

**Dariusz Malczewski**

# **AUTOREFERAT**

**(j. polski)**

## Rozwój kariery akademickiej

Urodziłem się 8 września 1962 r. w Sosnowcu. Naukę w szkole podstawowej rozpocząłem w Bielsku Białej, gdzie mieszkałem do roku 1972.

W roku 1982 rozpocząłem studia na Wydziale Mat-Fiz-Chem. Uniwersytetu Śląskiego na kierunku fizyka.

W 1987 obroniłem pracę magisterską "Badanie warunków tworzenia pozytów w fazie skondensowanej przy pomocy spektrometru 0-stopniowego" i uzyskałem tytuł magistra fizyki o specjalności: doświadczalna i zastosowania fizyki. Praca została wykonana w Zakładzie Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań Instytutu Fizyki UŚ pod kierunkiem dr Wojciecha Osoby.

W 1994 zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Zakładzie Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego.

W roku 1995 rozpocząłem czteroletnie studia doktoranckie. W okresie studiów doktoranckich głównym obszarem mojej pracy naukowej stało się zastosowanie spektroskopii mössbauerowskiej w badaniach metamiktycznych gadolinitów. Fazy metamiktyczne są bardzo interesującą grupą amorficznych materiałów, które początkowo były krystaliczne, a w następstwie procesów związanych z rozpadami promieniotwórczymi uranu i toru znajdujących się w ich strukturach stają się amorficzne (metamiktyczne) w geologicznej skali czasu. Bardzo ważną przesłanką do podjęcia tego tematu badawczego był fakt, że spektroskopia mössbauerowska nie była dotychczas wykorzystywana w odniesieniu nie tylko do gadolinitów, ale również do większości pozostałych faz metamiktycznych.

Przeprowadzone badania pozwoliły mi na przygotowanie pracy doktorskiej **"Spektroskopia mössbauerowska  $^{57}\text{Fe}$ , termicznie rekrytalizowanych metamiktycznych gadolinitów"**, którą obroniłem 18 stycznia 2000 roku w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego. Praca została przedstawiona do wyróżnienia przez trzech recenzentów. Uchwałą Rady Wydziału Matematyki Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego z dnia **22 lutego 2000** roku, uzyskałem tytuł doktora nauk fizycznych. Promotorem mojej pracy doktorskiej był prof. dr hab. Wiktor Zipper. Pomiary zostały wykonane w Pracowni Efektu Mössbauera kierowanej przez dr Eustachego Popiela. W tym czasie również współpracowałem ściśle z prof. dr hab. Januszem Janeczkiem z Katedry Mineralogii i Petrografii Wydziału Nauk o Ziemi, od którego otrzymałem próbki gadolinitów z terenu Szwecji i Polski. W czasie studiów

doktoranckich, zajmowałem się również zagadnieniem identyfikowania faz mineralnych w próbkach skalnych przy użyciu spektroskopii mössbauerowskiej oraz wyznaczaniem aktywności promieniotwórczych związanych z uranem i torem w badanych metamiktytach i innych próbkach geologicznych przy użyciu półprzewodnikowych detektorów promieniowania gamma.

W roku 2000 po ukończeniu studiów doktoranckich zaproponowano mi pracę na stanowisku adiunkta na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Zakładzie Geofizyki Stosowanej kierowanej przez prof. dr hab. Adama Idziaka, gdzie jestem zatrudniony do dnia dzisiejszego. Od początku pracy na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego podjąłem szereg zagadnień badawczych wykorzystujących metody spektroskopii promieniowania jądrowego w naukach o Ziemi.

### **Wskazanie osiągnięcia naukowego**

Osiągnięcie naukowe składa się z cyklu dziewięciu reprezentatywnych publikacji zatytułowanych łącznie: **”Charakterystyka stanu metamiktycznego przy użyciu metod spektroskopowych: implikacje dla stabilizacji wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych”**. Dotyczą one obszernych systematycznych badań naturalnych faz metamiktycznych z użyciem metod spektroskopowych. Od roku 2005 większość tych badań była finansowana przez trzyletni grant KBN ”Określenie zmian strukturalnych i związanych z nimi właściwości fizycznych rekrystalizowanych faz metamiktycznych przy użyciu metod spektroskopowych i dyfrakcyjnych”, którym kierowałem. W badaniach, jako główne metody wykorzystałem spektroskopię mössbauerowską opartą na izotopie  $^{57}\text{Fe}$ , spektroskopię promieniowania gamma, dyfrakcję rentgenowską, spektroskopię promieniowania alfa i beta, spektroskopię przenikalności dielektrycznej, elektronową mikroskopię transmisyjną i skaningową. W celu realizacji tak obszernego projektu współpracowałem z Instytutem Materiałów Elektronicznych w Warszawie, Instytutem Fizyki UŚ, Instytutem Nauk o Materiałach UŚ oraz na macierzystym Wydziale z Katedrą Geochemii, Mineralogii i Petrografii. W ramach projektu przeprowadziłem szczegółowe konsultacje geologiczne, związane głównie z datowaniem badanych próbek, z geologami US Geological Survey w tym z Ken Dixon, Rachel Dolbier, Nelia Dunbar, Michael Easton, Larry Garside, Dave Noe, Steve Shank i Scott Southworth; z Michael Easton z Geological Survey of Canada, z

Jenny Bevan z Uniwersytetu Zachodniej Australii, Igozem Pekovem z Uniwersytetu Moskiewskiego, Sten-Anders Smeds z Uniwersytetu w Uppsali oraz Nina Flagler Hall z Mössbauer Effect Data Center Uniwersytetu Północnej Karoliny.

Poniższa lista wskazuje publikacje składające się na osiągnięcie naukowe:

**(1)** D. Malczewski

"Metamict state. Implication for stabilization and immobilization of nuclear high-level waste (HLW)"

Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences (2002)  
Monographic Volume M-24 (340); 397- 404.

**(2)** D. Malczewski, J. Janeczek

"Activation energy of annealed metamict gadolinite from  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer Spectroscopy"

Physics and Chemistry of Minerals (2002) 29; 226 – 232.

**(3)** D. Malczewski

"Structural analysis of radiation damage in Precambrian gadolinite from Ytterby by  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy, transmission electron microscopy and X-ray diffraction"

Materials Science and Engineering A (2004) 375-377; 1259-1262.

**(4)** D. Malczewski, JE. Frąckowiak, EV. Galuskin

" $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction study of some complex metamict minerals"

Hyperfine Interactions (2005) 166; 529-536.

**(5)** D. Malczewski, JE. Frąckowiak, EV. Galuskin

" $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy of annealed metamict davidite"

Nukleonika (2007) 52; 81-84.

