

Załącznik nr 2

AUTOREFERAT

Dr Alina Gil

Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Częstochowa 2015

Spis treści:

I. Imię i Nazwisko:	3
II. Wykształcenie, stopnie:.....	3
III. Przebieg zatrudnienia:	3
IV. Informacje o opublikowanych pracach naukowych i twórczych pracach zawodowych.....	4
V. Wskazanie osiągnięcia* 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.):	6
a) tytuł osiągnięcia naukowego (cykl 9 monotematycznych publikacji):	6
b) publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (IF podano zgodnie z rokiem opublikowania, IF* z roku 2013):	6
c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	7
VI. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.....	21
a) Prace przed doktoratem	21
b) Prace po doktoracie	22
c) Inne prace spoza reprezentowanej dyscypliny naukowej.....	26

I. Imię i Nazwisko: Alina Gil

II. Wykształcenie, stopnie¹:

1994 - doktor fizyki, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Wydział Matematyki i Fizyki
Praca doktorska: "Własności strukturalne i magnetyczne związków międzymetalicznych typu RTX₂"
Promotor: prof. dr hab. Andrzej Szytuła

1988 - magister fizyki, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Wydział Matematyki i Fizyki
Specjalność: fizyka ciała stałego
Praca magisterska: "Badanie struktur nieorganicznych w układach biologicznych"
Promotor: prof. dr hab. Andrzej Szytuła

1983 – matura, II Liceum Ogólnokształcące im. Mikołaja Kopernika w Mielcu,
profil matematyczno-fizyczny

III. Przebieg zatrudnienia:

1.10.1988÷20.02.1990	asystent-stażysta , Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej, (17.08.1989÷6.12.1989 urlop macierzyński)
21.02.1990÷30.09.1990	fizyk-specjalista , Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej,
1.10.1990÷30.09.1998	asystent , Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej, (20.02.1995-9.09.1998 urlop macierzyński + wychowawczy)
1.10.1998÷nadal	adiunkt , Instytut Edukacji Technicznej i Bezpieczeństwa, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

¹ 6.12.2005 w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach miałam kolokwium habilitacyjne, Rada Instytutu Fizyki UŚ nadała mi stopień doktora habilitowanego, który nie został zatwierdzony przez Centralną Komisję ds. Stopni i Tytułów Naukowych

IV. Informacje o opublikowanych pracach naukowych i twórczych pracach zawodowych

Calkowita liczba publikacji: 66 (31 publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie JCR) w tym:

- 48 publikacji z zakresu fizyki (w tym 29 publikacji znajdujących się w bazie JCR, 1 monografia, 2 rozdziały w monografiach), z czego 38 publikacji po uzyskaniu stopnia doktora (w tym 23 publikacje znajdujące się w bazie JCR:
 - Journal of Alloys and Compounds – 9 publikacji
 - Journal of Magnetism and Magnetic Materials – 6 publikacji
 - Journal of Solid State Physics – 2 publikacje
 - Journal of Physics: Condensed Matter – 1 publikacja
 - Physica B: Condensed Matter – 3 publikacje
 - Acta Physica Polonica A – 3 publikacje
 - Acta Physica Polonica B – 1 publikacja
 - Material Sciences – 1 publikacja);
- 18 publikacji spoza reprezentowanej dyscypliny naukowej (w tym 2 publikacje znajdujące się w bazie JCR, 2 skrypty, 4 rozdziały w monografiach)

Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS): ..7...(13.03.2015)

Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR):

zgodnie z rokiem opublikowania: ...**27,65**...

biorąc pod uwagę IF z 2013 r.:**49,53**....

Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): ..**140**..,

bez autocytowań: ..**113**... (13.03.2015)

Udział w konferencjach naukowych ...**36** ... (z czego **26** międzynarodowych) w tym:

- 13 wygłoszonych referatów (12 po uzyskaniu stopnia doktora, 6 z zakresu fizyki)
- 22 postery (18 po uzyskaniu stopnia doktora, 15 z zakresu fizyki)

Kierowanie lub udział w międzynarodowych i krajowych projektach badawczych:

1. *Integrated infrastructure initiative for neutron scattering and muon spectroscopy*
7 Program Ramowy INFRASTRUCTURES: CP-CSA_INFRA-2008-1.1.1. nr 226507-NMI3, **2009-2013**, współfinansowany przez Komisję Europejską – **trzykrotny udział w projekcie umożliwiającym wykonanie badań w Helmholtz Zentrum Berlin:**
HZB Proposals:

-
- **2009** – PHY-01-2637, A. Gil, B. Penc, Neutron Diffraction Studies of RCr_xGe_2 (R = Tb, Dy, Ho, Er) compounds,
 - **2010** – PHY-01-2885, S. Baran, A. Gil, Investigation of magnetic structures in $\text{Tm}_3\text{Cu}_4\text{X}_4$ (X = Si, Ge, Sn) compounds,
 - **2011** – PHY-01-2977, A. Gil, S. Baran, Neutron diffraction studies of magnetic structures of RSnGe (R = Tb, Dy, Ho, Er) compounds,
2. *Evaluation toolkit on senior education to improve their quality of life (QEduSen)*, Projekt wielostronny Lifelong Learning Programme nr: 518227-LLP-1-2011-1-ES-GRUNDTVIG-GMP, **2011-2014**, współfinansowany przez Komisję Europejską, Instytucja koordynująca: Universitat Jaume I Castellon (Hiszpania); 7 partnerów z krajów UE: Hiszpania, Włochy, Finlandia, Łotwa, Polska, Węgry, Bułgaria – **Pełniłam funkcję koordynatora projektu z ramienia AJD – kierowałam pracami polskiego zespołu badawczego**

V. Wskazanie osiągnięcia* 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.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego (cykl 9 monotematycznych publikacji):

Wpływ pierwiastków d- i p- elektronowych na struktury magnetyczne trójskładnikowych związków międzymetalicznych typu RT_xX_2 o strukturze krystalicznej typu $CeNiSi_2$

b) publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (IF podano zgodnie z rokiem opublikowania, IF* z roku 2013):

- H1. A. Gil, B. Penc, S. Baran, J. Hernandez-Velasco, A. Szytuła, A. Zygmunt, **2003**, „*Magnetic structures of RNi_xSn_2 ($R = Tb, Ho$) compounds*”, **Journal of Alloys and Compounds** Vol. 361 p. 32–35 (IF=1,08; IF*=2,726)
- H2. A. Gil, B. Penc, J. Hernandez-Velasco, A. Szytuła, A. Zygmunt, **2004**, “*Neutron diffraction studies of RNi_xSn_2 ($R=Tb, Dy, and Ho$) compounds*”, **Physica B – Condensed Matter**, 350, e119–e121 (IF=0,679, IF*=1,276)
- H3. A. Gil, B. Penc, E. Wawrzyńska, J. Hernandez-Velasco, A. Szytuła, A. Zygmunt, **2004**, „*Magnetic properties and magnetic structures of RCo_xSn_2 ($R=Gd-Er$) compounds*”, **Journal of Alloys and Compounds** Vol. 365, p. 31–34 (IF=1,562; IF*=2,726)
- H4. A. Gil, D. Kaczorowski, J. Hernandez-Velasco, B. Penc, E. Wawrzyńska, A. Szytuła, **2004**, “*Magnetic structures of RCu_xGe_2 ($R = Ho, Er$) compounds*”, **Journal of Alloys and Compounds** Vol. 384, L4–L6 (IF=1,562; IF*=2,726)
- H5. A. Gil, D. Kaczorowski, B. Penc, A. Hoser, A. Szytuła, February **2011**, *Magnetic and transport properties of $RCr_{0.3}Ge_2$ ($R = Tb, Dy, Ho$ and Er) compounds*, **Journal of Solid State Chemistry**, Vol.: 184, Issue: 2, p. 227–235 (IF=2,159; IF*=2,20)
- H6. A. Gil, B. Penc, S. Baran, A. Hoser, A. Szytuła, July **2011**, *Neutron Diffraction studies of $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ ($R=Tb - Er$) compounds*, **Journal of Solid State Chemistry**, Vol.: 184, Issue: 7, p. 1631-1637 (IF=2,159; IF*=2,20)
- H7. A. Gil, A. Hoser, B. Penc, A. Szytuła, October **2013**, *Crystal and magnetic structure of $TbFe_{0.25}Ge_2$ compound*, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** Vol.: 344, p. 167-170 (IF=IF*=2,002)
- H8. A. Gil, **2006**, “*Magnetic interaction in RT_xX_2 ternary compounds*”, **Materials Science – Poland**, Vol. 24, no. 3, p. 577–583 (IF=0,333, IF*=0,327);

H9. A.Gil, 2007, "Crystalline electric field parameters for RTX_2 compounds", **Journal of Physics: Conference Series** 79, 012032, doi:10.1088/1742-6596/79/1/012032

Oświadczenia współautorów określające ich indywidualny wkład do wyżej wymienionych publikacji znajdują się w załączniku 4. Nie załączono oświadczenia doc. dr hab. Andrzeja Zygmunta ponieważ nie żyje – o jego wkładzie pisze prof. Szytuła w swoim oświadczeniu.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cel pracy

Przedmiotem badań przedstawionych w osiągnięciu były potrójne związki międzymetaliczne o składzie RTX_2 , gdzie R – pierwiastek ziemi rzadkiej, T – pierwiastek *d*-elektronowy (metal przejściowy), X – pierwiastek *p*-elektronowy.

Badania związków ziem rzadkich z metalami przejściowymi są jednym z dominujących nurtów współczesnego magnetyzmu i obejmują szeroki zakres badań zarówno o charakterze podstawowym jak i aplikacyjnym. Impulsem do tych badań było otrzymanie między innymi związku $Nd_2Fe_{14}B$, który stał się nowym materiałem na magnesy trwałe. Poszukiwanie dalszych związków o lepszych parametrach napotyka na trudności związane z brakiem pełnego opisu teoretycznego. Magnetyzm związków międzymetalicznych ziem rzadkich jest znany od ponad 60 lat lecz ciągle brakuje teorii, która byłaby wystarczająca do opisu wyników eksperymentalnych. Systematyczne badania własności magnetycznych związków ziem rzadkich dają nadzieję na pełne zrozumienie magnetyzmu w tych rodzinach związków. Podstawowym celem badań związków lantanowców było i nadal jest znalezienie odpowiedzi na pytania dotyczące mechanizmów oddziaływania między momentami magnetycznymi.

Celem prezentowanego osiągnięcia naukowego jest określenie uporządkowania momentów magnetycznych oraz wpływu pierwiastków *d*- i *p*-elektronowych na własności magnetyczne związków o rombowej strukturze krystalicznej typu $CeNiSi_2$, opisanej grupą przestrzenną $Cmcm$. W związku z tym oprócz badań związków niestechiometrycznych RT_xX_2 podjęłam badania związków $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ ($x \approx 0.1$), które również krystalizują w strukturze rombowej $CeNiSi_2$, a ciekawych ze względu na zastąpienie *d*-metal pierwiastkiem *p*-elektronowym.

