



Katedra Zastosowań Fizyki Jądrowej
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
w Krakowie

Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 27 grudnia, 2013 r.

Recenzja pracy habilitacyjnej

pt. *”Badania fazy sigma w układach zawierających żelazo”*

autorstwa dr inż. Jakuba Cieślaka

(Adresat: Rada Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie)

Recenzja została przygotowana na podstawie:

- Dokumentów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Jakubowi Cieślakowi (Załączniki 00-08), w tym na podstawie
- Autoreferatu: *”Badania fazy sigma w układach zawierających żelazo”* stanowiącego habilitację, s.0-11 (Załącznik 02, wersja polska),
- Autoreferatu: *”Investigations of sigma-phase in iron-containing systems”* stanowiącego habilitację, s.0-11 (Załącznik 03, wersja angielska),
- Wykazu osiągnięć (Załącznik 04, wersja polska), zawierającego opis dziewięciu współautorskich publikacji w czasopismach filadelfijskich z lat 2008-2013 z dominującym udziałem wnioskodawcy, stanowiących habilitację; zawierającego opis 69 współautorskich publikacji filadelfijskich ze znacznym udziałem wnioskodawcy z lat 1993 – 2013 w tym, według datowania, co najmniej 61 publikacji po doktoracie; wykazu zawierającego opis referatów i udziałów konferencyjnych,
- Wykazu osiągnięć (Załącznik 05, wersja angielska),
- Wykazu publikacji (Załącznik 06),
- wybranych dziewięciu publikacji naukowych opisanych w autoreferacie, stanowiących habilitację (Załączniki 07-1 – 07-9),
- innych publikacji, w tym także literatury spoza dokumentacji.

Przedmiot rozprawy habilitacyjnej

Przedmiotem dziewięciu publikacji [07-1 – 07-9] przedłożonych jako rozprawa habilitacyjna jest testowanie fazy sigma występującej w układach żelaza z chromem, z wanadem, molibdenem i renem. W pracach tych przedstawiono technologię otrzymywania materiałów a przede wszystkim przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych i w części badań eksperymentalnych powyższych materiałów. Sama faza sigma, o dość złożonej strukturze krystalograficznej D_{4h}^{14} , grupie przestrzennej $P4_2/mnm$, znanej od dawna, o pięciu pozycjach krystalograficznych umownie oznaczanych literami A,B,C,D,E, a w przypadku prowadzonych badań o miejscach krystalograficznych obsadzanych przez atomy dwu różnych pierwiastków, stanowi wyzwanie interpretacyjne w odniesieniu do jakichkolwiek właściwości fizycznych. Przedłożony cykl publikacji stanowi pozytywną odpowiedź odnośnie wspomnianego wyzwania.

Biorąc pod uwagę usytuowanie tematyki badawczej, to należy stwierdzić, że istnieje obszerna literatura (również książki) dotycząca badań właściwości stopów żelaza z różnymi pierwiastkami, także badań stopów wykazujących fazę sigma (w tym badań przy użyciu efektu Mössbauera, badań neutronograficznych, badań numerycznych, itp.). Również przedłożone publikacje stanowią wycinek tematyczny szerszej aktywności badawczej kandydata w tym obszarze. W tym względzie zarówno tematyka habilitacji jak i metody pomiarowe oraz numeryczne należą do pewnego rodzaju klasyki badawczej. Jednakże, dotychczas nie rozwiązane problemy, postęp w technice pomiarowej, postęp w opracowywaniu numerycznym wyników pomiarów, możliwość konfrontacji wyników eksperymentalnych z obliczeniami pasmowej struktury elektronowej metali, uzasadniają podjęcie rozważanej tematyki badawczej. Ponadto badanie stopów żelaza z różnymi pierwiastkami, przy występującej fazie sigma, może mieć znaczenie praktyczne. Warto nadmienić, że przeprowadzone badania, mimo że w materiałach litych, dotyczą także obszarów o skali nanometrowej, dotyczą lokalnych konfiguracji atomów, co posiada znaczenie nie tylko poznawcze ale może mieć również znaczenie praktyczne.