**(6)** D. Malczewski, A. Grabias

" $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction study of complex metamict minerals. Part II"

Hyperfine Interactions (2008) 186; 75-81.

**(7)** D. Malczewski, A. Grabias

" $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy of radiation damaged allanites"

Acta Physica Polonica A (2008) 114; 1683-1690.

**(8)** D. Malczewski,

"Recrystallization in fully metamict gadolinite from Ytterby (Sweden) annealed in air studied by  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopy"

American Mineralogist (2010) 95; 463-471.

**(9)** D. Malczewski, A. Molak

"Electrical properties of annealed, fully metamict  $\text{REE}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ "

Journal of Nuclear Materials (2011) 412; 239-249.

## Opis osiągnięcia naukowego

Według klasycznej już definicji **metamiktyczne minerały** są specjalną klasą amorficznych materiałów, które początkowo były krystaliczne. Mimo że mechanizm utraty krystaliczności w tych minerałach, najczęściej krzemiany i tlenki zawierające uran i tor nie jest do końca rozwiązany, uszkodzenia radiacyjne spowodowane przez cząstki  $\alpha$  i jądra odrzutu z rozpadów U i Th są z pewnością krytyczne dla procesu metamiktyzacji. W najnowszych sformułowaniach fizycznych metamiktyczność definiuje się poprzez **stan metamiktyczny**, który jest: stanem amorficznym substancji, która utraciła swą strukturę krystaliczną wskutek promieniotwórczości zawartego w niej uranu i toru. Minerały metamiktyczne to minerały, których struktura uległa zaburzeniu w wyniku procesów tego typu. Przejście do stanu metamiktycznego jest wywołane przez cząstki  $\alpha$  oraz jądra odrzutu z rozpadów promieniotwórczych. Charakterystyczną cechą tych minerałów jest obserwacja, że proces metamiktyzacji może być odwracalny poprzez wygrzewanie w atmosferze neutralnej w wysokich temperaturach (proces annealingu), o ile w danym mineralu nie doszło do zmian w składzie chemicznym.

Najważniejszą rolę w powstawaniu uszkodzeń radiacyjnych w naturalnych próbkach geologicznych odgrywają rozpady  $\alpha$  radionuklidów z szeregów promieniotwórczych  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{235}\text{U}$ . Z rozpadami  $\alpha$  związana jest emisja cząstek  $\alpha$  o energiach od 4 MeV do 8.8 MeV i ciężkie jądra odrzutu o energiach zawartych między 70 keV do 100 keV. Cząstki  $\alpha$  przelatując przez ośrodek, tracą największą część swojej energii na jonizację atomów tego ośrodka. Podlegają jednak dostatecznie wielu sprężystym zderzeniom powodując do kilkuset przesunięć atomowych. Średni zasięg cząstek  $\alpha$  w minerałach krzemianowych wynosi około 20  $\mu\text{m}$ . Ponieważ największa strata energii cząstek  $\alpha$  zachodzi na granicy ich zasięgu, w wielu minerałach zawierających U i Th obserwuje się pola pleochroiczne. Promienie tych pól wyznaczają maksymalny zasięg cząstek w danym mineralu. W przypadku oddziaływania jąder odrzutu, towarzyszących emisji cząstek  $\alpha$  z atomami czy jonami sieci krystalicznej sytuacja wygląda odmiennie. Prawie cała energia jąder odrzutu jest tracona w ośrodku w wyniku elastycznych zderzeń powodując do kilku tysięcy przesunięć atomowych. Jądra odrzutu zostawiają wyraźne ślady przelotu (tracks) w ośrodku. Zasięg jąder odrzutu mieści się w granicach 0.01-0.04  $\mu\text{m}$ . Czas przelotu

jądra odrzutu na takim odcinku trwa około  $10^{-12}$  s, co przy tak dużym przekazie energii powoduje efekt analogiczny do termicznego stopnienia ośrodka w skali mikro. Nakładanie się takich defektów radiacyjnych w geologicznej skali czasu daje znaczące uszkodzenia struktury krystalicznej w rezultacie powodując jej aperiodyczność, czyli metamiktyzację (amorfizację). Defekty radiacyjne struktur krystalicznych związane z rozpadami  $\beta$  i promieniowaniem  $\gamma$  wiążą się zasadniczo z procesami jonizacyjnymi. Jedynie w przypadku wysokoenergetycznych cząstek  $\beta^-$  ( $>0.5$  MeV) może nastąpić trwałe przesunięcie atomu w ośrodku, średnio 0.1 przesunięcie na 1 rozpad  $\beta^-$ , co jest wielkością zaniedbywalną w porównaniu z rozpadami  $\alpha$ . Efekty jonizacji z oddziaływań  $\beta$  i  $\gamma$  mogą mieć znaczenie szczególnie w przypadku użycia form krystalicznych przeznaczonych do składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych  $\beta$  ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ), powodując radiolizę wody i otaczającej atmosfery, co może prowadzić do tworzenia wolnych rodników i kwasu azotowego. Badanie tych minerałów ma bardzo istotne znaczenie w problematyce składowania odpadów promieniotwórczych, ponieważ są one jedynymi naturalnymi analogami ceramicznych form wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych HLW (high-level nuclear waste form). Podsumowanie najważniejszych dostępnych w literaturze wyników badań faz metamiktycznych testowanych, jako potencjalne formy odpadów radioaktywnych przedstawione jest w publikacji (1).

Jednym z najważniejszych fizycznych parametrów używanych do opisu minerałów metamiktycznych jest ilość rozpadów  $\alpha$  na miligram bądź gram masy minerału. W odnośnej literaturze najczęściej wielkość ta nazywana jest po prostu dawką (dose) promieniowania  $\alpha$ . Całkowita dawka promieniowania  $\alpha$  (D) obliczana jest ze wzoru:

$$D = 8 \cdot N_{238} (e^{\lambda_{238} t} - 1) + 7 \cdot N_{235} (e^{\lambda_{235} t} - 1) + 6 \cdot N_{232} (e^{\lambda_{232} t} - 1)$$

gdzie:

$N_{238}$ ,  $N_{235}$ ,  $N_{232}$  - liczba atomów  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  na miligram (mg)

$\lambda_{238}$ ,  $\lambda_{235}$ ,  $\lambda_{232}$  - stałe rozpadu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  ( $\text{lat}^{-1}$ ),

8, 7, 6 - liczba emitowanych cząstek  $\alpha$  na jeden łańcuch rozpadu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$ ,

D - dawka ( $\alpha$ -rozpadów/mg),

t - wiek geologiczny próbki w latach.

Na podstawie dostępnych danych literaturowych, można przyjąć, że dla większości metamiktycznych krzemianów dawka  $\sim 10^{16}$   $\alpha$ -rozpadów/mg jest krytyczną dla procesu ich całkowitej amorfizacji.

