

Załącznik 2a. Autoreferat, zawierający opis dorobku naukowego w języku polskim

Kraków, 9.03.2015

AUTOREFERAT

Paweł Starowicz

SPIS TREŚCI

1. Dane osobowe
2. Przebieg pracy naukowej
 - 2.1. przed doktoratem
 - 2.2. po doktoracie
3. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)
 - 3.1 Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego
 - 3.2 Opis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego
4. Pozostałe publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports
5. Publikacje naukowe w czasopismach, które nie znajdują się w bazie Journal Citation Reports
6. Spis prac dyplomowych oraz prac rocznych wykonanych przez studentów będących pod opieką autora wniosku
7. Dane bibliometryczne

1. Dane osobowe

1.1 *Imię i nazwisko:* Paweł Starowicz

1.2 *Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:*

- Doktor nauk fizycznych, Wydział Matematyki i Fizyki, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2000 r., tytuł rozprawy doktorskiej: "The Transition from Insulating to Metallic and Superconducting State in the Deoxygenated $(R_{1-x}Ca_x)Ba_2Cu_3O_{6.1}$ Systems (R=Y, Eu)", promotor: prof. dr hab. Andrzej Szytuła
- Magister fizyki, Uniwersytet Jagielloński, Wydział Matematyki i Fizyki, specjalizacja: fizyka fazy skondensowanej, Kraków 1995 r., tytuł pracy magisterskiej: „Badanie własności magnetycznych i nadprzewodzących układu $Eu_{1-x}A_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ”, opiekun pracy: dr hab. Zbigniew Tomkowicz

1.3 *Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych:*

- od października 2006 - adiunkt w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków
- maj - czerwiec 2006, - naukowiec wizytujący (visiting scientist) w ośrodku Ames Laboratory, US Department of Energy, USA
- październik 2003 – wrzesień 2006, asystent w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków
- październik 2001 – wrzesień 2003, asystent na Uniwersytecie w Neuchâtel (Université de Neuchâtel), Szwajcaria
- sierpień 2000 - wrzesień 2001, stypendysta podoktorski, a następnie asystent w Instytucie Jozefa Stefana, Ljubljana, Słowenia
- 1995 - 2000, doktorant w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków

2. Przebieg pracy naukowej

2.1. *Przed doktoratem*

Jestem absolwentem kierunku fizyka na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. W roku 1995 uzyskałem tytuł magistra ze specjalnością fizyka fazy skondensowanej. Moja praca magisterska poświęcona była badaniom domieszkowania w nadprzewodzących ceramikach $EuBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. W ramach pracy przebadałem wpływ takich domieszek jak Ca, Sc, Ti, V, Ni, Zn, Ag, Sn, Pb, Bi oraz Th na własności nadprzewodzące $EuBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Wyniki, które zostały opublikowane w artykule C1¹ można podsumować ogólnym stwierdzeniem, że domieszki, które lokują się na płaszczyznach miedziowo-tlenowych, najsilniej niszczą nadprzewodnictwo.

¹ Spis moich publikacji można znaleźć w dalszej części autoreferatu. Publikacje A1 – A8 (str. 7) stanowią cykl związany z osiągnięciem naukowym będącym podstawą wniosku habilitacyjnego. B1 – B12 (str. 24) są pozostałymi artykułami opublikowanymi w czasopiśmie z bazy Journal Citation Reports, a C1 – C8 (str. 25) stanowią artykuły w czasopiśmie, które nie znajdują się w bazie Journal Citation Reports. D1 – D6 (str. 26) oznaczają studenckie prace dyplomowe i prace roczne wykonane pod moją opieką.

Pracę doktorską wykonałem pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Szytuły. W ramach pracy zajmłem się domieszkowaniem Ca w układach odtlenionych $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{6.1}$ oraz $Eu_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{6.1}$, które miały zawartość tlenu bliską 6 w odróżnieniu od próbek dotlenionych z zawartością tlenu bliską 7 będących przedmiotem pracy magisterskiej. Domieszkowanie dwuwartościowego Ca w miejsce trójwartościowego Y lub Eu dostarczało dziur w układzie $R_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{6.1}$, co skutkowało przejściem od izolatora do metalu i indukowaniem nadprzewodnictwa. Cel pracy obejmował zbadanie i porównanie szeregu własności fizycznych w funkcji zawartości wapnia - x. Moja działalność obejmowała syntezę próbek ceramicznych z odpowiednią zawartością tlenu, badanie struktury krystalicznej przy pomocy dyfrakcji rentgenowskiej i analizy Rietvela, pomiary zmiennoprądowej podatności magnetycznej i oporu elektrycznego w funkcji temperatury, pomiary rentgenowskiej spektroskopii fotoemisyjnej (XPS) oraz spektroskopii fotoemisyjnej ze wzbudzeniem promieniowaniem ultrafioletowym (UPS), a także analizę wyników spektroskopii Mössbauera na próbkach $Y_{1-x}Ca_xBa_2[Cu_{0.992}^{57}Fe_{0.008}]_3O_{6.1}$.

Systematyczne badania wykonane przy pomocy komplementarnych metod pozwoliły dobrze scharakteryzować układ $R_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{6.1}$ (R=Y, Eu). W szczególności zaproponowałem diagram mechanizmów przewodnictwa, który zakładał dominację różnych modeli przewodnictwa hoppingowego w zależności od poziomu domieszkowania i temperatury. Przejście od izolatora do metalu i nadprzewodnika odbywało się bez istotnych zmian w strukturze krystalicznej, co świadczy o fakcie, że efekt ten ma charakter czysto elektronowy. Wyniki badań zostały przedstawione w rozprawie doktorskiej pod tytułem „The Transition from Insulating to Metallic and Superconducting State in the Deoxygenated ($R_{1-x}Ca_x$) $Ba_2Cu_3O_{6.1}$ Systems (R=Y, Eu)”. W czerwcu 2000 roku otrzymałem stopień doktora, a moja rozprawa została wyróżniona przez Radę Wydziału Matematyki i Fizyki UJ. Tematykę pracy doktorskiej kontynuowałem jeszcze przez kilka lat równoległe z moimi podstawowymi pracami badawczymi. Wyniki opisane w pracy doktorskiej razem z późniejszymi badaniami zostały opublikowane w serii artykułów: B4, B5, B8, B9, C3, C4, C5.

2.2. Po doktoracie

Po doktoracie wyjechałem do Instytutu Jozefa Stefana w Ljubljanie (Słowenia), gdzie pracowałem w okresie od sierpnia 2000 r. do września 2001 r, początkowo jako stypendysta po doktoracie, a od kwietnia 2001 r. jako asystent. Wówczas zmieniłem tematykę badawczą i zajmowałem się skaningową mikroskopią tunelową (STM), a także hodowlą monokryształów metodą transportu. Zaczęłem również uczyć się technologii otrzymywania ultra-wysokiej próżni. Przedmiotem moich zainteresowań były chalcogenidki metali przejściowych wykazujące przejście do fali gęstości ładunku. Badania STM zaowocowały trzema publikacjami (B6, B7, B10), a wyhodowane przeze mnie monokryształy $ZrTe_3$ użyłem dwa lata później podczas pobytu w kolejnym ośrodku badawczym.

W roku 2001 zostałem przyjęty na etat asystenta na Uniwersytecie w Neuchâtel w Szwajcarii. Zaczęłem pracę w grupie prof. Yves'a Baer'a, który jest jednym z pionierów spektroskopii fotoelektronów. Grupa prof. Baer'a posiadała jeden z pierwszych spektrometrów o wysokiej energetycznej zdolności rozdzielczej umożliwiającej badania kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej (angle-resolved photoemission spectroscopy - ARPES). Metoda ta pozwala w sposób bezpośredni wyznaczać strukturę pasmową materiałów krystalicznych, funkcje spektralne odzwierciedlające korelacje elektronów, a w szczególności pojawianie się przerw energetycznych przy potencjale chemicznym. Dlatego też wyniki ARPES dostarczają cennych informacji dla formowania teoretycznego opisu dla różnego rodzaju układów silnie skorelowanych elektronów. W związku z powyższym, moim zamierzeniem było rozwijanie tej tematyki w przyszłości również w Polsce.

Przez pierwsze osiem miesięcy mojego pobytu w Neuchâtel prowadziliśmy intensywne prace nad otrzymywaniem wysokiej jakości drutów atomowych na powierzchni wycinalnej krzemu, wykonywaliśmy pomiary ARPES i próbowaliśmy analizować wyniki pomiarów, które przez dłuższy czas były dla nas niezrozumiałe. Efektem tych badań była publikacja w Physical Review Letters (A1), która jest zaliczana do mojego cyklu habilitacyjnego². Kolejne badania ARPES dla struktur zbudowanych z atomów Ca na powierzchni Si przyniosły nowatorskie wyniki, które zostały opublikowane w pracy A2.

Od roku 2002, kiedy to prof. Y. Baer przeszedł na emeryturę pracowałem na Uniwersytecie w Neuchâtel pod kierownictwem prof. Philipp'a Aebi będąc zatrudnionym już na czas nieokreślony. Wówczas zajmowaliśmy się głównie przebudową aparatury badawczej do ARPES, co było priorytetem dla naszej grupy. W tym czasie uruchamiana była również linia pomiarowa do ARPES przy synchrotronie Swiss Light Source. Miałem zaszczyt brać udział w jednych z pierwszych pomiarów na tej linii, które w pewnym stopniu miały charakter testowy. W roku 2003 mogłem również przeprowadzić badania na monokryształach ZrTe₃, które wyhodowałem w Ljubljanie. Wyniki tych badań zostały opublikowane w publikacji A3. Podczas pracy na Uniwersytecie w Neuchâtel prowadziłem zajęcia laboratoryjne w języku francuskim oraz angielskim ze studentami fizyki, mikrotechnologii, matematyki, biologii oraz medycyny. Były to pracownicy fizyczne dla początkujących i zaawansowanych.

W roku 2003 zakończyłem pracę na Uniwersytecie w Neuchâtel i otrzymałem etat asystenta na Uniwersytecie Jagiellońskim, gdyż ze względów osobistych postanowiłem wrócić do Polski. Moje osiągnięcia naukowe, a zwłaszcza te przedstawione w publikacji A1 zostały wyróżnione nagrodą imienia Profesora Henryka Niewodniczańskiego nadaną przez Dyrektora Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w roku 2003. W roku 2005 w Instytucie Fizyki UJ pod moim kierunkiem powstała pierwsza praca magisterska oparta na pomiarach ARPES (D1). Dotyczyła ona danych eksperymentalnych otrzymanych przy synchrotronie Swiss Light Source dla związku TaSe₂. W pierwszych latach po powrocie z Neuchâtel koncentrowałem się na szukaniu możliwości kontynuowania badań opartych na technice ARPES. Wobec braku dostępu do laboratorium dysponującym odpowiednio wysoką zdolnością rozdzielczą szukałem możliwości wykonywania badań za granicą. W roku 2006 pracowałem przez dwa miesiące jako wizytujący naukowiec w Ames Laboratory US Department of Energy w stanie Iowa, USA w grupie prof. Adama Kamińskiego. W tym czasie również uczestniczyłem w pomiarach przy synchrotronie Advanced Light Source w Berkeley (Kalifornia, USA). Po tym pobycie powstała kolejna publikacja z cyklu habilitacyjnego [A4] opublikowana w Physical Review B. Mój kolejny wyjazd badawczy na jeden miesiąc do Ames Laboratory miał miejsce w roku 2008. W latach 2006 – 2010 w Ames Laboratory miałem status naukowca współpracującego (Ames Laboratory Associateship – Off-Site Supporter). Zacząłem również zajmować się obliczeniami teorii funkcjonałów gęstości (density functional theory - DFT) w celu symulacji struktury pasmowej materiałów. Wyniki obliczeń były teoretycznym odpowiednikiem danych ARPES. Praca magisterska D2, która powstała w roku 2008 była związana właśnie z tą tematyką.

Byłem również zaangażowany w działalność organizacyjną przy projekcie polskiego synchrotronu. Koordynowałem pracę osób przygotowujących projekty linii eksperymentalnych i redagowałem broszurę opisującą parametry tych linii oraz odpowiednie zamierzenia badawcze (46 stron). Równocześnie należałem do komitetu planującego parametry linii spektroskopii miękkiego promieniowania rentgenowskiego, którego koordynatorem jest prof. dr hab. Jacek Szade (C7). Obecnie nie ma jeszcze funduszy na realizację tego przedsięwzięcia.

