



UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego

Zakład Teorii Materii Skondensowanej
Kierownik Zakładu: Prof. dr hab. Józef Spałek

ul. Reymonta 4
30-059 Kraków

Tel.: (48 12) 663 56 85
Fax: (48 12) 633 40 79
E-mail: ufspalek@if.uj.edu.pl

plus ratio quam vis

Kraków, 17 marca 2006

Recenzja dorobku wchodzącego w skład rozprawy habilitacyjnej Doktora Piotra Stefańskiego zatytułowanej *"Silne korelacje elektronowe i kwantowa interferencja w transporcie przez kropki kwantowe i nanokontakty"*

Doktor Piotr Stefański ukończył studia w 1985 roku na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, a stopień naukowy doktora uzyskał w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w 1991 roku, gdzie jest zatrudniony do chwili obecnej. Jego lista publikacji po doktoracie zawiera 26 prac w czasopismach i opracowaniach książkowych o zasięgu ogólnoswiatowym. Wygłosił także w tym czasie ponad 20 referatów i komunikatów na konferencjach międzynarodowych. Lista cytowań zawiera około 120 cytowań. Te dane ilościowe świadczą zatem, że kariera naukowa Doktora Stefańskiego przebiega prawidłowo, a Doktor Stefański jest aktywny zawodowo, aczkolwiek habilitacja teoretyka zatrudnionego w instytucie czysto badawczym mogłaby być sfinalizowana nieco wcześniej.

Przechodzę teraz do omówienia dorobku naukowego Doktora Piotra Stefańskiego. Przy tym, ponieważ dorobek przed doktoratem był już raz recenzowany, nie ma potrzeby omawiać go w szczegółach jeszcze raz. Z grubsza, całkowity dorobek można podzielić na dwa okresy. Mianowicie, przed rokiem 2000 Doktor Stefański zajmował się magnetyzmem, a w szczególności anizotropią związków międzymetalicznych 4f-3d. W tym okresie owocną była współpraca z doświadczalnikami i dotyczyła wytłumaczenia różnych własności magnetycznych takich, jak reorientacja spinów, natura anizotropii i wymiana w tych związkach oraz wpływ domieszkowania na własności magnetyczne tych materiałów używanych m.in. jako materiały na magnesy trwałe. W sumie, wykaz tych prac stanowi seria

przeszło 30 krótkich publikacji dobrze ze sobą powiązanych i stanowiących w zdecydowanej większości głównie wyniki doświadczalne. Uważam ten etap za ważny w karierze Doktora Stefańskiego, gdyż jako teoretyk pracował w zespole eksperymentalnym. Nie jest to łatwa rola, wielu teoretyków polskich ucieka za szybko w modele czysto teoretyczne, co zwykle prowadzi do szybkiej kariery, ale niekoniecznie do trwalszych wyników.

Drugi okres w karierze Doktora Stefańskiego zaczyna się około roku 2000, kiedy podjął tematykę wpływu korelacji elektronowych na stany elektronowe w nanoukładach, w tym w kropkach kwantowych. Był to zasadniczy zwrot w zainteresowaniach naukowych Doktora Stefańskiego i niewątpliwie bardzo pomocna tutaj była współpraca z Profesorem Bogdanem Bułką, przynajmniej w tym początkowym okresie (por. oświadczenie Prof. Bogdana Bułki o wspólnych pracach). Poza wyborem nowoczesnej tematyki chciałbym podkreślić fakt, że Doktor Stefański podjął się nowego wyzwania po doktoracie, co powinno być regułą, jeśli chcemy stworzyć dobre laboratoria, w których fizycy powinni posiadać zdolność podejmowania nowych tematów. Pod tym względem, wcześniejsze zainteresowania habilitanta, a dotyczące sprzężenia typu Kondo domieszki z elektronami przewodnictwa (por. np. praca monoautorska, *Acta Phys. Polon.* **97** (2000) 385-8) były zapewne przydatne jako wprowadzenie do tematyki. Te prace z ostatnich 5 lat stanowią treść rozprawy, warto więc je omówić bardziej szczegółowo.

W skład tego dorobku wchodzi zasadniczo 6 prac oryginalnych, 4 artykuły przeglądowe w międzynarodowych wydawnictwach (w tym 3 w Kluwer Acad. Publishers) oraz dwa opracowania lokalne, które w przypadku habilitacji z fizyki teoretycznej nie powinny się tam znaleźć, tym bardziej, że dorobek wymieniony powyżej jest, moim zdaniem, w zupełności wystarczający.

W pierwszej pracy (por. *Phys. Rev. Lett.* **86** (2001) 5128), autorzy omawiają stany rezonansowe typu Kondo i Fano biorąc pod uwagę sprzężenie kropki monoatomowej w ramach modelu Andersona domieszki magnetycznej i wyznaczają prąd tunelowy w formalizmie funkcji Greena z użyciem przybliżonego rozwiązania równań ruchu dla nich. Otrzymane wyniki dla przewodności elektrycznej analizują w funkcji położenia poziomu atomowego domieszki (liczonej względem poziomu Fermiego elektrod) oraz w funkcji tzw. napięcia bramki. Efekty interferencyjne są wzięte pod uwagę dla transportu kwazielastycznego poprzez kropkę kwantową. Policzone także transport poprzez pierścien

Aharonova-Bohma z domieszką magnetyczną w jednym z ramion. Autorzy twierdzą, że otrzymane wyniki, także dotyczące przewodności przy zerowym napięciu bramki, zgadzają się jakościowo z wynikami doświadczalnymi.