Struktura krystaliczna

Związki o składzie RT_xX_2 , gdzie $1 \geq x > 0$ krystalizują na ogół w niestechiometrycznym składzie RT_xX_2 i mają rombową strukturę krystaliczną typu $CeNiSi_2$ (grupa przestrzenna $Cmcm$) opisaną przez Bodak, Gladyshevsky¹. Każdy atom, tj. Ce, Ni, Si₁, Si₂ zajmuje pozycje $4(c)$ o współrzędnych $(0, y, \frac{1}{4})$ z różnymi wartościami parametru *y*. Charakterystycznym elementem budowy tej struktury jest wielościan utworzony z atomów metalu przejściowego, z których każdy jest umieszczony wewnątrz lekko zdeformowanej

¹ O.I. Bodak, E.I. Gladyshevsky, 1970, Sov. Phys. Cryst. 14, 859

piramidy rombowej z atomami X w narożach. Podstawę piramidy tworzą atomy X_2 , a wierzchołek piramidy jest obsadzony przez atom X_1 . Atomy ziemi rzadkiej R znajdują się w centrum ikozaedru, mając jako sąsiadów cztery atomy X_1 , cztery T i cztery X_2 . Struktura krystaliczna typu $CeNiSi_2$ ma charakter warstwowy. Warstwy tych samych atomów ułożone są wzdłuż najdłuższej osi b w następującej sekwencji: R-T- X_2 -T-R- X_1 - X_1 -R-T- X_2 -T-R. Warstwowy charakter oraz anizotropia struktury krystalicznej ($a = 4.455(2)$ Å, $b = 17.374(4)$ Å, $c = 4.266(1)$ Å) mają wpływ na własności magnetyczne.

Problem niestechiometrii w tego typu związkach był szczegółowo badany przez M. Francois i współpracowników². Charakterystyczną cechą tych związków jest fakt, że jeżeli maleje promień jonu ziemi rzadkiej, to jednocześnie wzrasta liczba wakansów w podsięci atomów 3d.

Eksperyment

Próbki do badań przygotowywane były metodą topienia w piecu łukowym w atmosferze argonu stechiometrycznej mieszaniny pierwiastków o dużej czystości (99,9% w przypadku ziem rzadkich i 99,99% dla pozostałych pierwiastków). Następnie w celu ujednorodnienia próbki były wygrzewane przez 7 dni w temperaturze 800°C.

Niezastąpionym narzędziem do badania własności kryształów magnetycznych jest metoda dyfrakcji neutronów, po raz pierwszy wykorzystana w 1949 r. przez Shulla i Smarta do badań na uporządkowanym magnetycznie polikryształ MnO³. W 1994 r. nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki przyznano pionierom metod doświadczalnych rozpraszania neutronów: C.G. Shullowi i B.N. Brockhouse'owi. Metoda dyfrakcji neutronów pozwala na wyznaczenie struktur magnetycznych występujących w badanych związkach i to głównie ją wykorzystywałam przy realizacji swoich badań. Pomiary neutronowe wykonywane były w Helmholtz-Zentrum Berlin (wcześniej Berlin Neutron Scattering Center) na instrumencie E6, przeznaczonym do badań próbek polikrystalicznych. Analiza dyfraktogramów przeprowadzona została przy użyciu programu FULLPROF⁴ bazującego na metodzie Ritvelda⁵.

Korzystałam również z innych komplementarnych metod badania własności magnetycznych takich jak: pomiary podatności magnetycznej, namagnesowania, ciepła właściwego, oporu elektrycznego (przeprowadzonych w większości w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu) czy wreszcie dyfrakcji promieniowania X, która to metoda stosowana była głównie w celu potwierdzenia typu struktury krystalicznej i sprawdzenia czystości próbek. Wykorzystanie komplementarności warsztatu eksperymentalnego pozwoliło na głębszą analizę własności tych związków.

Zastosowane modele oddziaływań

W związkach międzymetalicznych występują zazwyczaj trójwartościowe jony ziem rzadkich, z wyjątkiem Ce, Pr, Sm, Eu i Yb, wśród których możliwe jest występowanie

² M. Francois, G. Venturini, B. Malaman, B. Roques, 1990, J. Less-Common Met. 160, 197; 215

³ C.G Shull, 1995, Rev. Of Modern Physics, 67, 753

⁴ J. Rodriguez-Carvajal, 1993, Physica B 192,55

⁵ H.M. Rietveld, 1969, J. Appl. Cryst. 2, 65

mieszanej wartościowości. Lantanowce wyróżniają się wśród innych grup pierwiastków interesującą konfiguracją elektronową, którą można ogólnie przedstawić jako $\dots 4f^n 5s^2 5p^6$, gdzie obsadzenie powłoki f zmienia się od 0 dla La^{3+} do 14 dla Lu^{3+} . Niesparowane elektrony na częściowo zapełnionej powłoce $4f$ są źródłem momentu magnetycznego jonu ziemi rzadkiej. Odległości między jonami ziemi rzadkiej w omawianych związkach są rzędu 4 \AA co wyklucza bezpośrednie oddziaływanie. Niezwykłość lantanowców polega też na tym, że elektrony $4f$ są silnie zlokalizowane i ekranowane przez zewnętrzne powłoki $5s$ i $5p$. Stąd też związki te są modelowe dla stosowania teorii RKKY^{6 7 8}, która opisuje oddziaływanie magnetycznych momentów jądrowych za pośrednictwem elektronów przewodnictwa. Teoria zakłada, że zlokalizowany moment magnetyczny wywołuje nielokalną polaryzację elektronów z pasma przewodnictwa, która ma charakter oscylacyjny zgodnie z funkcją:

$$F_x = \frac{x \cos x - \sin x}{x^4}.$$

Hamiltonian tego oddziaływania ma postać:

$$H = \sum_{i,j} J_{RKKY}(R_{ij}) \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j,$$

gdzie S_i , S_j – spiny zlokalizowane na i -tym i j -tym jonie ziemi rzadkiej, J_{RKKY} - całka wymiany:

$$J_{RKKY}(R_{ij}) = -\frac{9\pi}{8} n_c \frac{J_{sf}^2}{\varepsilon_F} \frac{x \cos x - \sin x}{x^4}, \text{ gdzie } x = k_F R_{ij},$$

n_c – gęstość elektronów przewodnictwa, ε_F – energia Fermiego, k_F – wartość wektora falowego na poziomie Fermiego, R_{ij} – odległość pomiędzy oddziałującymi spinami, J_{sf} – stała sprzężenia elektronów zlokalizowanych f z elektronami przewodnictwa s .

Uproszczony model RKKY przewiduje, że paramagnetyczna temperatura Curie θ_p lub ferromagnetyczna temperatura Curie T_C ma postać:

$$\theta_p = -\frac{3\pi n^2}{k_B \varepsilon_F} J_{sf}^2 (g_J - 1)^2 J(J + 1) \sum_i F(2k_F R_{0i}),$$

gdzie g_J – czynnik Landego, k_B – stała Boltzmana, θ_p jest proporcjonalna do wartości pola molekularnego działającego na centralny jon a pochodzącego od oddziaływań ze wszystkimi sąsiadami w odległości R_{0i} .

W kryształach antyferromagnetyków mogą występować różne uporządkowania momentu magnetycznego reprezentowane przez wektor propagacji $\mathbf{k} \neq 0$, zatem:

$$T_N = -\frac{3\pi n^2}{k_B \varepsilon_F} J_{sf}^2 (g_J - 1)^2 J(J + 1) \sum_i F(2k_F R_{0i}) \cos(k_0 R_{0i})^9.$$

⁶ M.A. Ruderman, C. Kittel, 1954, Phys. Rev. 96, 99

⁷ T. Kasuya, 1956, Progr. Teor. Phys. 16, 45

⁸ K. Yosida, 1957, Phys. Rev. 106, 893

⁹ D.C. Mattis, 1965, The Theory of Magnetism, Harper & Row, New York

Model RKKY pokazuje również, że dla izostrukuralnych związków ziem rzadkich temperatury uporządkowań magnetycznych są proporcjonalne do funkcji de Gennes'a¹⁰:

$$G = (g_J - 1)^2 J(J + 1).$$

Model RKKY jest często stosowany do interpretacji wyników eksperymentalnych.

Oprócz oddziaływania wymiennego opisanego modelem RKKY na uporządkowanie magnetyczne związków międzymetalicznych zawierających ziemie rzadkie wpływ ma również pole krystaliczne (CEF). Na elektrony 4f lantanowców oddziałuje pole elektryczne pochodzące od otaczających je jonów. Oddziaływanie to znosi częściowo lub całkowicie $(2J+1)$ -krotną degenerację poziomu podstawowego. Podstawy teorii pola krystalicznego opracował Bethe¹¹ ale dopiero wprowadzenie formalizmu operatorów równoważnych przez Stevensa znacznie ułatwiło interpretację wyników.

Hamiltonian pola krystalicznego zapisuje się jako:

$$H_{CF} = \sum_{l,m} B_l^m O_l^m(J),$$

gdzie B_l^m są parametrami pola krystalicznego, a O_l^m są tzw. operatorami Stevensa^{12 13}. Lokalna symetria jonu lantanowca powoduje zerowanie niektórych parametrów pola krystalicznego. Dla związków z polem o symetrii rombowej mm hamiltonian pola krystalicznego jest następujący:

$$H_{CF} = B_2^0 O_2^0 + B_2^2 O_2^2 + B_4^0 O_4^0 + B_4^2 O_4^2 + B_4^4 O_4^4 + B_6^0 O_6^0 + B_6^2 O_6^2 + B_6^4 O_6^4 + B_6^6 O_6^6.$$

Wyniki badań

Badania magnetyczne związków RNi_xSn_2 ($R = Gd-Er$) pokazały, że związki te są antyferromagnetykami poniżej odpowiednich temperatur Néela: 27 K dla związku z $R = Gd$, 17.4 K dla $R = Tb$, 8 K dla $R = Dy$, 6.6 K dla $R = Ho$ i 4 K dla $R = Er$. Pomiar namagnesowania w słabych polach magnetycznych wskazały na typowe przejścia paramagnetyk – antyferromagnetyk, natomiast badania neutronograficzne pokazały istnienie dodatkowych refleksów pochodzenia magnetycznego, które zostały wywskaźnikowane za pomocą wektorów falowych $\mathbf{k} = (0,0,1/2)$ dla $TbNi_{0.26}Sn_2$, $\mathbf{k} = (1/2,1/2,0)$ dla $HoNi_{0.16}Sn_2$ [H1] i $\mathbf{k} = (0,0,1/2)$ dla $ErNi_{0.15}Sn_2$ ¹⁴. W obu pierwszych związkach uporządkowanie jest typu **A** (+ - - +)¹⁵, a moment magnetyczny leży w płaszczyźnie $a-c$. Dla związku z $R = Tb$ moment magnetyczny Tb wynosi 8.05(8) μ_B i tworzy kąt 33° z osią c (Rys. 1a), a dla związku z $R = Ho$ $\mu(Ho) = 7.46(13) \mu_B$ i tworzy kąt 26° z osią c (Rys. 1b). W związku $ErNi_{0.15}Sn_2$ momenty magnetyczne Er równe 9.16(9) μ_B tworzą strukturę typu **C** (+ + - -) i są równoległe do stałej a (Rys. 1c). Refleksy magnetyczne pojawiające się na neutronogramie związku $DyNi_{0.22}Sn_2$ w temperaturze 1.5 K wskaźnikowane zostały wektorem falowym $\mathbf{k} = (0.361, 0, 0.343)$ [H2]. Analiza natężeń refleksów magnetycznych świadczy o pojawieniu się struktury