Zarówno praca na Uniwersytecie w Neuchâtel jak i pobyty w Ames Laboratory dostarczyły mi odpowiedniego doświadczenia w tematyce spektroskopii fotoelektronów, dzięki któremu zacząłem

² Dla prac A1-A8 stanowiących cykl habilitacyjny szczegóły merytoryczne są opisane w paragrafie 3.

sam organizować moją pracę naukową. Znaczne wsparcie w drodze do samodzielności stanowiła opieka prof. dr hab. Andrzeja Szytuły. Dzięki Profesorowi Andrzejowi Szytule między innymi nawiązałem współpracę z grupą hodującą monokryształy związków ceru (grupa prof. dr hab. Dariusza Kaczorowskiego z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu). Pozyskałem także monokryształy chalcogenidków żelaza będące niekonwencjonalnymi nadprzewodnikami, które syntezował dr Paweł Zajdel, Uniwersytet Śląski oraz prof. dr Mark Green, National Institute of Standards and Technology, (Gaithersburg, MD, USA). Moje projekty badań zostały zaakceptowane przez synchrotrony Elettra (Trieste, Włochy) oraz MAX-LAB (Lund, Szwecja) i pierwszy mój czas pomiarowy przy linii synchrotronowej miał miejsce w październiku 2009. Eksperyment ARPES przy synchrotronie wymaga pracy nawet przez 24 godziny na dobę przez kilka lub kilkanaście dni. Dlatego też odpowiednie prowadzenie eksperymentu było możliwe dzięki współuczestnictwie w czasie pomiarowym grupy prof. dr Friedricha Reinerta z Uniwersytetu w Würzburgu. Analiza danych i sformułowanie publikacji odbywały się również we współpracy z grupą prof. dra F. Reinerta. Opisane pomiary synchrotronowe zaowocowały kolejnymi trzema publikacjami [A5, A6, A7].

W roku 2009 dzięki projektowi ATOMIN pojawiła się możliwość sfinansowania zakupu aparatury do ARPES o wysokiej zdolności rozdzielczej w Instytucie Fizyki UJ. W Zakładzie Fizyki Ciała Stałego istniała aparatura do badań XPS/UPS, która miała zostać połączona z nowymi komorami próżniowymi, w których miał znajdować się między innymi wysokiej klasy spektrometr fotoelektronów umożliwiające pomiary ARPES. W latach 2009 – 2010 współpracowałem z zewnętrzną firmą przy projektowaniu układu siedmiu komór ultra-wysokiej próżni, które miały pełnić różne funkcje związane z pomiarami przy pomocy XPS, UPS oraz ARPES, preparatyką powierzchni i transferem próbek. We wrześniu 2010 firma produkująca sprzęt próżniowy dostarczyła zaprojektowany system umożliwiający pomiary XPS/UPS/ARPES z wysoką zdolnością rozdzielczą w temperaturach do 12 K. Był to system prototypowy i jak się okazało szereg zakładanych funkcji aparatury nie działało w sposób poprawny. Kolejne miesiące prac we współpracy z konstruktorami i warsztatem firmy dostarczającej aparaturę pozwoliły uruchamiać odpowiednie podzespoły. W roku 2012 prowadzono już pomiary metodami XPS, UPS oraz ARPES przy jednoczesnych pracach nad poprawianiem parametrów urządzenia. Wysoka zdolność rozdzielcza odpowiadająca naszym założeniom (poniżej 5 meV) została otrzymana w grudniu 2013. Prawdopodobnie dzięki unikatowemu charakterowi aparatury oraz bogatemu programowi badawczemu uwzględniającemu współpracę krajową i międzynarodową aparatura została zakwalifikowana jako specjalne urządzenie badawcze (tzw. SPUB) w roku 2012 oraz 2014 i dostała odpowiednią dotację z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Ostatnia publikacja z cyklu habilitacyjnego (A8) oraz prace dyplomowe (D5, D6) przedstawiają pomiary wykonane w naszym laboratorium. Układy będące przedmiotem poprzednich publikacjach (A5, A6, A7) były również badane w naszym laboratorium ale pomiary miały charakter wstępny i nie spełniały jeszcze odpowiednich standardów. Najważniejsze wyniki w pracach A5-A7 zostały otrzymane przy synchrotronach.

W Instytucie Fizyki UJ nie było grupy zajmującej się badaniami ARPES. Przez długi czas moje prace koncentrowały się na stworzeniu odpowiedniej aparatury i zaplecza w postaci szeregu urządzeń (np. kamera Lauego, mikroskop, etc.). Jednak przede wszystkim udało mi się stworzyć grupę składającą się ze studentów studiów I-go i II-go stopnia, którzy zostali zaangażowani w pracę naukową. Do tej pory współpracujący ze mną studenci studiów I-go i II-go stopnia zostali współautorami 5-ciu prac (A3, A5, A6, A7, A8). Pierwsza praca magisterska (D1) obejmowała analizę kształtu spektrum ARPES, z którego wyznaczyliśmy część rzeczywistą i urojoną self energy (Σ). Na podstawie istniejących anomalii w Σ określiliśmy energie korelacji elektronów w związku TaSe₂, które najprawdopodobniej odpowiadają oddziaływaniu elektron-fonon. Możliwość publikacji tych wyników otworzyła się dopiero po uzyskaniu odpowiednich obliczeń struktury fononowej. W roku 2014 wyniki te zostały zaprezentowane już na 2 konferencjach i obecnie przygotowujemy publikację. W analizie danych ARPES dla

niekonwencjonalnego nadprzewodnika $\text{Fe}_{1-x}\text{Te}_{1-y}\text{S}_y$ uczestniczył student Studiów Matematyczno-Przyrodniczych w ramach swojej pracy rocznej (D4) i został On współautorem publikacji (A5). Prowadzona przeze mnie praca licencjacka (D5), a wcześniej praktyka studencka poświęcona była analizie danych ARPES dla $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$, co wiązało się ze współautorstwem studenta w pracach A6 oraz A7. Ten sam student jest pierwszym autorem publikacji A8, której tematyka badawcza wiąże się z Jego pracą magisterską. Z kolei praca licencjacka D6 prezentuje spektra ARPES, które jako jedne z pierwszych otrzymanych w naszym laboratorium mają znaczną wartość naukową. W tej pracy znajdują się niektóre z widm uzyskanych dla monokryształów $\text{FeTe}_{0.65}\text{Se}_{0.35}$ oraz $\text{Fe}_{0.945}\text{Ni}_{0.055}\text{Te}_{0.65}\text{Se}_{0.35}$ – domieszkowanego niklem syntezowanych w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Wyniki pokazują istnienie trzech kieszeni elektronowych w środku strefy Brillouina i przesunięcie przynajmniej jednej z nich spowodowane domieszkowaniem Ni. Obecnie dwóch studentów kształci się realizując indywidualny plan studiów i przygotowuje prace magisterskie pod moją opieką. Kolejny student wykonuje pracę licencjacką. Wymienieni studenci są współautorami czterech publikacji. Istnieje możliwość aby te osoby kontynuowały badania w ramach pracy doktorskiej

Poza głównym nurtem pracy badawczej mam również inne zainteresowania naukowe. Współpracowałem przy badaniach XAFS (badania struktury subtelnej metodą absorpcji promieni X) dla związków R_2PdSi_3 (R-pierwiastek ziem rzadkich) przy synchrotronie DAFNE w Narodowym Laboratorium we Frascati (Włochy). Wyniki są przedstawione w pracy C8 oraz stanowią podstawę artykułu wysłanego w roku 2014 do czasopisma Nuclear Instruments and Methods część B. Moim dodatkowym zainteresowaniem są również nanocząstki metali przejściowych i ich tlenków. Prowadziłem i opracowywałem pomiary dyfrakcji rentgenowskiej w celu identyfikacji składu fazowego nanocząstek magnetytu/maghemitu (B11) oraz związków aluminium (B12). Interpretowałem również widma mössbauerowskie służące do określenia składu oraz własności magnetycznych nanocząstek magnetytu/maghemitu (B12).

W ostatnim roku nasza aparatura pomiarowa do XPS/UPS/ARPES była wykorzystywana również do innych badań. Zajmowałem się wyznaczaniem pracy wyjścia dla organicznych warstw samoorganizujących się na powierzchni Au. Celem odpowiedniego projektu jest modyfikacja pracy wyjścia Au przez molekuly posiadające grupy polarne. Prowadziłem również pomiary UPS oraz XPS dla międzymetalicznych związków ziem rzadkich. Moi współpracownicy są w trakcie przygotowania publikacji.

Podsumowując, moim podstawowym zainteresowaniem naukowym po doktoracie stało się badanie układów silnie skorelowanych metodą kątownorozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej (ARPES). Powodem tego wyboru były możliwości bezpośredniego wyznaczania struktury elektronowej z uwzględnieniem efektów korelacji, co daje możliwość wglądu w zachowanie elektronów w układach silnie skorelowanych takich jak niekonwencjonalne nadprzewodniki, materiały z efektem Kondo np. ciężkie fermiony, czy też metale jednowymiarowe o egzotycznych własnościach (a obecnie również grafen i izolatory topologiczne). Technika ARPES przyczyniła się do wielu przełomowych odkryć w wymienionych klasach materiałów, a odpowiednie wyniki są często publikowane w prestiżowych czasopismach. Dlatego też szansą dla mnie była praca na Uniwersytecie w Neuchâtel, a później podczas krótkich pobytów w Ames Laboratory. Technika ARPES jest używana do badań materiałów głównie w krajach wysokorozwiniętych, jest właściwie zarezerwowana dla dużych grup badawczych dysponujących poważnymi środkami finansowymi. Dlatego też rozwój tej tematyki wiąże się z poważnymi wyzwaniem. Ostatnie lata pozwoliły mi dojrzeć do realnej samodzielności naukowej. Przy

pracy nad artykułami³: A3, A5, A6, A7 oraz A8 byłem faktycznym koordynatorem prac badawczych i autorem do korespondencji.

3. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

Tytuł osiągnięcia naukowego: „Struktura elektronowa wybranych układów z silnymi korelacjami badana metodą spektroskopii fotoelektronów”

3.1 Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Podany jest „impact factor”, liczba cytowań oraz mój udział w publikacjach,

A1. P. Starowicz, O. Gallus, Th. Pillo, and Y. Baer,
“Size Effects in Photoemission of One-Dimensional Metals”
Physical Review Letters **89** (2002) 256402.

IF=7.323, 19 cytowań,

udział w publikacji: 55 % (synteza metalicznych drutów atomowych na powierzchni wycinalnej krzemu, wykonanie pomiarów ARPES, wykonanie symulacji numerycznych, udział w przygotowaniu publikacji)

A2. O. Gallus, Th. Pillo, P. Starowicz, and Y. Baer,
“Honeycomb Chain-Channel (HCC) signature in the Calcium-induced Si(111)-(3x2) surface”
Europhysics Letters **60** (2002) 903-909.

IF=2.360, 16 cytowań,

udział w publikacji: 20 % (współpraca przy wykonywaniu pomiarów ARPES, współpraca przy redakcji manuskryptu)

A3. P. Starowicz, C. Battaglia, F. Clerc, L. Despont, A. Prodan, H.J.P. van Midden, U. Szerer, A. Szytuła, M.G. Garnier, P. Aebi,
“Electronic structure of ZrTe₃”

Journal of Alloys and Compounds **442** (2007) 268.

IF=1.455, 3 cytowania,

udział w publikacji: 55% (hodowla monokryształów ZrTe₃ metodą transportu, pomiary ARPES, opracowanie danych, przygotowanie publikacji)

A4. P. Starowicz, C. Liu, R. Khasanov, T. Kondo, G. Samolyuk, D. Gardenghi, Y. Lee, T. Ohta, B. Harmon, P. Canfield, S. Bud'ko, E. Rotenberg and A. Kaminski,

“Direct observation of a Fermi surface and superconducting gap in LuNi₂B₂C”

Phys. Rev. B **77** (2008) 134520.

IF=3.322, 9 cytowań

udział w publikacji: 40 % (analiza danych ARPES, przygotowanie manuskryptu)

A5. P. Starowicz, H. Schwab, J. Goraus, P. Zajdel, F. Forster, J. R. Rak, M. A. Green, I. Vobornik and F. Reinert,

³ Gwoli ścisłości powinienem nadmienić, że w artykułach A7 oraz A8 nie została użyta metoda ARPES lecz spektroskopia fotoemisyjna bez rozdzielczości kątowej. Istnieje jednak bliższy związek tematyczny tych prac z artykułem A6

“A flat band at the chemical potential of a $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$ superconductor observed by angle-resolved photoemission spectroscopy”

J. Phys.: Condens. Matter **25** (2013) 195701.

IF=2.223, 1 cytowanie

udział w publikacji: 60 % (organizacja i przeprowadzenie pomiarów ARPES przy synchrotronie Elettra, opracowanie danych pomiarowych, przygotowanie publikacji)

A6. P. Starowicz, R. Kurlito, J. Goraus, H. Schwab, M. Szlawska, F. Forster, A. Szytuła, I. Vobornik, D. Kaczorowski and F. Reinert,

“Evidence of momentum-dependent hybridization in $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$ ”

Phys. Rev. B **89** (2014) 115122.

