

Martyna JAKUBOWSKA¹, Aleksandra BUCZEK¹, Katarzyna GWIŹDZIEL¹,
Adam DJELLOULI¹, Filip NOWAK¹, Marek WOŹNIAK², Jolanta GAŁĄZKA-FRIEDMAN¹,
Łukasz KARWOWSKI³, Przemysław DUDA¹

Badania mössbauerowskie trzech chondrytów zwyczajnych typu H i trzech chondrytów zwyczajnych typu LL – wyznaczanie niepewności powierzchni spektralnych

Mössbauer studies of three ordinary chondrites type H and three ordinary
chondrites type LL – uncertainty of the determination of spectral areas

Abstract: Mössbauer ^{57}Fe measurements of three ordinary chondrites type H and of three ordinary chondrites type LL were performed at room temperature. The spectral areas were fitted using the “Recoil” program (Lagarec i in. 1998). Fitting was repeated three times which allowed us to determinate the differences between the results of fits performed by different persons.

Keywords: Mössbauer spectroscopy, ordinary chondrites, Buzzard Coulee, Bassikounou, Zag, NWA 6287, Kilabo, NWA 4841

Wstęp

W artykule Martyny Jakubowskiej p.t. „Badania mössbauerowskie trzech chondrytów zwyczajnych typu L (Beni M’Hirra, Hyatville, Saratow) – wyznaczanie niepewności powierzchni spektralnych” opublikowanym w niniejszym numerze Acta (Jakubowska 2019), do oszacowania niepewności procentowości podwidm zastosowana była metoda analizy powtórnych pomiarów tej samej próbki meteorytów. W przedstawianym obecnie artykule będziemy zajmowali się szacowaniem niepewności powierzchni spektralnych chondrytów zwyczajnych typu H i LL. Wybranie takich właśnie próbek do analizy spowodowane jest różnicami w widmach mössbauerowskich fazy metalicznej występującymi w chondrytach zwyczajnych typu H i LL. W widmach mössbauerowskich chondrytów typu H średnia procentowość fazy metalicznej wynosi $17,3 \pm 1,5\%$. Podwidmo fazy metalicznej jest

¹ Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa; e-mail: jakubowska@if.pw.edu.pl

² Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Miecznikowa 1, 02-096 Warszawa

³ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

bardzo dobrze zaznaczone. W niektórych próbkach, oprócz sygnału pochodzącego od kamacytu, można zaobserwować sygnał pochodzący od taenitu. W widmach mössbauerowskich chondrytów typu LL średnia procentowość fazy metalicznej wynosi $1,2 \pm 0,4\%$. Podwidmo fazy metalicznej jest słabo zaznaczone. Dla niektórych próbek meteorytów typu LL sygnał od fazy metalicznej jest na granicy detekcji. Jednoznaczna identyfikacja rodzajów stopów żelaza oraz siarczków żelaza obecnych w tych chondrytach bywa czasami niemożliwa. W niniejszej pracy postanowiliśmy zastosować metodę powtórnych fitów tego samego pomiaru próbek badanych meteorytów. Zestawienie wyników dla chondrytów zwyczajnych typu H i LL powinno uwypuklić różnice w określaniu niepewności powierzchni spektralnych.

Opis meteorytów

Do badań wybrano dwa rodzaje chondrytów zwyczajnych H i LL. Należą one do jednej klasy, która jest opisywana składem mineralnym oliwinów i piroksenów. Oliwiny i pirokseny w typie H charakteryzują się małym udziałem fajalitu i ferrosilitu, odpowiednio 16–20 mol.% i 14–20 mol.%. W typie LL proporcje te wynoszą: 26–32 mol.% fajalitu i 32–40 mol.% ferrosilitu (Hutchison 2006; Norton 2002). Drugim istotnym składnikiem różniącym oba typy jest średnia zawartość fazy metalicznej (stopu FeNi). Chondryty zwyczajne typu H charakteryzują się dużym udziałem fazy metalicznej średnio 15–19 wt.%, w typie LL jest jej zdecydowanie mniej – 1–3 wt.%.

Badane meteoryty typu H to udokumentowane spadki.