Technologia i materiały

W przedłożonej habilitacji przeprowadzono syntezę następujących układów: Fe-Cr [07-1, 07-2, 07-3, 07-4], Fe-V [07-1, 07-5, 07-6, 07-7], Fe-Mo [07-8], Fe-Re [07-9].

Syntezę materiałów, w większości przypadków, przeprowadzono metodą topienia w łuku elektrycznym składników wyjściowych, przykładowo o czystości Fe -99.95%, Cr -99.5%, V-99.5% [07-1], z następującą po topieniu procedurą obróbki termicznej. Fazę sigma otrzymywano przez wygrzewanie, przy czym temperatura i czas obróbki były dobrane do wyjściowego materiału. Szczegóły takiej obróbki dla składów Fe_xCr_{100-x} oraz Fe_xV_{100-x} podane są w publikacji [07-1] oraz dla serii stopów $Fe_{100-x}Re_x$ w publikacji [07-9].

Techniki pomiarowe i obliczeniowe

Przekształcenie poszczególnych stopów do fazy sigma określano na podstawie proskopowych pomiarów rentgenowskich używając promieniowania lampy miedzianej, co jest opisane w publikacji [07-8, 07-9]. Właściwości strukturalne fazy sigma w celu wyznaczenia obsadzeń miejsc krystalograficznych przez atomy Fe, Cr lub V badano również przy pomocy dyfrakcji neutronów [07-1]. Najważniejszą jednak technikę pomiarową badania stopów z żelazem stanowił standardowy efekt Mössbauera, obserwowany głównie przy temperaturach pokojowych, na jądrach atomowych izotopu ^{57}Fe przy wykorzystaniu źródła $^{57}Co/Rh$ z linią

kwantów gamma o energii 14.4keV [07-2, 07-5, 07-8, 07-9]. Prezentowane w publikacjach widma mössbauerowskie posiadały bardzo dobre statystyki zliczeń kwantów gamma. Problemem było właściwe dopasowanie obserwowanych widm. Zarówno ze względu na złożoność struktury krystalicznej jak i ze względu na obecność atomów dwu różnych pierwiastków rozmieszczonych na węzłach sieci krystalicznej, występuje zbyt dużo parametrów które należałoby uwzględnić przy dopasowywaniu widma. W sytuacji takiej pomocne było wyliczenie struktury elektronowej stopu metodą KKR (Korringa-Kohn-Rostoker) i następnie wyliczenie przesunięcia izomerycznego a także rozszczepienia kwadrupolowego dotyczących miejsc krystalograficznych zajmowanych przez atomy żelaza. Wyliczone parametry zmniejszyły liczbę wszystkich parametrów koniecznych do dopasowania widma, co uczyniło dopasowania wiarygodnymi. Uzgodnienie rezultatów pomiaru mössbauerowskiego i rezultatów obliczeń numerycznych pozwala na wyciągnięcie wniosków dotyczących fazy sigma. Procedura uzgadniania, w tym metoda numeryczna, szczegółowo jest opisana w publikacji [07-2]. Podejście takie jest możliwe, gdyż aktualnie istnieją rozwinięte praktycznie standardowe metody obliczeniowe numeryczne i programy komputerowe (nawet komercyjne) służące do testowania struktury elektronowej różnych materiałów. Należy podkreślić, że obliczenia struktury elektronowej i także innych właściwości badanych stopów oraz ich fazy sigma opisano w publikacjach [07-3, 07-5, 07-6, 07-7, 07-8, 07-9].

Przegląd rezultatów

Poniżej dokonano przeglądu jedynie głównych wyników pracy habilitacyjnej zawartych w publikacjach [07-1 – 07-9].

1. Według kolejności, w publikacji [07-1] przedstawiono gruntowne badania neutronograficzne fazy sigma stopów Fe_xCr_{100-x} dla $x = 50.5 - 54.7$ oraz stopów Fe_xV_{100-x} dla $x = 41.9 - 60.1$ (rys.2, tab.2). Wyznaczono liczbowe i procentowe obsadzenie miejsc podsieci A,B,C,D,E przez atomy Fe lub Cr, bądź w drugim przypadku przez atomy Fe lub V, w zależności od składu stopu (tab.2, rys.3, tab.3, tab.6, tab.7). We wnioskach stwierdzono, że wszystkie pięć podsieci jest obsadzane przez atomy dwu składników w sposób mieszany. Niemniej jednak nie jest to obsadzanie przez atomy ani w sposób całkowicie przypadkowy, ani w sposób całkowicie uporządkowany. W tym względzie badany jest również stopień przypadkowości rozmieszczenia atomów w podsieciach. Dyskutowany jest również wpływ obróbki termicznej i mechanicznej materiałów na obsadzenia podsieci przez atomy dwu składników stopu. Uzyskane rezultaty są pomocne w dalszych badaniach fazy sigma wspomnianych stopów.