IF(2013)=3.664, 1 cytowanie

udział w publikacji: 60 %, (organizacja i przeprowadzenie pomiarów ARPES przy synchrotronie Elettra, opracowanie danych pomiarowych wspólnie ze studentem, przygotowanie publikacji)

A7. P. Starowicz, R. Kurlito, J. Goraus, Ł. Walczak, B. Penc, J. Adell, M. Szlawska, D. Kaczorowski, A. Szytuła,

“Valence band of $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$ and Ce_2RhSi_3 studied by resonant photoemission spectroscopy and FPLO calculations”

Acta Physica Polonica A **126** (2014) A-144.

IF(2013)=0.604, 0 cytowań

udział w publikacji: 50 % (organizacja i przeprowadzenie pomiarów spektroskopii fotoelektronów przy synchrotronie MAX-LAB, opieka nad studentem wykonującym analizę danych, przygotowanie publikacji)

A8. R. Kurlito, P. Starowicz, J. Goraus, S. Baran, Yu. Tyvanchuk, Ya.M. Kalychak, A. Szytuła, “Electronic structure and transport properties of CeNi_9In_2 ”

Solid State Communications **206** (2015) 46.

Impact factor(2013)=1.698, 0 cytowań

udział w publikacji 40 % (przeprowadzenie pomiarów UPS, XPS, opieka nad studentem wykonującym analizę danych, napisanie końcowej wersji manuskryptu)

3.2 Opis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

WSTĘP

Układy z silnymi korelacjami elektronowymi stanowią szeroką klasę materiałów, które nie mogą być opisane w sposób zadowalający w przybliżeniu niezależnych elektronów. W związku ze złożonością w opisie teoretycznym i występowaniem szeregu intrygujących zjawisk fizycznych materiały te stanowią ważny obiekt zainteresowań współczesnej fizyki materii skondensowanej. Silne korelacje elektronowe są źródłem między innymi nadprzewodnictwa konwencjonalnego (opisanego przez teorię BCS) i niekonwencjonalnego (w tym wysokotemperaturowego) oraz szeregu zjawisk opartych na hybrydyzacji pomiędzy elektronami f , a tymi z pasma przewodnictwa takich, jak efekt Kondo, powstawanie ciężkich fermionów lub fluktuującej walencyjności. Kolejnymi efektami korelacji elektronowych jest powstawanie stanu podstawowego izolatora Motta-Hubbarda, uporządkowanie magnetyczne i właściwości kwantowych układów Halla. Korelacje elektronowe wymuszone jednowymiarowością metalu prowadzą do separacji spinu i ładunku elektrycznego. Zaś w układach kwazi-jednowymiarowych pojawia się przejście Peierls’a prowadzące do powstania fal gęstości ładunku. Przejście tego typu może być również obserwowane w materiałach o wyższej wymiarowości.

Wiodącą techniką eksperymentalną zastosowaną w pracach A1-A8 jest spektroskopia fotoemisyjna (ang. photoemission spectroscopy - PES), która może dostarczyć cennych informacji w badaniach układów skorelowanych. W metodzie tej uzyskujemy spektrum energetyczne związane z usunięciem jednego elektronu z układu wzbudzanego promieniowaniem ultrafioletowym lub rentgenowskim. W przypadku nieoddziałujących lub słabo oddziałujących elektronów wynikiem pomiarów jest gęstość stanów (dla stanów obsadzonych). W pracach A1-A6 używana była metoda kątorozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej (ang. angle-resolved photoemission spectroscopy - ARPES), która, jako szczególny przypadek PES jest wykorzystywana do badania funkcji spektralnej zależnej od energii i wektora falowego $A(\omega, k)$. W praktyce dzięki ARPES otrzymuje się strukturę pasmową (prace A1-A6), powierzchnię Fermiego (prace A3, A4) lub nawet charakter orbitalne pasm (A5). W ostatnim przypadku niezbędnym warunkiem jest odpowiednia geometria pomiaru i możliwość zmiany polaryzacji promieniowania padającego na próbkę. Wykorzystywano również metodę rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej (resonant photoemission spectroscopy - RESPES), która przy zbieraniu materiału eksperymentalnego do pracy A7 pozwalała na rezonansowe wzmocnienie intensywności pochodzącej od elektronów Ce 4f. Z punktu widzenia badań układów silnie skorelowanych szczególnie ważne jest spektrum przy energii Fermiego, którego kształt jest związany z oddziaływaniem elektronów. Ten obszar niskich energii był badany zarówno metodą ARPES (A1, A3-A6), jak i PES uśrednioną po kątach (A7, A8). W funkcji spektralnej lub w będącym jej obrazem spektrum fotoemisyjnym możemy obserwować efekty korelacji, którymi są przerwy lub pseudoprzerwy energetyczne (A3, A4), wąski rezonans Kondo (A6, A7) lub jego rozmycie (A8), a także specyficzny dla metali jednowymiarowych ubytek gęstości spektralnej przy energii Fermiego (A1). Przy pomocy PES obserwujemy nie tylko wymienione wyżej konsekwencje korelacji elektronowych ale również odwrotnie, możemy przewidzieć pojawienie się korelacji na podstawie topografii pasm i powierzchni Fermiego. Takimi źródłami silnych oddziaływań może być wysoka gęstość stanów przy energii Fermiego związana z topografią pasm (A5), z istnieniem słabo zlokalizowanych elektronów f (A6-A8) albo też nesting⁴ powierzchni Fermiego (A3, A4).

Prace przedstawione w cyklu habilitacyjnym łączy metoda eksperymentalna – spektroskopia fotoemisyjna i szeroko pojęta klasa materiałów charakteryzujących się silnymi korelacjami elektronowymi. Przedmiotem pracy A1 są łańcuchy atomowe zawierające Au oraz Na na powierzchni wycinalnej Si(335). Badany obiekt jest jednowymiarowym metalem, a istniejące korelacje są skutkiem niskiej wymiarowości oraz istnienia defektów powodujących że łańcuchy atomowe mają w rzeczywistości skończoną długość. Praca A2 dotyczy łańcuchów zbudowanych z Ca oraz Si na powierzchni Si(111) tworzących rekonstrukcję o periodyczności (3x2). Układ ten, z istniejącą przerwą energetyczną, wg niektórych prac był uważany za silnie skorelowany. Zgodnie z rozważaniami przedstawionymi w A2 powierzchnia ta jest półprzewodnikiem o charakterze kwazi-jednowymiarowym. Praca A3 poświęcona jest badaniu ZrTe₃, w którym istnieje podsieć kwazi-jednowymiarowa, występuje przejście do fazy fal gęstości ładunku, a także nadprzewodnictwo. Kolejne prace (A4, A5) są również poświęcone związkom nadprzewodzącym: LuNi₂B₂C (A4) z możliwym fononowym mechanizmem parowania oraz Fe_{1.03}Te_{0.94}S_{0.06} (A5), który jest uznawany za nadprzewodnik niekonwencjonalny dla którego mechanizm parowania nie jest sprecyzowany. Pozostałe artykuły (A6 - A8) przedstawiają badania dla międzymetalicznych związków ceru: Ce₂Co_{0.8}Si_{3.2} (A6), Ce₂RhSi₃ i Ce₂Co_{0.8}Si_{3.2} (A7) oraz CeNi₉In₂ (A8). W układach tych korelacje są oparte na oddziaływaniu typu Kondo

⁴ W miejsce angielskiego terminu „nesting” można wprowadzić „zagnieżdżenie”. Autor jednak tego wyrażenia nie używa, ze względu na rozpowszechnienie terminu „nesting” w specjalistycznych tekstach zredagowanych w języku polskim.

oraz RKKY i prowadzą do powstawania efektu Kondo (Ce_2RhSi_3 i $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$), uporządkowania magnetycznego (Ce_2RhSi_3) oraz fluktuującej walencyjności (CeNi_9In_2).

Opisy publikacji A1-A8 wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego zawierają krótkie przedstawienie stanu wiedzy w tematyce związanej z danym materiałem. Na tym tle prezentowane są osiągnięcia i propozycje zaprezentowane w publikacjach. Takie zestawienie pozwala łatwiej ocenić ewentualny wkład publikacji do rozwoju dziedziny badawczej. Na koniec przedstawiony jest wkład do publikacji wniesiony przeze mnie i pozostałych współautorów.

A1. P. Starowicz, O. Gallus, Th. Pillo, and Y Baer,
“Size Effects in Photoemission of One-Dimensional Metals”
Physical Review Letters **89** (2002) 256402.

Motywacją do podjęcia badań metalicznych układów jednowymiarowych były interesujące przewidywania teoretyczne i trudności w interpretacji dotychczasowych wyników otrzymanych metodą spektroskopii fotoemisyjnej. Model cieczy Fermiego opisujący „proste” metale nie stosuje się do układów jednowymiarowych. Zaś poprawny opis tych drugich oparty jest na modelu cieczy Tomonagi – Luttingera [1,2], który przewiduje istnienie wzbudzeń przenoszących wyłącznie spin lub ładunek. W konsekwencji tzw. spinony i holony posiadające różne prędkości grupowe powinny być widoczne w postaci struktur o różnych dyspersjach w funkcji spektralnej otrzymywanej w eksperymencie ARPES [3,4]. Jednoznaczna identyfikacja [4] spinonów i holonów jest trudna i może budzić kontrowersje [5]. Jednocześnie, szereg pomiarów ARPES dla układów jednowymiarowych wykazało brak krawędzi Fermiego i niską gęstość spektralną przy energii Fermiego, a w niektórych przypadkach intensywność malała liniowo wraz z energią [6-10]. Tego typu spektra fotoemisyjne byłyby zgodne z teorią cieczy Tomonagi-Luttingera wyłącznie dla anomalnie wysokiego parametru α zależnego od oddziaływań [3,11]. Dlatego też przez szereg lat wyniki spektroskopii ARPES dla całej klasy metali jednowymiarowych były w zasadzie rozbieżne z istniejącą teorią.

Realizacją metalu jednowymiarowego użytego do badań była warstwa drutów atomowych otrzymanych na powierzchni wycinalnej Si(335) w dwóch etapach. W pierwszym etapie naparowano 0.28 monowarstwy Au na powierzchnię Si(335) i przeprowadzono odpowiednią obróbkę termiczną otrzymując stabilną rekonstrukcję powierzchni [12]. Następnie napyłono Na i powierzchnię poddano kolejnemu wygrzewaniu, którego skutkiem była desorpcja nadmiarowego Na i kolejna uporządkowana rekonstrukcja powierzchni. Prace nad optymalizacją preparatyki powierzchni i pierwszymi pomiarami ARPES trwały kilka miesięcy. W ten sposób otrzymano powierzchnię dla której zaobserwowano pasmo metaliczne dające znaczną intensywność w spektroskopii ARPES przy użyciu promieniowania He I o energii 21.2 eV. Pasma to było jednowymiarowe, a więc nie wykazywało dyspersji w kierunku prostopadłym do łańcuchów atomowych. Jednak przede wszystkim obserwowane pasmo przechodziło przez energię Fermiego przy nieobecności krawędzi Fermiego, w tym rejonie wykazywało zmniejszoną gęstość spektralną, a zależność intensywności od energii była w przybliżeniu liniowa. Jedyną cechą świadczącą o wysokiej zdolności rozdzielczej w eksperymencie była zmiana przebiegu dokładnie przy energii Fermiego. Otrzymane widma posiadały uwydatnione cechy obserwowane wcześniej w klasie metali jednowymiarowych. Chciałem nadmienić, że widma przedstawione na rysunku 1 pracy A1 wykazują złożoną strukturę konsystentną z istnieniem gałęzi spinonowej i holonowej w funkcji spektralnej lecz dyskusja tego nie była przedmiotem publikacji, gdyż nie mieliśmy argumentów do wyeliminowania interpretacji alternatywnych, wg których struktury przypisane spinonowi i holonowi mogłyby pochodzić od różnych pasm.

W pracy A1 zaproponowaliśmy wytłumaczenie osobiwego kształtu spektrum dla powierzchni Si(335)-Au-Na, a także dla całego szeregu układów jednowymiarowych. Podstawowym, a zarazem prostym założeniem jest, że defekty w metalach jednowymiarowych dzielą układ na skończone części. Przy emisji fotoelektronu układ pozostaje w odpowiedniej skali czasowej naładowany elektrostatycznie, co pomniejsza energię fotoelektronu o pewne przesunięcie kulombowskie. Założyliśmy gaussowski rozkład długości fragmentów metalu jednowymiarowego i odpowiednie przesunięcie kulombowskie zależne od długości łańcucha. Te założenia pozwoliły wygenerować nie tylko spektra opublikowane w A1 ale także kształt widm otrzymanych wcześniej dla różnych metali jednowymiarowych, co nie było przedmiotem szczegółowej dyskusji w publikacji A1. Należy nadmienić, że o ile publikacja A1 wyjaśnia z pewnością kształt spektrum dla sporej liczby rzeczywistych metali jednowymiarowych, istnieje alternatywna propozycja oparta na istnieniu polaronów [11,13].