➤ **Wyznaczenie energii aktywacji procesu termicznej rekrytalizacji całkowicie metamiktycznego gadolinitu ( $\text{REE}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ )**

Pierwszym znaczącym sukcesem prezentowanych badań było wyznaczenie energii aktywacji procesu termicznej rekrytalizacji całkowicie metamiktycznego gadolinitu ( $\text{REE}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ ). Energię aktywacji wyznaczono wykorzystując wyłącznie zmiany obserwowane w parametrach nadsubtelnych widm mössbauerowskich: przesunięciu izomerycznym IS (isomer shift), rozszczepieniu kwadropolowym QS (quadrupole splitting) i szerokość linii  $\Gamma$  (half widths), próbek wygrzewanych w argonie w zakresie temperatur 873-1473 K **(2)**. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem modelu annealingu opartego na założeniu, że proces metamiktyzacji i termicznej rekrytalizacji, jako procesy odwracalne, mogą być opisane formalizmem stosowanym dla reakcji chemicznych I-rzędu. Uzyskana duża wartość energii aktywacji,  $E_A = 1.97$  eV, bardzo dobrze tłumaczy częste występowanie naturalnych gadolinitów w stanie metamiktycznym. Większa wartość energii termicznej rekrytalizacji oznacza, że minerał po osiągnięciu stanu metamiktycznego będzie stabilnym ciałem amorficznym (szklistym) w geologicznej skali czasowej. Tylko znaczący, gwałtowny wzrost temperatury rzędu 1000 K, jest w stanie zainicjować ponowną rekrytalizację. W kierunku odwrotnym, np. w warunkach składowiska odpadów promieniotwórczych w temperaturach rzędu 500-600 K, faza metamiktyczna o wysokiej energii aktywacji będzie podlegała ciągłemu annealingowi (annealing niskotemperaturowy) utrzymując swój stan krystaliczny. Zaletą tej metody wyznaczania energii aktywacji na termiczną rekrytalizację metamiktytów, jest jej prosty formalizm matematyczny i możliwość zastosowania do pozostałych faz metamiktycznych zawierających żelazo w swoim składzie chemicznym.

➤ **Pierwsze pomiary efektu Mössbauera dla faz metamiktycznych**

Istotnym wynikiem prezentowanego osiągnięcia naukowego było wykonanie pierwszych w ogóle pomiarów metodą spektroskopii mössbauerowskiej faz

metamiktycznych: brannerytu, cerytu, davidytu, gadolinitu, perrierytu, samarskitu i steenstrupinu (2-6). Wyniki obliczonych parametrów nadsubtelnych otrzymanych widm zostały zamieszczone w światowej bazie efektu Mössbauera: Mössbauer Effect Data Center. Gromadzone dane w w/w bazie służą, oprócz celów czysto poznawczych, identyfikacji minerałów we wszystkich rodzajach skał i innych ośrodkach geologicznych wykonywanych metodą spektroskopii mössbauerowskiej. Wielkim sukcesem identyfikacji minerałów z wykorzystaniem tej spektroskopii było wykrycie przez sondy Opportunity i Spirit dużej koncentracji goethytu ( $\text{FeOOH}$ ) w gruncie marsjańskim, wskazującym bezpośrednio na występowanie w przeszłości wody na Marsie. Obie sondy miały na swoim wyposażeniu miniaturowe spektrometry mössbauerowskie MIMOS II. Wraz z rozwojem geologii planetarnej (space geology) i rozwojem technologii wykonania spektrometrów, co raz więcej faz mineralnych będzie mogło być identyfikowanych, niosąc z sobą informację o warunkach fizykochemicznych, w jakich musiały być tworzone.

#### ➤ **Uzyskanie szczegółowego opisu stanu metamiktycznego**

Z obrazów dyfrakcji rentgenowskich proszkowych badanych minerałów wynika, że całkowicie amorficzne (metamiktyczne) w sensie całkowitego braku uporządkowania dalekiego zasięgu są: gadolinit, perrieryt, samarskit i steenstrupin. Do prawie całkowicie metamiktycznych zaliczyć można branneryt i davidyt, ze względu na fakt, że pola pod obserwowanymi kilkunastoma refleksami braggowskimi, wyrażone w CPS (count per second), są bardzo małe. Pozostałe minerały: allanity, ceryt, columbit i wezuwianity są w tym sensie częściowo metamiktyczne (2-8).

- **Obecność składowych dubletów kwadrupolowych związanych z  $\text{Fe}^{2+}$ .** We wszystkich zbadanych fazach metamiktycznych występują składowe  $\text{Fe}^{2+}$ , także w minerałach, dla których w ich krystalicznych odpowiednikach (naturalnych bądź syntetycznych) żelazo na drugim stopniu utlenienia nie występuje (branneryt, davidyt). Efekt ten powinien być obserwowany, ponieważ mobilny wodór migrując w obszarach aperiodycznych (uszkodzonych radiacyjnie) powinien łączyć się z tlenem  $\text{O}^{2-}$  tworząc grupy hydroksylowe  $\text{OH}^-$ . Celem kompensacji ładunku część  $\text{Fe}^{3+}$  powinna być zredukowana do  $\text{Fe}^{2+}$ . Drugim mechanizmem tej redukcji powinien być również proces akceptowania cząstek  $\beta^-$  powstających w rozpadach  $\beta$  w szeregach promieniotwórczych  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$ . Redukcja  $\text{Fe}^{3+}$



do  $\text{Fe}^{2+}$  była dotychczas obserwowana dla metamiktycznych tytanitów. W prezentowanym osiągnięciu naukowym pokazano obecność  $\text{Fe}^{2+}$  dla wszystkich zmierzonych metamiktytów. Przebieg tego procesu jest bardzo dobrze zilustrowany w pracy (5) na przykładzie metamiktycznego davidytu. W widmach mössbauerowskich wygrzewanych w argonie próbek davidytu, obserwuje się spadek udziału składowej żelaza  $\text{Fe}^{2+}$  (dublet 1) przechodząc od próbki niewygrzewanej, do całkowitego zaniku tej składowej dla próbki wygrzanej w 1273 K. Jak wskazuje obraz dyfrakcji rentgenowskiej dla próbki wygrzanej w 1273 K, jest już ona całkowicie krystaliczna.