W następnych pracach (por. phys. stat. sol. (b) **236** (2003) 388; Acta Phys. Polon. B **34**, 629 (2003) 29) habilitant rozważał dwupoziomowe stany na kropce kwantowej (czy też parze kropek) rozumianej po prostu jako domieszka magnetyczna ze sprzężeniem do elektrod przedstawionych jako zbiornik elektronów pasmowych. Obliczenia przewodności wykonano w ramach rachunku zaburzeń dla funkcji Greena, biorąc pod uwagę w sposób samouzgodniony efekty drugiego rzędu w energii oddziaływania Coulombowskiego na domieszce. Taki rachunek w sposób oczywisty nie opisuje obszaru silnych korelacji na domieszce. Wydaje mi się to założenie trochę niespójne w sytuacji, kiedy parametry tunelowania Γ są małe. Być może czegoś tutaj nie uchwyciłem i będę wdzięczny habilitantowi za dodatkowe wyjaśnienie w czasie kolokwium habilitacyjnego.

W tym momencie muszę nadmienić o jednym drobnym mankamencie rozprawy. A mianowicie, wszystkie prace oryginalne są dobre, ale krótkie. Mam poważne problemy z prześledzeniem całego toku rozumowania formalnego. Oczywiście, habilitant załączył 3 prace przeglądowe, które są raczej omówieniem prac całego zespołu, aniżeli detali rachunkowych czy metod przedstawionych w tych pracach. Doradzam opublikowanie dłuższej pracy w Phys. Rev. B czy Eur. Phys. Journ. B, gdyż wyniki zasługują na to, a poza tym takie prace tworzą solidny warsztat badacza. Tym bardziej, że porównanie z eksperymentem jest jakościowe.

W ostatnich dwóch pracach (por. Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 186805; Solid State Commun. **135** (2005) 314) habilitant rozważa ponownie wielociałowy rezonans Kondo czy rezonans Fano wielopoziomowej kropki typu "semiopen" (czyli z dużą amplitudą Γ). Rachunki przeprowadzono w przybliżeniu Hartree-Focka. Otrzymano tak, jak i w poprzednich pracach przewodność w funkcji napięcia bramki, a także przeanalizowano tzw. parametr Fano, który opisuje z grubsza stosunek energii kinetycznej ruchu balistycznego poprzez kropkę do szerokości połówkowej stanu rezonansowego na kropce. Transport w elektrodach jest bowiem uważany za balistyczny. Zaobserwowano ciekawą kwaziperiodyczną strukturę przewodności w funkcji napięcia w wyniku m.in. efektów interferencyjnych na wielopoziomowej strukturze jednocząstkowej kropki, a także wyznaczono jej zależność temperaturową. Takie wyniki mogą się przydać przy określaniu stopnia degeneracji stanów

kropki. Także, ciekawe efekty powinny się pojawić przy rozważaniu transportu elektrycznego przez kropkę w polu magnetycznym, gdyż powinniśmy mieć wtedy do czynienia z efektem Aharonova-Bohma na wielogałęziowym układzie. Ten ostatni problem jest interesujący sam w sobie.

Podsumowując dorobek habilitanta, zajął się on bardzo aktualną tematyką opisu przewodnictwa w nanoukładzie jakim jest pojedyncza czy podwójna kropka kwantowa. Co prawda, cały opis jest silnie powiązany z modelem Kondo domieszki magnetycznej, to autor prześledził dokładnie zależność przewodnictwa elektrycznego od napięcia bramki (położenia poziomu Fermiego układu) oraz w zależności od parametrów elektronowych układu. Wychwycił także szereg nowych zjawisk poprzez powiązanie fizyki stanu rezonansowego typu Fano z korelacjami wielociałowymi na takiej kropce (rezonans typu Kondo), i to zarówno w przedziale blokady Coulombowskiej, jak i w przedziale kiedy przybliżenie jednocząstkowe typu Hartree-Focka jest dobre. Z tego punktu widzenia, jakość otrzymanych wyników z pewnością stanowić może podstawę rozprawy habilitacyjnej w zakresie fizyki teoretycznej. Uważam także, że te ciekawe prace winny być uzupełnione szerszą publikacją (publikacjami), gdyż tylko wtedy stanowią one trwałą całość. Np. powinno się porównać różne podejścia rozważane przez habilitanta, gdyż np. podejście od strony równań ruchu może nie być spójne z przybliżeniem Hartree-Focka. Poza tym, w kilku pracach oznaczenia nie są zdefiniowane, a relacja do efektu Kondo w przypadku ośrodków o zmiennej liczbie wymiarów gazu elektronowego, zignorowana.

Biorąc pod uwagę powyższe uwagi, także te krytyczne uważam, że rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom habilitacyjnym i wnioskuję o dopuszczenie Doktora Piotra Stefańskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego, w tym do kolokwium habilitacyjnego.

Jerzy Spatek