

**Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr Magdaleny Foltyn  
pt. „Magnetic properties of one-dimensional coordination polymers  
based on transition metal thiocyanates”**

**Przedmiot oceny.** Przedstawiona mi do oceny praca doktorska została wykonana i napisana przez panią mgr Magdalenę Foltyn na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie pod kierunkiem dra hab. Michała Ramsa, profesora tejże uczelni. Z dokumentacji dołączonej do rozprawy wynika, że została ona zgłoszona do oceny jako praca z dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych.

**Struktura rozprawy.** Recenzowana rozprawa doktorska jest napisana po angielsku i ma postać monografii naukowej liczącej 150 stron. Rozprawę otwiera (poza zwyczajowymi podziękowaniami) informacja o finansowaniu badań wykonanych przez Kandydatkę w ramach dwóch projektów realizowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki (przydzielonych Autorce w konkursu Preludium 19 oraz jej promotorowi w ramach konkursu Opus 13), a także trzech projektów realizowanych w ramach konkursów wewnętrznych jednostki macierzystej. Następne 18 stron manuskryptu stanowi wstęp zawierający wprowadzenie do badanych zjawisk fizycznych i opis badanych związków chemicznych. Na kolejnych 16 stronach opisane zostały natomiast metody badawcze, jakimi posłużyła się Autorka. Najbardziej obszerną część rozprawy (97 stron) stanowi opis oryginalnych wyników eksperymentów oraz ich analiza zakończona dyskusją i wnioskami dotyczącymi stanu podstawowego badanych układów fizycznych. Całość zamyka spis 91 pozycji literaturowych, z których Autorka korzystała przy pisaniu rozprawy. Taka struktura rozprawy jest charakterystyczna dla rozpraw naukowych i nie budzi żadnych zastrzeżeń.

**Treść rozprawy.** Przedmiotem badań przeprowadzonych przez panią mgr Magdalenę Foltyn były magnesy molekularne, czyli związki organiczno-nieorganiczne, w których niesparowane elektrony jonów metali przejściowych są źródłem zlokalizowanych momentów magnetycznych, a te z kolei są źródłem ciekawych i unikalnych właściwości magnetycznych. Ta klasa materiałów jest stosunkowo nowa (została odkryta eksperymentalnie dopiero na początku XXI wieku), ale środowisko naukowe pokłada w nich duże nadzieje. Magnesy molekularne są bowiem rozważane jako materiały mogące w przyszłości być nośnikami pamięci magnetycznej o dużej gęstości zapisu danych, w tym jako fizyczna realizacja kubitów (tzn. kwantowego bitu) opartego na pojedynczym spinie, czy też jako element technologii umożliwiającej precyzyjne dawkowanie leków. Z tego punktu widzenia tematyka rozprawy jest ze wszech miar aktualna i bardzo ciekawa.

Do swoich badań Autorka wybrała pięć kompleksów manganu(II), niklu(II) i kobaltu(II) z anionami rodankowymi (NCS<sup>-</sup>) i pochodnymi pirydyny (takimi jak 3-bromopirydyna, 3-etylopirydyna, 4-(3-fenylpropylo)pirydyna i 4-metoksypirydyna) oraz z anionami rodankowymi i aniliną, których ogólna formuła to  $M^{II}(NCS)_2(\text{ligand})_2$ . Większość z tych związków jest z punktu widzenia fizyki magnetyków układami kwaziejednowymiarowymi, których istotą jest formowanie się w strukturze krystalicznej łańcuchów jonów magnetycznych o teoretycznie nieskończonej długości. Celami pracy doktorskiej było: (1) opracowanie metody syntezy dużych monokryształów tych związków, (2) zbadanie wpływu struktury krystalicznej oraz struktury elektronowej jonu metalu

przejściowego na właściwości magnetyczne łańcuchów magnetycznych w wymienionych wyżej kompleksach, oraz (3) zbadanie mechanizmów relaksacji magnetycznej w kompleksach z kobaltem(II). Cele rozprawy uważam za sformułowane poprawnie, choć niewątpliwie atrakcyjniej byłoby przedstawić je nieco odważniej – tj. jako wyraźnie postawione hipotezy badawcze, które to pojawiają się dopiero w części eksperymentalnej przy okazji dyskusji wyników eksperymentów.