- **Spadek przesunięcia izomerycznego i wzrost szerokości linii spektralnych ze wzrostem dawki promieniowania  $\alpha$ .** W badanych fazach metamiktycznych (3 i 6) odnotowano wyraźny spadek wartości przesunięcia izomerycznego dla składowych  $\text{Fe}^{2+}$  i wzrost szerokości linii  $\Gamma$  dubletów kwadrupolowych zarówno dla składowych  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$ . Spadek wartości przesunięcia izomerycznego można uzasadnić większym udziałem wiązań kowalencyjnych (powstaniu zhybrydizowanych orbitali  $4(\text{sp}^3\text{d}^2)$ ) pomiędzy  $\text{Fe}^{2+}$  a koordynującymi ligandami (O i OH). Duża szerokość linii spektralnych  $\Gamma$  wraz ze wzrostem zaabsorbowanej dawki  $\alpha$  wynika z nakładania się bardzo wielu składowych pochodzących z pozycji Fe różniących się rozmieszczeniem, w sensie odległości i kątów, koordynujących ligandów na skutek oddziaływań radiacyjnych.
- **Dwa maksima rozkładu pól rozszczepienia kwadrupolowego  $\text{Fe}^{2+}$  dla całkowicie metamiktycznego gadolinitu.** W pracach (3 i 8) przedstawiono po raz pierwszy w literaturze rozkład pól rozszczepienia kwadrupolowego składowych  $\text{Fe}^{2+}$  całkowicie metamiktycznego minerału. Pomiar i obliczenia wykonano dla dwóch próbek z dwóch różnych fragmentów gadolinitu z Ytterby. Obliczone rozkłady QS grupują się wokół dwóch maksimów o wartościach 1.6 mm/s i 2.2 mm/s przy rozkładzie przesunięcia izomerycznego ISD (isomer shift distributions) z wąskim i ostrym maksimum dla wartości 1.02 mm/s (8). Z przedstawionych obliczeń wynika jednoznacznie, że obie generalne pozycje  $\text{Fe}^{2+}$  są w koordynacji oktaedrycznej (LK = 6). Z obliczeń wynika również, że całkowity udział związany z maksimum w 1.6 mm/s wynosi średnio 0.46 a z maksimum w 2.2 mm/s wynosi średnio 0.56. Oznacza to, że 46% oktaedrów  $\text{Fe}^{2+}$  uległo nieznacznej kontrakcji, a 56% ekspansji w sensie odległości międzyatomowych,

w porównaniu do całkowicie krystalicznego odpowiednika. Wynik ten jest znakomitym potwierdzeniem fraktalnego modelu struktury amorficznej opracowanego dla amorficznego krzemianu  $\text{CaSiO}_3$  przez Gaskella i współautorów w 1991. Wymieniony artykuł jest cytowany w pracach **(2, 3 i 8)**. Model ten może być z powodzeniem stosowany w odniesieniu do stanu metamiktycznego.

- **Stabilizacja uranu i toru w fazach metamiktycznych.** Z pomiarów przeprowadzonych z użyciem detektora półprzewodnikowego promieniowania gamma HPGe, wynika, że wszystkie zmierzone całkowicie metamiktyczne minerały okazały się szczelne ze względu na utrzymywanie U i Th w swoich strukturach. Pomimo wieku geologicznego od 280 (davidyt) do 1780 mln lat (gadolinit Ytterby) minerały te zachowały początkową koncentrację U i Th z uwzględnieniem naturalnego spadku koncentracji wynikającego z rozpadów promieniotwórczych. Wnioski takie można wyciągnąć porównując zmierzone koncentracje U i Th z dostępnymi danymi literaturowymi dla wiekowo młodszych naturalnych odpowiedników, bądź faz syntetyzowanych wymagających ścisłej stechiometrii składu. W pracach **(2, 3, 5 i 8)** przedstawiono, że zarówno davidyt jak i gadolinit po wygrzaniu odzyskują pełną strukturę krystaliczną. Wynika to z porównania widm mössbauerowskich, a przede wszystkim refleksów dyfrakcji rentgenowskich, z odpowiednimi wartościami w bazach danych dla minerałów. Gdyby uran i tor na skutek procesów chemicznych w znaczącym stopniu zostały wypłukane z w/w metamiktytów, ich ponowna idealna rekrytalizacja do fazy przed metamiktycznej nie byłaby możliwa. Wypłukanie uranu i toru musiałoby skutkować również ubytkiem części pierwiastków ziem rzadkich ze względu na duże podobieństwo chemiczne. Tego efektu również nie zaobserwowano przy wyznaczaniu koncentracji REE z użyciem mikrosondy elektronowej.
- **Porównanie przebiegu procesu rekrytalizacji całkowicie metamiktycznego gadolinitu w argonie i powietrzu.**

W prezentowanym osiągnięciu naukowym po raz pierwszy przedstawiono i porównano wyniki procesu annealingu tej samej całkowicie metamiktycznej fazy mineralnej wygrzewanej w atmosferze neutralnej i utleniającej.

- Podczas wygrzewania jednogodzinnego w argonie rekrytalizacja metamiktycznego gadolinitu następuje w temperaturze bliskiej 1073 K.** Rysunek Fig. 1 w pracy (2) przedstawia przebieg procesu rekrytalizacji całkowicie metamiktycznego gadolinitu z Ytterby obserwowanego metodą spektroskopii mössbauerowskiej, a rysunek Fig. 2 odpowiadające temu procesowi zmiany dyfraktogramów rentgenowskich odzwierciedlających stopień przywracania uporządkowania dalekiego zasięgu. Wygrzewanie odbywało się w atmosferze argonowej w czasie 1 h dla każdej próbki w zakresie temperatur 873-1473 K. Z połączenia obu tych metod wynika, że próbka wygrzana w 1073 K jest już krystaliczna. Znika charakterystyczne dla stanu metamiktycznego poszerzenie i linie spektralne stają się ostre. Z szerokości obu linii dubletu 1, rysunek Fig. 6 w pracy (2) wynika, że jest to jedna krystalograficzna pozycja  $\text{Fe}^{2+}$ . Następuje rewersja i asymetryzacja składowych tego dubletu rozszczepienia kwadrupolowego wynikająca z przywrócenia struktury krystalicznej. Asymetria dubletu  $\text{Fe}^{2+}$  wynika z efektu Goldanskiego-Kariagina polegającego na anizotropii amplitudy drgań atomu żelaza w danym położeniu sieciowym. Pojawienie się tego efektu spowodowane jest znacznie mniejszą odległością koordynujących tlenów O(5) i O(5') w stosunku do pozostałych tlenów. Geometryczny rozkład atomów tlenu w oktaedrze  $\text{Fe}^{2+}$  został przedstawiony na rysunku Fig. 6 w pracy (3) i rysunku Figure 1 w pracy (8), gdzie symbol prim oznacza tlen z przeciwległej warstwy tetraedrycznej. Pojawienie się asymetrycznego dubletu  $\text{Fe}^{2+}$  jest kolejnym dowodem na przywrócenie pełnej struktury krystalicznej gadolinitu i jego odporności na procesy chemicznego wietrzenia.
- Podczas wygrzewania w powietrzu rekrytalizacja występuje w temperaturze bliskiej 1373 K** a jej cechą charakterystyczną jest pojawienie się składowej  $\text{Fe}^{3+}$  o ekstremalnie dużym rozszczepieniu kwadrupolowym. Cechami charakterystycznymi obserwowanymi w widmach mössbauerowskich i rentgenowskich podczas annealingu całkowicie metamiktycznego gadolinitu w powietrzu są: (a) wyższa o 300 K temperatura, w której następuje rekrytalizacja, (b) pojawienie się, oprócz dubletu  $\text{Fe}^{2+}$  dwóch dubletów  $\text{Fe}^{3+}$ , z których jeden (nr 4, rysunek Figure 5 w pracy (8)) wyróżnia się ekstremalnie wysokim rozszczepieniem kwadrupolowym rzędu 2.50 mm/s, przy wartości przesunięcia