Mój wkład do publikacji A1 w początkowej fazie badań obejmował próby otrzymania powierzchni Si(335)-Au-Na, optymalizację metody jej przygotowania oraz pierwsze pomiary ARPES, co wykonywałem wraz z moimi współpracownikami Th. Pillo i O. Gallus pod kierunkiem prof. Y. Baer'a. Przez ostatnie tygodnie badań praktycznie samodzielnie przygotowywałem powierzchnię i zbierałem spektra ARPES użyte później w publikacji. Samodzielnie wykonałem również obliczenia przy pomocy modelu przesunięcia kulombowskiego oraz rysunki do publikacji. Pierwsza wersja manuskryptu została napisana przez prof. Yves'a Baer'a. Następnie nad tą wersją pracowaliśmy całą grupą. Mój wkład do publikacji oceniam jako 55 %.

A2. O. Gallus, Th. Pillo, P. Starowicz, and Y. Baer,
"Honeycomb Chain-Channel (HCC) signature in the Calcium-induced Si(111)-(3x2) surface"
Europhysics Letters **60** (2002) 903-909.

Kolejnym obiektem badań była powierzchnia Ca/Si(111) - (3 x 2), wykazująca rekonstrukcję typu „honeycomb chain-channel” (HCC). W rekonstrukcji HCC atomy Ca (lub innego metalu) tworzą jednowymiarowe łańcuchy i są ulokowane w kanałach między łańcuchami o strukturze plastra miodowego zbudowanego z atomów Si. Wymienioną rekonstrukcję otrzymuje się poprzez napylenie określonej ilości Ca na Si(111) oraz samoorganizację przebiegającą przy wygrzewaniu powierzchni w ultrawysokiej próżni.

W literaturze istniały sugestie, że powierzchnia typu HCC na Si(111) otrzymana z metalami ziem alkalicznych (Ca, Mg, itd.) może być układem silnie skorelowanym [14, 15]. Przypuszczano, że ilość naparowanego metalu wynosi 1/3 monowarstwy przez analogię do rekonstrukcji HCC otrzymanych dla metali alkalicznych. W związku z tym spodziewano się istnienia stanów metalicznych wobec niecałkowitego wypełnienia pasma i rekonstrukcji powierzchni z periodycznością 3x1 wyrażoną w stałych sieci. Tymczasem eksperyment wskazywał na istnienie przerwy energetycznej. Taki stan rzeczy mogło tłumaczyć istnienie silnych korelacji. Dlatego też proponowano występowanie przejścia Peierlsa dla powierzchni z Ca na Si(111) i w ten sposób również uzasadniano obserwowaną periodyczność (3x2) zamiast spodziewanej (3x1) [14]. Dla odpowiedniej powierzchni - HCC na Si(111) uzyskanej z Mg [15] sugerowano, że pojawienie się przerwy energetycznej spowodowane jest stanem podstawowym izolatora Motta-Hubbarda ze względu na słabe przekrywanie się orbitali atomów tworzących rekonstrukcję powierzchni. Istniała też praca na temat otrzymanej powierzchni typu HCC na Si(111) z atomami Ba, których ilość oszacowano jako 1/6 monowarstwy [16]. Taka ilość Ba pozwalała przewidzieć istnienie całkowicie zapełnionego pasma i struktury elektronowej półprzewodnika.

W kontekście przedstawionych wyników literaturowych celem pracy było określenie struktury powstałej w wyniku napylenia Ca na Si(111) i obróbki termicznej, w tym zawartości Ca w prezentowanej rekonstrukcji, badanie struktury elektronowej, w tym efektów korelacyjnych sugerowanych w poprzednich artykułach [14,15], a także określenie źródła przerwy energetycznej.

Pierwszym istotnym wynikiem było oszacowanie ilości napyłonego Ca potrzebnego do otrzymania zadanej rekonstrukcji powierzchni jako 1/6 monowarstwy. Pomiaru dokonano przy użyciu mikrowagi kwarcowej, a oszacowana dokładność wyniku wynosiła 30%. Badania przeprowadzone przy pomocy dyfrakcji elektronów niskoenergetycznych (low energy electron diffraction - LEED) wykazały periodyczność na powierzchni (3 x 2), co wiąże się z faktem, że co drugie położenie w łańcuchu HCC jest obsadzone przez atom Ca. Sąsiadujące łańcuchy w strukturze HCC (3 x 2) mogą być w tej samej fazie lub przesunięte o pół okresu, co powoduje specyficzny obraz LEED z punktami które dałaby czysta rekonstrukcja 3 x 1 i liniami pochodzącymi od rzeczywistej periodyczności 3 x 2 z łańcuchami w różnych fazach. Pomiar ARPES wykazały istnienie trzech pasm, które mają charakter półprzewodnikowy, a najmniejsza odległość od pasma do energii Fermiego wynosi 1 eV, więc najprawdopodobniej można mówić o przerwie energetycznej ~ 2 eV. Dyspersje trzech otrzymanych pasm są zgodne z obliczeniami ab initio struktury pasmowej [17] przeprowadzonymi dla powierzchni o strukturze HCC utworzonej przez 1/3 monowarstwy Li na Si(111). Potwierdza to istnienie modelu powierzchniowego HCC dla powierzchni Ca/Si(111) - (3 x 2). Liczba elektronów dostarczona do pasma walencyjnego przez 1/6 monowarstwy Ca jest równa liczbie elektronów od 1/3 monowarstwy Li. W związku z tym, tak jak w przypadku Li następuje całkowite wypełnienie pasma i to tłumaczy naturę powierzchni jako półprzewodnikową. Późniejsze badania ARPES dla powierzchni Ca/Si(111) - (3 x 2) [18] wykazały istnienie dodatkowo dwóch pasm, a więc w sumie pięciu, które nie przecinają energii Fermiego, co jest jakościowo zgodne z proponowanym przez nas opisem powierzchni.

Omawiana praca różni się od pozostałych w cyklu habilitacyjnym, gdyż nasze wyniki nie wskazują jasno, na istnienie efektów korelacyjnych dla powierzchni Ca/Si(111) - (3 x 2). Przeciwnie, efekty korelacyjne były proponowane wcześniej [14,15]. Jednak charakter jednowymiarowy lub kwazi-jednowymiarowy układu pozwala sądzić, że korelacje elektronowe są w nim obecne.

Mój wkład do publikacji polegał na współpracy przy pracach laboratoryjnych, czyli przy pomiarach ARPES i utrzymaniu aparatury ultrawysokiej próżni. Współpracowałem również przy redagowaniu manuskryptu. Mój wkład do publikacji oceniam jako 20 %.

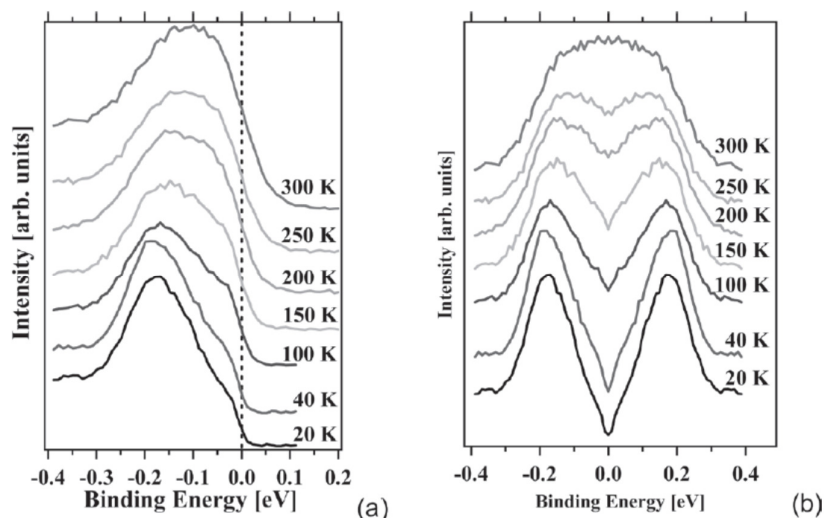
A3. P. Starowicz, C. Battaglia, F. Clerc, L. Despont, A. Prodan, H.J.P. van Midden, U. Szerer, A. Szytuła, M.G. Garnier, P. Aebi,
“Electronic structure of ZrTe₃“
Journal of Alloys and Compounds **442** (2007) 268.

Kolejnym badanym układem był związek ZrTe₃ posiadający strukturę krystaliczną o cechach jednowymiarowych, w którym występuje przejście do fazy fal gęstości ładunku (CDW) w temperaturze T_{CDW}=63 K [19], a poniżej 2 K pojawiają się filamenty nadprzewodzące [20]. Pod wysokim ciśnieniem zaobserwowano interesujące współzawodnictwo fazy nadprzewodzącej i CDW [21]. Przy ciśnieniu 1 GPa nadprzewodnictwo zanika, podczas gdy temperatura przejścia do fazy CDW rośnie, a przy ciśnieniu 5 GPa nadprzewodnictwo ponownie się pojawia przy zaniku fazy CDW. W związku z faktem, że materiał ten nie był uprzednio badany metodą ARPES, stanowił on cenny obiekt do studiowania fazy CDW i ewentualnie współistnienia CDW z nadprzewodnictwem.

Badania ARPES obejmowały mapowanie powierzchni Fermiego w temperaturze pokojowej oraz w $T = 20$ K. Część powierzchni Fermiego stanowiły dwa równoległe płaty, których kształt oznaczał tzw. nesting. Ponadto na tych płatach zauważono ubytek intensywności przy energii Fermiego w $T = 20$ K. Następnie przeprowadzono pomiary ARPES dla ustalonego wektora Fermiego (tzw. k_{F1} na rysunku 2 w publikacji A3) należącego do części powierzchni Fermiego podlegającej nestingowi. Wykazały one otwieranie się przerwy energetycznej stopniowo od $T = 250$ K do $T = 20$ K, przy czym w $T = 20$ K nadal spora liczba stanów pozostawała wypełniona przy k_{F1} , o czym świadczy obecność krawędzi Fermiego o niewielkiej intensywności (Rysunek 1).

Dla związku $ZrTe_3$ istniały już teoretyczne obliczenia struktury pasmowej, które przewidywały nesting powierzchni Fermiego [22,23]. Wg tychże obliczeń każda część powierzchni Fermiego podlegająca nestingowi składa się w rzeczywistości z dwóch płatów. Otwieranie się przerwy energetycznej w temperaturze znacznie wyższej niż T_{CDW} interpretowaliśmy jako efekt fluktuacji, a niecałkowite otwieranie się przerwy poniżej T_{CDW} w widmie fotoemisyjnym wiązaliśmy z faktem, że przerwa energetyczna występuje prawdopodobnie tylko w jednym z dwóch płatów powierzchni Fermiego obecnych w k_{F1} . Teoretyczne obliczenia struktury pasmowej przeprowadzono metodą stowarzyszonych fal płaskich z lokalnymi orbitalami (augmented plane waves + local orbitals - APW+lo) w pełnym potencjale atomowym zaimplementowaną w pakiecie Wien 2k. Wyniki obliczeń były bliskie wcześniejszym rezultatom [22,23], a różnice dotyczyły raczej szczegółów. Analiza charakterów orbitalnych pasm wykazała, że dwa płaty powierzchni Fermiego podlegające nestingowi związane są z orbitalami p_x od atomów Te tworzących łańcuchy biegnące w kierunku wektora translacji sieciowej \mathbf{a} . Tak więc można zidentyfikować podsić Te, która odpowiada za powstanie kwazi-jednowymiarowej części struktury elektronowej. Zgodnie z posiadanymi wynikami, można zaproponować, że natura przejścia do fazy CDW odpowiada przejściu Peierls'a. Ponadto, sądzimy, że filamenty nadprzewodzące pojawiające się w $ZrTe_3$ wzdłuż \mathbf{a} , powinny być związane z tą samą podsicią, a w szczególności z pasmem, w którym nie otwiera się przerwa energetyczna.