W rozdziale 1 pt. „Introduction” Autorka opisała na początku zjawiska i pojęcia fizyczne, którymi posługiwała się w dalszej części rozprawy. Były to zagadnienia związane z magnetyzmem układów zlokalizowanych (podrozdz. 1.1), opisy struktur krystalicznych najbardziej znanych zero-, jedno-, dwu- i trójwymiarowych magnesów molekularnych (1.2), opis zjawiska relaksacji magnetycznej z uwzględnieniem różnych mechanizmów mikroskopowych stojących za tą relaksacją (1.3), przegląd literatury związanej z badanymi kompleksami organiczno-nieorganicznymi (1.4), a także opis modeli fizycznych wykorzystanych w rozprawie do opisu zachowania łańcuchów magnetycznych w poszczególnych grupach kompleksów. Uważam tę część za bardzo pouczającą i napisaną bardzo rzeczowo. Autorka zawarła w niej bodaj wszystkie najważniejsze pojęcia, których używała w swojej pracy, stąd stanowi ona bardzo dobre wprowadzenie do tematyki rozprawy.

Rozdział 2 pt. „Research methods” stanowi opis metod eksperymentalnych i numerycznych wykorzystanych przez Doktorantkę: ogólny opis syntezy badanych związków chemicznych, ich charakteryzacji strukturalnej (rentgenowskimi metodami dyfrakcyjnymi) i fizycznej (przy użyciu magnetometrii i kalorymetrii), a także opis pakietu do obliczeń numerycznych, z którego korzystała Autorka. Za bardzo właściwe uważam zamieszczenie przez panią Fołtyn dokładnego opisu korekt nanoszonych na surowy sygnał zarejestrowany przez różnego rodzaju aparaturę, które były związane z zastosowanymi przez nią uchwytami próbek i materiałami pomocniczymi użytymi do ich mocowania (tj. klejem i folią PET), a także z kształtem próbki. Świadczy to o jej świadomości ograniczeń wykorzystanych metod doświadczalnych i o jej rzetelności jako eksperymentatora.

W kolejnych trzech rozdziałach (nr 3, 4 i 5) Doktorantka opisała wyniki uzyskane dla poszczególnych związków chemicznych w podziale ze względu na rodzaj jonu magnetycznego oraz dodatkowo ze względu na rodzaj zastosowanego ligandu (podrozdz. 5.1, 5.2 i 5.3). Dało to w sumie pięć minimonografii poświęconych pięciu różnym związkom chemicznym. Każda z tych minimonografii rozpoczyna się bardzo szczegółowym opisem syntezy danego związku (w przypadku monokryształów zilustrowanej dodatkowo ich fotografią). Po opisie syntezy następuje zawsze opis udokładnionej struktury krystalicznej wraz z ilustracją pokazującą łańcuchy jonów magnetycznych i konfigurację ich ligandów. Następnie Autorka zamieszcza wyniki przeprowadzonych pomiarów właściwości magnetycznych wraz z ich opracowaniem, analizą i omówieniem. W większości przypadków badania te są poszerzone o pomiary temperaturowej zależności ciepła właściwego i relaksacji magnetycznej.

Wspomniany już związek z Mn(II), tj.  $Mn^{II}(NCS)_2(\text{bromopirydyna})_2$ , został opisany w rozdziale 3. Autorka pokazała, że łańcuchy jonów magnetycznych (a co za tym idzie również zlokalizowanych momentów magnetycznych) są w tym związku liniowe i nie porządkują się magnetycznie; nie wykazują też one relaksacji magnetycznej co najmniej do temperatury 1,8 K (czyli najniższej dostępnej w tym eksperymencie). Podatność magnetyczna związku z Mn(II) daje się opisać kwantowym modelem łańcuchów Heisenberga. Autorka określiła charakter oddziaływań wymiennych wewnątrz łańcucha jako antyferromagnetyczny i oszacowała wielkość całki wymiany.