- **Bassikounou** – chondryt zwyczajny H5 o stopniu zwietrzenia W0. Spadek w październiku 2006 roku w Mauretanii, zebrano kilkadziesiąt okazów o sumarycznej wadze kilkudziesięciu kilogramów. Meteoryt spadł w słabo zaludnionym terenie. Dzięki zaangażowaniu europejskich dealerów meteorytów udało się zebrać większość okazów. Przy opracowaniu danych dotyczących tego spadku posłużono się nowatorską metodą określenia miejsca pochodzenia okazów – na podstawie resztek gleby i roślin znajdujących się na skorupach okazów udało się określić prawdopodobne miejsca, gdzie spadły one na Ziemię (Buhl i in. 2007).
- **Buzzard Coulee** – chondryt zwyczajny H4 o stopniu zwietrzenia W0. W listopadzie 2008 roku obserwowano nad Kanadą bolid, którego przelot zarejestrowały m.in. kamery stacji bolidowych i stacje sejsmiczne. Na podstawie tych obserwacji wyznaczono rejon spadku meteorytów. Przed nadchodzącymi obfitymi opadami śniegu udało się zebrać ponad 100 okazów o łącznej wadze ponad 40 kg. Warto zaznaczyć, że prawo kanadyjskie zakazuje wywozu krajowych meteorytów za granicę bez urzędowego zezwolenia.
- **Zag** – chondryt zwyczajny typu H3-6 (brekcja regolitowa), o stopniu zwietrzenia W0/1. Nie jest znana dokładna data spadku, ale miało to miejsce w sierpniu 1998 roku w Maroku w okolicach miejscowości Zag. Okazy tego meteorytu są lekko zwietrzałe. Ciekawostką związaną z tym meteorytem jest

fakt znajdowania w nim makroskopowych kryształów halitu. Kryształy te mają niebieską barwę wywołaną działaniem promieniowania kosmicznego na meteoroid (ciało macierzyste meteorytu Zag) (Zolensky i in. 1999).

Trzy badane meteoryty typu LL to spadek Kilabo i dwa typowe znaleziska z terenów Afryki północnej. Trudniej jest o świeży materiał do zebrania, gdyż chondrytów zwyczajnych typu LL spada średnio niecałe 8%, natomiast typu H aż 32%.

- **Kilabo** – chondryt zwyczajny typu LL6 o stopniu zwietrzenia W0. Spadek 21 czerwca 2002 roku w Nigerii. Największy znaleziony okaz wybił w piaszczystej glebie mały krater, zebrano w sumie 19 kg okazów i fragmentów. Ciekawostką tego spadku jest fakt, że tego samego dnia w odległym Lesoto spadł chondryt zwyczajny H4/5 Thuathe. W historii odnotowano tylko 13 takich przypadków, że tego samego dnia spadły dwa różne meteoryty (www.woreczko.pl).
- **NWA 4841** – chondryt zwyczajny typu LL5 o stopniu zwietrzenia W2. W 2008 roku sklasyfikowano jeden okaz o wadze 1 kg znaleziony na pustyniach Afryki Północnej.
- **NWA 6287** – chondryt zwyczajny typu LL5 o stopniu zwietrzenia W1. W 2011 roku sklasyfikowano jeden okaz o wadze 4,43 kg znaleziony na pustyniach Afryki Północnej.

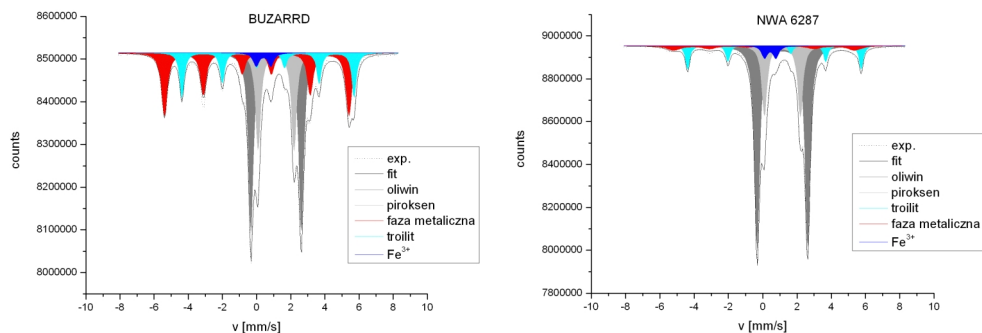
Wyniki i dyskusja

Na rycinach 1, 2 i 3 przedstawione są widma mössbauerowskie chondrytów zwyczajnych typu H i LL. Na Rycinie 1 – Buzzard Coulee (H) i NWA 6287 (LL), na rycinie 2 – Bassikounou (H) i Kilabo (LL), na rycinie 3 – Zag (H) i NWA 4841 (LL). Zestawienia na jednej rycinie widm mössbauerowskich chondrytów zwyczajnych typu H i LL dokonano celowo. Można łatwo zauważyć, że odróżnienie typu H i LL jest możliwe nawet bez numerycznego opracowania wyników pomiarów. W widmach mössbauerowskich chondrytów typu H dominują sekstety związane z fazą metaliczną żelaza i troilem. W typie LL sekstet fazy metalicznej jest prawie niewidoczny, a linie związane z troilem mają bardzo małą intensywność.