2. W publikacji [07-2] użyto dwu ścieżek do testowania fazy sigma w stopie $Fe_{53.8}Cr_{46.2}$, mianowicie obliczeń numerycznych struktury elektronowej stopu z jednej strony oraz pomiaru efektu Mössbauera na jądrach atomowych izotopu ^{57}Fe z drugiej strony. Otrzymane widma mössbauerowskie (rys.1) dobrej jakości są jednak słabo rozdzielone i są złożone z wielu widm składowych, odpowiadają pięciu podsieciom i ponadto różnym otoczeniom atomu testowanego przez atomy sąsiadujące. Dopasowanie numeryczne takich widm do przyjętego hamiltonianu wymagałoby uwzględnienia zbyt wielu parametrów aby takie dopasowanie mogło być jednoznaczne. W tej sytuacji pomocne są wyniki krystalograficzne publikacji [07-1] jak i przeprowadzone obliczenia numeryczne struktury elektronowej stopu, a w szczególności obliczenia parametrów oddziaływań nadsubtelnych czyli przesunięć izomerycznych i rozszczepień kwadrupolowych (tab.3, rys.4) przy użyciu metody rachunkowej KKR (Korringa-Kohn-Rostoker) z funkcją Greena. Uwzględnienie właściwości

krystalograficznych sieci krystalicznej, właściwości probabilistycznych sieci wynikłych z przypadkowości rozmieszczeń atomów po podsieciach [07-1, 07-2] oraz wyliczonych parametrów oddziaływań nadsubtelnych umożliwiło poprawne dopasowanie eksperymentalnych widm mössbauerowskich. Podejście takie umożliwiło wyciągnięcie wniosków odnośnie właściwości fazy sigma.

3. W publikacji [07-3] przedstawiono wyniki obliczeń metodą KKR(CPA) dotyczących magnetyzmu fazy sigma, ze względów numerycznych umownego stopu $\text{Fe}_{16}\text{Cr}_{14}$, bliskiego składem do badanych materiałów rzeczywistych. W pracy tej opisano szczegółowo kroki procedury numerycznej. W obliczeniach, uwzględniając kryterium Stonera (rys.2), dążąc do uzyskania zgodności pomiędzy wartościami eksperymentalnymi całkowitego momentu magnetycznego i wartościami wyliczonymi (rys.3-6), kolejno rozpatrywano stan niemagnetyczny, stan ferromagnetyczny, a po przeprowadzeniu analizy symetrii stan antyferromagnetyczny. Dla każdego z ostatnich dwu modeli zostały wyliczone momenty magnetyczne atomów żelaza, atomów chromu, dla poszczególnych podsieci. Stwierdzono, że atomy żelaza i atomy chromu są magnetyczne. Ponadto momenty magnetyczne żelaza są proporcjonalne do liczby atomów żelaza w najbliższym otoczeniu.

Zgodność pomiędzy wartościami eksperymentalnymi i wyliczonymi całkowitego momentu magnetycznego osiągnięto przyjmując antyferromagnetyczne uporządkowanie momentów magnetycznych chromu.

4. W publikacji [07-4] we wstępie opisano negatywny wpływ obecności fazy sigma na właściwości np. stali. W tej sytuacji ważna jest znajomość warunków powstawania i zaniku fazy sigma, w szczególności znajomość energii jej formowania. Opisano dość szczegółowo procedurę obliczeń numerycznych. Jako rezultaty podane są zależności energii formowania (rys.1), entropii magnetycznej i konfiguracyjnej (rys.2) oraz energii swobodnej (rys. 3) w zależności od liczby atomów żelaza w komórce elementarnej. W podsumowaniu podane są wnioski wynikłe z przeprowadzonych obliczeń dotyczące warunków powstawania fazy sigma.