Z kolei związek z Ni(II), tj.  $Ni^{II}(NCS)_2(\text{etylopirydyna})_2$ , został otrzymany w dwóch odmianach: (1) jednofazowej – wyłącznie z łańcuchami liniowymi oraz (2) dwufazowej (przynajmniej z fizycznego punktu widzenia), w której łańcuchom liniowym towarzyszą łańcuchy pofalowane, co niestety utrudniło dokładne określenie właściwości tych ostatnich. Pomiary stałoprądowej podatności magnetycznej

A P. 1.4.1

wykazały, że badany kompleks z Ni(II) nie porządkuje się magnetycznie do temperatury 1,8 K, jednak pomiary ciepła właściwego przeprowadzone w niższych temperaturach (do 0,4 K) ujawniły bardzo wyraźne przejście fazowe w temperaturze około 1,3 K. Na podstawie oszacowanej wcześniej wartości całki wymiany i jej znaku Autorka wywnioskowała, że zaobserwowane w cieple właściwym przejście fazowe jest uporządkowaniem ferromagnetycznym łańcuchów niklu.

Rozdział 5 poświęcony jest właściwościom trzech związków z Co(II), tj.  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-}(3\text{-fenylopropylo})\text{pirydyny})_2$ ,  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-metoksypirydyny})_2$  oraz  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(\text{aniliny})_2$ . W odróżnieniu od związków z Mn(II) i Ni(II) tym razem Autorka przeprowadziła badania na próbkach monokrystalicznych, co już samo w sobie jest dużym osiągnięciem, ponieważ wyhodowanie kryształów tych związków nie jest trywialne i było dużym wyzwaniem dla Autorki (która otrzymała dwa rodzaje kryształów) i chemików z nią współpracujących.

Pomiary namagnesowania i ciepła właściwego kompleksu  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-}(3\text{-fenylopropylo})\text{pirydyny})_2$  wykazały, że oddziaływanie między momentami magnetycznymi jonów kobaltu w obrębie liniowych łańcuchów jest ferromagnetyczne i w rzeczy samej prowadzi do ferromagnetycznego uporządkowania się tych łańcuchów w temperaturze około 3,4 K. Autorka określiła wielkość całki wymiany oraz wyznaczyła kierunek osi łatwej namagnesowania zarówno doświadczalnie, jak i teoretycznie, przy czym zgodność odpowiednich wielkości fizycznych wyznaczonych obiema metodami okazała się bardzo dobra.

Bardzo wiele miejsca poświęciła Autorka analizie wyników pomiarów zmiennoprądowej podatności magnetycznej tego związku. Posłużyła się w tym celu analizą Arganda, modelem Cole–Cole’a relaksacji magnetycznej i prawem Arrheniusa. Pozwoliło to wykryć dwa rodzaje relaksacji magnetycznej w badanym kryształ  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-}(3\text{-fenylopropylo})\text{pirydyny})_2$ : relaksację pojedynczego łańcucha spinów oraz relaksację związaną ze wzbudzeniami fal spinowych. Doktorantka przeprowadziła również dodatkowe analizy i eksperymenty (w tym badania rzeczonożego kompleksu z jonami kobaltu częściowo podstawionymi kadmem), a następnie przedyskutowała szczegółowo możliwe procesy potencjalnie stojące za zaobserwowanym zjawiskiem relaksacji, w tym proces Orbacha, Ramana, bezpośredni i kwantowe tunelowanie namagnesowania. Wyznaczyła też oś łatwą namagnesowania monokryształu  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-}(3\text{-fenylopropylo})\text{pirydyny})_2$ . Ciepło właściwe tego związku zostało z kolei przeanalizowane przy użyciu modelu Debye’a, Einsteina i Isinga.