¹⁰ P.G. de Gennes, 1962, J. Phys. Radium 23, 510

¹¹ H.A. Bethe, 1929, Ann. Phys. 3, 133

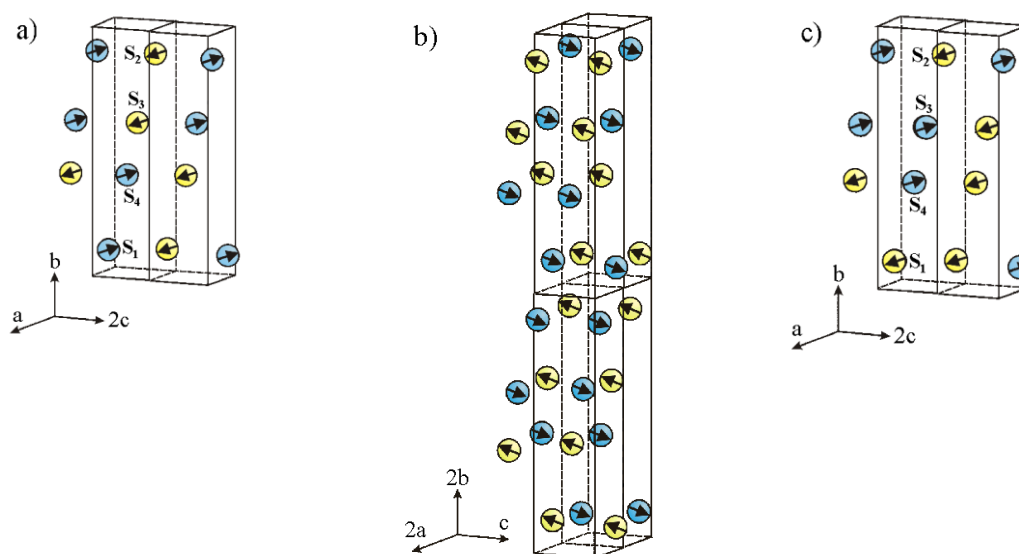
¹² K.W.H. Stevens, 1953, Proc. Phys. Soc., London, A218, 553

¹³ M.T. Hutchings, 1964 in F. Seitz, D.Turnbull, ed. Solid State Physics, vol. 16, 227, Academic Press, New York

¹⁴ B. Penc, E. Wawrzyńska, A. Szytuła, A. Gil, J. Hernandez-Velasco, A. Zygmunt, 2004, J. Alloys Comp., 375, L1

¹⁵ E.F. Bertaut, 1968, Acta Crystallogr. A 24, 217

sinusoidalnie modulowanej. Moment magnetyczny Dy wynosi $9.2(3) \mu_B$ i leży w płaszczyźnie b - c tworząc kąt 32° z osią c .



Rys. 1. Struktury magnetyczne związków: a) $TbNi_{0.26}Sn_2$, b) $HoNi_{0.16}Sn_2$ [H1] i c) $ErNi_{0.15}Sn_2$ ¹⁴

Pomiary namagnesowania związków RCO_xSn_2 ($R = Gd-Er$)¹⁶ pokazały, że wszystkie te związki są antyferromagnetykami w niskich temperaturach, a odpowiednie temperatury Néela wynoszą: 16.5 K (dla związku z $R = Gd$), 18.8 K ($R = Tb$), 7 K ($R = Dy$), 5.6 K ($R = Ho$) i 4.5 K ($R = Er$). Dla związków z Tb , Ho i Er zaobserwowano wzrost namagnesowania poniżej 4 K.

Wyniki pomiarów neutronograficznych przeprowadzonych dla związków RCO_xSn_2 z $R = Tb$ i Ho [H3] pokazały występowanie kolinearnych struktur antyferromagnetycznych typu **A** z dodatkowymi refleksami magnetycznymi, które zostały wywskaźnikowane za pomocą wektorów falowych $\mathbf{k} = (0,0,1/2)$ dla $TbCo_{0.25}Sn_2$ i $\mathbf{k} = (1/2,1/2,0)$ dla $HoCo_{0.23}Sn_2$. Moment magnetyczny Tb wynosi $7.14(8) \mu_B$, a Ho $6.79(23) \mu_B$ i oba leżą w płaszczyźnie a - c , tworząc z osią c kąty odpowiednio 20.4° (Tb) i 19.8° (Ho). Natomiast momenty magnetyczne Er w związku $ErCo_{0.24}Sn_2$ ¹⁴ równe $6.15(13) \mu_B$ tworzą strukturę magnetyczną typu **C** i są równoległe do osi a . Określone struktury magnetyczne okazały się takie same jak dla związków RNi_xSn_2 .

Z badań neutronograficznych związku $TbCu_{0.4}Ge_2$ wynika, że momenty magnetyczne Tb równe $8.82(5) \mu_B$ tworzą strukturę opisaną modelem G_z ¹⁷. Analogiczną strukturę typu **G** zaobserwowałam w związkach $HoCu_{0.33}Ge_2$ i $ErCu_{0.25}Ge_2$, jednak kierunki momentów magnetycznych są różne. Momenty magnetyczne Ho równe $8.18(21) \mu_B$ są równoległe do osi c , natomiast momenty Er równe $7.89(15) \mu_B$ są równoległe do osi a [H4].

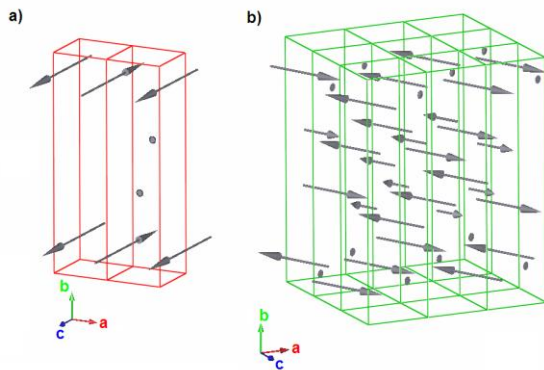
Badania dyfrakcji promieni X i neutronów przeprowadzone dla związków międzymetalicznych z rodziny $RCr_{0.3}Ge_2$ ($R = Tb, Dy, Ho$ and Er) [H5] potwierdziły, że

¹⁶ S. Baran, F. Henkel, D. Kaczorowski, J. Hernandez-Velasco, B. Penc, N. Stuser, A. Szytuła, E. Wawrzyńska, 2006, J. Alloys Comp. 415, 1

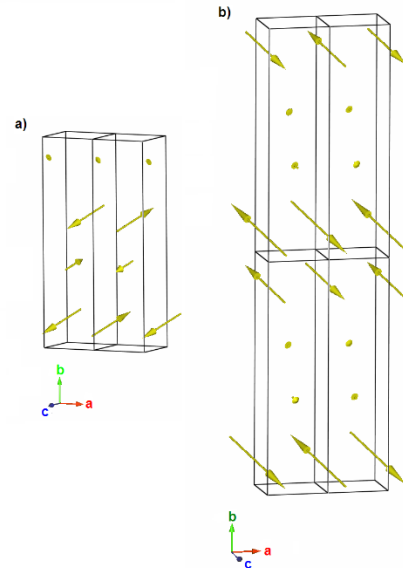
¹⁷ P. Schobinger-Papamentellos, K.H.J. Buschow, 1992, J. Alloys Comp. 187, 73

związki te mają strukturę krystaliczną typu CeNiSi_2 . Uzyskane wyniki pomiarów magnetycznych świadczą o uporządkowaniu antyferromagnetycznym poniżej odpowiednich temperatur Néela – 18,5 K (związek z Tb), 11,8 K (Dy), 5,8 K (Ho), 3,4 K (Er). Dzięki pomiarom neutronograficznym możliwe było określenie struktur magnetycznych i tak:

- dla $\text{TbCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ i $\text{DyCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ uporządkowanie magnetyczne w niskich temperaturach można opisać przy pomocy dwóch wektorów falowych odpowiednio: $\mathbf{k}_1 = (\frac{1}{2}, 0, 0)$ i $\mathbf{k}_2 = (\frac{1}{4}, 0, \frac{1}{4})$ dla $R = \text{Tb}$ (Rys. 2), oraz $\mathbf{k}_1 = (\frac{1}{2}, 0, 0)$ i $\mathbf{k}_2 = (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ dla $R = \text{Dy}$ (Rys. 3);



Rys.2. Struktura magnetyczna związku $\text{TbCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ w temperaturze 1.5 K opisana przez dwa wektory falowe $\mathbf{k}=(\frac{1}{2}, 0, 0)$ (a) i $\mathbf{k}=(\frac{1}{4}, 0, \frac{1}{4})$ (b) [H5]



Rys.3. Struktura magnetyczna związku $\text{DyCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ w temperaturze 1.5 K opisana przez dwa wektory falowe $\mathbf{k}=(\frac{1}{2}, 0, 0)$ (a) i $\mathbf{k}=(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ (b) [H5]

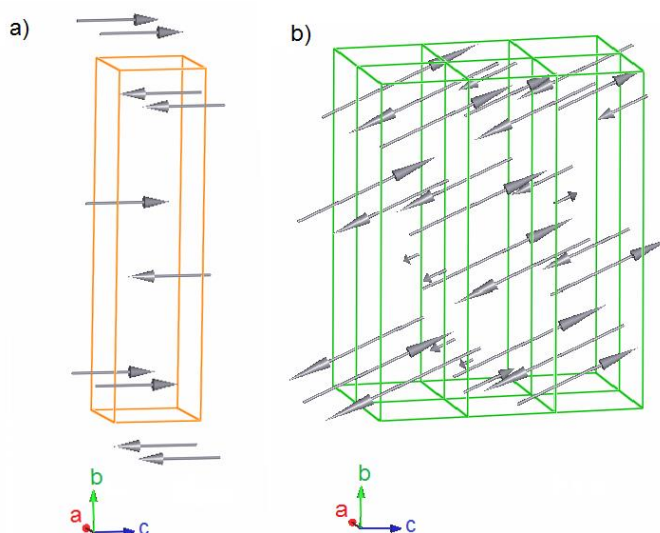
- dla $\text{HoCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ i $\text{ErCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ uporządkowanie magnetyczne w niskich temperaturach opisuje jeden wektor falowy odpowiednio: $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ dla $R = \text{Ho}$ i $\mathbf{k} = (0, 0, 0.4187(2))$ dla $R = \text{Er}$ (rysunki struktur znajdują się w pracy H5);
- dla $\text{DyCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ obserwuje się dodatkowe przejście fazowe w $T_t = 5.1$ K. W przedziale temperatur od T_t do T_N uporządkowanie magnetyczne opisuje wektor falowy $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, 0, 0)$;
- $\text{YCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ jest paramagnetykiem Pauliego do temperatury 1.72 K, co pozwala stwierdzić, że w związkach $\text{RCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ na atomach Cr nie ma momentu magnetycznego.

Pomiary oporu elektrycznego wskazują na metaliczny charakter wszystkich badanych związków, natomiast temperaturowa zależność stałych sieciowych świadczy o dużym efekcie magnetostrykcyjnym w odpowiednich temperaturach Néela.