W czasie, gdy pierwsza wersja manuskryptu A3 była już w trakcie przygotowań ukazała się publikacja poświęcona badaniom ARPES dla $ZrTe_3$ [24] zawierająca wyniki i interpretację zbieżną z naszymi. W związku z tym wykres przedstawiający pojawianie się przerwy energetycznej (Rysunek 1) usunięto z manuskryptu i opublikowano w rozszerzonym abstrakcie C6 w biuletynie Polskiego Towarzystwa Promieniowania Synchrotronowego – Synchrotron Radiation in Natural Science. W związku z interesującym współzawodnictwem między fazą CDW a nadprzewodnictwem obserwowanym przy wysokich ciśnieniach [21] przeprowadzono symulacje struktury krystalicznej dla ciśnień 0 – 8 GPa przy pomocy pakietu ABINIT. Dla otrzymanych danych krystalograficznych obliczono powierzchnie Fermiego oraz tzw. statyczną podatność będącą miarą nestingu powierzchni Fermiego w funkcji ciśnienia. Wyniki pokazały że przy ciśnieniu 2 GPa statyczna podatność wykazuje większe maksimum odpowiadające wektorowi falowemu dla modulacji CDW w porównaniu do ciśnień wyższych i przypadku bez ciśnienia zewnętrznego. W związku z tym istnieje korelacja między rozległością nestingu a temperaturą T_{CDW} . Z kolei nadprzewodnictwo pojawia się tam, gdzie T_{CDW} jest mniejsze lub znika. Wyniki te potwierdzają omówione wcześniej hipotezy o roli orbitali Te p_x w powstawaniu CDW i prawdopodobnie w nadprzewodnictwie.



Rysunek 1. Krzywe rozkładu energii (energy distribution curves) (a) i ich symetryzacja (b) w funkcji temperatury zmierzone dla $ZrTe_3$ przy wektorze Fermiego k_{F1} (definicja wektora falowego k_{F1} znajduje się w publikacji A3 na rysunku 2). Rysunek 1 jest skopiowany z pracy C6.

W ramach badań związanych z publikacją A3 prowadziłem hodowlę monokryształów $ZrTe_3$ w laboratorium dra A. Prodana, a następnie pomiary ARPES w laboratorium prof. P. Aebi wraz ze współpracownikami (F. Clerc, M. G. Garnier, L. Despont). Opracowałem dane pomiarowe oraz napisałem pierwszą wersję manuskryptu. Obliczenia wykonywał głównie C. Battaglia, a także H.J.P. van Midden. U. Szerer oraz prof. A. Szytuła współpracowali przy przygotowaniu manuskryptu. Mój udział w publikacji szacuję jako 55%.

A4. P. Starowicz, C. Liu, R. Khasanov, T. Kondo, G. Samolyuk, D. Gardenghi, Y. Lee, T. Ohta, B. Harmon, P. Canfield, S. Bud'ko, E. Rotenberg and A. Kaminski, "Direct observation of a Fermi surface and superconducting gap in $LuNi_2B_2C$ " Phys. Rev. B **77** (2008) 134520.

$LuNi_2B_2C$ jest nadprzewodnikiem należącym do rodziny RNi_2B_2C , gdzie R oznacza pierwiastki ziem rzadkich i w tej grupie związków posiada najwyższą temperaturę krytyczną $T_c=16.6$ K [25,26]. Poprzednie badania $LuNi_2B_2C$ wskazywały na istnienie anizotropii przerwy energetycznej związanej z nadprzewodnictwem, a także na mięknięcie fononów przy wektorze falowym $0.5 \mathbf{a}^*$ [27]. Ponadto obliczenia struktury pasmowej i otrzymana na ich podstawie tzw. funkcja uogólnionej podatności posiada maksimum przy wektorze falowym $\sim 0.6 \mathbf{a}^*$ [28]. Z kolei szereg związków z rodziny RNi_2B_2C z momentami magnetycznymi na atomie ziemi rzadkiej wykazuje uporządkowanie magnetyczne opisane przez wektory $\sim 0.55 \mathbf{a}^*$ [29-33]. Pierwsze badania eksperymentalne powierzchni Fermiego $LuNi_2B_2C$ przeprowadzone metodą dwuwymiarowych pomiarów korelacji kątowych kwantów powstałych z anihilacji elektron pozyton (2D-ACAR - two-dimensional measurement of the angular correlation of the positron annihilation radiation) wskazywały na nesting 4.4% powierzchni Fermiego z wektorem $0.54 \mathbf{a}^*$ [34].

Znajomość struktury elektronowej jest pomocna w zrozumieniu natury nadprzewodnictwa, a także wyjaśnieniu roli wektora falowego $k \sim 0.5$ do $0.6 \mathbf{a}^*$ w oddziaływaniu elektron – fonon

i w tworzeniu uporządkowania magnetycznego. Praca A4 przedstawia pierwsze wyniki pomiarów ARPES dla rodziny $\text{RNi}_2\text{B}_2\text{C}$ wykonane na monokryształe przełamany w ultra-wysokiej próżni. Takie przełamanie umożliwia badanie powierzchni ze znacznie mniejszą liczbą defektów w porównaniu z czyszczeniem przez bombardowanie jonami, które było wcześniej użyte przy badaniach $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ należącego do tej samej rodziny związków [35]. W pracy uzyskano mapy powierzchni Fermiego dla trzech przecięć strefy Brillouina prostopadłych do c^* ⁵. Dla dwóch map (rysunek 1 z publikacji A4) widoczne są równoległe części powierzchni Fermiego świadczące o nestingu z wektorem falowym $0.59 a^*$, co może determinować szereg własności $\text{RNi}_2\text{B}_2\text{C}$ [27-33] opisanych powyżej. W pracy omawiana jest szczegółowo topografia struktury pasmowej i powierzchni Fermiego, a także jej porównanie z obliczeniami przeprowadzonymi metodami ciasnego wiązania ze zlinearyzowanymi orbitalami typu „muffin tin” (tight binding – linear muffin-tin orbital – TB-LMTO) oraz zlinearyzowanych stowarzyszonych fal płaskich (linearized augmented plane waves - LAPW). W publikacji przedstawiono również pomiar przerwy energetycznej w temperaturze 11 K wykonany dla pewnej części powierzchni Fermiego. Po dofitowaniu funkcji Dynes’a [36] i uwzględnieniu energetycznej zdolności rozdzielczej otrzymano szerokość przerwy równą 1.5 meV w temperaturze 11 K. W spektrum przerwy nadprzewodzącej wyraźnie widoczny jest pik kwazicząstkowy powyżej energii Fermiego widoczny przy ~ 3 meV pochodzący od obsadzeń termicznych. Pojawienie się tego piku w pomiarach fotoemisyjnych jest rzadkością i świadczy o znacznej gęstości stanów powyżej potencjału chemicznego.

W ramach mojego wkładu do publikacji przeprowadziłem opracowanie, analizę i interpretację danych, a następnie wykonałem pierwsze wersje rysunków i napisałem pierwszą wersję manuskryptu. Brałem również udział w badaniach związku $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$ metodą ARPES prowadzonych przez grupę prof. A. Kamińskiego. Jednak spektra zamieszczone w publikacji były otrzymane bez mojego bezpośredniego udziału. Kryształy zostały wyhodowane w grupie prof. P. Canfield’a, a obliczenia teoretyczne wykonał prof. B. Harmon i jego współpracownicy. Mój udział w publikacji oceniam jako 40 %.

A5. P. Starowicz, H. Schwab, J. Goraus, P. Zajdel, F. Forster, J. R. Rak, M. A. Green, I. Vobornik and F. Reinert,
“A flat band at the chemical potential of a $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$ superconductor observed by angle-resolved photoemission spectroscopy”
J. Phys.: Condens. Matter **25** (2013) 195701.

Pniktydki i chalcogenidki żelaza przyciągają uwagę naukowców, ze względu na niekonwencjonalny charakter nadprzewodnictwa odkrytego w nich w roku 2008 [37]. Wśród tych materiałów można wyróżnić rodzinę związków „11”, na którą składają się FeSe , $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ oraz $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{S}_y$. Rodzina ta, do której należy badany związek - $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$, wyróżnia się najprostszą strukturą krystaliczną wśród materiałów z nadprzewodnictwem opartym na płaszczyznach żelazowych. Do czasu ukazania się artykułu A5, wśród całej klasy „11” badania ARPES były opublikowane tylko dla związków domieszkowanych selenem $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$.

Praca A5 przedstawia pierwsze badania nadprzewodzącego związku z rodziny „11” domieszkowanego siarką $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{S}_y$, które były przeprowadzone metodą ARPES. Temperatura krytyczna dla badanych monokryształów $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$ wynosiła 9 K [38]. Struktura pasmowa była mapowana w kierunku Γ -M oraz Γ -X. Pomiar ARPES wykonany w funkcji energii padających fotonów wskazują, na dwuwymiarowy charakter struktury pasmowej. Najciekawsze wyniki dotyczą rejonu

⁵ Powierzchnia Fermiego była mapowana wzdłuż sfery o dużym promieniu. Wycinek tej sfery przechodzący przez strefę Brillouina można w pewnym przybliżeniu uznać za płaszczyznę.

punktu Γ , gdzie znaleziono dwie kieszenie dziurowe (α oraz β_2) i płaskie pasmo (β_1) położone przy energii 3 do 5 meV powyżej energii Fermiego, dla którego nie wykryto dyspersji. Pasma β_1 może należeć do jednej z obserwowanych kieszeni dziurowych (β_2) przy założeniu silnej renormalizacji masy lub być fragmentem 3-ciej kieszeni dziurowej. Pasma β_1 wykazuje bliskość energii Fermiego w obszarze 3 % objętości strefy Brillouina i stąd może być interpretowane jako źródło osobliwości typu van Hove przy energii Fermiego. Ten fakt jest najważniejszym wnioskiem w pracy i może mieć istotny wpływ na nadprzewodnictwo w układzie $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{S}_y$.

Rejon punktu Γ był badany w dwóch różnych polaryzacjach liniowych padającego promieniowania oraz przy różnym ustawieniu próbki względem płaszczyzny: źródło promieniowania – próbka – detektor. W każdej geometrii pomiaru mogą być wybierane stany parzyste lub nieparzyste względem wyżej określonej płaszczyzny, w zależności od użytej polaryzacji. Stąd można wnioskować o dominujących charakterach orbitalnych dla danego pasma. W przypadku $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$ wiadomo, że głównie orbitale Fe 3d są widoczne przy energii Fermiego. W pracy wyznaczono dozwolone charaktery orbitalne dla znalezionych pasm w rejonie punktu Γ , a w szczególności określono jednoznacznie dominujący charakter pasma β_1 jako d_z^2 .

Przeprowadzono również obliczenia struktury pasmowej metodą KKR (Korringa-Kohn-Rostoker) w przybliżeniu potencjału koherentnego (coherent potential approximation - CPA) dla materiału o składzie $\text{Fe}_{1.1}\text{Te}_{0.9}\text{S}_{0.1}$. Otrzymane wyniki charakteryzują się rozmyciem pasm związanym z nieporządkiem krystalograficznym, którego źródłem jest domieszkowanie S oraz nadmiarowa ilość Fe. Wyniki KKR-CPA wskazują na istnienie 3-ch kieszeni dziurowych w rejonie Γ i 2-ch kieszeni elektronowych w rejonie M. Przeprowadzono również obliczenia metodą LAPW+lo dla stechiometrycznego FeTe. Otrzymane teoretyczne charaktery orbitalne pasm są częściowo zgodne z eksperymentem. Obliczenia te jednak nie wykazały istnienia pasm o dominującym charakterze d_z^2 przy energii Fermiego.

Moim wkładem do publikacji A5 było napisanie i wysłanie propozycji na pomiary przy synchrotronie Elettra, które umożliwiły otrzymanie danych o dobrej jakości, zorganizowanie i przeprowadzenie pomiarów, w których uczestniczyli współpracownicy z grupy prof. F. Reinerta z Uniwersytetu w Wuerzburgu (H. Schwab, F. Forster), analiza i opracowanie danych oraz napisanie pierwszej wersji publikacji wraz z przygotowaniem rysunków. Monokryształy zostały wyhodowane przez dra P. Zajdla we współpracy z prof. M. Green'em. Obliczenia metodami KKR-CPA oraz LAPW+lo przeprowadził dr hab. J. Goraus. Przy opracowaniu danych współpracowali H. Schwab, prof. F. Reinert oraz J. Rak. I. Vobornik zajmuje się utrzymaniem linii pomiarowej o nazwie APE przy synchrotronie Elettra. Mój wkład do publikacji oceniam jako 60%.

A6. P. Starowicz, R. Kurlito, J. Goraus, H. Schwab, M. Szlawska, F. Forster, A. Szytuła, I. Vobornik, D. Kaczorowski and F. Reinert,
“Evidence of momentum-dependent hybridization in $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$ ”
Phys. Rev. B **89** (2014) 115122.

Szczególnym przypadkiem efektów silnych korelacji obserwowanych w spektroskopii fotoemisyjnej jest rezonans Kondo [39,40]. Powstaje on wskutek oddziaływania elektronów pasma przewodnictwa ze słabo zlokalizowanymi elektronami posiadającymi moment magnetyczny. W wielu przypadkach są to elektrony 4f lub 5f. Dzięki takiemu oddziaływaniu typu Kondo powstaje silna hybrydyzacja pomiędzy wymienionymi elektronami opisana odpowiednimi elementami macierzowymi $-V_{cf}$. Efekt Kondo obserwuje się między innymi dla szeregu międzymetalicznych związków ceru. Istnieją

prace teoretyczne, które przewidują silną zależność hybrydyzacji (V_{cf}) od wektora falowego [41-43], co powinno być odzwierciedlone przez istotne zmiany intensywności pików kwazicząstkowych w funkcji położenia na powierzchni Fermiego.