izomerycznego IS = 0.38 mm/s. Dublet ten pochodzi od tej samej pozycji żelaza co Fe<sup>2+</sup>. Wartości wymienionych parametrów nadsubtelnych potwierdzają bardzo duże spłaszczenie koordynującego oktaedru wzdłuż osi O(5)-O(5') (**3 i 8**). Niezwykle interesującym wynikiem annealingu w powietrzu są obserwowane zmiany udziału Fe<sup>3+</sup> w tym procesie. Początkowo od temperatury 873 K udział Fe<sup>3+</sup> wzrasta od 0.3 do 0.54 w 1073 K, a następnie szybko spada osiągając udział 0.16 w temperaturze 1473 K. Tak znacząca redukcja Fe<sup>3+</sup> do Fe<sup>2+</sup>, na stan wiedzy autora, nie była dotychczas notowana dla żadnego minerału wygrzewanego w powietrzu i wydaje się być charakterystyczna tylko dla niektórych minerałów metamiktycznych. Najbardziej prawdopodobnym mechanizmem obserwowanej redukcji wydaje się być kondensacja grup hydroksylowych OH<sup>-</sup> według reakcji:  $2\text{OH}^- - 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ . Dwa elektrony produkowane w tej reakcji mogą redukować Fe<sup>3+</sup> do Fe<sup>2+</sup>. Proponowana reakcja ma silne wsparcie eksperymentalne. Podczas wygrzewania w argonie na wewnętrznych ściankach kwarcowych rurek, w których były umieszczone próbki, kondensowała się w dużych ilościach woda. Efekt był silnie obserwowany począwszy od temperatury 1073 K. Aby doszło do tak znaczącej redukcji Fe<sup>3+</sup> wymagane są znaczące ilości OH<sup>-</sup> dostępne do kondensacji. Ponieważ promień jonowy OH<sup>-</sup> wynosi 0.097 nm, struktura metamiktycznego gadolinitu musi charakteryzować się dużą fraktalnością umożliwiającą nagromadzenie znaczących ilości grup hydroksylowych.

➤ **Mechanizm procesu metamiktyzacji/rekrytalizacji w metamiktycznych krzemianach i tlenkach**

**Mechanizm metamiktyzacji/rekrytalizacji całkowicie metamiktycznego REE<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup>Be<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>10</sub> zawiera translacje i rotacje tetraedrów SiO<sub>4</sub> i BeO<sub>4</sub>.** Z wyników przedstawionych w publikacjach omawiających rekrytalizację metamiktycznego gadolinitu (**2, 3 i 8**) wynika, że zasadniczymi mechanizmami powodującymi metamiktyzacją/rekrytalizację krzemianów są translacje i rotacje tetraedrów SiO<sub>4</sub> (w gadolinicie dodatkowo tetraedry BeO<sub>4</sub>), jako jednostek strukturalnych o najsilniejszych wiązaniach. W przypadku procesu metamiktyzacji obroty i przesunięcia tetraedrów SiO<sub>4</sub> pod wpływem ciężkich jąder odrzutu powodują zmianę odległości międzyatomowych, kierunkowości, długości i kątów wiązań w

przyległych warstwach oktaedrycznych i wielościanach o wyższej liczbie koordynacyjnej, w jakich zwykle lokowane są lantanowce uran i tor. Prowadzi to do utraty uporządkowania dalekiego zasięgu. Jednocześnie, wraz ze wzrostem zaabsorbowanej dawki  $\alpha$ , struktury krzemianów stają się bardziej otwarte (fraktalne) i mobilny atmosferyczny wodór może wnikać znacząco w strukturę prowadząc do tworzenia grup hydroksylowych w obszarach uszkodzeń radiacyjnych. Po zaabsorbowaniu pewnej krytycznej dawki promieniowania  $\alpha$ , około  $10^{16}$   $\alpha$ -rozpadów/mg dla krzemianów, struktura staje się całkowicie amorficzna z charakterystycznym przełamec muszlowym i szklistym połyskiem. W przypadku termicznej rekrytalizacji, tetraedry  $\text{SiO}_4$  powracają do swoich krystalograficznych pozycji z jednoczesnym przywróceniem prawidłowych odległości międzyatomowych, kierunkowości, długości i kątów wiązań w warstwach oktaedrycznych i wielościanach koordynujących ziemie rzadkie i aktynowce. Z procesem annealingu związane jest również usuwanie ze struktury grup hydroksylowych w postaci  $\text{H}_2\text{O}$ .

Dla metamiktycznych tlenków, których przykładem w niniejszym osiągnięciu naukowym jest davidyt  $(\text{La,Ce,Ca,Th})(\text{Y,U,Fe})(\text{Ti,Fe,Mn})_{20}(\text{O,OH})_{38}$ , mechanizm metamiktyzacji/rekrytalizacji wydaje się być generalnie podobny jak w metamiktycznych krzemianach, co jest widoczne w widmach mössbauerowskich rekrytalizowanego davidytu prezentowanych w publikacji **(5)**. Tlenki charakteryzują się znacznie gęstszym upakowaniem niż krzemiany, nie zawierają tetraedrów  $\text{SiO}_4$  (w przypadku davidytu zawierają tetraedry z kationem  $\text{Ti}^{4+}$ ) a podstawowymi jednostkami strukturalnymi dla kationów są oktaedry dopiero w następnej kolejności wielościany o większej liczbie koordynacyjnej. Rozpady promieniotwórcze będą zatem powodować mniejszą niż w krzemianach fraktalność struktury a przesunięciu i rotacji ulegać będą głównie oktaedry. Ze struktury tlenków wynika również, że do ich całkowitej metamiktyzacji wymagana będzie znacznie większa liczba wewnętrznych rozpadów promieniotwórczych niż dla krzemianów. Zmiany strukturalne w fazach metamiktycznych są powodowana przesunięciami i rotacją całych jednostek strukturalnych, jakimi są tetraedry oktaedry i inne wielościany koordynacyjne, a nie defektami punktowymi, jak ma to miejsce w przypadku naturalnych minerałów sztucznie napromieniowanych wiązkami ciężkich jonów. Mechanizmy amorfizacji/rekrytalizacji są w tych przypadkach całkowicie różne.

