

Prof. dr hab. Karol Izidor Wysokiński  
Instytut Fizyki UMCS  
ul. Radziszewskiego 10, 20-031 Lublin

Lublin 17 maja 2006 r.

Opinia na temat  
rozprawy habilitacyjnej „*Transport zależny od spinu w układach z silnym oddziaływaniem kulombowskim*” i dorobku naukowego  
**dr Jana Martinka**

Dr Jan Martinek przedłożył Radzie Naukowej Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu rozprawę habilitacyjną pt. „Transport zależny od spinu w układach z silnym oddziaływaniem kulombowskim”. Jest to cykl 11 publikacji naukowych wykonanych i ogłoszonych drukiem w latach 1999-2004. Ukazały się one w najlepszych czasopismach specjalistycznych, w tym 3 w Phys. Rev. Lett., 5 w Phys. Rev. B oraz po jednej w Science, J. Supercond. i J. Magn. Magn. Matt. Mimo, że powstały niedawno to były już wielokrotnie cytowane przez autorów obcych i bez wątplenia weszły na trwałe do światowej literatury przedmiotu. Jeśli do tego dodać, że pełny spis dotychczasowych osiągnięć naukowych Jana Martinka zawiera 60 prac, z czego 39 zostało wykonanych po doktoracie oraz wziąć pod uwagę informacje współautorów prac wchodzących do habilitacji, zgodnie stwierdzających wiodącą rolę Jana Martinka w powstaniu i wykonaniu większości z nich to można stwierdzić, że mamy do czynienia z bardzo dobrym kandydatem do stopnia doktora habilitowanego.

Kariera naukowa Jana Martinka nie jest standardowa. Studia ukończył w 1990 roku na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu i uzyskał tytuł magistra na podstawie pracy eksperymentalnej „*Wpływ prądu elektrycznego na absorpcje mikrofalową w nadprzewodnikach*”, wykonanej pod kierunkiem prof. Jana Stankowskiego z IFM PAN i prof. Stefana Jurgi z UAM. Od 1990 roku jest pracownikiem IFM PAN. W 1994 roku doktoryzował się na podstawie rozprawy „*Termiczna detekcja absorpcji Josephsona*”. Promotorem był prof. Jan Stankowski. Miałem okazję recenzować pracę doktorską Jana Martinka i pamiętam, że już wtedy przejawiał spore zacięcie teoretyczne. Uzyskane wyniki doświadczalne absorpcji mikrofalowej w nadprzewodnikach analizował w ramach oryginalnego modelu połączonych złączy Josephsona wyodrębniając obszary termicznej aktywacji i kwantowego tunelowania.

Po doktoracie Jan Martinek zainteresował się zjawiskami kwantowego przewodnictwa elektrycznego w układach jednowymiarowych oraz strukturach zawierających kropki kwantowe. We współpracy z prof. Bułką i prof. Barnasiem, a później z wieloma kolegami z zagranicy wykonał szereg prac teoretycznych związanych z badaniami zjawisk zależnych od spinu zachodzących w nanostrukturach. Badania te dotyczyły: tunelowania jednoelektronowego przez złącza magnetyczne (prace [1, 3] habilitacji), szumu śrutowego [2], akumulacji spinowej [4] oraz zjawisk wielociałowych w transporcie przez kropkę kwantową połączoną z ferromagnetycznymi elektrodami [5-10]. Wykonanie tak wielu prac w stosunkowo krótkim czasie oraz zapoznanie się w najnowocześniejszymi technikami obliczeniowymi z pewnością nie byłoby moż-

liwe dla jednego badacza bez szerokiej współpracy międzynarodowej. Współautorami prac wchodzących w zakres habilitacji są fizycy o uznanej renomie i dlatego ważne jest określenie wkładu habilitanta do wspólnych prac. Jak już wspomniałem wszyscy oni podkreślają istotną lub (częściej) wiodącą rolę dr Martinka w wykonaniu tych prac. Nie ma, zatem najmniejszej wątpliwości, że jego wkład był istotny nie tylko na poziomie postawienia problemu, ale także wykonania obliczeń i dyskusji uzyskanych rezultatów.

Duże znaczenie i aktualność badań dr Martinka związane są z możliwościami technologicznymi, jakie się pojawiły w ostatnich kilkunastu latach, a prowadzącymi do wykorzystania spinu elektronu w nowoczesnych małych i szybkich urządzeniach elektronicznych. Na naszych oczach pojawia się nowa gałąź fizyki, którą często nazywamy elektroniką spinową lub, spintroniką. W nanostrukturach istotną rolę odgrywają procesy tunelowania oraz kulombowskie oddziaływania. Znaczenie tych ostatnich jest bardzo duże, gdyż ze względu na małe rozmiary i pojemności struktur, energia związana z oddziaływaniem kulombowskim  $e^2/2C$  jest olbrzymia i prowadzi do obserwowalnych efektów takich jak blokada kulombowska i zjawisko Kondo.

