprawa habilitacyjna dr Cezarego Śliwy zawiera sześć oryginalnych publikacji naukowych poświęconych zagadnieniom magnetyzmu w półprzewodnikach. Prace te zostały opublikowane w latach 2006-12, a więc w ciągu 6 lat. Ponieważ dr Śliwa uzyskał stopień doktora w dniu 29 kwietnia 2002 roku, prace te mogą być przedmiotem rozprawy habilitacyjnej. Dr Śliwa jest autorem 16 prac opublikowanych, spełnia, więc formalne wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Z ogólnej liczby 16 publikacji zostało wybranych 6 prac, będących przedmiotem rozprawy habilitacyjnej. Należy podkreślić, że prace te zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych, w tym cztery z nich są opublikowane w Physical Review B, jedna w Physical Review Letters oraz jedna w Nature Physics. Prace pozostałe w ogromnej większości były poświęcone innym zagadnieniom fizycznym, związanym z podstawami teorii informacji w mechanice kwantowej. Należy, więc docenić, że dr Śliwa z sukcesem zamienił główny kierunek badań naukowych i uzyskał wyniki pozwalające na ich publikację w renomowanych czasopismach naukowych. Do tego sukcesu niewątpliwie przyczyniła się praca w bardzo dobrym zespole badawczym w IF PAN.

Omawiane prace są poświęcone zagadnieniom kwantowej teorii magnetyzmu półprzewodników mieszanych GaMnAs, układu, w którym mangan pełni rolę domieszki magnetycznej, natomiast GaAs jest matrycą półprzewodnikową. Zainteresowania te zostały rozszerzone do klasy półprzewodników o strukturze blendy cynkowej w przypadku jednej publikacji. Układ ten jest badany od wielu lat, tym niemniej w dalszym ciągu cieszy się zainteresowaniem w wielu laboratoriach zajmujących się spintroniką. Wyniki opublikowane w pracach będących przedmiotem rozprawy stanowią istotny wkład do rozwoju tej dziedziny. Z tego względu prace te stanowią układ, który jest silnie powiązany tematycznie stanowiący zwartą całość.

Wkład badawczy dr Śliwy ma charakter teoretyczny. Wyniki te są często porównywane z wynikami pomiarów, które jednak są wkładem od innych autorów, niemniej służą do bardzo istotnych porównań wyników teorii i pomiarów. Metody badawcze użyte przez dr Śliwę przy uzyskaniu tych wyników naukowych stanowią standardowy zespół metod używanych w fizyce półprzewodników, opartych na przybliżeniu masy efektywnej, rozwinięciu w szereg kp, i zastosowaniu przybliżenia Kohna-Luttingera. Dlatego też budzą zaufanie, co do jakości uzyskanych wyników. Należy jednak dodać, że autorzy prac zauważyli konieczność uzupełnienia badań o ostatnio intensywnie stosowane metody ab initio, w przypadku jednej z prac. Zostało to zastosowane przez dr Birowską, jednak stanowi cenne uzupełnienie metodologiczne, pozwalające uzyskać wyniki dla układów niejednorodnych przestrzennie. Należy zasugerować, że już zaobserwowane w rozprawie przejście do badań nanostruktur kwantowych, np. studni kwantowych może przynieść interesujące wyniki w przyszłości, zwłaszcza w kontekście spintroniki. Dlatego rozwój w tym kierunku badawczym i zastosowanie metod ab initio pozwoliłoby na uzyskanie znaczących, jakościowo nowych wyników, jest więc silnie zalecany.

W pierwszej pracy będącej przedmiotem rozprawy autorzy zajmują się zagadnieniem wpływu anizotropii dziur na anizotropie namagnesowania w sieci GaAs. Wyniki otrzymane w pracy sugerują

istotny wkład anizotropii cieczy dziur do wielkości anizotropii namagnesowania. Jednak zmienia to tylko wielkość namagnesowania bez istotnej zmiany jej anizotropii. Wyniki te zostały otrzymane dla wysokiej koncentracji dziur, rzędu  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

W drugiej pracy autorzy otrzymują wyniki dotyczące oddziaływania wymiennego spinów ze stanów d i s. W pracy autorzy obliczają systematycznie kolejne wyrazy oddziaływania wymiennego w tym oddziaływania s-p krótko- i długo-zasięgowe. Otrzymane wyniki wskazują na redukcję oddziaływania wymiennego s-d spowodowaną kulombowskim odpychaniem od naładowanych jonów manganu.

W trzeciej pracy autorzy zajmują się dla odmiany anizotropią warstw GaMnAs, otrzymywanych metoda MBE na podłożach GaAs na orientacji (113)A. Pierwsza część pracy ma charakter eksperymentalny, w której prezentowane są wyniki pomiarów, w szczególności stałych anizotropii namagnesowania. W drugiej części jest analizowany wpływ anizotropii układu przy zastosowaniu obliczeń metodą kp. Anizotropia jest wprowadzona przez użycie hamiltonianu naprężeń pozwalającego na wyznaczenie odkształcenia z różnic stałych sieciowych. Sprzężenie z hamiltonianem spinowym pozwala wyznaczyć anizotropię magnetyczną spowodowaną naprężeniem warstwy.

W czwartej pracy, opublikowanej w Nature Physics dominuje aspekt pomiarowy. Praca dotyczy studni kwantowych InAs otoczonych barierami z InAlAs/InGaAs. Mangan jest domieszką podstawieniową atomów metali grupy III: In, Ga oraz Al. Wyniki pomiarów dotyczą magnetooporu w kierunku równoległym do studni w polu magnetycznym w wysokich polach magnetycznych, w niskich i bardzo niskich temperaturach, rzędu milikelwinów. Eksperymentalny charakter pracy jest zrozumiały, gdyż czasopismo odmawia przyjmowania prac bez weryfikacji doświadczalnej i ogranicza wkład teoretyczny.