Struktury magnetyczne obserwowane w związkach $\text{RCr}_{0.3}\text{Ge}_2$, za wyjątkiem $R = \text{Er}$ są współmierne do struktury krystalicznej. Momenty ziem rzadkich są równoległe do osi c dla $\text{TbCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ i $\text{HoCr}_{0.3}\text{Ge}_2$, a dla $\text{DyCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ lekko odchyłone od tego kierunku. Dla $\text{ErCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ moment magnetyczny jest równoległy do osi a . Wyniki te wskazują, że istotną rolę odgrywa tu pole krystaliczne (CEF). Zmiana kierunku momentów magnetycznych może

mieć związek ze zmianą współczynnika Stevens α_J z ujemnego dla $R = \text{Tb-Ho}$ na dodatni dla $R = \text{Er, Tm}$. Metaliczny charakter zależności temperaturowej oporu elektrycznego jest w dobrej zgodności z wysoką gęstością stanów na poziomie Fermiego określoną dla $\text{YFe}_{0.25}\text{Ge}_2$ ¹⁸.

Kolejnym badanym przeze mnie związkiem był $\text{TbFe}_{0.25}\text{Ge}_2$ [H7] jako uzupełnienie badań tej rodziny związków wykonanych wcześniej przez moich kolegów^{19 20 21}. Badania dyfrakcji promieni X i neutronów potwierdziły strukturę krystaliczną typu CeNiSi_2 (grupa przestrzenna Cmcm). Pomiary magnetyczne pokazały, że związek jest antyferromagnetykiem poniżej $T_N = 19.5$ K. Pomiary neutronograficzne pozwoliły określić strukturę magnetyczną związku, którą można opisać jako złożoną: kolinearną typu \mathbf{G} z momentem magnetycznym Tb równym $4.05(10) \mu_B$ i równoległym do osi c oraz sinusoidalnie modulowaną opisaną wektorem falowym $\mathbf{k} = (0.460(8), 0, 0.305(1))$ z momentem magnetycznym Tb = $7.82(8) \mu_B$ leżącym w płaszczyźnie b - c i tworzącym kąt $\theta = 24(2)^\circ$ z osią c (Rys. 4). Składowa kolinearna struktury zanika w temperaturze 22.6 K natomiast sinusoidalnie modulowana w 19.8 K.



Rys. 4. Struktura magnetyczna związku $\text{TbFe}_{0.25}\text{Ge}_2$: (a) kolinearna, (b) sinusoidalnie modulowana [H7]

Związki typu $\text{RSn}_{1+x}\text{Ge}_{1-x}$ ($R = \text{Tb-Er}$)²², które również posiadają strukturę krystaliczną typu CeNiSi_2 wydały mi się interesujące ze względu na możliwość porównania wyników z tymi dla RT_xX_2 ($X = \text{Ge, Sn}$) w celu określenia wpływu innych pierwiastków (T, Ge, Sn) na uporządkowanie magnetyczne w podsieci ziem rzadkich.

Struktury magnetyczne związków $\text{RSn}_{1+x}\text{Ge}_{1-x}$ ($R = \text{Tb, Dy, Ho}$ i Er , $x \approx 0.15$) [H6] zostały określone w oparciu o badania dyfrakcji neutronów na polikrystalicznych próbkach. Badania wykazały, że wszystkie badane związki są antyferromagnetykami w niskich

¹⁸ M. A. Zhuravleva, D. Bilc, R. J. Pcionek, S. D. Mahantl, M. G. Kanatzidis, 2005, Inorg. Chem. 44, 2177

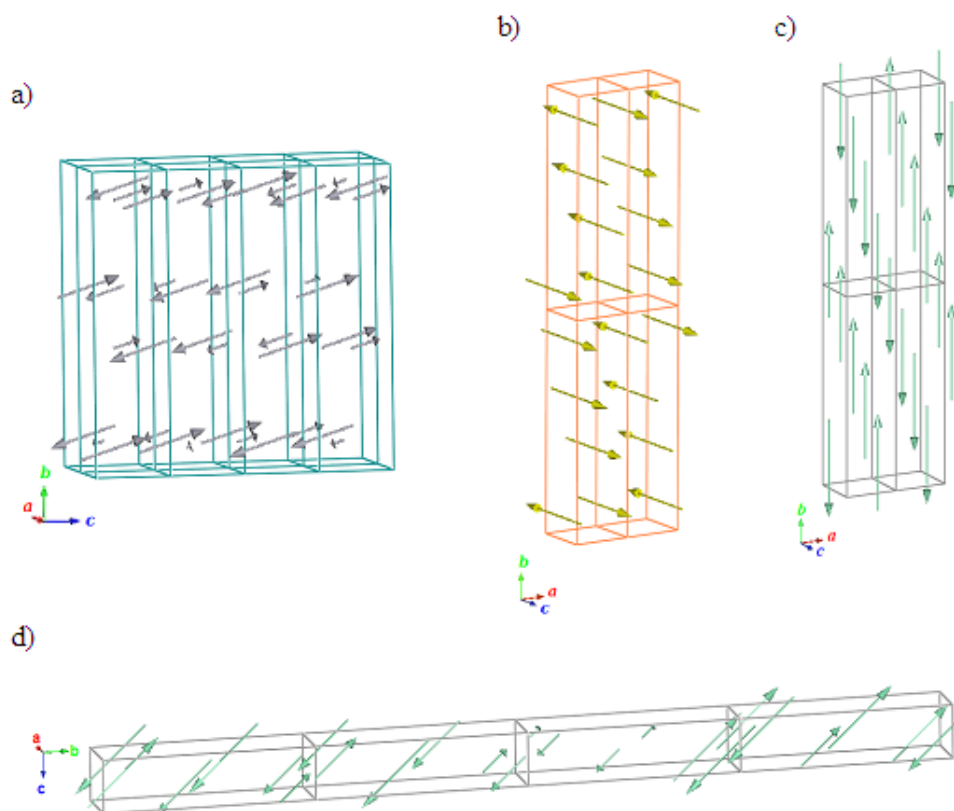
¹⁹ S. Baran, Ł. Gondek, J. Hernandez-Velasco, D. Kaczorowski, A. Szytuła, 2005, J. Magn. Magn. Mater. 285, 188

²⁰ A. Szytuła, D. Kaczorowski, unpublished results

²¹ S. Baran, D. Kaczorowski, B. Penc, D. Sheptyakov, A. Szytuła, 2010, J. Magn. Magn. Mater. 322, 2198

²² P.H. Tobash, J.J. Mayers, G. DiFilippo, S. Bobev, F. Ronning, J.D. Thompson, J.L.Sarrao, 2008, Chem. Mater. 20, 2151

temperaturach. Uporządkowanie magnetyczne w $\text{TbSn}_{1.12}\text{Ge}_{0.88}$ jest sinusoidalnie modulowane, opisane wektorem falowym $\mathbf{k} = (0.4257(2), 0, 0.5880(3))$. Moment magnetyczny Tb w temperaturze 1.5 K jest równy $9.1(2) \mu_B$, leży w płaszczyźnie b - c i tworzy kąt $\theta = 17.4(2)^\circ$ z osią c . Ta struktura jest stabilna do temperatury Néela równej 31 K. Struktury magnetyczne związków $\text{RSn}_{1+x}\text{Ge}_{1-x}$ gdzie $R = \text{Dy}, \text{Ho}$ i Er w $T = 1.5$ K są opisane wektorem falowym $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$. Dla $\text{DySn}_{1.09}\text{Ge}_{0.91}$ i $\text{HoSn}_{1.1}\text{Ge}_{0.9}$ momenty magnetyczne są równe odpowiednio $7.25(15) \mu_B$ i $8.60(6) \mu_B$ i są równoległe do osi c . Dla związku z Ho to uporządkowanie jest stabilne do temperatury $T_N = 10.7$ K podczas gdy dla związku z Er w $T_1 = 3.5$ K pojawia się struktura modulowana opisana wektorem falowym $\mathbf{k} = (0.496(1), 0.446(4), 0)$. Dla $\text{ErSn}_{1.08}\text{Ge}_{0.92}$, moment magnetyczny Er jest równy $7.76(7) \mu_B$ w $T = 1.5$ K i równoległy do osi b , natomiast w fazie modulowanej leży w płaszczyźnie b - c i tworzy kąt $48(3)^\circ$ z osią c . Dla związków z $R = \text{Tb}, \text{Ho}$ i Er obserwuje się efekt magnetostrykcyjny w temperaturze Néela. Rysunek 5 przedstawia określone struktury magnetyczne.



Rys. 5. Struktury magnetyczne związków $\text{RSn}_{1+x}\text{Ge}_{1-x}$: $R = \text{Tb}$ (a), Dy (b), Ho (c), Er (d) [H6]

Wnioski

Zaprezentowane wyżej wyniki badań były analizowane z uwzględnieniem dodatkowych danych literaturowych dotyczących innych związków trójskładnikowych typu RT_xX_2 .

Badania pokazały, że związki RT_xX_2 o strukturze typu CeNiSi_2 z germanem i cyną tworzą układy zdefektowane z wakansami w podsieci metalu przejściowego, co jest uwarunkowane rozmiarami atomów pierwiastków X oraz wypełnieniem powłoki d-elektronowej pierwiastka przejściowego T . Wśród związków z germanem i cyną istnieją

rodziny krystalizujące jako układy stechiometryczne np. $RNiSn_2^{23}$ czy $RTGe_2^{24}$, gdzie $T = Ir, Pd, Pt$ lecz mają one inną strukturę krystaliczną chociaż również rombowa i powiązaną ze strukturą $CeNiSi_2$.

Okazuje się, że w większości badanych przeze mnie związków, a we wszystkich zaprezentowanych w osiągnięciu obserwuje się uporządkowanie antyferromagnetyczne w niskich temperaturach oraz liczne odmiany struktur magnetycznych począwszy od prostych kolinearnych (G, A, C wg. symboliki Bertaut²⁵) po struktury sinusoidalnie modulowane współmiernym lub niewspółmiernym wektorem propagacji.

Uporządkowanie magnetyczne w badanych związkach jest wynikiem konkurencyjnych oddziaływań dalekiego zasięgu typu RKKY między momentami ziem rzadkich (odległości pomiędzy sąsiednimi atomami ziem rzadkich są rzędu 4 Å), na które to oddziaływanie dodatkowo ma wpływ pole krystaliczne (CEF) i prawdopodobnie również niewielkie oddziaływanie kwadrupolowe. Na atomach metali przejściowych nie obserwuje się zlokalizowanego momentu magnetycznego (z wyjątkiem atomów manganu w związkach stechiometrycznych²⁶). Przeprowadzone badania struktury elektronowej metodą XPS dla związku $CeCo_{0.86}Ge_2^{27}$ wskazują na hybrydyzację stanów 4f ceru ze stanami 3d metalu przejściowego i 4p germanu oraz że pasmo 3d kobaltu znajduje się poniżej poziomu Fermiego, co wyjaśnia brak zlokalizowanego momentu na atomie metalu przejściowego. Podobnie analiza widm XPS przeprowadzona dla $NdCo_{0.82}Ge_2$ i $PrCo_{0.85}Ge_2^{28}$ wykazała hybrydyzację elektronów 4f ziem rzadkich z pasmem przewodnictwa, co wskazuje na dobre ekranowanie powłoki f w tych związkach. Określone wartości energii hybrydyzacji są podobne jak dla związku $CeCo_{0.86}Ge_2$.

W pracach H8 i H9 przeprowadziłam analizę oddziaływań magnetycznych (z uwzględnieniem całek wymiany) zgodnie z modelem RKKY i CEF, jak również podjęłam próbę oszacowania parametrów pola krystalicznego w oparciu o metodę ładunków punktowych²⁹.