Wyznaczenie zależności $V_{cf}(k)$ od wektora falowego jest sporym wyzwaniem dla eksperymentatorów. Pewne informacje, na temat $V_{cf}(k)$ mogą być otrzymane przy pomocy techniki ARPES. Początkowo, sugestie o anizotropowej hybrydyzacji były połączone z bardzo prostymi wynikami eksperymentów, w których proponowano że wyższy pik Kondo występuje w rejonie punktu Γ . Jednak konkluzje te nie posiadały odniesienia do istniejących pasm [44]. Późniejsze pomiary ARPES wykazały dla $CePd_3$, że pik Kondo o wyższej intensywności występuje w miejscach przecięcia energii Fermiego przez pasma [45] i świadczy o silniejszej hybrydyzacji w tych punktach, co jest wynikiem dość trywialnym. Jednak praca ta stanowiła pewien postęp w badaniach układów Kondo przy pomocy ARPES. Pierwsza praca przyporządkowująca piki kwazicząstkowe o różnej intensywności różnym pasmom została wykonana dla $CeCoIn_5$ [46], jednak w niej nie odnoszono się do teorii zaproponowanej przez Ghaemi et al. [43] przewidującej nietrywialną zależność intensywności pików kwazicząstkowych od położenia na powierzchni Fermiego. Do tej teorii odnosi się praca A6, która sugeruje pewną metodologię dla dalszych badań zależności wagi kwazicząstkowej od wektora falowego.

Przedmiotem badań był układ $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$. Wcześniej sądzono, że posiada on stechiometrię Ce_2CoSi_3 lecz okazało się, że w podsieci Co – Si występuje nieporządek [47], z którym wiąże się również odstępstwo od stechiometrii. Struktura pasmowa była mapowana wzdłuż kierunku $\Gamma - A$, w temperaturze $T=25$ K. Przeprowadzono również obliczenia metodą pełnopotencjałową z lokalnymi orbitalami (full-potential local-orbital - FPLO). Pomiary wykazały istnienie kilku pasm, z których dwa (α oraz β) przechodziły przez energię Fermiego. Na podstawie analizy dyspersji i porównania z teorią uznano, że pasmo α ma charakter 3-wymiarowy, a β jest stanem powierzchniowym. W widmach obecny jest pik Kondo (stan końcowy $f_{5/2}^{-1}$) przy energii Fermiego oraz pik związany z rozszczepieniem spin-orbita ($f_{7/2}^{-1}$) przy energii 275 meV. Pik Kondo nie wykazuje dyspersji lecz obserwuje się silną zależność jego intensywności od wektora falowego. Maksimum intensywności rezonansu Kondo nie zbiega się z wektorami Fermiego dla pasm α lub β , a pokrywa się z wektorem Fermiego dla jednego z pasm występującego w obliczeniach. Fakt, że obserwujemy pik Kondo dla pasma o niewidocznej dyspersji nie jest niczym nowym dla międzymetalicznych związków ceru [45]. Stosunek intensywności pików Kondo do intensywności odpowiedniego pasma interpretujemy jako miarę wagi kwazicząstkowej - $Z(k)$. Wyższa wartość $Z(k)$ świadczy o słabszej $V_{cf}(k)$ w określonym punkcie k . Dane dla $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ wskazują, że wielkość $Z(k)$ silnie zależy od wektora Fermiego, co jest jakościowym spełnieniem przewidywań teoretycznych zakładających anizotropię hybrydyzacji $V_{cf}(k)$ [43]. Praca A6 nie tylko proponuje silną zależność $V_{cf}(k)$ w układzie $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$, lecz również stanowi adaptację idei teoretyków [43] dotyczącej powiązania anizotropii $V_{cf}(k)$ z pomiarami ARPES.

Moim wkładem do publikacji A6 było przygotowanie projektu badań na synchrotron, organizacja i przeprowadzenie dwóch czasów pomiarowych na synchrotronie ELETTRA (trwających łącznie dwa tygodnie), analiza danych i napisanie publikacji. H. Schwab i F. Forster uczestniczyli przy zbieraniu wstępnych danych pomiarowych, a ponadto H. Schwab współpracował przy analizie danych. J. Goraus wykonał obliczenia struktury pasmowej, prof. dr hab. D. Kaczorowski i dr M. Szlawska przygotowali monokryształy. R. Kurlito wykonał znaczną część analizy danych. I. Vobornik zajmuje się utrzymaniem linii pomiarowej APE przy synchrotronie Elettra i brała udział w pomiarach. Prof. F. Reinert, prof. dr hab. A. Szytuła i prof. dr hab. D. Kaczorowski wspierali i nadzorowali prowadzenie badań. Mój wkład do publikacji oceniam jako 60%.

A7. P. Starowicz, R. Kurlito, J. Goraus, Ł. Walczak, B. Penc, J. Adell, M. Szlawska, D. Kaczorowski, A. Szytuła,
“Valence band of $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ and Ce_2RhSi_3 studied by resonant photoemission spectroscopy and FPLO calculations”
Acta Physica Polonica A **126** (2014) A-144.

Związki badane w pracy A7 wykazują własności sieci Kondo. $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ jest paramagnetykiem z temperaturą Kondo $T_K \sim 50$ K [47], a Ce_2RhSi_3 jest antyferromagnetykiem poniżej $T_N=4.5$ K, dla którego T_K wynosi ~ 9 K [48]. Motywacją do podjęcia badań wymienionych materiałów była propozycja, że w układzie $Ce_2Rh_{1-x}Co_xSi_3$ występuje kwantowe przejście fazowe (QPT), a kwantowy punkt krytyczny znajduje się przy $x=0.6$ [49]. Jednak późniejsze badania wykazały, że w układach $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ oraz $Ce_2Rh_{0.4}Co_{0.4}Si_{3.2}$ [47,50] istnieje nieporządek i pojawiają się fazy Griffithsa widoczne poniżej 10 Kelvinów.

Praca A7 przedstawia pomiary związków $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ oraz Ce_2RhSi_3 przeprowadzone metodą rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej. Przy absorpcji fotonu o energii $h\nu \sim 120$ eV odpowiadającej rezonansowi $Ce\ 4d \rightarrow 4f$ następuje wzmocnienie intensywności związanej z elektronami $4f$ ceru. W ten sposób otrzymano spektrum z pikiem Kondo przy energii Fermiego (stan końcowy $f_{5/2}^1$), pikiem związanym ze stanem końcowym $f_{7/2}^1$ przy energii ~ 0.24 eV oraz szerokie maksimum pochodzące od stanu końcowego f^0 przy energiach 2.0 do 2.5 eV. Intensywność pików Kondo jest wyższa dla $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$. Ten fakt potwierdza wcześniejsze wyniki [51], które były oparte na pomiarach bez wykorzystywania rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej. Przy energii nierezonansowej (na przykład 114 eV) widać, że dla $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ maksimum w gęstości stanów jest przesunięte w kierunku energii Fermiego w porównaniu do związku z rodem. Wynik ten jest również potwierdzony przez obliczenia wykonane metodą FPLO. Obliczenia FPLO wykazały również, że energia stanu podstawowego jest niższa dla $Ce_2Co_{0.8}Si_{3.2}$ w stanie ferromagnetycznym, a dla Ce_2RhSi_3 w stanie antyferromagnetycznym. Wyniki te potwierdzają potencjalną możliwość realizacji QPT w układzie $Ce_2Rh_{1-x}Co_xSi_3$, która jednak jest obecnie niedostępna z powodu istniejącego nieporządku w tych układach [47,50].

Mój wkład do publikacji A7 polegał na przygotowaniu projektu badań na synchrotron, organizacji i przeprowadzeniu pomiarów przy synchrotronie MAX-LAB w Lund (Szwecja), częściowej pracy nad danymi i napisaniu artykułu. Student R. Kurlito przeprowadził opracowanie większości danych pomiarowych po moją opieką. Dr hab. J. Goraus przeprowadził obliczenia metodą FPLO. Dr Ł. Walczak oraz dr inż. B. Penc współpracowali przy dwutygodniowych pomiarach przy synchrotronie. Dr J. Adell zajmuje się utrzymaniem linii badawczej I4 i współpracował także przy pomiarach. Monokryształy zostały wyhodowane przez dr M. Szlowską oraz prof. dr hab. D. Kaczorowskiego. Prof. dr hab. A. Szytuła sprawował opiekę i udzielał cennych rad przy prowadzeniu badań. Szacuję, że mój udział w publikacji wyniósł 50%.

A8. R. Kurlito, P. Starowicz, J. Goraus, S. Baran, Yu. Tyvanchuk, Ya.M. Kalychak, A. Szytuła,
“Electronic structure and transport properties of $CeNi_9In_2$ ”
Solid State Communications **206** (2015) 46.

Wcześniejsze badania poświęcone $CeNi_9In_2$ dostarczyły szeregu argumentów za obecnością stanu fluktuującej walencyjności w tym związku [52-54]. Interesującym celem jest badanie funkcji spektralnej dla układu z bardzo wysoką temperaturą Kondo, która może wynosić nawet kilka tysięcy

Kelwinów. Poprzednie pomiary fotoemisyjne międzymetalicznych związków ceru z fluktuującą walencyjnością prowadziły do różnych jakościowo wyników. W przypadku CeRu₂ spektrum otrzymane przy wysokich energiach fotonów ($h\nu \sim 880$ eV) wskazuje na zdelokalizowany i metaliczny charakter elektronów Ce 4f [55], o czym świadczy brak pików Kondo (od stanu końcowego $f_{5/2}^1$) i innych cech funkcji spektralnej przewidzianej teoretycznie i obserwowanej doświadczalnie dla układów Kondo [55-57] (piki od stanów końcowych $f_{7/2}^1$ oraz f^0). Dla tego samego związku w badaniach fotoemisyjnych przy użyciu energii $h\nu \sim 120$ eV dającej znaczny wkład od powierzchni otrzymano spektrum z widocznymi pikami przy energii Fermiego oraz przy 0.25 eV przyporządkowane stanom końcowym odpowiednio $4f_{5/2}^1$ oraz $4f_{7/2}^1$ [55]. Z kolei w spektrach fotoemisyjnych otrzymanych dla stopu powierzchniowego CePd₇/Pd(001) [58] zinterpretowano pik przy 0.2 eV jako związany z mieszaną walencyjnością. Powyższe przykłady obrazują, że standard widm związanych z Ce o mieszanej walencyjności nie jest zupełnie ustalony. Stąd warto się zajmować tym tematem.

Praca A8 przedstawia wyniki badań CeNi₉In₂ metodami spektroskopii fotoemisyjnej UPS oraz XPS, pomiary oporu elektrycznego w funkcji temperatury, a także obliczenia metodą FPLO. Najważniejszym wynikiem jest pomiar pasma walencyjnego metodą UPS przy użyciu promieniowania He-I (21.2 eV) oraz He-II (40.8 eV) w zakresie temperatur 14 K – 300 K. Badania te wykazały brak pików Kondo w rozumieniu klasycznym. Widma mają kształt cechujący zwykły metal z widoczną krawędzią Fermiego. Takie spektrum sugeruje, że elektrony f są zdelokalizowane i należą do pasma walencyjnego, co jest zgodne z hipotezą o fluktuującej walencyjności. Jak wiadomo, promieniowanie He-II charakteryzuje się znacznie większym przekrojem czynnym na fotojonizację elektronów Ce 4f [59] w porównaniu z linią He-I. Dlatego wkład od elektronów 4f uzyskano przez odjęcie widma dla He-I od wyniku dla He-II. Taka różnica widm związana z elektronami f charakteryzuje się obecnością plateau pomiędzy 0.3 eV, a energią Fermiego z podwyższoną intensywnością przy energii Fermiego. Ten zakres energetyczny odpowiada ogonowi pików Kondo (stan końcowy $4f_{5/2}^1$ przy E_F) oraz pikowi pochodzącemu od stanu końcowego $4f_{7/2}^1$ obserwowanemu w układach Kondo [55-57] i przewidzianemu w modelu Andersona dla pojedynczej domieszki [56]. Taki kształt spektrum interpretujemy jako związany z fluktuującą walencyjnością w przypadku CeNi₉In₂. Obliczenia teoretyczne oparte na modelu Andersona przewidują, że w stanie mieszanej walencyjności układów cerowych pik Kondo znacznie się poszerza w związku z silną delokalizacją elektronów f [60-62]. W przypadku CeNi₉In₂ poszerzenie to powoduje, że piki $4f_{5/2}^1$ oraz $4f_{7/2}^1$ nie są rozdzielone.