Kolejny kompleks z kobaltem, tj.  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-metoksypirydyna})_2$ , został zbadany w analogiczny sposób, przy czym w tym przypadku Autorka wykryła uporządkowanie antyferromagnetyczne w temperaturze około 3,9 K przechodzące w ferromagnetyczne dopiero pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego (chodzi oczywiście o przemianę metamagnetyczną). Na podstawie wyników pomiarów ciepła właściwego skonstruowany został magnetyczny diagram fazowy badanego kompleksu. Temperaturowe zależności ciepła właściwego oraz podatności magnetycznej w zakresie nieuporządkowanym zostały opisane modelem Isinga, który pokazał występowanie silnego ferromagnetycznego oddziaływania między momentami magnetycznymi kobaltu w obrębie łańcuchów oraz słabego antyferromagnetycznego oddziaływania pomiędzy tymi łańcuchami. Wynik ten jest w pełni zgodny z zaobserwowaną przemianą metamagnetyczną, która jest manifestacją znoszenia tego słabego antyferromagnetycznego oddziaływania międzyłańcuchowego stosunkowo słabym zewnętrznym polem magnetycznym.

Również ten związek chemiczny został przeanalizowany bardzo dokładnie pod kątem występowania w nim relaksacji magnetycznej. Autorka wykazała, że mamy w nim do czynienia z relaksacją pojedynczego łańcucha spinów w polach odpowiadających przemianie metamagnetycznej oraz z relaksacją krótkich fragmentów łańcuchów jako pojedynczych cząsteczek przez kwantowe

tunelowanie namagnesowania lub spójny obrót jednowymiarowych domen ferromagnetycznych z małą barierą potencjału.

Trzeci kompleks z Co(II), a zarazem ostatni opisany w rozprawie związek chemiczny, tj.  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(\text{anilina})_2$ , został omówiony w podrozdziale 5.3. Badania strukturalne wykazały formowanie się w nim liniowych łańcuchów kobaltowych, przy czym w strukturze dało się wyodrębnić dwa rodzaje tych łańcuchów (są one powiązane ze sobą dwukrotną obrotową osią symetrii). Ten nieco wyższy stopień złożoności struktury okazał się być źródłem bardzo ciekawych właściwości magnetycznych – w szczególności aż trzech przemian metamagnetycznych zidentyfikowanych w zmierzonych zależnościach namagnesowania od przyłożonego pola magnetycznego. Autorka rozprawy wykazała, że w obrębie łańcuchów występuje oddziaływanie ferromagnetyczne, między łańcuchami ferromagnetyczne, a dodatkowo występuje też oddziaływanie pomiędzy płaszczyznami łańcuchów. Dlatego też tym razem Autorka wykorzystwała w swojej analizie dwuwymiarowy model Isinga (czyli inaczej model Onsagera). Udało się jej nim wyjaśnić nie tylko przemiany metamagnetyczne, ale także opisać ilościowo temperaturową zależność ciepła właściwego, włączając w to obszar uporządkowany (co oczywiście nie jest możliwe w przypadku jednowymiarowego modelu Isinga ze względu na brak uporządkowania). Rozbudowana analiza relaksacji magnetycznej w kompleksie  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(\text{anilina})_2$  doprowadziła Doktorantkę do całkiem podobnych wniosków, co w przypadku  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(4\text{-metoksypirydyny})_2$ . W szczególności zaobserwowała ona dominację relaksacji pojedynczych łańcuchów spinowych oraz relaksacji krótkich fragmentów łańcuchów jako pojedynczych cząsteczek poprzez kwantowe tunelowanie namagnesowania lub spójny obrót jednowymiarowych domen ferromagnetycznych w łańcuchu uporządkowanym ferromagnetycznie.

Badania trzech kompleksów z Co(II) są niewątpliwie najmocniejszą stroną rozprawy doktorskiej pani Foltyn. Wyraźnie szerszy (niż w przypadku kompleksów z Mn(II) i Ni(II)) zakres przeprowadzonych eksperymentów oraz dogłębna analiza ich wyników wspomagana rozważaniami teoretycznymi pozwoliły na bardzo dokładne scharakteryzowanie stanów podstawowych tych układów. Rozdziały te pokazują dobitnie, jak wiele przydatnych i ciekawych informacji można uzyskać ze stosunkowo prostych pomiarów fizycznych przeprowadzonych przy użyciu raczej standardowej aparatury, o ile wie się, czego się szuka i zna się ograniczenia stosowanych metod.