Zgodnie z modelem RKKY temperatury krytyczne uporządkowania magnetycznego powinny być proporcjonalne do funkcji de Gennes'a $G = (g-1)^2 J(J+1)$. W odniesieniu do skalowania de Gennes'a T_N powinna osiągnąć maksimum dla związków z gadolinem. Na przesunięcie maksimum T_N ze związków z $R = Gd$ na związki z $R = Tb$ obserwowane w badanych przeze mnie związkach może mieć wpływ pole krystaliczne [H8]. Potwierdzeniem wpływu pola krystalicznego na uporządkowanie momentów magnetycznych są następujące fakty:

- we wszystkich seriach związków mamy do czynienia z obniżeniem momentu magnetycznego w stanie uporządkowanym w stosunku do wartości dla jonu swobodnego

²³ L.P. Komarowskaya, L.G. Akselrud, 1988, Izv. Akad. Nauk. SSSR, Neorg. Mater. 24, 1490

²⁴ P. Salamaka, O. Sologub, J.K. Yakintosh, Ch.D. Routs, 1998, J. Alloys Comp. 267, 192

²⁵ E.F. Bertaut, op. cit.

²⁶ B. Malaman, G. Venturini, L. Pontonnier, D. Fruchart, 1990, J. Magn. Magn. Mater. 86, 349

²⁷ A. Gil, 2004, Magnetyczne uporządkowanie w związkach międzymetalicznych ziem rzadkich typu RTX_2 , Wydawnictwo Akademii im. J. Długosza, Częstochowa, s. 108

²⁸ A. Szytuła, B. Penc, D. Kaczorowski, A. Arulraj, S. Baran, N. Stusser, K. Tomala, 2008, J. Alloys Comp. 460, 120

²⁹ M.T. Hutchings, op. cit.

R^{3+} , podczas gdy moment efektywny w stanie paramagnetycznym jest porównywalny z wartością dla swobodnego jonu;

- określone struktury magnetyczne dla związków z cyną różnią się od tych występujących w związkach z germanem. W związkach z Ge mamy na ogół prostą strukturę antyferromagnetyczną typu **G** (+ - + -), a moment magnetyczny leży wzdłuż osi c , natomiast dla związków z cyną moment magnetyczny ziemi rzadkiej tworzy kąt z osią c . Wynika stąd, że zmiana elementu p-elektronowego z $X = Ge$ na $X = Sn$ wpływa na oddziaływania magnetyczne i prowadzi do zmiany kierunku momentu magnetycznego.

Jak wynika z obliczeń parametrów pola krystalicznego dla rodzin związków RT_xX_2 [H8, H9] preferowane jest ułożenie momentów magnetycznych w płaszczyźnie (010). Widać również, że zarówno parametry B_2^0 , B_2^2 , jak i B_4^0 wnoszą znaczący wkład do hamiltonianu i błędem byłoby założenie o wiodącym wkładzie parametru B_2^0 .

Analiza własności magnetycznych związków $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ wykazuje podobieństwo do związków RT_xX_2 . Temperatury Néela dla obu serii związków są również podobne. Wyniki badań neutronograficznych wskazują, że moment magnetyczny jest zlokalizowany na atomach metali ziem rzadkich a duże odległości między atomami R-R, jak również metaliczny charakter oporu elektrycznego wskazują, że oddziaływanie między momentami magnetycznymi odbywa się za pośrednictwem elektronów przewodnictwa (model RKKY).

W tabelach 1, 2 i 3 (umieszczonych na stronach 18÷20 bieżącego dokumentu) zebrano dane odnośnie struktur magnetycznych, temperatur krytycznych, wartości i orientacji momentów magnetycznych dla związków $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ i RSn_2 oraz RT_xSn_2 i RT_xGe_2 . Oprócz wyników badań własnych dołączone zostały wyniki innych autorów aby podać pełny obraz własności tych związków. Obserwowane uporządkowanie jest związane z momentami magnetycznymi zlokalizowanymi na atomach ziem rzadkich. Oprócz 5 typów struktur magnetycznych zaproponowanych przez Venturini et al.^{30 31} dla związków z cyną dodałam 5 nowych typów dla związków z germanem.

W związkach $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ z $R = Dy, Ho, Er$ magnetyczne uporządkowanie w temperaturze $T = 1.5$ K można opisać przy pomocy wektora falowego $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ – AF2, podobnie jak w większości związków z holmem i germanem lub cyną, np. $HoCr_{0.33}Ge_2$ [H5], $HoCo_{0.4}Ge_2$ ³², $HoSn_2$ ³¹, $HoFe_{0.14}Sn_2$ ³⁰, $HoCo_{0.23}Sn_2$ [H3], $HoNi_{0.16}Sn_2$ [H1] – jest to najczęściej występujący typ struktury. Drugi równie często występujący typ struktury to AF1, który można opisać przy pomocy wektora falowego $\mathbf{k} = (0, 0, \frac{1}{2})$.

Rola pierwiastka T w oddziaływaniach pomiędzy momentami magnetycznymi badanych związków jest nieznaczna biorąc pod uwagę, że jego zawartość w związkach jest niewielka. Wyniki badań wskazują, że nie posiada on zlokalizowanego momentu magnetycznego. Wbudowanie do sieci krystalicznej dodatkowych atomów T powoduje wzrost stałych sieciowych a więc również odległości między atomami ziemi rzadkiej. W efekcie obserwuje się obniżenie wartości temperatury Néela – porównaj wartości dla

³⁰ B. Malaman, G. Venturini, 2010, J. Alloys Comp. 494, 44

³¹ G. Venturini, P. Lemoine, B. Malaman, B. Ouladdiaf, 2010, J. Alloys Comp. 505, 404

³² S. Baran, F. Henkel, D. Kaczorowski, J. Hernandez-Velasco, B. Penc, N. Stuser, A. Szytuła, E. Wawrzyńska, 2006, J. Alloys Comp. 415, 1

związków RT_xSn_2 i RSn_2 (Tabela 2). Innym efektem jest stabilizacja kolinearnych struktur magnetycznych. W związkach RT_xSn_2 struktury te są stabilne do temperatury T_N , podczas gdy w RSn_2 w pobliżu T_N obserwuje się przejście do niekolinearnych struktur modulowanych. To ostatnie zachowanie jest obserwowane w wielu związkach międzymetalicznych ziem rzadkich i jest związane z konkurencją oddziaływań typu RKKY i pola krystalicznego³³. Niewielką rolę pierwiastka d-elektronowego potwierdzają również badania związków $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ mających zbliżone struktury magnetyczne do struktur związków RT_xSn_2 .

Wpływ pierwiastka p-elektronowego jest trudny do określenia. Na przykład struktura typu AF2 jest obserwowana we wszystkich związkach z wyjątkiem HoT_xGe_2 , gdzie $T = Ni, Cu$. Rola poszczególnych pierwiastków jest bardziej widoczna przy analizie kierunku momentów magnetycznych. W związkach RSn_2 dla $R = Tb-Ho$ momenty magnetyczne są równoległe do osi c , zaś dla $R = Er$ do osi a . Jest to zgodne ze zmianą znaku stałej Stevensa α_J . Wprowadzenie pierwiastka d-elektronowego powoduje, że momenty magnetyczne leżą w płaszczyźnie $b-c$ lub $a-c$ (Tabela 3). Świadczy to, że pierwiastki d-elektronowe wpływają znacząco na zmianę parametrów pola krystalicznego. Zaskakujący jest również brak uporządkowania magnetycznego w związkach $TbCo_xGe_2$ i $DyCo_xGe_2$, podczas gdy dla związków z Ho i Er obserwuje się uporządkowanie. Fakt ten świadczy o złożoności oddziaływań magnetycznych w tej rodzinie związków i jest trudny do wytłumaczenia.

Podsumowanie

Wyniki przedstawione w osiągnięciu habilitacyjnym pozwalają na:

- usystematyzowanie własności makroskopowych (typ uporządkowania, temperatury krytyczne uporządkowań magnetycznych) i mikroskopowych (rodzaj uporządkowania i wielkość momentów magnetycznych ziem rzadkich, brak zlokalizowanego momentu magnetycznego na atomach pierwiastka d-elektronowego) badanej grupy związków,
- usystematyzowanie wyznaczonych struktur magnetycznych, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków odnośnie mechanizmów oddziaływania między momentami magnetycznymi i wpływie pierwiastków d- i p-elektronowych na stabilizację określonych struktur.

Być może eksperymentalne oszacowanie parametrów pola krystalicznego dla tych rodzin związków, wyznaczenie anizotropii powierzchni Fermiego oraz powtórzenie pomiarów dyfrakcji neutronów na monokryształach dałoby pełniejszy obraz mechanizmu oddziaływania momentów magnetycznych.

³³ D. Gignoux, D. Schmitt, 1993, Phys. Rev. B 48, 12682

Tabela 1. Struktury magnetyczne obserwowane w związkach RT_xX_2 , $RSn_{1+x}Ge_{1-x}$ i RSn_2

R	$RSn_{1+x}Ge_{1-x}$	RSn_2	RFe_xSn_2	RCo_xSn_2	RNi_xSn_2	RCr_xGe_2	RFe_xGe_2	RCo_xGe_2	RNi_xGe_2	RCu_xGe_2
Tb	SM1	AF1→SM1	AF1	AF1	AF1	AF4→AF7	AF6→SM1	-	AF6	AF6
Dy	AF2	AF3→SM1	AF1	-	SM1	AF4→AF2	-	-	-	-
Ho	AF2	AF2→SM1	AF2	AF2	AF2	AF2	AF2	AF2	AF6	AF6
Er	AF2→SM4	AF1→SM1	AF2	AF1	AF1	SM3	SM2	SM4	AF6	AF6

AF – struktura antyferromagnetyczna; SM – struktura sinusoidalnie modulowana

AF1 – $\mathbf{k} = (0, 0, \frac{1}{2})^*$; AF2 – $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)^*$; AF3 – $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})^*$; AF4 – $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, 0, 0)$; AF5 – $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$; AF6 – $\mathbf{k} = (0, 0, 0)$; AF7 – $\mathbf{k} = (\frac{1}{4}, 0, \frac{1}{4})$, SM1 – $\mathbf{k} = (k_x, 0, k_z)^*$; SM2 – $\mathbf{k} = (0, k_y, k_z)^*$; SM3 – $\mathbf{k} = (0, 0, k_z)$; SM4 – $\mathbf{k} = (k_x, k_y, 0)$

* Oznaczenia zgodne z pracą *G. Venturini, P. Lemoine, B. Malaman, B. Ouladdiaf, 2010, J. Alloys Comp. 505, 404*