5. Publikacja [07-5] jest po części analogiczna do publikacji [07-2]. Dotyczy w tym przypadku stopów żelazo – wanad. Przeprowadzono mianowicie obliczenia struktury elektronowej fazy sigma stopów $\text{Fe}_{100-x}\text{V}_x$ dla składów $x = 33.3 - 60.0$ stosując metodę KKR. Wyliczone zostały parametry oddziaływań nadsubtelnych czyli przesunięcie izomeryczne oraz rozszczepienie kwadrupolowe (rys.2-4). Parametry te wraz z eksperymentalnie wyznaczonymi obsadzeniami podsieci przez atomy Fe lub V [07-1] posłużyły do dopasowania widm mössbauerowskich (rys.5). Zarówno wyliczone jak i wynikłe z dopasowań średnie przesunięcie izomeryczne prawie liniowo maleje gdy w stopie przybywa wanadu. Rozszczepienie kwadrupolowe dla poszczególnych miejsc krystalograficznych jest prawie stałe jako funkcja zawartości wanadu. Niemniej jednak rozszczepienia charakterystyczne dla różnych miejsc krystalograficznych różnią się zauważalnie.

6. Studia dotyczące magnetycznych właściwości fazy sigma w stopie żelazo – wanad zawiera praca [07-6]. Przeprowadzono obliczenia struktury elektronowej metodą KKR dla stopów $\text{Fe}_{100-x}\text{V}_x$ dla $x = 34 - 65$. Podane są szczegóły techniki obliczeniowej. Dla różnych miejsc sieci krystalicznej (A,B,C,D,E) zostały wyliczone momenty magnetyczne atomów żelaza i wanadu (rys.1-4). Moment magnetyczny atomu żelaza lub wanadu wynosi zero przy małych liczbach atomów żelaza w najbliższym sąsiedztwie. Moment magnetyczny pojawia się dopiero przy pewnej krytycznej liczbie atomów żelaza w sąsiedztwie i następnie rośnie liniowo, gdy sąsiadujących atomów żelaza przybywa. Podobnie dzieje się z magnetycznym

polem nadsubtelnym wyliczonym dla atomów żelaza bądź wanadu (rys.5-8). Warto zaznaczyć, że magnetyczne pola nadsubtelne maleją, gdy zawartość wanadu w stopie zwiększa się. Otrzymane rezultaty obliczeń posłużyły do dopasowania widm mössbauerowskich wykazujących rozszczepienie zeemanowskie zmierzonych przy temperaturze 4.2K dla faz sigma stopów $Fe_{65.6}V_{34.4}$ i $Fe_{60.1}V_{39.9}$ (rys.9).

7. Kolejna publikacja [07-7], w części podobna do publikacji [07-4] traktującej o formowaniu fazy sigma stopów żelazo-chrom, opisuje studia numeryczne dotyczące formowania fazy sigma w stopach żelazo – wanad (rys.2-4). Podane są energia formowania fazy sigma, entropia magnetyczna i konfiguracyjna wyliczone w zależności od liczby atomów żelaza przypadających na komórkę elementarną. W dodatku A i B publikacji podane są formuły numeryczne wg których wyliczano energie formowania i entropie magnetyczne.

8. Publikacja [07-8] jest w przybliżeniu powtórzeniem publikacji [07-2], [07-5] i [07-6] i tym razem dotyczy fazy sigma stopów $Fe_{100-x}Mo_x$ dla $x = 44 - 57$. Opisana została synteza materiałów, ich proszkowa analiza rentgenowska, gdzie wyznaczono zależność parametrów sieci krystalicznej od składu stopu, współrzędne położenia krystalograficznych, prawdopodobieństwa obsadzeń podsieci krystalograficznych przez atomy żelaza, również w zależności od składu (rys. 1, rys.2, tab.1, tab.2). Zostały zmierzone widma mössbauerowskie ^{57}Fe dla badanej serii stopów, które zostały dopasowane przy użyciu rozkładu przesunięć izomerycznych. Obliczenia modelowe, w tym obliczenia KKR, były podstawą do wyliczenia przesunięć izomerycznych i następnie ponownego dopasowania widm mössbauerowskich (rys.4, rys.8, rys.3, rys.5, rys.7). Publikacja zawiera dość szczegółowe podsumowanie otrzymanych rezultatów.