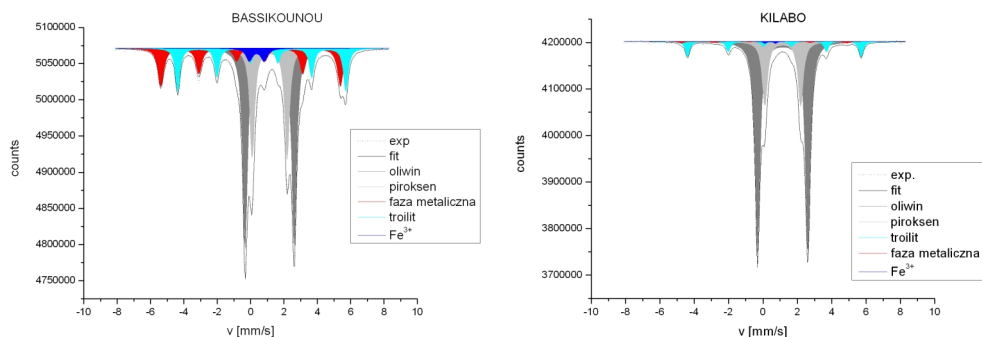
W tabelach 1 i 2 umieszczone są wyniki trzech różnych fitów. Kolumny Fit I, Fit II i Fit III zawierają w sobie wyniki procentowości widm spektralnych otrzymane w trzech niezależnych opracowaniach, wykonywanych przez trzy różne osoby. Następne kolumny zawierają w sobie różnice między wynikami kolejnych fitów (dokładniej wartości modułów różnic), wyrażoną w punktach procentowych.

Dla chondrytów zwyczajnych typu H różnice w procentach powierzchni faz mineralnych wyniosły do 1,5%. Największe różnice otrzymaliśmy dla meteorytu Zag dla piroksenu – 1,5% oraz oliwinu – 1,3%. Najmniejsze różnice powierzchni wystąpiły dla meteorytu Buzzard Coulee (do 0,3%). W większości przypadków, dla każdego meteorytu, otrzymano zerowe wartości błędów bezwzględnych dla fazy metalicznej. Największe błędy względne otrzymano dla Fe^{3+} .

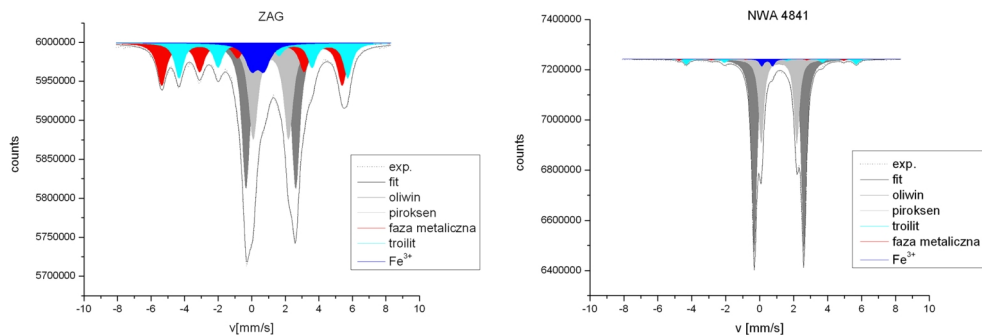
Dla chondrytów zwyczajnych typy LL najmniejsze różnice w procentowym dopasowaniu faz mineralogicznych wystąpiły dla meteorytu Kilabo (do 0,7%), a największe dla NWA 4841 (do 1,3%). W przypadku meteorytu Kilabo dla troilitu oraz Fe^{3+} otrzymaliśmy dla niezależnych fitów takie same wyniki.



Ryc. 1. Widna mössbauerowska meteorytu Buzzard Coulee oraz NWA 6287.



Ryc. 2. Widna mössbauerowska meteorytu Bassikounou oraz Kilabo.



Ryc. 3. Widna mössbauerowska meteorytu Zag oraz NWA 4841.

Tabela 1. Meteoryty typu H – porównanie wyników procentowości powierzchni podwidm (%) dla trzech różnych fitów.