Tabela 2. Temperatury Néela T_N [K] prezentowanych związków

R	$R\text{Sn}_{1+x}\text{Ge}_{1-x}$	$R\text{Sn}_2$	$R\text{Fe}_x\text{Sn}_2$	$R\text{Co}_x\text{Sn}_2$	$R\text{Ni}_x\text{Sn}_2$	$R\text{Cr}_x\text{Ge}_2$	$R\text{Fe}_x\text{Ge}_2$	$R\text{Co}_x\text{Ge}_2$	$R\text{Ni}_x\text{Ge}_2$	$R\text{Cu}_x\text{Ge}_2$
Tb	31 ³⁵ , 29 ³⁶	26.7 ³⁷	18.4 ³⁸	18.8 ³⁹	17.4 ⁴⁰	18.5 ⁴³	20 ⁴⁴ , 22.6 ⁴⁵	-	16 ⁴⁹ , 31 ⁵⁰ , 38 ⁵⁰	39 ⁴⁹
Dy	16 ³⁶	17.2 ³⁷	6.9 ³⁸	7 ³⁹	8 ⁴¹	11.8 ⁴³	-	10 ⁴⁸	-	-
Ho	10.7 ³⁵ , 10 ³⁶	7.8 ³⁷	5.9 ³⁸	5.6 ³⁹	6.6 ⁴⁰	5.8 ⁴³	8 ⁴⁶	8 ⁴⁸	11 ⁵¹	8 ⁵²
Er	4.8 ³⁵ , 4 ³⁶	4.5 ³⁷	5.5 ³⁸	4.5 ³⁹	4 ⁴²	3.4 ⁴³	2.5 ⁴⁷	~1.5 ⁴⁸	2.3 ⁴⁷	4.5 ⁵²

³⁵ A. Gil, B. Penc, S. Baran, A. Hoser, A. Szytuła, 2011, *Journal of Solid State Chemistry*, 184, Issue: 7, 1631

³⁶ P.H. Tobash, J.J. Meyers, G. DiFilippo, S. Bobev, F. Ronning, J.D. Thompson, J.L. Sarrao, 2008, *Chem. Mater.* 20, 2151

³⁷ G. Venturini, P. Lemoine, B. Malaman, B. Ouladdiaf, 2010, *J. Alloys Comp.* 505, 404

³⁸ B. Malaman, G. Venturini, 2010, *J. Alloys Comp.* 494, 44

³⁹ A. Gil, B. Penc, E. Wawrzyńska, J. Hernandez-Velasco, A. Szytuła, A. Zygmunt, 2004, *Journal of Alloys and Compounds* 365, 31

⁴⁰ A. Gil, B. Penc, S. Baran, J. Hernandez-Velasco, A. Szytuła, A. Zygmunt, 2003, *Journal of Alloys and Compounds* 361, 32

⁴¹ A. Gil, B. Penc, S. Baran, E. Wawrzyńska, A. Szytuła, J. Hernandez-Velasco, A. Zygmunt, 2003, *Neutron Scattering and Complementary Methods in Investigations of Condensed Phase, Vol.1, University of Podlasie Publishing House © Monograph No. 45, p. 103*

⁴² B. Penc, E. Wawrzyńska, A. Szytuła, A. Gil, J. Hernandez-Velasco, A. Zygmunt, 2004, *Journal of Alloys and Compounds*, 375, L1

⁴³ A. Gil, D. Kaczorowski, B. Penc, A. Hoser, A. Szytuła, February 2011, *Journal of Solid State Chemistry, Vol.: 184, Issue: 2, p. 227*

⁴⁴ M.A. Zhuravieva, D. Bilc, R.J. Pcionek, S.D. Mahanti, M.G. Kamatzidis, 2005, *Inorg. Chem.* 44, 2177

⁴⁵ A. Gil, A. Hoser, B. Penc, A. Szytuła, October 2013, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials Volume: 344, p. 167*

⁴⁶ S. Baran, Ł. Gonddek, J. Hernandez-Velasco, D. Kaczorowski, A. Szytuła, 2005, *J. Magn. Magn. Matter.* 285, 188

⁴⁷ B. Penc, A. Arulraj, D. Kaczorowski, A. Szytuła, E. Wawrzyńska, 2010, *Acta Physica Polonica A* 117, 595

⁴⁸ S. Baran, F. Henkel, D. Kaczorowski, J. Hernandez-Velasco, B. Penc, N. Stuser, E. Wawrzyńska, 2006, *J. Alloys Comp.* 415, 1

⁴⁹ P. Schobinger-Papamentellos, K.H.J. Buschow, 1992, *J. Alloys Comp.* 187, 73

⁵⁰ P. Schobinger-Papamentellos, K.H.J. Buschow, C. Ritter, 1999, *J. Alloys Comp.* 287, 51

⁵¹ W. Bażela, J. Leciejewicz, K. Małetka, A. Szytuła, 1992, *J. Magn. Magn. Mater.* 109, 305

⁵² A. Gil, D. Kaczorowski, J. Hernandez-Velasco, B. Penc, E. Wawrzyńska, A. Szytuła, 2004, *Journal of Alloys and Compounds* 384, L4

Tabela 3. Momenty magnetyczne w stanie uporządkowanym (μ_s [μ_B]) oraz kierunki momentu magnetycznego ziem rzadkiej

R	$RSn_{1+x}Ge_{1-x}$	RSn_2	RFe_xSn_2	RCo_xSn_2	RNi_xSn_2	RCr_xGe_2	RFe_xGe_2	RCo_xGe_2	RNi_xGe_2	RCu_xGe_2
Tb	9.0, (<i>b-c</i>)	8.8, $\parallel c$	8.1, (<i>b-c</i>)	7.14, (<i>a-c</i>)	8.05, (<i>a-c</i>)	7.6, $\parallel c \rightarrow 4.52$, (<i>a-c</i>)	3.81, $\parallel c \rightarrow 7.75$, (<i>b-c</i>)	-	5.6, 8.9, 8.7, $\parallel c$	8.82, $\parallel c$
Dy	7.25, $\parallel c$	4.2, $\parallel c$	5.5, (<i>b-c</i>)	-	9.2, (<i>b-c</i>)	4.46 \rightarrow 7.18, (<i>a-c</i>)	-	3.55*	-	-
Ho	8.6, $\parallel c$	7.4, $\parallel c$	6.6, (<i>b-c</i>)	6.79, (<i>a-c</i>)	7.46, (<i>a-c</i>)	6.99, $\parallel c$	5.4, $\parallel c$	8.0, <i>a-c</i>	6.7, $\parallel c$	8.18, $\parallel c$
Er	7.76, $\parallel b$	2.07, $\parallel a$	7.3, $\parallel a$	6.15, $\parallel a$	9.16, $\parallel a$	8.32, $\parallel a$	5.9, $\parallel a$	3.3, $\parallel c$	2.9, $\parallel a$	7.89, $\parallel a$

* wynik pochodzi z pomiarów magnetycznych

Pozostałe wyniki zacytowane za tymi samymi pracami co w Tabeli 2.

VI. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Jestem absolwentką kierunku Fizyka, specjalność: fizyka ciała stałego, Wydziału Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Pracę magisterską przygotowaną pod kierunkiem prof. dra hab. Andrzeja Szytuły pt. „*Badanie struktur nieorganicznych w układach biologicznych*” obroniłam w czerwcu 1988 r.

W ramach pracy badałam produkty mineralne tętnic (głównie aort) przy pomocy dyfrakcji promieni X w celu stwierdzenia, jakie składniki chemiczne wytrącają się w trakcie procesu starzenia. Głównym składnikiem mineralnym znalezionym w aortach okazał się hydroksyapatyt, związek o strukturze heksagonalnej składający się głównie z wapnia i fosforu. Uzyskane wyniki okazały się na tyle interesujące, że zostały włączone do wspólnej publikacji: E. Rokita, T. Cichocki, D. Heck, L. Jarczyk, A. Miłoś (obec. A. Gil), J. Ryczek, A. Strzałkowski, A. Szytuła, „*Physicochemical characterization of the inorganic phases in the aortic wall of young individuals*”. *Pathologica* 84 (1992) 489–502.

a) Prace przed doktoratem

Bezpośrednio po ukończeniu studiów, w październiku 1988 r. rozpoczęłam pracę w Instytucie Fizyki Politechniki Krakowskiej na stanowisku asystenta-stażysty, kontynuując współpracę naukową z zespołem prof. Szytuły (Instytut Fizyki UJ). Podjęłam badania własności strukturalnych i magnetycznych trójskładnikowych związków międzymetalicznych z ziemią rzadką, metalem przejściowym oraz krzemem lub germanem.

Swoją uwagę skoncentrowałam początkowo na grupie związków międzymetalicznych typu RTX_2 , gdzie R – metal ziemi rzadkiej, T – metal 3d (głównie Ni, Mn), X = Si, Ge. Przeprowadzone badania dyfrakcji promieni X na próbkach polikrystalicznych pozwoliły potwierdzić strukturę krystaliczną typu $CeNiSi_2$ dla tych związków. Na bazie uzyskanych wyników badań magnetycznych (podatność magnetyczna, namagnesowanie – przeprowadzonych w IF UJ i INTiBS we Wrocławiu) oraz neutronograficznych (przeprowadzonych w Świerku, dzięki pomocy prof. Janusza Leciejewicza) określiłam własności magnetyczne łącznie z określeniem struktury magnetycznej wyżej wymienionych rodzin związków.

Nie zaobserwowałam momentu magnetycznego na atomach niklu. W związkach z lekkimi ziemiami rzadkimi (Nd, Pr) zaobserwowałam uporządkowanie ferromagnetyczne w niskich temperaturach, podczas gdy w tych z ciężkimi ziemiami rzadkimi (Tb, Dy, Ho, Er) uporządkowanie miało charakter antyferromagnetyczny⁵³ ⁵⁴. Ciekawym wydało się

⁵³ A. Gil, A. Szytuła, Z. Tomkowicz, K. Wojciechowski, A. Zygmunt, 1994, *J. Magn. Magn. Mater.*, 129, 271-278

⁵⁴ A. Gil, J. Leciejewicz, K. Małetka, A. Szytuła, Z. Tomkowicz, K. Wojciechowski, 1994, *J. Magn. Magn. Mater.*, 129, L155-L159

zatem zbadanie układów mieszanych $Tb_{1-x}Nd_xNiGe_2$ ^{55 56}, w których zaobserwowałam przejście od uporządkowania antyferro- do ferromagnetycznego dla $x > 0.65$ zawartości neodymu. Uzyskane wyniki zostały publikowane w czasopiśmie o światowym zasięgu i stały się podstawą do opracowania rozprawy doktorskiej napisanej pod kierunkiem prof. Szytuły pt.: *Własności strukturalne i magnetyczne związków międzymetalicznych typu RTX_2* . W pracy doktorskiej oprócz prezentacji wyników doświadczalnych przeprowadziłam analizę oddziaływań magnetycznych dla tej grupy związków w oparciu o istniejące teorie tzn. teorię RKKY i model pola krystalicznego (CEF).

Obserwowaną zmianę uporządkowania momentów magnetycznych w związkach $Tb_{1-x}Nd_xNiGe_2$ można wyjaśnić w oparciu o teorię RKKY, natomiast zależność temperatury Néela dla związków $RNiX_2$ z ciężkimi ziemiami rzadkimi w funkcji de Gennes'a można wyjaśnić jeśli uwzględnimy w hamiltonianie oddziaływanie pola krystalicznego.

Obrona pracy doktorskiej odbyła się w 1994 roku na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

b) Prace po doktoracie

W latach 1995-1998 z powodu macierzyństwa i opieki nad dzieckiem nastąpiła przerwa w mojej pracy naukowej. W tym czasie przeprowadziłam się do Częstochowy, a po urlopie wychowawczym tj. od 1.10.1998 rozpoczęłam pracę w Instytucie Edukacji Technicznej Wyższej Szkoły Pedagogicznej (obecnie Akademii im. Jana Długosza) w Częstochowie, nie rezygnując ze współpracy naukowej z grupą prof. Szytuły i rozszerzając tematykę badawczą na inne rodziny związków międzymetalicznych.