**Dawki wymagane na całkowitą metamiktyzację są znacznie większe dla tlenków niż dla krzemianów.** Z wyników zamieszczonych w publikacjach (3-8) wynika, że dawka promieniowania  $\alpha$  potrzebna na całkowitą metamiktyzację jest na ogół znacznie większa dla minerałów z gromady tlenków niż dla minerałów z gromady krzemianów. Columbit przy dawce  $1.9 \times 10^{16}$   $\alpha$ -rozpadów/mg jest całkowicie krystaliczny (4), a dla brannerytu przy dawce  $2.0 \times 10^{18}$   $\alpha$ -rozpadów/mg obserwuje się jeszcze w obrazach dyfrakcji rentgenowskiej nieliczne refleksy braggowskie świadczące jednak o istnieniu resztkowej pozostałości uporządkowania dalekiego zasięgu (6). W grupie krzemianów allanit Franklin przy dawce  $1.8 \times 10^{15}$   $\alpha$ -rozpadów/mg jest już częściowo metamiktyczny (7), perrieryt przy dawce  $3.4 \times 10^{16}$   $\alpha$ -rozpadów/mg jest już prawie metamiktyczny (6), a gadolinit jest całkowicie metamiktyczny przy dawce  $1.07 \times 10^{16}$   $\alpha$ -rozpadów/mg (8). Wśród badanych tlenków całkowicie metamiktycznym jest samarskit, dla którego obliczona dawka wynosi  $7.1 \times 10^{17}$   $\alpha$ -rozpadów/mg (6). Z porównania wymienionych dawek wynika, że wymagana dawka amorfizacyjna dla tlenków jest przynajmniej rząd wielkości większa niż dla krzemianów.

Pomimo bardzo dużej wewnętrznie zaabsorbowanej dawki promieniowania alfa, rzędu  $10^{15}$ - $10^{18}$   $\alpha$ -rozpadów/mg masy minerału, i wieku od 270-1800 mln lat, w żadnym z tych minerałów nie zaobserwowano zmian koordynacji żelaza w stosunku do krystalicznych odpowiedników.

➤ **Zmiany właściwości elektrycznych całkowicie metamiktycznego rekrytalizowanego gadolinitu ( $\text{REE}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ )**

W pracy (9) przedstawiono pierwsze szczegółowe badania zmian właściwości elektrycznych całkowicie metamiktycznego minerału w funkcji temperatury wygrzewania w atmosferze argonowej. Pomiar przeprowadzono w zakresie częstotliwości prądowych 0.1, 1, 10, 20 i 100 kHz.

- **Wzrost przewodnictwa elektrycznego.** Przewodnictwo elektryczne dla próbek wygrzanych w 1273 i 1373 K, w przybliżeniu stałoprądowym  $f = 0.1$  kHz przy zmianie temperatury od 200 do 650 K, wzrasta o 6 rzędów wielkości od  $10^{-9}$  do  $10^{-3}$   $\text{Sm}^{-1}$ .

- **Jonowy charakter przewodnictwa.** Z pomiarów czasów relaksacji przewodnictwa elektrycznego wynika, że w zakresie temperatur 400-600 K przewodnictwo ma charakter jonowy, którymi w tym przypadku są grupy OH<sup>-</sup>. Obliczone energie aktywacji na przewodnictwo elektryczne wynoszą odpowiednio 0.47 i 0.63 eV w zakresie temperatur 400-450 K i 500-600 K. Różnica wynika z przejścia od przewodnictwa wewnątrz obszarów aperiodycznych do przewodnictwa w szerokich granicach pomiędzy tymi obszarami, rysunek Fig. 1B w pracy (9).
- **Przeskoki polaronowe.** Wyznaczone energie aktywacji na przewodnictwo elektryczne w temperaturach 270-320 K mieszczą się w zakresie 0.20-0.29 eV, wskazując na elektrony z rozpadów β<sup>-</sup> jako nośniki ładunków. Transport ładunku odbywa się poprzez przeskoki polaronowe o zmiennym zasięgu, VRH (variable range hopping of small polaron), którego można było oczekiwać w fazie metamiktycznej.
- Wyznaczenie gęstości stanów elektronowych. Obliczone gęstości stanów elektronowych blisko poziomu Fermiego  $N(E_F)$  charakteryzują się wysokimi wartościami osiągając maksimum dla próbki wygrzanej w 1003 K,  $N(E_F) = 3.6 \times 10^{24} \text{ m}^{-3} \text{ eV}^{-1}$ . Próbka wygrzana w 1003 K reprezentuje stan przejściowy pomiędzy amorficzną (metamiktyczną) a krystaliczną fazą gadolinitu.

Rezultaty otrzymane w ramach prezentowanego osiągnięcia naukowego mogą mieć praktyczne zastosowanie w problematyce składowania odpadów promieniotwórczych, jak i innych zagadnieniach z pogranicza geofizyki, mineralogii i nauki o materiałach. Przykładem mogą być wyniki otrzymane w pracy (9) "Electrical properties of annealed, fully metamict REE<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup>Be<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>10</sub>". Streszczenia tego artykułu w formie online zostało zamieszczone na jednej z największych stron internetowych dedykowanych odnawialnym źródłom energii: Renewable Energy - Global Innovations (<http://reginnovations.com/>). Podobnie, wyniki artykułu D. Malczewski, 2002, "<sup>57</sup>Fe Mössbauer study of one-hour annealing in argon of radiation damage in metamict gadolinite from Ytterby" zamieszczonego w Hyperfine Interactions zostały omówione w światowej monografii E. Murad, J.Cashion "Mössbauer Spectroscopy of Environmental Materials and their Industrial Utilization" wydawnictwa Kluwer Academic Publishers (2004).