W pracach p. Martinka oba te fascynujące zjawiska były badane w układzie zawierającym kropkę kwantową i ferromagnetyczne zewnętrzne elektrody. Jak pokazał habilitant, w układzie zawierającym magnetyczne elektrody następuje istotna modyfikacja zjawiska Kondo związana z wpływem indukowanego pola magnetycznego. Badał je metodą skalowania, numerycznej grupy renormalizacyjnej, a w sytuacji nierównowagowej metodą równań ruchu dla funkcji Greena w technice Keldysha oraz techniką diagramową w czasie rzeczywistym. Wszystkie te metody są bardzo zaawansowane, a ich porządne opanowanie wymaga wiele wysiłku.

W rozprawie znalazło się szereg wyników zasługujących na specjalne omówienie. Osobiście za najważniejsze wyniki uważam te związane z badaniem zjawiska Kondo. Są to prace [7], [8] i [11], które stanowią zwartą tematycznie grupę oraz praca [9] habilitacji. Problem Kondo jest standardowym problemem fizyki silnie skorelowanych układów, a jego badanie wymaga zaawansowanych technik teoretycznych i głębokiego zrozumienia. W pracach [7] i [8] J. Martinek jest pierwszym autorem. Są to prace teoretyczne, w których dokonano precyzyjnej analizy zjawiska Kondo w kropce kwantowej sprzężonej z ferromagnetycznymi elektrodami. Prace te nie były pierwszymi w literaturze, które podjęły zagadnienie zjawiska Kondo w układzie kropka kwantowa – ferromagnetyczne elektrody, ale dokonano w nich najpełniejszej analizy zagadnienia adekwatnymi metodami teoretycznymi.

Zjawisko Kondo jest wielociałowym efektem po raz pierwszy zaobserwowanym w latach trzydziestych XX wieku w stopach metali zawierających domieszki magnetyczne. W stopach przejawiało się w postaci wykładniczego wzrostu oporu poniżej pewnej charakterystycznej temperatury. Na początku lat osiemdziesiątych przewidziano teoretycznie, że podobne zjawisko powinno pojawić się w układzie, w którym kropka kwantowa zostanie sprzężona poprzez bariery tunelowe z zewnętrznymi elektrodami. W takich układach przejawia się ono jako wzrost przewodnictwa elektrycznego. W obu przypadkach (stopów i kropek kwantowych) za efekt odpowiedzialny jest wielociałowy stan spinu na domieszce (kropce) i pozostałych elektronów metalu (elektrod). W przypadku kropki kwantowej na poziomie Fermiego pojawia się poziom rezonansowy i dlatego wzrasta przewodnictwo (w metalach pojawiający się

rezonans stanowił dodatkowy kanał rozpraszania i powodował wzrost oporu elektrycznego).

W pracy [7] dr Martinek wraz ze współpracownikami określił m.in. analityczną zależność temperatury Kondo od stopnia polaryzacji magnetycznej elektrod stosując zaburzeniową technikę skalowania podaną przez P.W. Andersona dla klasycznego zjawiska Kondo w metalach. Uogólnienie metody wymagało subtelnej analizy fluktuacji ładunkowych i spinowych. W kolejnej pracy ten sam problem fizyczny został zaatakowany, najlepszą chyba z obecnie dostępnych technik, jaką jest metoda numerycznej grupy normalizacyjnej. Pokazano m.in., że tłumienie zjawiska Kondo przez indukowaną magnetyzację może zostać skompensowane odpowiednim zewnętrznym polem magnetycznym.

Praca [11] habilitacji, która ukazała się w prestiżowym czasopiśmie Science jest zasadniczo pracą doświadczalną, wykonaną w grupie prof. Dana Ralpa na Uniwersytecie Cornella w USA. Jan Martinek jest trzecim spośród siedmiu współautorów tej pracy. Zmierzono tam przewodnictwo różniczkowe nanorurki węglowej umieszczonej pomiędzy niklowymi elektrodami, aby testować przewidywania teorii opisanych w pracach [7], [8].

Prof. Dan Ralph szczegółowo opisuje cele pracy i udział poszczególnych współautorów w jej powstaniu. Wynika z tego, że oprócz Martinka i prof. Ralpa pozostali współautorzy to studenci, którzy przygotowywali próbki i wykonywali pomiary. W oświadczeniu profesora czytamy „*Once we had obtained initial data, Dr Martinek played a crucial role in modeling our measurements theoretically, which allowed us to draw quantitative conclusions from the data. He was the only theorist in the collaboration.*”

Chciałbym jeszcze zwrócić uwagę na pracę [9], w której analizowano dwa spiny zlokalizowane na kropkach kwantowych umieszczonych w dwu gałęziach tzw. pierścienia Aharonowa – Bohma. W takim układzie pojawia się efektywne oddziaływanie typu RKKY pomiędzy spinami i interesująca konkurencja z oddziaływaniem Kondo. Niezerowy strumień pola magnetycznego przenikający przez pierścień modyfikuje oddziaływanie i charakterystyki transportowe układu. W pracy znaleziono m.in., że dla ferromagnetycznego sprzężenia magnetycznego w niskich temperaturach, (lecz nieco powyżej temperatury pojawienia się korelacji Kondo), wyraźnemu wzmocnieniu ulega amplituda oscylacji przewodności układu w funkcji strumienia pola. Okazuje się, że taki wpływ na oscylacje Aharonova – Bohma nie są obserwowane dla antyferromagnetycznego sprzężenia pomiędzy spinami na kropkach.