W kręgu moich głównych zainteresowań pozostały nadal związki o składzie RTX_2 , lecz w znacznie szerszym zakresie składów. Podjęte przeze mnie badania obejmowały określenie własności magnetycznych, w tym także struktur magnetycznych związków z germanem i cyną, które krystalizują na ogół w niestechiometrycznym składzie RT_xX_2 , lecz wszystkie posiadają tę samą rombową strukturę krystaliczną typu $CeNiSi_2$ (grupa przestrzenna $Cmcm$).

Pomiary neutronograficzne związków RMn_xGe_2 ⁵⁷ w temperaturze 4.2 K przeprowadzone przed doktoratem wykazały, że komórka magnetyczna tych związków pokrywa się z krystaliczną, uporządkowanie momentów magnetycznych jest typu $\mathbf{G} (+ - + -)$ ⁵⁸ a momenty leżą wzdłuż osi c . Badania neutronograficzne związku $TbMn_{0.33}Ge_2$ zostały później powtórzone na instrumencie E6 w Berlin Neutron Scattering Center oferującym lepszą zdolność rozdzielczą i wyposażonym w wielokanałowe detektory. Struktura magnetyczna związku $TbMn_{0.33}Ge_2$ określona w temperaturze 1.5 K okazała się bardziej skomplikowana niż przedstawiona wcześniej⁵⁹. Moment magnetyczny Tb określony został przez dwie składowe: kolinearną typu G_z równą $6.95(10) \mu_B$ i sinusoidalnie modulowaną z wektorem propagacji $\mathbf{k} = (0.6885, 0.0660, 0.1701)$ równą $4.5(2) \mu_B$

⁵⁵ A. Gil, J. Leciejewicz, K. Małetka, A. Szytuła, A. Zygmunt, 1994, J. Magn. Magn. Mater., 131, 217–223

⁵⁶ A. Gil, J. Leciejewicz, A. Szytuła, Z. Tomkowicz, A. Zygmunt, 1995, J. Magn. Magn. Mater. 140-144, 927–928

⁵⁷ A. Gil, J. Leciejewicz, K. Małetka, A. Szytuła, Z. Tomkowicz, K. Wojciechowski, 1994, J. Magn. Magn. Mater. 129, L155–L159

⁵⁸ E.F. Bertaut, op. cit.

⁵⁹ A. Gil, M. Hofmann, B. Penc, A. Szytuła, 2001, J. Alloys Comp. 320, 29

i równoległą do osi a . Całkowity moment magnetyczny Tb wyniósł $8.2(2) \mu_B$ i był bliski wartości dla swobodnego jonu Tb^{3+} .

Podobnie jak poprzednio przeprowadzone ponownie badania neutronograficzne związku $Tb_{0.4}Nd_{0.6}NiGe_2$, który rozgranicza związki $Tb_{1-x}Nd_xNiGe_2$ będące ferromagnetykami w niskich temperaturach od tych, które mają struktury antyferromagnetyczne, potwierdziły istnienie struktury antyferromagnetycznej typu G_z poniżej temperatury 11 K, i jednocześnie pokazały złożoną strukturę magnetyczną poniżej 6 K⁶⁰. Analiza neutronogramów uzyskanych w temperaturach 1.5 i 6 K pokazała, że pozycje refleksów magnetycznych są te same, lecz zmieniają się intensywności, co świadczy o zmianie oddziaływania magnetycznego. W temperaturze 1.5 K zostały zaobserwowane dwa rodzaje refleksów magnetycznych świadczących o istnieniu złożonej struktury magnetycznej ze:

- składową antyferromagnetyczną typu G i momentem magnetycznym równym $2.35(14) \mu_B$, leżącym w płaszczyźnie $b-c$ ($\mu_b = 1.44(37) \mu_B$ i $\mu_c = 1.86(16) \mu_B$) oraz
- składową ferromagnetyczną z momentem magnetycznym $2.82(27) \mu_B$, leżącym wzdłuż osi c .

Dodatkowo zaobserwowany został refleks o niewielkim natężeniu przy kącie $2\theta = 13.6^\circ$, który świadczy o pojawieniu się struktury modulowanej opisanej wektorem falowym $\mathbf{k} = (0, 0.428, 0)$. Podobną strukturę modulowaną zaobserwowano w związkach $TbNi_xGe_2$ ⁶¹.

Badania neutronograficzne związku $CeCu_{0.86}Ge_2$ ⁶² wykazały kolinearne uporządkowanie antyferromagnetyczne odpowiadające modelowi $C (+ + - -)$. W temperaturze 1.5 K moment magnetyczny Ce wynosi $1.85(4) \mu_B$, a w 5 K – $1.83(4) \mu_B$ i jest równoległy do osi c .

Analiza symetrii przejścia fazowego ze stanu paramagnetycznego związku $PrMn_{0.5}Sn_{1.83}$ ⁶³ z atomami Pr w pozycjach $4(c)$ do stanu magnetycznego opisanego wektorem falowym $\mathbf{k} = (0,0,0)$ doprowadziła do wniosku, że struktura magnetyczna składa się z ferromagnetycznych warstw momentów magnetycznych Pr ułożonych wzdłuż osi b zgodnie z sekwencją $(+ - + -)$. Momenty magnetyczne Pr równe $3.09(8) \mu_B$ są równoległe do osi c . Wartość ta była zbliżona do wartości dla swobodnego jonu Pr^{3+} ($3.27\mu_B$). Nie zaobserwowałam zlokalizowanego momentu magnetycznego na atomie manganu.

Przeprowadzone zostały również badania magnetyczne i neutronograficzne dla związków RNi_xSn_2 , RCO_xSn_2 i RCu_xGe_2 , które zostały opisane bardziej szczegółowo przy omawianiu osiągnięcia habilitacyjnego.

Podjęłam również badania związków stechiometrycznych z germanem typu $RTGe_2$, gdzie $R = Gd-Er$, $T = Ir, Pt$, które mają również strukturę rombowa, ale typu $YIrGe_2$ z grupą przestrzenną $Immm$, w celu stwierdzenia jak zmiana struktury krystalicznej wpływa na uporządkowanie momentów magnetycznych.

Wyniki badań pokazały, że w wysokich temperaturach podatność magnetyczna zarówno związków RT_xX_2 jak i $RTGe_2$ spełnia prawo Curie–Weissa, a wartości efektywnych momentów magnetycznych są bliskie wartościom dla swobodnych jonów R^{3+} . Zatem za

⁶⁰ A. Gil, B. Penc, N. Stusser, A. Szytuła, 2004, Physica B, 350, e327–e329

⁶¹ P. Schobinger-Papamentellos, K.H.J. Buschow, C. Ritter, 1999, J. Alloys Comp. 287, 51

⁶² A. Gil, B. Penc, Ł. Gondek, A. Szytuła, J. Hernandez-Velasco, 2002, J. Alloys Comp. 346, 43–46

⁶³ A. Gil, A. Oleś, W. Sikora, A. Szytuła, 2003, J. Alloys Comp. 360, 21–23

własności magnetyczne tych związków odpowiadają pierwiastki ziem rzadkich. W niskich temperaturach (helowych) większość związków staje się antyferromagnetykami, przy czym obserwuje się dużą różnorodność struktur magnetycznych.

Mechanizm oddziaływań w związkach $RTGe_2$ ($T = Pd, Pt, Ir$) okazał się bardziej złożony niż w RT_xX_2 . Atomy ziemi rzadkiej obsadzają tu dwie nierównoważne podsieci $4(i)$ i $4(h)$ z różnym otoczeniem atomowym w poszczególnych podsieciach. Wszystkie badane związki wykazały złożone antyferromagnetyczne uporządkowanie momentów magnetycznych w niskich temperaturach. W niektórych związkach uporządkowanie momentów magnetycznych w różnych podsieciach następuje niezależnie w różnych temperaturach. W większości związków temperatury krytyczne uporządkowania dla podsieci $4(i)$ okazały się wyższe niż dla podsieci $4(h)$. Temperatury Néela T_N nie spełniają relacji de Gennes'a. Atomy ziemi rzadkiej w podsieci $4(i)$ mają takie samo otoczenie atomowe jak w strukturze typu $CeNiSi_2$. Wyniki badań metodą dyfrakcji neutronów wykazały, że momenty magnetyczne w tej podsieci tworzą kolinearne struktury antyferromagnetyczne. Momenty magnetyczne w podsieci $4(h)$, gdzie atomy ziemi rzadkiej mają inne otoczenie atomowe, tworzą inne uporządkowania, głównie modulowane. Powyższy wynik świadczy, że różnice w otoczeniu atomowym wpływają na rodzaj uporządkowania momentów magnetycznych w tych układach.

Przeprowadzone niemal równolegle przez Papathanassiou i in.^{64 65} oraz Schmitt i in.⁶⁶ badania związków $RTGe_2$ ($T=Pt, Pd$) doprowadziły autorów do podobnych wniosków: momenty magnetyczne w podsieciach $4(i)$ i $4(h)$ porządkują się niezależnie, w różnych temperaturach i skutkują powstaniem struktur kolinearnych jak i modulowanych. Momenty magnetyczne w różnych podsieciach porządkują się wzdłuż różnych kierunków krystalograficznych. Świadczy to o dużej anizotropii magnetokrystalicznej.

Uzyskane przeze mnie wyniki badań były publikowane zarówno w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, jak i w wydawnictwach krajowych a także posłużyły do przygotowania i opublikowania monografii, pt.: *Magnetyczne uporządkowanie w związkach międzymetalicznych ziem rzadkich typu RTX_2* ⁶⁷. W monografii dokonałam usystematyzowania i analizy swoich wyników razem z danymi literaturowymi dotyczącymi innych tego typu związków. Przeprowadziłam dyskusję kolejno na temat roli niestechiometrii atomowej, oddziaływań magnetycznych i pola krystalicznego w tych układach oraz jak te czynniki wpływają np. na wielkość momentu magnetycznego. Przeprowadziłam również analizę własności związków CeT_xGe_2 , gdzie T - metal 3d (Fe, Co, Ni, Cu), w których ze wzrostem liczby d-elektronów obserwuje się zmianę własności: od braku uporządkowania momentów magnetycznych w niskich temperaturach dla związków z Fe i Co do pojawienia się uporządkowania w związkach z Ni i Cu. Te zmiany można powiązać ze zmianą stałej Sommerfelda γ i związanej z nią gęstością stanów na powierzchni Fermiego.

⁶⁴ G. Papathanassiou., P.A. Kostanidis, J.K. Yakinthos, 1998, Zeitschr. Kristallogr. 213, 28

⁶⁵ G. Papathanassiou., P.A. Kostanidis, J.K. Yakinthos, W. Schäfer, 1999, J. Alloys Comp. 290, 17

⁶⁶ D. Schmitt, B. Ouladdiaf, Ch.D. Routsis, J.K. Yakinthos, H. Gamari-Seale, 1999, J. Alloys Comp. 292, 21

⁶⁷ A. Gil, 2004, Magnetyczne uporządkowanie w związkach międzymetalicznych ziem rzadkich typu RTX_2 , Wydawnictwo Akademii im. J. Długosza, Częstochowa

Do 2005 roku opublikowałam łącznie 21 prac (w tym 15 po doktoracie) w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR i 10 prac w wydawnictwach krajowych, z czego 3 to były artykuły przeglądowe opublikowane w Zeszytach Naukowych WSP w Częstochowie a 1 artykuł to był rozdział w Monografii nr 45 University of Podlasie Publishing House © 2003.