Kolejna praca jest poświęcona własnościom układu GaMnAs w pobliżu punktu krytycznego. Autorzy analizują własności układu zakładając, że fluktuacje mają charakter gaussowski. Założenie to jest uzasadnione, układ składa się z wielu niezależnych stopni swobody, więc można zakładać, że centralne twierdzenie graniczne jest spełnione. Ciepło właściwe zostało obliczone przy użyciu modelu Isinga i Heisenberga. Modele te wykazują różne zachowania krytyczne. Obliczone zachowanie w zasadzie otwiera osobliwe zachowanie ciepła właściwego w pobliżu temperatury Curie, obserwowane eksperymentalnie. Podobnie są wyznaczone inne ważne wielkości, w tym krytyczne zachowanie magnetyzacji, siły termoelektrycznej, czy przewodnictwa. Autorzy opisują ważne fizycznie efekty wpływu zachowania krytycznego magnetycznych stopni swobody na własności elektroneowe wskazując, że wpływ ten jest silny w przypadku punktu krytycznego w GaMnAs.

Ostatnią pracą z cyklu jest list poświęcony anizotropii własności magnetycznych, opublikowany w Physical Review Letters. Fakt opublikowania tych wyników w tym czasopiśmie świadczy o ich znaczeniu oraz o wysokiej randze tematu. Wyniki, uzyskane metodą kp oraz w zastosowaniu metod ab initio, dotyczą warstw GaMnAs otrzymanych za pomocą MBE na powierzchni (001). Rezultaty otrzymane za pomocą tych metod wskazują, że anizotropia własności magnetycznych warstw spowodowana jest preferencyjną orientacją dimerów Mn wzdłuż kierunku [110]. Autorzy dowodzą, że wyniki metody kp wskazują, że naprężenie w warstwie jest istotnym czynnikiem tłumaczącym powstawanie tej anizotropii, co jest zgodne z pracą trzecią cyklu rozpatrywaną powyżej. Tłumaczy to obserwowana eksperymentalnie anizotropię magnetycznych własności warstw GaMnAs.

W podsumowaniu chciałbym stwierdzić, że wyniki zaprezentowane w rozprawie stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy o własnościach spinowych GaMnAs, układu stanowiącego przedmiot badań ważnej dziedziny fizyki ciała stałego, rozwijanej w wielu laboratoriach na świecie od szeregu lat. Stanowią, więc wystarczającą podstawę do przyznania dr Cezaremu Śliwie stopnia doktora nauk fizycznych. Opis tych własności jest napisany w sposób spójny, jasny i wskazuje na wagę uzyskanych wyników. Jedynym mankamentem jest bibliografia, która jest pozbawiona w zasadzie prac eksperymentalnych, co wskazuje na silne odchylenie teoretyczne dr Śliwy. Okazuje się, że autor nie uważał za właściwe przytoczyć nawet publikacji cytowanych w silnie eksperymentalnej pracy czwartej.

Dr Śliwa wykazuje znaczący dorobek w dziedzinie prezentacji wyników na konferencjach naukowych. Wygłosił dwa wykłady zaproszone, dwa komunikaty konferencyjne oraz zaprezentował 8 plakatów, i wniósł wkład w wyniki prezentowane w innych wykładach zaproszonych, oraz w komunikatach i plakatach konferencyjnych. Znaczącym dorobkiem jest wygłoszenie ośmiu

seminariów, poświęconych wynikom jego badań naukowych. Dr Sliwa był recenzentem w dwu czasopismach naukowych.

Dorobek publikacyjny dr Śliwy jest bardzo dobry jakościowo, są to w ogromnej większości publikacje w dobrych i bardzo dobrych czasopismach naukowych, o czym świadczy wysoki sumaryczny impact factor wynoszący 62.285. Oznacza to wynik bliski 4 na jedną publikację, a więc bardzo dobry. Natomiast od strony ilościowej liczba publikacji jest zadowalająca, ale nie wybitna. Dr Śliwa publikuje średnio jedną publikację na rok, przy czym nie ma ani jednej publikacji, w której jest on jedynym autorem. Natomiast jest pierwszym autorem w pięciu publikacjach, co jest dobrym wynikiem. Prace dr Śliwy były cytowane w 408 innych publikacjach (bez autocytowań). Indeks Hirscha wynosi 10. Wynik ten świadczy, że prace dr Sliwy wywierają znaczny wpływ na rozwój jego dziedziny naukowej na świecie. Dr Śliwa brał udział w realizacji wielu projektów badawczych.

Podsumowując ocenę dorobku naukowego stwierdzam, że dr Śliwa spełnia wymogi związane z nadaniem stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych. W związku z tym zgodnie z Art. 16 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dziennik Ustaw Nr 65 poz. 595 wraz ze zmianami w Dziennik Ustaw z 2005 roku Nr 164, poz. 1365 oraz w Dz. U. z 2011 r. nr 84, poz. 455, nr 196, poz. 1165 i nr 204 poz. 1200) wnioskuję o dopuszczenie dr Cezarego Śliwy do dalszego postępowania kwalifikacyjnego w celu nadania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

*St. Kankowski*

Prof. dr hab. Stanisław Krukowski

Warszawa 27.02.2014