Jak już wspominałem, całkowity dorobek publikacyjny dr Jana Martinka liczy 60 pozycji, w tym po doktoracie 39 prac oryginalnych oraz 6 wysłanych do druku (część z nich już się ukazała). Jest to obszerny i zróżnicowany dorobek. Kilka z pozycji to prace przeglądowe. Tematyka części z prac, które wchodzi do dorobku naukowego związana jest z badaniem nadprzewodników wysokotemperaturowych oraz fullerenów. Pozostałe podejmują zagadnienia analizowanego w rozprawie habilitacyjnej kwantowego transportu w układach nanoskopowych. Jedna z prac poświęcona analizie nierównowagowego zjawiska Kondo w kropce kwantowej pomiędzy ferromagnetycznymi elektrodami znakomicie wpisuje się w cykl omówionych wyżej prac. Uzupełnia je o aspekt braku równowagi oraz stosowaną metodę. Jest to metoda diagramowa dla czasu rzeczywistego odpowiednio uogólniona na przypadek magne-

tyczny. Pozwala ona na systematyczne badanie wpływu różnych procesów na przewodnictwo elektryczne w układzie. Przebadano m.in. wpływ asymetrii sprzężeń, które prowadzi do asymetrii rozszczepionych przez pole efektywne rezonansów Kondo.

Jak wynika z tego pobieżnego omówienia osiągnięć naukowych dr Jan Martinek jawi się jako dojrzały fizyk o szerokich horyzontach, dużym doświadczeniu, obszernym dorobku naukowym, sprecyzowanej i nowoczesnej tematyce badawczej i dobrym warsztacie obliczeniowym. Opanował i z powodzeniem stosuje w badaniach szereg nowoczesnych technik obliczeniowych. Wyniki osiągnięte w pracy habilitacyjnej istotnie poszerzają naszą wiedzę w zakresie bardzo aktualnej tematyki spintronicznej o potencjalnie ważnych zastosowaniach praktycznych.

Prace dr J. Martinka są licznie cytowane. Ogólna liczba cytowań zbliża się do 200. Jest to bardzo dobry wynik na tym etapie kariery naukowej. W 2004 roku dr Martinek uzyskał Nagrodę Naukową III Wydziału PAN im. Stefana Pieńkowskiego „za badania efektów spinowych w transporcie pojedynczych elektronów”. Jest on już uznanym fizykiem często proszonym o recenzowanie prac w wiodących czasopismach. Wielokrotnie był zapraszany do wygłoszenia referatów na konferencjach naukowych i w zagranicznych ośrodkach badawczych. Był wykonawcą lub głównym wykonawcą grantów KBN oraz europejskich instytucji finansujących badania.

Brał udział w organizacji szeregu konferencji naukowych w Kraju. Był sekretarzem IV Szkoły Nadprzewodnictwa Wysokotemperaturowego, współorganizował konferencje RAMIS i AMPERE.

Pozwolę sobie jeszcze zacytować opinię prof. Gerda Schöna z Uniwersyteu w Karlsruhe. Po omówieniu udziału swego i dr Martinka w czterech pracach, których jest współautorem (dwie z nich to prace [7] i [8] dokładnie omówione powyżej) podsumowuje: „*To conclude, according to my University standards the work covered in the 4 papers comprises enough material for a „Habilitationsschrift”. Combining with an introduction covering the sequential tunneling regime it would constitute a good review article*”. W zupełności zgadzam się z tą opinią. Przypomnę jeszcze, że praca habilitacyjna zawiera 11 publikacji podobnego kalibru jak te, o których wypowiada się prof. Schön.

Warto też przytoczyć opinię prof. Schöna na temat dydaktycznych zdolności habilitanta. „*I can also add that you have demonstrated in the period here that you are a good instructor, who in several cases successfully introduced young scientists into modern topics in physics.*”

**Reasumując, bardzo dobre wyniki naukowe uzyskane w rozprawie habilitacyjnej, opublikowane w najlepszych czasopismach i często cytowane, obszerny i zróżnicowany tematycznie dorobek naukowy niewchodzący w zakres habilitacji oraz większa niż przeciętna aktywność naukowa i bardzo szeroka współpraca międzynarodowa z nawiązką spełniają wymogi stawiane rozprawom habilitacyjnym. Wnioskuje o dopuszczenie dra Jan Martinka do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.**