Do tegoż roku uczestniczyłam w 3 konferencjach zagranicznych: 2nd European Conference on Neutron Scattering (ECNS) – Budapest 1999, European Spallation Source (ESS) – European Conference – Bonn 2002 i 3rd ECNS – Montpellier 2003 oraz 8 krajowych prezentując swoje wyniki w formie ustnego wystąpienia lub plakatu.

Wygłosiłam 4 referaty:

- w Bonn – *Crystal and magnetic structure of CeCu_{0.86}Ge₂* w 2002 r,
- w Chlewiskach
 - a) *Magnetic properties and magnetic structure of RIrGe₂ compounds (R = Gd-Er)* w 2001 r.,
 - b) *Struktura magnetyczna związków RT_xSn₂ (R = Tb, Ho; T = Ni, Co)* w 2003 r.,
- w Kulach k/Częstochowy – *Nowa struktura magnetyczna związku TbMn_{0.33}Ge₂* w 2001 r.,

oraz zaprezentowałam 8 posterów – w 2003 r. w Złotym Potoku k/Częstochowy zdobyłam nagrodę za najlepszy poster.

Z powyższym dorobkiem przystąpiłam do kolokwium habilitacyjnego, które odbyło się 6 grudnia 2005 roku przed Radą Naukową Instytutu Fizyki, na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Wszyscy trzej recenzenci powołani przez Radę Instytutu Fizyki UŚ przesłali pozytywne recenzje i poparli wniosek RI o nadanie mi stopnia doktora habilitowanego.

Decyzją Rady Naukowej Instytutu Fizyki nadano mi tytuł doktora habilitowanego i zgodnie z obowiązującym wówczas trybem przekazano dokumentację do Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów Naukowych (CK) w celu zatwierdzenia habilitacji. Niestety powołany przez CK „super recenzent” wyraził negatywną opinię i pomimo powołania kolejnego recenzenta, którego opinia była pozytywna, werdykt CK był dla mnie niekorzystny i w październiku 2006 roku otrzymałam decyzję odmowną zatwierdzenia uchwały dotyczącej nadania mi stopnia doktora habilitowanego.

Nie mogąc pogodzić się z zarzutami „super recenzenta” nr 1 i decyzją Centralnej Komisji zwróciłam się z prośbą do Rady Instytutu Fizyki UŚ o wspólne odwołanie się od wydanej decyzji, co też Rada IFUŚ uczyniła.

Niestety w październiku 2008 r. (po prawie trzech latach od kolokwium) po dwóch dodatkowych recenzjach zleconych przez CK i co ciekawe, obu pozytywnych, otrzymałam ponownie decyzję odmowną uznania mojej habilitacji.

W roku 2009 podjęłam badania kolejnych związków międzymetalicznych z rodziny RCr_{0.3}Ge₂ (R = Tb, Dy, Ho and Er) oraz RSn_{1+x}Ge_{1-x} (R=Tb – Er), które posiadają strukturę krystaliczną typu CeNiSi₂. Interesujące wydało mi się porównanie wyników z tymi dla RT_xX₂ (X = Ge, Sn) w celu określenia wpływu pierwiastków p- i d-elektronowych na

uporządkowanie magnetyczne w podsieci ziem rzadkich – wyniki tych badań opisane zostały w części dotyczącej osiągnięcia habilitacyjnego.

Po uzyskaniu stopnia doktora przebrałam łącznie ok. 40 związków międzymetalicznych ziem rzadkich, określając ich własności i struktury magnetyczne.

Ostatnio podjęłam również badania teoretyczne w celu wyjaśnienia charakteru zachowań magnetycznych badanych przeze mnie związków. Rozpoczęłam obliczenia teoretyczne magnetycznych i elektronicznych własności związków RCrGe_2 i $\text{RCr}_{0.3}\text{Ge}_2$ ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$ lub Er) przy użyciu metodologii fal spinowych DFT/PBE⁶⁸. Badania obliczeniowe przeprowadzone zostały dla stechiometrycznej i niestechiometrycznej struktury krystalicznej opisanej grupą przestrzenną Cmc m . Przewidywania teoretyczne zostały porównane z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie. Wyniki prowadzą do następujących wniosków: zróżnicowane zachowanie magnetyczne jest wynikiem konkurencji oddziaływań między atomami R, które są umieszczone w płaszczyznach ułożonych prostopadle do osi b . d-elektrony w atomach Cr wnoszą niewielki wkład do magnetycznych właściwości związków. Stechiometria związków ziem rzadkich z germanem i chromem ma istotny wpływ na właściwości elektronowe związków. Wyniki te korelują z wynikami otrzymanymi eksperymentalnie. W najbliższym czasie planuję podjęcie podobnych badań teoretycznych związków z manganem i kobaltem.

c) Inne prace spoza reprezentowanej dyscypliny naukowej

Zatrudnienie jakie znalazłam w Instytucie Edukacji Technicznej Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie wiązało się prowadzeniem przeze mnie zajęć dydaktycznych nie tylko z zakresu fizyki lecz również innych zajęć np. informatycznych, dlatego swoje zainteresowania naukowe skierowałam również w stronę technologii informacyjnej i jej szerokich zastosowań, czego efektem są prace na temat zastosowań tablicy interaktywnej w nauczaniu⁶⁹, wykorzystania wirtualnego laboratorium w nauczaniu⁷⁰ ⁷¹, roli portali społecznościowych⁷². W tamtym czasie w Instytucie, którego byłam wówczas Dyrektorem uruchomiliśmy nowy kierunek studiów „Inżynieria bezpieczeństwa”. Z uwagi na zmianę profilu kształcenia i konieczność przesunięcia zakresu zainteresowań naukowych w instytucie w kierunku inżynierii bezpieczeństwa swoje zainteresowania skierowałam na zagadnienia związane z bezpieczeństwem technologii informacyjno-komunikacyjnych, czego efektem są prace poruszające zagadnienia analizy metod i środków ochrony systemów operacyjnych⁷³,

⁶⁸ A. Gil, M. Makowska-Janusik, 2015, *Acta Physica Polonica A*, Vol. 127, No 2, 385

⁶⁹ T. Prauzner, A. Gil, 2008, *„Zastosowanie nowoczesnych środków dydaktycznych w nauczaniu przedmiotów technicznych”*, [w:] *Informatyka w kształceniu*, red. K. Lenik, G. Borowski, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, tom II, s. 31-37

⁷⁰ A. Gil, M. Drabik, 2009, *Wirtualne laboratorium pomiarowe*, [w:] *Postępy nauki i techniki* nr 3, s. 96-103

⁷¹ M. Drabik, A. Gil, U. Nowacka, *Virtual laboratory in the engineering education*, [in:] *Rural Environment. Education. Personality, Proceedings of the International Scientific Conference*, No. 6, ISSN 2255-808X., 2013, Jelgava, Latvia, p. 317-323

⁷² A. Gil, 2011, *Portale społecznościowe sposobem na społeczny problem samotności*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego* Nr 656 „*Studia Informatica*” nr 28, s.239-252

⁷³ A. Gil, T. Karoń, 2012, *Analiza Środków i Metod Ochrony Systemów Operacyjnych*, *Postępy nauki i techniki* nr 12, s. 149-168

cyberprzestępczości⁷⁴, uwarunkowań prawno-autorskiej ochrony programów komputerowych⁷⁵ czy ochrony danych osobowych⁷⁶.

Przemiany społeczne i technologiczne (w tym rozwój nowych technik komunikacyjno-informacyjnych), jak również globalizacja, doprowadziły do znacznego wzrostu dostępu do wiedzy, masowego korzystania z technologii informacyjnych (w tym Internetu) oraz pojawienia się konieczności stałego doganiania i dostosowywania się, również wśród osób starszych. Dlatego w 2011 roku przystąpiłam do projektu europejskiego QEdusEn (<http://www.edusenior.eu/>), który miał na celu stworzenie narzędzi do oceny kształcenia seniorów w celu poprawy jakości ich życia. Projekt wielostronny LLP, realizowany od 1.11.2011 do 31.01.2014 przez 7 krajów europejskich (Hiszpania, Włochy, Finlandia, Łotwa, Polska, Bułgaria, Węgry), dofinansowany w 75% przez Komisję Europejską (wartość projektu 393799 EURO) pozwolił opracować Przewodnik „Edukacja a jakość życia seniorów” i „Zestaw narzędzi ewaluacyjnych dla instytucji edukacyjnych; zwiększanie wpływu edukacji na jakość życia seniorów”, które mają być pomocne dla instytucji edukacyjnych jak również innowacyjne w zakresie kształtowania edukacji osób starszych. W trakcie trwania projektu kierowałam pracami polskiej grupy badaczy, uczestniczyłam w 5 spotkaniach koordynacyjnych partnerów (Częstochowa, Jurmala, Budapeszt, Sofia, Barcelona), jak również w konferencjach, na których promowałam idee projektu. Oprócz znaczącego udziału w opracowaniu wspomnianych publikacji będących produktami projektu byłam też współautorem kilku publikacji dot. edukacji seniorów^{77 78 79}.

Wykaz wszystkich opublikowanych prac wraz z określeniem mojego udziału znajduje się w załączniku nr 4 „Wykaz opublikowanych prac...”

Alina Gil

⁷⁴ A. Gil, U. Nowacka, 2012, *Cyberprzestępczość, klasyfikacja, zwalczanie, zapobieganie*, [w:] Monografii: Inżynieria bezpieczeństwa a zagrożenia cywilizacyjne, tom I, red. A. Gil, U. Nowacka, M. Chmiel, Częstochowa, s. 309-323

⁷⁵ U. Nowacka, A. Gil, 2010, *Uwarunkowania prawnoautorskiej ochrony programów komputerowych*, Postępy nauki i techniki nr 4, s. 5-11

⁷⁶ A. Gil, K. Nowotna, 2014, *Ochrona danych osobowych na przykładzie wybranego Urzędu Miasta*, [w:] Prace naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie Technika, Informatyka, Inżynieria bezpieczeństwa”, red. M. Sosnowski, tom II, s. 69-80

⁷⁷ A. Gil, U. Nowacka, L. Ochoa, 2012, *Analysis of selected areas of educational activity of senior citizens*, [w:] Society, Integration, Education. Proceedings of the International Scientific Conference, Rezekne Vol. 1, p. 490-496, ISSN 1691-5887

⁷⁸ A. Kozerska, E. Napora, M. Piasecka, A. Gil, J. Górna, U. Nowacka, L.S. Ochoa, 2014, *Psycho-educational context of supporting seniors in Poland, using tools from the Edusenior project*, [w:] Society, Integration, education, Proceedings of International Scientific Conference, Rezekne, part II, p.124-138, ISSN 1691-5887, ISBN 978-9984-44-141-2

⁷⁹ U. Nowacka, A. Gil, L. Ochoa, 2014, „*Uczyć się aby być*” w aspekcie aktywności edukacyjnej seniorów, [w:] Monografii „Podstawy Edukacji. Trendy Cywilizacyjne Wobec Wiedzy, Innego Człowieka, Społeczeństwa”, Wydawnictwo Impuls, Kraków, s. 345-360, ISBN 978-83-7850-693-5