Meteoryt	Faza mineralogiczna	Fit I	Fit II	Fit III	Fit I – Fit II	Fit I – Fit III	Fit II – Fit III
Buzzard Coulee	Oliwin	34,0	33,7	33,9	0,3	0,1	0,1
	Piroksen	18,6	18,7	18,9	0,1	0,3	0,2
	Faza metaliczna	28,5	28,5	28,5	0,0	0,0	0,0
	Troilit	16,0	16,0	16,0	0,0	0,0	0,0
	Fe ³⁺	3,0	3,1	2,9	0,1	0,2	0,3
Bassikounou	Oliwin	39,6	39,4	40,3	0,1	0,7	0,8
	Piroksen	21,6	21,9	22,2	0,2	0,6	0,4
	Faza metaliczna	18,4	18,4	18,2	0,0	0,1	0,1
	Troilit	16,9	16,9	16,4	0,0	0,4	0,4
	Fe ³⁺	3,6	3,5	2,8	0,1	0,8	0,7
Zag	Oliwin	33,3	32,0	32,7	1,3	0,6	0,7
	Piroksen	21,7	23,2	22,4	1,5	0,7	0,8
	Faza metaliczna	21,0	21,1	21,0	0,0	0,1	0,1
	Troilit	16,1	16,1	16,0	0,0	0,1	0,1
	Fe ³⁺	7,9	7,6	8,1	0,2	0,2	0,4

Tabela 2. Meteoryty typu LL – porównanie wyników procentowości powierzchni podwidm (%) dla trzech różnych fitów.

Meteoryt	Faza mineralogiczna	Fit I	Fit II	Fit III	Fit I – Fit II	Fit I – Fit III	Fit II – Fit III
NWA 6287	Oliwin	57,2	57,3	57,6	0,1	0,4	0,3
	Piroksen	20,0	20,1	19,8	0,1	0,2	0,3
	Faza metaliczna	7,6	7,5	6,5	0,1	1,1	1,0
	Troilit	11,2	11,3	11,9	0,1	0,7	0,6
	Fe ³⁺	4,0	3,9	4,2	0,1	0,2	0,3
Kilabo	Oliwin	67,5	67,6	67,1	0,1	0,4	0,5
	Piroksen	22,4	22,0	22,7	0,4	0,3	0,7
	Faza metaliczna	1,0	1,2	1,0	0,2	0,0	0,2
	Troilit	8,8	8,8	8,8	0,0	0,0	0,0
	Fe ³⁺	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
NWA 4841	Oliwin	64,5	63,8	64,9	0,7	0,4	1,1
	Piroksen	28,9	29,5	28,2	0,6	0,7	1,3
	Faza metaliczna	0,8	0,8	0,6	0,0	0,2	0,2
	Troilit	3,5	3,9	2,9	0,4	0,6	1,0
	Fe ³⁺	2,4	2,1	3,4	0,3	1,0	1,3

Wnioski

Wyniki przedstawianej pracy wykazują, że wartości procentowości powierzchni poszczególnych podwidm spektralnych otrzymanych z niezależnych fitów pomiarów mössbauerowskich chondrytów zwyczajnych na ogół różnią się. Są to różnice w przedziale od 0,0 do 1,5 punktu procentowego. Tak małe różnice nie mają jednak wpływu na próby wykorzystania danych mössbauerowskich do odróżniania chondrytów zwyczajnych typu H od chondrytów zwyczajnych typu LL.

Literatura

- Buhl S., Baermann M., 2007, *The Bassikounou Meteorite Fall – Descriptive Catalog of the Recovered Masses*, col. 1 until June 20, 2007.
- Hutchison R., 2006, *Meteorites. A Petrologic, Chemical and Isotopic Synthesis*, Series: Cambridge Planetary Science (no. 2); Cambridge University Press; pp. 520.
- Lagarec K., Rancourt D.G., 1998, *Recoil, Mössbauer Spectral Analysis Software for Windows, version 1.0*. Department of Physics, University of Ottawa, s. 1–40.
- Norton R.O., 2002, *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*, Cambridge University Press, London, UK.
- Portal Jan Woreczko & Wadi Meteorites Collection – www.woreczko.pl
- Zolensky M.E., Bodnar R.J., Rubin A.E., 1999, *Asteroidal water within fluid-inclusion-bearing halite in ordinary chondrites*, (abstract), *Meteoritics and Planetary Science*, vol. 34, s. A124.