9. Publikacja [07-9] jest analogiczna do publikacji [07-8] i w tym przypadku dotyczy fazy sigma stopów $Fe_{100-x}Re_x$ dla $x = 41 - 55$. Opisano syntezę materiałów i badania rentgenowskie struktury krystalograficznej (rys.1, tab.1, rys.2), pomiary mössbauerowskie na jądrach atomowych ^{57}Fe (rys.4), procedurę dopasowań widm mössbauerowskich, w tym z uwzględnieniem parametrów otrzymanych z obliczeń struktury elektronowej metodą KKR (rys.5-8). Publikacja zawiera podsumowanie otrzymanych rezultatów.

Pewne uwagi krytyczne

Lektura materiałów habilitacyjnych nasuwa pewne uwagi.

1. Autoreferat pt. „Badania fazy sigma w układach zawierających żelazo” jest skrótowy, posiada charakter zdawkowy. Brak jest w Autoreferacie spisu treści, brak jest wyraźnie zdefiniowanej tezy pracy czy też celów pracy, ponadto brak jest jakiegokolwiek podsumowania i wniosków końcowych. Autoreferat w przedłożonej postaci był mało przydatny do oceny habilitacji. Na szczęście załączone publikacje [07- 1-9] mogły zastąpić ten brak.

2. W publikacjach dotyczących struktury krystalicznej [07-1], [07-8], [07-9] brak jest wskaźnikowania linii neutronogramu, rentgenogramów, choćby linii charakterystycznych posiadających duże natężenia.

3. Brak jest w publikacjach (poza jednym wyjątkiem) wyliczonych funkcji gęstości stanów (DOS), zarówno dla poszczególnych atomów jak i DOS całkowitych. Brak jest zatem dość istotnych danych o strukturach elektronowych, w tym o szerokościach podpasm (takie

oszacowania są możliwe), o energiach rozszczepienia pasm w przypadkach magnetycznych (wyliczenie takich energii jest możliwe).

4. Atom np. żelaza w wybranej podsieci posiada w najbliższym sąsiedztwie atomy z pięciu podsieci, w tym atomy podsieci własnej. Wprowadza to już pięć widm składowych w wypadkowym widmie mössbauerowskim. Liczby najbliższych sąsiadów w badanej strukturze krystalograficznej są podane w tabeli 1, w publikacji [07-3] i atom ten w zależności od podsieci może posiadać 12, 14 lub 15 najbliższych sąsiadów i to w różnych odległościach w zależności od podsieci. Obsadzanie miejsc sieci krystalicznej przez atomy dwu pierwiastków silnie zwiększa liczbę różnych najbliższych otoczeń atomu testowanego przy użyciu efektu Mössbauera i tym samym zwiększa liczbę widm składowych. Przy występujących w obszarze paramagnetycznym tylko przesunięciu izomerycznym i rozszczepieniu kwadropolowym otrzymane widma są praktycznie nie rozdzielone. W tej sytuacji konieczne było przeprowadzenie pomiarów mössbauerowskich w niskich temperaturach (choćby 4.2K), lub nawet w zależności od temperatury, przynajmniej dla przykładowych stopów, które posiadały w miarę wysoką temperaturę Curie. W przypadku takich pomiarów znacznie zwiększają się, brakujące tu, możliwości interpretacyjne otrzymanych rezultatów. Brak jest w pracy habilitacyjnej wspomnianych niskotemperaturowych pomiarów, poza niezbyt trafionymi wyjątkami.

5. Jeśli chodzi o uwagi redakcyjne dot. Autoreferatu to błędnie jest zapisywana nazwa dotycząca głównej i praktycznie jedynej używanej metody spektroskopowej. Ponadto używa się słowa „ilość” zamiast „liczba”, gdy chodzi o liczbę atomów. Zamiast słowa „podwidmo” powinno się użyć słów „widmo składowe”. Używa się pojęcia „stałe sieci” zamiast pojęcia „parametry sieci”. Parametry te zależą np. od składu stopu, więc nie mogą być zwane stałymi. Kolejnym dziwnym słowem jest „podstawnik” zamiast przyjętego już w języku polskim „substytut” lub ostatecznie „zamiennik”. W użyciu jest słowo „własności” zamiast poprawne „właściwości”.