W pracy A8 przedstawiono również pomiary metodą XPS dla poziomu Ce 3d wraz z analizą intensywności i przesunięcia struktur pochodzących od stanów końcowych f^0 , f^1 oraz f^2 przy użyciu podejścia Gunnarssona-Schönhammera [63, 64]. Otrzymano parametr hybrydyzacji $\Delta=104$ meV oraz wypełnienie pasma $n_f=0.94$, co wydaje się wartością dość wysoką. Jednak wypełnienie pasma zostało otrzymane w sposób dość niebezpośredni i może być obciążone sporą niepewnością.

Pomiary oporu elektrycznego w zakresie 2 - 100 K wykazały brak zależności charakterystycznych dla układów Kondo. Przebieg oporu jest kompatybilny z założeniem fluktuującej walencyjności. Dlatego też dofitowano do niego zależność dla układów z niestabilnością powłoki 4f zaproponowaną przez Freimuth'a [65]. Otrzymana temperatura fluktuacji spinowych wyniosła 157 K. W niskich temperaturach opór elektryczny jest zgodny z modelem cieczy Fermiego przy uwzględnieniu członu związanego z oddziaływaniem elektron-fonon.

Obliczenia parcjalnych gęstości stanów metodą FPLO potwierdzają założenie, że w paśmie walencyjnym dominują elektrony Ni 3d. Współczynnik Sommerfelda otrzymany teoretycznie ($\gamma=40.8$ mJ/(mol·K²) dla $U_{4f}=0$ oraz $\gamma=33.5$ mJ/(mol·K²) dla $U_{4f}=6$ eV) jest mniejszy od otrzymanego doświadczalnie ($\gamma=72$ mJ/(mol·K²)), co potwierdza istnienie korelacji w układzie.

Mój wkład do publikacji A8 polegał na zorganizowaniu całości badań, prowadzeniu pomiarów XPS oraz UPS oraz pracy nad manuskrypcem. Opiekowałem się studentem Rafałem Kurleto, który przygotowywał próbki do pomiarów XPS, UPS i oporu elektrycznego, uczestniczył w pomiarach, opracowywał dane i napisał kilka fragmentów manuskryptu. Dr hab. J. Goraus wykonał obliczenia metodą FPLO. Dr hab. S. Baran wykonywał pomiary oporu elektrycznego. Dr. Yu. Tyvanchuk oraz prof. Ya. M. Kalychak przeprowadzili syntezę CeNi_9In_2 . Prof. dr hab. A. Szytuła był inicjatorem badań i sprawował ogólną opiekę nad ich przebiegiem. Mój wkład do publikacji można oszacować jako 40%.

PODSUMOWANIE

Prace z cyklu habilitacyjnego ukazują pewien przekrój możliwości badawczych spektroskopii fotoemisyjnej, a w szczególności ARPES. Wśród osiągnięć opisanych w ośmiu pracach cyklu habilitacyjnego są zarówno wyniki bardziej uniwersalne, jak i rezultaty odnoszące się do konkretnego układu umożliwiające poznanie i zrozumienie jego własności. W podsumowaniu warto przede wszystkim wskazać idee o charakterze bardziej ogólnym, które powinny w jakiś sposób wpłynąć na rozwój fizyki układów silnie skorelowanych.

Pierwszym ważnym rezultatem jest wytłumaczenie kształtu widm przy energii Fermiego w spektroskopii fotoemisyjnej dla układów jednowymiarowych jako związanego ze szczególną rolą defektów w tych układach (A1). Zaproponowany model powinien stosować się do prawidłowego opisu szeregu materiałów jednowymiarowych i może być stosowany do symulacji widm fotoemisyjnych dla konkretnych systemów. W tej tematyce pozostaje też spora możliwość rozwoju teorii alternatywnych bazujących na innego rodzaju silnych korelacjach, w tym np. na tworzeniu polaronów [11,13]. W szeregu artykułów cytujących pracę A1 występuje akceptacja faktu, że defekty są lub mogą być powodem ubytku intensywności przy energii Fermiego [66-70]. Jednocześnie niektóre grupy badawcze, które wcześniej zajmowały się metalami jednowymiarowymi, kontynuują swoją pracę i pozostają przy efekcie polaronowym jako wytłumaczeniu kształtu spektrum [11,13]. Inne grupy rozwijają też teorię opartą na modelu Luttingera i aby wytłumaczyć kształt widm obserwowanych dla metali jednowymiarowych wprowadzają coraz bardziej zaawansowane idee, np. „topionego holonu” (melted holon) [71].

W pracy A7 spektrum przy niskich energiach świadczy o różnych własnościach związków $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$ oraz Ce_2RhSi_3 , gdzie różna intensywność pików Kondo jest związana z różnym poziomem hybrydyzacji V_{cf} . Z kolei badania anizotropii hybrydyzacji $V_{cf}(k)$ metodą ARPES będące tematem publikacji A6 stanowią jeden z etapów w rozwoju tej tematyki. Wskazują na zależność intensywności pików kwazicząstkowego od pasma przechodzącego przez E_F , co jest interpretowane w oparciu o teorię przewidującą anizotropię $V_{cf}(k)$ [41-43]. Następnymi krokami w rozwoju tematyki najprawdopodobniej będzie bardziej systematyczne mapowanie wagi kwazicząstkowej na powierzchni Fermiego i w końcu bezpośrednie porównanie z modelami teoretycznymi zaproponowanymi w pracach [41-43]. Konkretna i specyficzna zależność hybrydyzacji od wektora falowego wyznaczona w oparciu o eksperyment może stać się kolejnym stopniem swobody koniecznym do opisu silnie skorelowanych metali, co nawet wykracza poza tematykę związaną z efektem Kondo. Obecnie trudno sprecyzować, jakie będą korzyści wynikające z uwzględnienia tego parametru w opisie materiałów z silnymi korelacjami.

Z pewnością interesującym rezultatem jest spektrum UPS dla układu z fluktuującą walencyjnością (CeNi_9In_2 , A8). Różnica widm otrzymanych przy pomocy He-II oraz He-I daje gęstość spektralną pochodzącą od elektronów Ce 4f w postaci plateau dla energii, gdzie występuje rozmyty pik Kondo i poszerzony pik od stanu końcowego $f_{7/2}^1$.

W pracach A4 oraz A5 istotne znaczenie ma topografia struktury elektronowej w pobliżu energii Fermiego. Znaleziony nesting powierzchni Fermiego w $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$ nie jest ideą całkiem nową lecz dane opublikowane w pracy A4 są dużo bardziej precyzyjne w porównaniu z wynikami wcześniejszymi. Z drugiej strony udokumentowanie występowania płaskiego pasma i osobliwości Van Hove w $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.94}\text{S}_{0.06}$ (A5) jest pierwszą taką propozycją dla rodziny nadprzewodników „11”. Potwierdzenie i akceptacja tego wyniku przez środowisko naukowe może mieć istotne znaczenie dla zrozumienia i opisu wymienionych materiałów. Topografia struktury pasmowej miała też istotny wpływ na konkluzje w pracy A2. Propozycja, że rekonstrukcja powierzchni $\text{Ca/Si}(111) - (3 \times 2)$ jest półprzewodnikiem dzięki całkowitemu wypełnieniu pasma i nie jest konieczne założenie o stanie izolatora Motta-Hubbarda lub przejściu Peierlsa (A2), wpisuje się w cały szereg prac prowadzących do podobnych wniosków. Dotyczą one rekonstrukcji typu HCC utworzonych przez metale dwuwartościowe na $\text{Si}(111)$ [72].

W przypadku ZrTe_3 pomiary ARPES dostarczyły ciekawego materiału doświadczalnego (Rys. 1) obrazującego otwieranie się przerwy energetycznej już w temperaturze $4 \cdot T_{\text{CDW}}$ co jest interesującym efektem fluktuacji jednak identyczne wyniki zostały opublikowane niezależnie od nas [24]. Widmo przerwy nadprzewodzącej dla $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$ (A4) ma charakter dość wyjątkowy, gdyż widoczny jest pik kwazicząstkowy powyżej energii Fermiego. Tego typu widmo przerwy energetycznej jest rzadko obserwowane i pojawia się między innymi w przypadku materiałów z dużą gęstością stanów powyżej energii Fermiego.

Można powiedzieć, że w kilku pracach połączenie techniki ARPES oraz analizy charakterów orbitalnych przy pomocy obliczeń DFT lub otrzymanych doświadczalnie (A5) stanowi nową jakość w badaniach. Pozwala to połączyć pewne zjawiska fizyczne z konkretną podsicią i konkretnymi orbitalami. Studium nad ZrTe_3 (A3) pokazuje ciekawe zestawienie badań ARPES i DFT wraz z analizą charakterów orbitalnych, przy pomocy których można identyfikować rolę poszczególnych podsiatek w przejściu Peierls'a i powstawaniu nadprzewodnictwa. Z kolei w pracy A5 wysoką gęstość stanów przy energii Fermiego można utożsamiać z dominacją stanów $\text{Fe } d_z^2$.

Na koniec, chciałbym nadmienić, że prace z cyklu habilitacyjnego przedstawiają pierwsze opublikowane pomiary przeprowadzone metodą ARPES dla powierzchni $\text{Si}(335)\text{-Au-Na}$ (A1), a także dla związków: $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$ (A4), $\text{Fe}_{1+x}\text{Te}_{1-y}\text{S}_y$ (A5) i $\text{Ce}_2\text{Co}_{0.8}\text{Si}_{3.2}$ (A6). Praca A8 opisuje pierwsze wyniki otrzymane metodą UPS dla CeNi_9In_2 .

LITERATURA

- [1] S. Tomonaga, Prog. Theor. Phys. **5** (1950) 544.
- [2] J. M. Luttinger, J. Math. Phys. **4** (1963) 1154.
- [3] J. Voit, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **117-118** (2001) 469.
- [4] P. Segovia, D. Purdie, M. Hengsberger and Y. Baer, Nature **402** (504) 1999.
- [5] R. Losio, K. N. Altmann, A. Kirakosian, J.-L. Lin, D. Y. Petrovykh, and F. J. Himpsel, Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 4632.
- [6] D. Jerome, H. Schulz, Adv. Phys. **31** (1982) 299.
- [7] F. Zwick et al., Phys. Rev. Lett **81** (1988) 2974
- [8] B. Dardel et al., Phys. Rev. Lett. **67** (1991) 3144.
- [9] F. Zwick et al., Phys. Rev. Lett **79** (1997) 3982.

- [10] R. Claessen et al., Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 096402.
- [11] M. Grioni, S. Pons and E. Frantzeskakis, J. Phys.: Condens. Matter **21** (2009) 023201.
- [12] M. Jalochowski and E. Bauer, Prog. Surf. Sci. **67** (2001) 79.
- [13] L. Perfetti et al. Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 216404.
- [14] A. A. Baski, S. C. Erwin, M. S. Turner, K. M. Jones, J. W. Dickinson, J. A. Carlisle, Surface Sci. **476** (2001) 22.
- [15] K. S. An, R. J. Park, J. S. Kim, C. Y. Park, C. Y. Kim, J. W. Chung, T. Abukawa, S. Kono, T. Kinoshita, A. Kakizaki, T. Ishii, Surface Sci. **337** (1995) L789.
- [16] G. Lee, S. Hong, H. Kim, D. Shin, J. Y. Koo, H. I. Lee and D. Moon, Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 056104.
- [17] S. C. Erwin, H. H. Weitering, Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 2296.
- [18] K. Sakamoto, H. M. Zhang and R. I. G. Uhrberg, Phys. Rev. B **69** (2004) 125321.
- [19] D. J. Eaglesham, J. W. Steeds, J. A. Wilson, J. Phys. C: Solid State Phys. **17** (1984) L697.
- [20] H. Nakajima, K. Nomura, T. Sambongi, Physica B **143** (1986) 240.
- [21] R. Yomo, K. Yamaya, M. Abliz, M. Hedo, Y. Uwatoko, Phys. Rev. B **71** (2005) 132508.
- [22] K. Stowe, F. R. Wagner, J. Solid State Chem. **138** (1998) 160.
- [23] C. Felser, W. W. Finckh, H. Kleinke, F. Rucker, W. Tremel, J. Mater. Chem. **8** (1998) 1787.
- [24] T. Yokoya, T. Kiss, A. Chainani, S. Shin and K. Yamaya, Phys. Rev. B **71** (2005) 140504.
- [25] R. J. Cava et al., Nature **367** (1994) 252.
- [26] R. Nagarajan et al., Phys. Rev. Lett. **72** (1994) 274.
- [27] P. Dervenagas et al., Phys. Rev. B **52** (1995) 9839.
- [28] J. Y. Rhee, X. Wang, and B. N. Harmon, Phys. Rev. B **51** (1995) 15585.
- [29] A. I. Goldman et al, Phys. Rev. B **50** (1994) 9668.
- [30] J. Zarestky et al., Phys. Rev. B **51** (1995) 678.
- [31] S. K. Sinha et al., Phys. Rev. B **51** (1995) 681.
- [32] C. Detlefs et al., Phys. Rev. B **53** (1996) 6355.
- [33] P. Dervenagas et al. Phys. Rev. B **53** (1996) 8506.
- [34] S. B. Dugdale et al., Phys. Rev. Lett. **83** (1999) 4824.
- [35] T. Yokoya et al., J. Phys. Chem. Solids **67** (2006) 277.
- [36] R. C. Dynes et al., Phys. Rev. Lett. **41** (1978) 1509.
- [37] Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano and H. Hosono, J. Am. Chem. Soc. **130** (2008) 3296.
- [38] P. Zajdel et al., J. Am. Chem. Soc. **132** (2010) 13000.
- [39] D. Malterre, M. Grioni and Y. Baer, Adv. Phys. **45** (1996) 299.
- [40] J. W. Allen, J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2005) 34.
- [41] H. Weber and M. Vojta, Phys. Rev. B **77** (2008) 125118.
- [42] J. H. Shim, K. Haule and G. Kotliar, Science **318** (2007) 1615.
- [43] P. Ghaemi, T. Senthil and P. Coleman. Phys. Rev. B **77** (2008) 245108.