## **Udział w dużych projektach zespołowych w zakresie badań radiacyjnych**

W latach 2000 - 2005 zorganizowałem Pracownię Promieniotwórczości Naturalnej przy Zakładzie Geofizyki Stosowanej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, której oficjalna działalność rozpoczęła się w styczniu 2005 roku. Od początku istnienia Pracowni pod moim kierunkiem prowadzonych było i kontynuowanych jest szereg zaawansowanych projektów z zakresu geofizyki jądrowej, czyli działu geofizyki wykorzystującej detektory promieniowania jądrowego w pomiarach ośrodków geologicznych. Pierwszymi wykonanymi badaniami były pomiary *in situ* skał krystalicznych bloku karkonosko-izerskiego oraz paleozoicznych skał magmowych i osadowych obrzeżenia rowu krzeszowickiego z użyciem przenośnego systemu spektrometrycznego promieniowania gamma. Badanie te były pierwszymi w Polsce pomiarami promieniotwórczości skał wykonanymi w warunkach *in situ* z użyciem detektora półprzewodnikowego. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do napisania pierwszych prac magisterskich i jednej pracy doktorskiej z tej tematyki na Wydziale Nauk o Ziemi UŚ, jak i również publikacji D. Malczewski, L. Teper, J. Dorda (2004) "Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradów Zdrój in Sudetes, Poland, by *in situ* gamma-ray spectrometry" zamieszczonej w Journal of Environmental Radioactivity.

Od roku 2004 w ścisłej współpracy z dr hab. Jerzym Żabą kierownikiem Katedry Geologii Podstawowej WNoZ rozpocząłem systematyczne pomiary promieniotwórczości skał sudeckich w warunkach *in situ* oraz laboratoryjnych. Dotychczasowe pomiary objęły Góry Izerskie, Góry Sowie, Góry Kaczawskie i Góry Opawskie. Celem tych pomiarów jest zwarte opracowanie promieniotwórczości skał Sudeckich z jednoczesną aktualizacją danych zamieszczonych w podręcznikach akademickich. W roku 2005 wykonałem serię pomiarów koncentracji izotopów radonu  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{220}\text{Rn}$  w powietrzu glebowym bloku karkonosko-izerskiego. Pomiary te były pierwszymi po roku 1954 pomiarami bezpośrednimi koncentracji radonu w powietrzu glebowym tego obszaru, które były wówczas wykonywane celem lokalizacji złóż uranu. Wyniki tych pomiarów zostały przedstawione w obszernej publikacji D. Malczewski, J. Żaba (2006) " $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  concentrations in soil gas of Karkonosze-Izera Block (Sudetes, Poland)" zamieszczonej w Journal of Environmental Radioactivity. Znaczącym rezultatem tych badań było określenie



zmienności koncentracji radonu  $^{222}\text{Rn}$  względem głębokości sondowania. Funkcje określające koncentracje radonu wraz z głębokością sondowania na terenie złoża uranu, strefie uskokowej z mineralizacją uranową i strefie uskokowej bez mineralizacji, są wyraźnie różne. Może to stanowić podstawę metody poszukiwania i odróżniania tych stref z wykorzystaniem pomiarów koncentracji radonu.

W latach 2006-2009 uczestniczyłem w projekcie ILIAS/TARI (Integrated Large Infrastructures for Astroparticle Physics/Transnational Acces to the EU Deep Underground Laboratories) w ramach VI Ramowego Programu Europejskiego. Propozycję uczestnictwa w projekcie otrzymałem od prof. dr hab. Jana Kisiela z Instytutu Fizyki UŚ koordynatora tego projektu na Uniwersytecie Śląskim. W ramach projektu ILIAS/TARI wykonałem pomiary naturalnego tła radiacyjnego promieniowania gamma w największych europejskich podziemnych laboratoriach do badania cząstek elementarnych: Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Włochy), Laboratoire Souterrain, Modane (Francja) oraz Institute of Underground Science, Boulby Mine (Anglia). Przy użyciu przenośnego systemu spektrometrycznego promieniotwórczości gamma wykonywałem również pomiary rdzeni elektromagnesów w CERN (Francja/Szwajcaria) przeznaczonych do eksperymentów neutrinowych. Efektem tych pomiarów były raporty cząstkowe przekazywane koordynatorowi pomiarów radiacyjnych projektu ILIAS,/TARI oraz publikacje. Pobyt w wiodących europejskich laboratoriach był dla mnie bardzo cennym doświadczeniem i pozwolił mi zapoznać się z najnowszymi eksperymentami w fizyce cząstek elementarnych mających również ścisły związek z najmłodszą dziedziną geofizyki, jaką jest geofizyka neutrin (neutrino geophysics).

### **Dorobek naukowy**

Wyniki prowadzonych przeze mnie badań publikowałem systematycznie w znaczących czasopismach krajowych i zagranicznych. Łącznie jestem autorem lub współautorem 28 publikacji w tym 19 w czasopismach z listy filadelfijskiej. W osiemnastu z nich jestem pierwszym autorem. Byłem również autorem czterech raportów z projektu ILIAS/TARI. Uczestniczyłem w siedemnastu konferencjach międzynarodowych i sześciu ogólnopolskich. Jestem, bądź byłem recenzentem w czasopismach: American Mineralogist, Applied Radiation and Isotopes, Hyperfine Interactions, Journal of Applied Physics, Journal of Environmental Radioactivity,

Journal of Physics and Chemistry of Solids, Physics and Chemistry of Minerals oraz w Przeglądzie Geologicznym.

### **Udział w konferencjach międzynarodowych**

**1. Nazwa konferencji: XXXIV Zakopane School of Physics**

**Miejsce i czas:** Zakopane, 09-15 maj 1999

**Organizator:** Uniwersytet Jagielloński, Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego w Krakowie

**Referat:** "Mössbauer study of annealing of radiation damage in natural  $\text{REE}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ "

**2. Nazwa konferencji:** Polish-Czech-Slovakien Symposium on Mining Geophysics

**Miejsce i czas:** Nidzica, 11 - 13 czerwca 2001

**Organizator:** Uniwersytet Śląski

**Referat:** "Metamict state. Implication for stabilization and immobilization of nuclear high-level waste (HLW)"

**3. Nazwa konferencji:** International Conference on the Application of the Mössbauer Effect ICAME 2001

**Miejsce i czas:** Oxford, Wielka Brytania, 02-07 września 2001

**Organizator:** Oxford University

**Referat:** " $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer study of annealing of radiation damage in metamict gadolinites"

**4. Nazwa konferencji:** Eleventh International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials RQ11

**Miejsce i czas:** Oxford, Wielka Brytania, 25-30 sierpnia 2002

**Organizator:** Oxford University

**Prezentacja posterowa:** "Precambrian glass - gadolinite from Ytterby"

**5. Nazwa konferencji: XXXVIII Zakopane School of Physics**

**Miejsce i czas:** Zakopane, 14-19 maj 2003

**Organizator:** Uniwersytet Jagielloński, Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego

**Referat:** "In situ gamma – ray spectroscopy in typical rocks of Świeradów Zdrój Vicinity (Sudetes, Poland)"

**6. Nazwa konferencji:** Seventh International Symposium on Crystallisation in Glasses and Liquids

**Miejsce i czas:** Sheffield, Wielka Brytania, 06-09 lipca 2003.

**Organizator:** University of Sheffield

**Referat:** "Structural analysis of radiation damage in Precambrian gadolinite: implications for immobilization of nuclear waste"