Rozprawę kończy rozdział 6, w którym pani mgr Magdalena Foltyn zbiera wszystkie informacje uzyskane podczas przeprowadzonych przez siebie badań oraz odnosi się bardzo szczegółowo i rzetelnie do postawionych na początku celów badań. Co ważne, Doktorantka – jak przystało na prawdziwego naukowca – pozostawia pewne kwestie otwartymi i wymagającymi dalszych badań. Po tym następuje spis literatury złożony z 91 pozycji, wśród których można znaleźć zarówno podstawowe w tematyce rozprawy artykuły z połowy ubiegłego wieku, jak i najnowsze prace. Ponadto Autorka korzystała z podręczników akademickich uznanych na świecie naukowców. Świadczy to moim zdaniem o dobrym rozpoznaniu przez Doktorantkę obszaru jej badań.

Podczas realizacji pracy doktorskiej pani Foltyn korzystała m.in. z pomocy znakomitych chemików z zespołu prof. Christiana Näthera z Uniwersytetu Chrystiana Albrechta w Kilonii, którzy dostarczyli jej próbki do badań, a także z pomocy dra Michaela Böhme'a i prof. Winfrieda Plassa z Uniwersytetu Friedricha Schillera w Jenie, którzy wykonali dla niej obliczenia *ab initio* dla kompleksów z Co(II). Fakt ten nie umniejsza w żaden sposób dokonania Doktorantki, a z pewnością czyni rozprawę ciekawszą. Owocem prowadzonych w tak nowoczesny sposób badań jest aż 19 publikacji (z czego 4 są ściśle związane z tematyką rozprawy), których współautorką (a pięciokrotnie pierwszą autorką) jest pani mgr Magdalena Foltyn.

Przedstawiona analiza treści manuskryptu jasno pokazuje, że zawiera on wszelkie elementy typowe dla rozpraw naukowych, tj. (i) sformułowaną jako cel hipotezę badawczą, (ii) uzasadnienie podjęcia konkretnego problemu badawczego i propozycję sposobu jego rozwiązania, (iii) szeroki przegląd literaturowy dotychczasowych wyników badań i opis aktualnego stanu wiedzy, (iv) opis zastosowanych metod badawczych i aparatury badawczej, (v) wyniki przeprowadzonych eksperymentów i ich analizę w oparciu o powszechnie znane modele fizyczne, a także (vi) logiczne wnioski odwołujące się do postawionej na wstępie hipotezy badawczej oraz nowe hipotezy naukowe (do zweryfikowania w przyszłości).

**Uwagi dotyczące treści rozprawy.** Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka drobnych uwag dotyczących przedstawienia pewnych zagadnień. Mam nadzieję, że Doktorantka zechce ustosunkować się do nich podczas publicznej obrony swojej rozprawy.

1. W rozprawie zabrakło mi szerszej informacji o stabilności badanych związków chemicznych, która może mieć kolosalne znaczenie w ewentualnych zastosowaniach. Z mojego doświadczenia wynika, że często rozkładają się one w temperaturach niewiele wyższych od pokojowej. Czy coś wiadomo o tej cesze badanych kompleksów?
2. W rozdziale 3 (rys. 3.3.4) uwagę przykuwa symulacja temperaturowej zależności stałoprądowej podatności magnetycznej w oparciu o kwantowy model łańcucha Heisenberga. Brakuje mi natomiast ilustracji pokazującej sposób oszacowania ilości zanieczyszczeń paramagnetycznych. Czy coś stanęło na przeszkodzie, aby pokazać w rozprawie odejmowanie krzywych?
3. W rozdziale 5.3 bardzo brakuje mi rysunku wyraźnie pokazującego zestawienie dwóch rodzajów łańcuchów i ich ułożenie względem siebie oraz rysunku postulowanej struktury magnetycznej. Jest to o tyle istotne, że w opisanym tam związku występują aż trzy przemiany metamagnetyczne. Byłoby też wskazane zilustrowanie ewolucji struktury magnetycznej  $\text{Co}^{\text{II}}(\text{NCS})_2(\text{aniliny})_2$  wraz ze wzrostem pola magnetycznego.