- [44] M. Garnier, D. Purdie, K. Breuer, M. Hengsberger and Y. Baer, Phys. Rev. B **56** (1997) R11399.
- [45] S. Danzenbächer, et al., Phys. Rev. B **72** (2005) 033104.
- [46] A. Koitzsch, et al., Phys. Rev. B **88** (2013) 035124.
- [47] M. Szlawska and D. Kaczorowski, J. Phys.: Condens. Matter **26** (2014) 016004.
- [48] M. Szlawska, D. Kaczorowski, A. Ślebarski, L. Gulay, J. Stępień-Damm, Phys. Rev. B **79** (2009) 134435.
- [49] S. Patil, K. K. Iyer, E. V. Sampathkumaran, Phys. Rev. B **77** (2008) 094443.
- [50] M. Szlawska and D. Kaczorowski, J. Phys.: Condens. Matter **25** (2013) 255601.
- [51] S. Patil, V. R. R. Medicherla, R. S. Singh, E. V. Sampathkumkaran, K. Maiti, Europhys. Lett. **97** (2012) 17004.
- [52] O. Moze, S. Mentink, G. Nieuwenhuys, K. Buschow, Journal of Magnetism and Magnetic Materials **150** (1995) 345.
- [53] A. Szytuła, S. Baran, B. Penc, J. Przewoźnik, A. Winiarski, Y. Tyvanchuk, Y. Kalychak, Journal of Alloys and Compounds **589** (2014) 622.
- [54] I. Bigun, M. Dzevenko, L. Havela and Ya. Kalychak, Eur. J. Inorg. Chem. **16** (2014) 2631.
- [55] A. Sekiyama, T. Iwasaki, K. Matsuda, Y. Saitoh, Y. Onuki and S. Suga, Nature **403** (2000) 396.
- [56] F. Reinert et al., Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 106401.
- [57] M. Garnier et al., Phys. Rev. B **58** (1998) 3515
- [58] M. Mulazzi, K. Shimada, J. Jiang, H. Iwasawa and F. Reinert, Phys. Rev. B **89** (2014) 205134.
- [59] J. J. Yeh and I. Lindau, At. Data Nucl. Data Tables **32** (1985) 1.
- [60] B. Horvatić, D. Sokcević, V. Zlatić, Phys. Rev. B **36** (1987) 675.
- [61] M. T. Glossop, D. E. Logan, J. Phys.: Condens. Matter **14** (2002) 6737.
- [62] G. Czycholl, Phys. Rev. B **31** (1985) 2867.
- [63] J. C. Fuggle et al., Phys. Rev. B **27** (1983) 7330.
- [64] O. Gunnarsson, K. Schönhammer, Phys. Rev. B **28** (1983) 4315.
- [65] A. Freimuth, J. Magn. Magn. Mat. **68** (1987) 28.
- [66] H. W. Yeom, et al., Phys. Rev. B **72** (2005) 035323.
- [67] N. Oncel, J. Phys.: Condens. Matter **20** (2008) 393001.
- [68] K. Yaji, et al., Phys. Rev. B **87** (2013) 241413.
- [69] P. C. Snijders, H. H. Weitering, Rev. Mod. Phys. **82** (2010) 307.
- [70] P.-G. Kang, et al., Surf. Sci. **603** (2009) 2588.
- [71] G.-H. Gweon, J. W. Allen and J. D. Denlinger, Phys. Rev. B **68** (2003) 195117.
- [72] K. Sakamoto, H. M. Zhang and R. I. G. Uhrberg, Phys. Rev. B **69** (2004) 125321.

4. Pozostałe publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports

B1. S. Baran, M. Hofmann, J. Leciejewicz, B. Penc, P. Starowicz, N. Stüsser, A. Szytuła, and A. Zygmunt; Magnetic phase diagram of the $\text{HoRh}_{2-x}\text{Ru}_x\text{Si}_2$ solid solution, *J. Phys.: Condens. Matter* **10** (1998) 6367-6379.

IF=1.39

B2. B. Penc, M. Hofmann, M. Ślaski, P. Starowicz and A. Szytuła, Crystal and Magnetic Structures of $\text{Nd}_2\text{Ni}_2\text{Sn}$ and $\text{Dy}_2\text{Ni}_2\text{Sn}$ compounds, *Journal of Alloys and Compounds* **282** (1999) 8-13.

IF=0.932

B3. M. Kolenda, M. Hofmann, B. Penc, P. Starowicz, A. Szytuła; Magnetic structures of $\text{Tb}_2\text{Co}_3\text{Si}_5$ and $\text{Dy}_2\text{Co}_3\text{Si}_5$ compounds, *Journal of Alloys and Compounds* **292** (1999) 45-50.

IF=0.932

B4. P. Starowicz, A. Szytuła, J. Żukrowski, Low Temperature Magnetic Order and the Insulator to Metal Transition in the $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2[\text{Cu}_{0.992}^{57}\text{Fe}_{0.008}]_3\text{O}_{6.1}$ System Studied by Mössbauer Spectroscopy, *International Journal of Modern Physics B* **14** (2000) 3685.

IF=0.455

B5. P. Starowicz, A. Szytuła, J. Sokołowski, M. Bałanda, The Effect of Calcium Substitution in Deoxygenated $\text{R}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ Systems (R=Y, Eu); Appearance of Superconductivity, Insulator to Metal Transition,

Physica C **363** (2001) 80-90.

IF=0.860

B6. D. Cukjati, A. Prodan, N. Jug, H.J.P. van Midden, P. Starowicz, E. Karič, S.W. Hla, H. Böhm, F.W. Boswell, J.C. Bennett, The surface and domain structure of NbTe_2 ,

Journal of Crystal Growth **237-239** (2002) 278-282.

IF=1.529

B7. N. Jug, A. Prodan, H.J.P. van Midden, P. Starowicz, H. Böhm, F. W. Boswell, J. C. Bennett, Competition between surface reaction and diffusion of gold deposited onto ZrTe_3 ,

Surface Science **531** (2003) 375.

IF=2.063

B8. A. Szytuła, P. Starowicz, B. Penc, The influence of doping on the electronic structure of $\text{R}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+d}$ (R=Y, Eu) and $(\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$,

Physica C **387** (2003) 272.

IF=1.192

B9. P. Starowicz, A. Szytuła, Mechanisms of electrical conductivity in $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ system,

Physica C **424** (2005) 50-56.

IF=0.948

B10. A. Prodan, H.J.P. van Midden, S. Sturm, R. Zitko, E. Zupanic, J.C. Bennett, R. MacDougall, P. Starowicz, Charge-density waves in pure and intercalated Nb_3Te_4 ,

Solid State Sciences **11** (2009) 1556.

IF=1.675

B11. M. Starowicz, P. Starowicz, J. Żukrowski, J. Przewoźnik, A. Lemański, C. Kapusta, J. Banaś, Electrochemical synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles with controlled size, Journal of Nanoparticle Research 13 (2011) 7167.
IF=3.287

B12. M. Starowicz, P. Starowicz, B. Stypuła, Alumina-based nanoparticles obtained by anodic dissolution of Al in electrolytes with alcohol solvents, Journal of Solid State Electrochemistry 18 (2014) 3065-3071.
IF(2013)=2.234

5. Publikacje naukowe w czasopismach, które nie znajdują się w bazie Journal Citation Reports:

C1. P. Starowicz, A. Szytuła, Influence of Different Substitutions on the Properties of $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, Molecular Physics Reports **15/16** (1996) 225 (publikacja recenzowana).

C2. P. Starowicz, S. Baran, A. Szytuła, Yong Fan Dong, Structural Studies of Oxygen Deficient $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+d}$ System ($x=0.065$ and 0.15), Molecular Physics Reports **15/16** (1996) 237 (publikacja recenzowana).

C3. P. Starowicz, B. Penc, A. Szytuła, Photoemission and Magnetic Susceptibility Studies of the Transition to Superconducting State with Changing Calcium Content in Deoxygenated $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+d}$ System, Molecular Physics Reports **20** (1997) 221-228 (publikacja recenzowana).

C4. P. Starowicz, J. Sokołowski, A. Szytuła, Studies of the Insulator to Metal Transition in the Deoxygenated $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+d}$ System, pages 521-528 in Stripes and Related Phenomena, Proceedings of the Second International Conference, Stripes and High Tc Superconductivity, Rome, 2-6 June, 1998, Kluwer Academics/Plenum Publishers (publikacja recenzowana).

C5. P. Starowicz, J. Sokołowski, B. Penc, A. Szytuła, Metal-Insulator Transition and the Appearance of Superconductivity in Deoxygenated $\text{R}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ Systems ($\text{R}=\text{Y}, \text{Eu}$), Proceedings of the IX-th School on High Temperature Superconductivity, Krynica 2001 (publikacja recenzowana).

C6. P. Starowicz, C. Battaglia, F. Clerc, A. Prodan, L. Despont, H. J. P. van Midden, A. Szytuła, M. G. Garnier, and P. Aebi, Charge Density Waves and Superconductivity in ZrTe_3 , Synchrotron Radiation in Natural Science 6 (2007) 73 (rozszerzony abstrakt).

C7. J. Szade, B. Orłowski, B. Kowalski, E. A. Gorlich, K. Tomala, P. Starowicz, Pierwsza linia na Polskim Synchrotronie - Spektroskopie Miękkiego Promieniowania Rentgenowskiego, Synchrotron Radiation in Natural Science 8 (2009) 42 (rozszerzony abstrakt).

C8. P. Zajdel, A. Kisiel, A. Szytuła, P. Starowicz, J. Goraus, J. Konior, A. Banas, A. Balerna, G. Cinque, A. Grilli, Valence of constituents of selected rare earth silicides – XANES and LAPW numerical study, Synchrotron Radiation in Natural Science 11 (2012) 65 (rozszerzony abstrakt).

6. Spis prac dyplomowych oraz prac rocznych wykonanych przez studentów będących pod opieką autora wniosku

D1. Urszula Szerer, Analiza kształtu widm fotoemisyjnych związku 2H-TaSe_2 , praca magisterska, Uniwersytet Jagielloński 2005.

D2. Tomasz Czeakański, Wyznaczanie struktury elektronowej metodą teorii funkcjonałów gęstości, praca magisterska, Uniwersytet Jagielloński 2008.

D3. Jakub Rak, Badanie struktury pasmowej kryształów metodą ARPES, praca roczna studenta Studiów Matematyczno-Przyrodniczych, Uniwersytet Jagielloński 2010.

D4. Jakub Rak, Analiza widm fotoemisyjnych nadprzewodników opartych na płaszczyznach żelazowych, praca roczna studenta Studiów Matematyczno-Przyrodniczych, Uniwersytet Jagielloński 2011.

D5. Rafał Kurleto, Struktura elektronowa i rezonans Kondo w związku Ce_2CoSi_3 , praca licencjacka, Uniwersytet Jagielloński 2013.

D6. Marcin Rosmus, Badanie struktury elektronowej związku nadprzewodzącego $\text{FeTe}_{0.65}\text{Se}_{0.35}$ metodą spektroskopii fotoemisyjnej, praca licencjacka, Uniwersytet Jagielloński 2014.

7. Dane bibliometryczne

Jestem autorem 20 (w tym 17 po doktoracie) publikacji w czasopismach znajdujących się na liście filadelfijskiej (Journal Citation Reports) oraz 8-miu (w tym 4 po doktoracie) publikacji w innych czasopismach. Moje prace były cytowane 86 razy (w tym 81 razy bez autocytowań) według bazy danych ISI Web of Science, a odpowiedni indeks Hirscha wynosi 6. Natomiast sumaryczny impact factor wynosi 40,146.



dr Paweł Starowicz