**7. Nazwa konferencji:** International Conference on Fabrication and Properties of Metallic Nanomaterials

**Miejsce i czas:** Warszawa, 17-19 czerwca 2004

**Organizator:** Politechnika Warszawska

**Referat:** "Characterization of amorphous state of  $\text{Ree}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$  by Mössbauer spectroscopy, EPR, TEM, XRD, gamma - ray spectrometry and dielectric permittivity spectroscopy"

- 8. Nazwa konferencji:** International Conference on the Applications of the Mossbauer Effect  
**Miejsce i czas:** Montpellier, Francja, 05-09 września 2005  
**Organizator:** Universite Montpellier II  
**Referat:** "<sup>57</sup>Fe mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction study of some complex metamict minerals"
- 9. Nazwa konferencji:** "The 1st Boulby Underground Science Workshop  
**Miejsce i czas:** York, England, 20-23 październik 2006  
**Organizator:** University of Sheffield  
**Referat:** "ILIAS/TARI inter - laboratory background comparisons"
- 10. Nazwa konferencji:** "XXXI. Czech-Polish-Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics  
**Miejsce i czas:** Janov nad Nisou, Czechy 24-27 wrzesnia 2007  
**Organizator:** Geological Institute Academy of Sciences of the Czech Republic  
**Referat:** "Radon concentrations in soil gas of Izera Block, (Sudetes, Poland)"
- 11. Nazwa konferencji:** "International Conference on The Applications of the Mössbauer Effect  
**Miejsce i czas:** Kanpur, Indie, 14-19 październik 2007.  
**Organizator:** Indian Institute of Technology Kanpur  
**Prezentacja posterowa:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction study of complex metamict minerals. Part II"
- 12. Nazwa konferencji:** "EGU General Assembly 2008"  
**Miejsce i czas:** Wiedeń, Austria, 13-18 kwietnia 2008  
**Organizator:** European Geosciences Union  
**Referat:** "<sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn concentrations in soil gas of Izera Block, (Sudetes, Poland)"
- 13. Nazwa konferencji:** "XI Latin American Conference on the Applications of the Mössbauer Effect"  
**Miejsce i czas:** La Plata, Argentyna, 09-14 listopada 2008  
**Organizator:** Universidad Nacional de La Plata  
**Referat:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy of radiation damaged samarskites and gadolinites"
- 14. Nazwa konferencji:** ILIAS Sixth Annual Meeting  
**Miejsce i czas:** Drezno, Niemcy, 16-20 luty 2009  
**Organizator:** Technische Universität Dresden  
**Prezentacja prac:** TA Deep Underground Science Laboratories (TA-DUSL) report.  
Referat wygłoszony przez L. Pandola (INFN Gran Sasso) jako kierownika grupy pomiarów radiacyjnych. Dariusz Malczewski współautor wystąpienia.
- 15. Nazwa konferencji:** XXXII.Polish-Czech-Slovak Symposium on Mining and Environmental Geophysics  
**Miejsce i czas:** Piechowice, 20-22 maj 2009  
**Organizator:** Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Katedra Geologii Stosowanej; Instytut Geofizyki PAN  
**Referat:** Inter-Laboratory Background Comparisons (Boulby – Modane – Gran Sasso)
- 16. Nazwa konferencji:** International Conference on Failure Analysis  
**Miejsce i czas:** Cambridge, Wielka Brytania, 04-08 lipca 2010  
**Organizator:** Cambridge University  
**Referat:** "Mössbauer spectroscopy of the metamict state: implications for stabilization and immobilization of nuclear high-level waste"

**17. Nazwa konferencji:** Meeting of the Mineralogical Society of Poland

**Miejsce i czas:** Bukowina Tatrzańska, 21-23 październik 2011

**Organizator:** Mineralogical Society of Poland

**Referat:** "<sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn emanations from metamict minerals"

### **Udział w konferencjach krajowych**

**1. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2002

**Miejsce i czas:** Lublin, 27-29 maj 1996

**Organizator:** Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Politechnika Lubelska

**Prezentacja pracy:** "Identification of ferruginous minerals in basalt from Kaczawa Mountains region by Mössbauer spectroscopy". Referat wygłoszony przez L. Komrausa z Instytutu Fizyki UŚ. Dariusz Malczewski współautor wystąpienia.

**2. Nazwa konferencji:** V Szkoła Fizyki Mineralów

**Miejsce i czas:** Wrocław – Sobótka, 26-28 września 1996

**Organizator:** Uniwersytet Wrocławski

**Referat:** "Przedstawienie wyników uzyskanych metodą spektroskopii mössbauerowskiej dla próbek stilpnomelanu"

**3. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 1998

**Miejsce i czas:** Sobótka-Górka, 08–10 czerwca 1998

**Organizator:** Polska Akademia Nauk, Uniwersytet Wrocławski

**Referat:** " Mössbauer studies of fully metamict gadolinite annealed in air"

**4. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2000

**Miejsce i czas:** Radom – Zbożenna, 12–14 czerwca 2000

**Organizator:** Politechnika Radomska

**Referat:** "Determination of the activation energy of annealed metamict gadolinite from Mössbauer spectroscopy"

**5. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2002

**Miejsce i czas:** Białystok – Goniądz, 09-12 czerwca 2002

**Organizator:** Uniwersytet Białostocki

**Referat:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction study of gadolinite REE<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup>Be<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>10</sub> from Lower Silesia (Poland) and Ytterby (Sweden)"

**6. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2004

**Miejsce i czas:** Wisła, 06-09 czerwca 2004

**Organizator:** Uniwersytet Śląski

**Referat:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer study of stilpnomelane and associated chlorite from Polish granite pegmatites"

**7. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2006

**Miejsce i czas:** Koszęcin, 18-21 czerwca 2006

**Organizator:** Politechnika Częstochowska

**Referat:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy of annealed metamict davidite"

**8. Nazwa konferencji:** Ogólnopolskie Seminarium Spektroskopii Mössbauerowskiej OSSM 2008

**Miejsce i czas:** Koninki, 08-11 czerwca 2008

**Organizator:** Akademia Pedagogiczna w Krakowie, Uniwersytet Jagielloński

**Referat:** "<sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopy of radiation damaged allanites"

**9. Nazwa konferencji:** II Ogólnopolskie Warsztaty Geofizyczne GEO-SFERA 2009

**Miejsce i czas:** Sosnowiec, Sławków, 22-26 kwietnia 2009

**Organizator:** Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Katedra Geologii Stosowanej

**Referat:** "Wykorzystanie metod spektroskopii promieniowania jądrowego w geofizyce"

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Zurawski', written in a cursive style with a long horizontal stroke at the bottom.