W pracy zauważyłem ponadto kilka braków, niefortunnych stwierdzeń lub błędów redaktorskich, które czuję się zobowiązany wymienić i poddać Autorce pod rozważenie, ale które nie wymagają ustosunkowania się w czasie publicznej obrony rozprawy.

- W rozprawie (a zwłaszcza w części 1) nie znalazłem wyraźnego wskazania, że większość wzorów wykorzystanych przez Autorkę miała postać, która jest prawidłowa wyłącznie w układzie jednostek cgs. Niby jest to oczywiste, ale dla porządku warto byłoby o tym wspomnieć.
- Na str. 16 Autorka napisała, że multiplet podstawowy jonów kramersowskich (tj. z nieparzystą liczbą niesparowanych elektronów) rozszczepia się w polu krystalicznym na dublety. Nie jest to precyzyjne stwierdzenie, ponieważ dublet to rzeczywiście najniższa możliwa degeneracja stanu podstawowego jonów kramersowskich, niemniej jednak możliwe są wyższe (np. kwartet).
- Na str. 18 Autorka mówi o znoszeniu się momentów magnetycznych w antyferromagnetykach, co jest niefortunnym skrótem myślowym. Zapewne chodzi o moment wypadkowy lub też namagnesowanie.
- W kilku miejscach (np. na str. 50) Autorka porównuje wartości eksperymentalne (np. różnych wielkości charakteryzujących właściwości magnetyczne) do wartości teoretycznych bez podawania tych ostatnich, a tylko pisząc, że są one sobie bliskie. Uważam, że przydatne byłoby mimo wszystko podanie wartości teoretycznych, aby ułatwić czytelnikom rozprawy ocenę stopnia tej bliskości.

- Na wielu rysunkach struktur krystalicznych brakuje moim zdaniem układu współrzędnych. Wprawdzie jest on opisany słownie w podpisach rysunków, ale – jak mówi znane porzekadło – jeden obraz mówi więcej niż tysiąc słów.
- Na stronie 22 Autorka używa określenia „energetically worst”, kiedy mówi o osi trudnej. Moim zdaniem lepiej byłoby użyć mniej żargonowego zwrotu „energetically unfavorable”.
- We wzorze 2.3.2 zmienna  $\phi$  po lewej stronie równania powinna być zastąpiona zmienną  $\varphi$ .

Język rozprawy nie budzi większych zastrzeżeń, może poza zbyt częstym moim zdaniem (tzn. w wielu miejscach nieuzasadnionym) użyciem przedimka *the*.

**Ocena rozprawy.** Mimo moich krytycznych uwag uważam rozprawę pani mgr Magdaleny Foltyn za spełniającą wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.). W szczególności stwierdzam, co następuje.

1. **Rozprawa reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w deklarowanych dyscyplinach naukowych.** Świadczy o tym zreferowany przeze mnie wcześniej opis zjawisk fizycznych zachodzących w magnesach molekularnych, opis zastosowanych metod eksperymentalnych oraz wykorzystanie przez Kandydatkę współczesnych teorii fizycznych do analizy wyników eksperymentów.
2. **Rozprawa reprezentuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Kandydatkę pracy naukowej.** Jest ona bowiem wynikiem samodzielnych działań Kandydatki, które – jak wykazałem wyżej – obejmowały wszystkie elementy metody badawczej, w tym: opis problemu badawczego i przegląd faktów (przegląd literatury), sformułowanie hipotezy badawczej i zaproponowanie metod roboczych, zbieranie materiału badawczego (przeprowadzenie eksperymentów), opracowanie teoretyczne materiału (analiza wyników pomiarów) oraz wyprowadzenie wniosków.
3. **Przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.** Kandydatka jako pierwsza podjęła się systematycznego zbadania stanu podstawowego wymienionych wcześniej trzech kompleksów z Co(II) w postaci monokryształów. Stąd uzyskane wyniki są niewątpliwie oryginalne, co zresztą zostało niejako potwierdzone faktem ich opublikowania w regularnych artykułach, które ukazały się w międzynarodowych, recenzowanych czasopismach naukowych.

Adam Pikel