6. We wszystkich publikacjach w obszarze teleadresowym, gdzie tylko było możliwe, pominięte są polskie znaki diakrytyczne i tym sposobem jeśli chodzi o wnioskodawcę to w nazwisku zamiast „ś” występuje „s”. Podobnie występuje w nazwiskach „l” zamiast „ł”. Drukarnie oczywiście posiadają wszelkie znaki diakrytyczne wszelkich alfabetów, niemniej jednak, jeśli autorom to jest obojętne, nie dokonują potrzebnego wysiłku redakcyjnego.

Podsumowanie

W podsumowaniu pracy habilitacyjnej będącej przedmiotem powyższej recenzji, składającej się z dziewięciu w przybliżeniu monotematycznych publikacji oraz skrótowego autoreferatu można napisać, że w pracy tej:

- przeprowadzono syntezę stopów typu Fe-Cr, Fe-V, Fe-Mo, Fe-Re o różnych zawartościach poszczególnych składników,
- przeprowadzono transformację wyjściowego stopu do fazy sigma,
- przeprowadzono pomiary neutronograficzne bądź rentgenograficzne dla niektórych stopów,
- wykonano pomiary efektu Mössbauera na jądrach atomowych żelaza ^{57}Fe , głównie przy temperaturze pokojowej,
- przeprowadzono obliczenia struktury elektronowej metodą KKR dla większości badanych materiałów, w szczególności wyliczono przesunięcia izomeryczne i rozszczepienia kwadropolowe,
- umożliwiło to dopasowania złożonych eksperymentalnych widm mössbauerowskich,

- wyniki badań zostały opublikowane w dziewięciu bardzo dobrych specjalistycznych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

Opinia

w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych
dr inż. Jakubowi Cieślakowi

Przedłożona monotematyczna habilitacja, posiadająca głównie charakter numeryczny obliczeniowy, a w części charakter eksperymentalny, oparta jest na gruntownym i obszernym dorobku naukowym, rozwiązuje zagadnienia poznawcze związane z występowaniem fazy sigma w stopach żelaza z wybranymi metalami. Ze względu na właściwości fazy sigma wyniki badań perspektywicznie mogą mieć również znaczenie praktyczne. Praca wnosi nowe wyniki badań materiałoznawczych z zakresu fizyki metali.

Jeśli chodzi o dorobek naukowy publikacyjny wnioskodawcy, to opublikowano 69 artykułów współautorskich w czasopismach specjalistycznych o zasięgu międzynarodowym, w tym według dat po doktoracie (luty 1995 r.) 61 artykułów. W większości publikacji udział wnioskodawcy jest znaczący.

Prezentowany zbiór artykułów (Załącznik 06 do wniosku) satysfakcjonująco spełnia założenia biblio-metryczne. Z oświadczeń ośmiu współautorów (Załącznik 08 dokumentacji) wynika, że wnioskodawca jest głównym twórcą i tym samym autorem publikacji [7-01]-[7-09] składających się na osiągnięcie naukowe habilitacyjne i należy dodać, że jest pierwszym współautorem. Wnioskodawca posiada również liczne wystąpienia na konferencjach krajowych i zagranicznych (Załącznik 04, 05).

Stosownie do załączników 02-06, 07 i 08 wnioskodawca posiada ugruntowaną współpracę naukową z różnymi ośrodkami badawczymi w kraju i za granicą. Podsumowując przedkładam wniosek jak poniżej:

Wniosek

Biorąc pod uwagę istotną aktywność naukową kandydata, opisane powyżej rezultaty badań naukowych, stwierdzam, że dorobek wyczerpuje wymogi ustawy i składam wniosek do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o kontynuowanie postępowania habilitacyjnego doktora inż. Jakuba Cieślaka

prof. dr hab.  Jarosław Pszczoła

Adres:
prof. J. Pszczoła
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
AGH, al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków

tel. 12-617-29-90,
e-mail: pszczoła@agh.edu.pl
<http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~pszczoła>