

Adam MALISZEWSKI¹, Jolanta GAŁĄZKA-FRIEDMAN¹

MÖSSBAUEROWSKIE BADANIA POWIERZCHNI MARSA A MÖSSBAUER INVESTIGATION OF THE MARTIAN

Abstract: In presented paper results of the investigation of Martian surface by means of Mössbauer spectroscopy are cited. The measurements were performed during MER mission with the use of "Spirit" and "Opportunity" rovers. Mössbauer spectra were analyzed in Mössbauer Laboratory of Faculty of Physics at Warsaw University of Technology.

Keywords: Martian surface, Mössbauer spectroscopy, MER mission

WSTĘP

W pracy opisane są badania przeprowadzone na powierzchni Marsa podczas bezzałogowej misji MER ze specjalnym uwzględnieniem badań mössbauerowskich. Sporządzono katalog widm mössbauerowskich otrzymanych dla różnych fragmentów powierzchni Marsa badanych w czasie pracy łazików Spirit i Opportunity.

HISTORIA BADAŃ MARSA

W historii badań Marsa można wydzielić kilka etapów. Pierwszy przypadający na lata sześćdziesiąte to wczesne próby i udane przeloty w pobliżu planety. Drugi przypada na lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte, udało się wtedy umieścić sondy na orbicie i na powierzchni Marsa. W ostatnim etapie, który rozpoczął się w latach dziewięćdziesiątych XX wieku udało się wysłać zdalnie sterowane roboty mające na celu zbadanie powierzchni planety.

W tym czasie sukcesem lub częściowym sukcesem zakończyło się 20 z 45 misji. W czasie pierwszych misji wykonanych w latach 60 XX wieku udało się jedynie wykonać trzy przeloty w pobliżu planety. W latach 70 udało się umieścić statki kosmiczne na orbicie Marsa oraz przeprowadzić udane lądowanie sondy na powierzchni. Właśnie w końcu lat 70 wylądowały na powierzchni Marsa dwie sondy Viking 1 i Viking 2. Pierwsza sonda dostarczała dane przez sześć, a druga przez cztery lata. Lądowniki Viking dostarczyły olbrzymich ilości danych na temat atmosfery, sejsmologii i ukształtowania powierzchni Marsa. Wiedza ta pozwoliła w roku 1997 zakończyć sukcesem misję Mars Pathfinder z udziałem zdalnie sterowanego łazika. Największym sukcesem jest ostatnia misja MER (Mars Exploration Rover), która zostanie szczegółowo opisana.

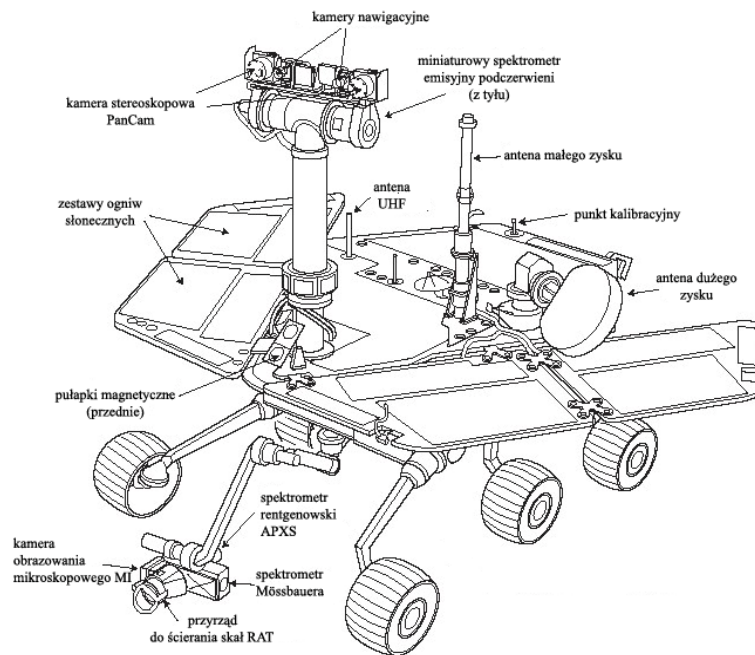
Każda misja badawcza przeprowadzona na Marsie musi być w zgodzie z celami jakie zostały postawione. Program badań Marsa ma postawione cztery cele:

1. Ustalić, czy kiedykolwiek na Marsie istniało życie;
2. Scharakteryzować klimat Marsa;
3. Scharakteryzować geologię Marsa;
4. Przygotować się do misji załogowej na Marsa.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75

MISJA MER

W połowie roku 2003 w ramach misji MER zostały wysłane na powierzchnię Marsa dwa bliźniacze, zdalnie sterowane łaziki Atena (Fig. 1). Każdy został wyposażony w aparaturę pozwalającą na przeprowadzenie na miejscu badań gleby i skał. Wyposażenie obu łazików jest identyczne, ale wylądowały one w dwóch różnych miejscach.



Mars Exploration Rover - rozmieszczenie wyposażenia

Fig. 1. Schemat wyposażenia łazików Atena.
(http://pl.wikipedia.org/wiki/Grafika:Mer_instrumenty.png)

Pojazdy doleciały do celu na początku 2004 roku. Każdy pojazd wyposażony jest w różne przyrządy pomiarowe, między innymi w spektrometr mössbauerowski. Głównym zadaniem tej misji było zbadanie istnienia wody na powierzchni Marsa, ponieważ jest to jeden z elementów środowiska potrzebnych, aby rozwinęło się w nim życie w takiej formie, jak na Ziemi. Cała misja była przygotowywana z założeniem, że pojazdy będą badały powierzchnię planety przez 90 dni, faktycznie badania są kontynuowane przez ponad 3 lata dostarczając na Ziemię wyniki.

SPEKTROMETR MIMOS II

Ze względu na specyficzne własności spektroskopii mössbaurowskiej i stosunkowo duży udział żelaza we Wszechświecie (żelazo jest piątym pierwiastkiem we Wszechświecie i stanowi około 1 procenta całej materii), już pod koniec lat 80 XX wieku planowano wysłanie spektrometru mössbauerowskiego w celu zbadania materii, z której zbudowane są inne planety. Sugestia wysłania na powierzchnię Marsa spektrometru mössbauerowskiego została przedstawiona przez J. Gałązka-Friedman w roku 1988. Opis pierwszego prototypu spektrometru mössbauerowskiego został opublikowany w roku 1991 (Gałązka-Friedman et. al.). Wysłanie spektrometru mössbauerowskiego na powierzchnię Marsa zostało zrealizowane po raz pierwszy w misji MER. Na potrzeby misji zbudowany został specjalny

spektrometr MIMOS II (Miniaturisiertes Mössbauer Spektrometer). Spektrometr ten został przygotowany przez grupę naukowców pracujących na uniwersytecie Gutenberga w Moguncji w Niemczech. MIMOS II charakteryzuje się małymi wymiarami (5cm x 5cm x 9cm), małą wagą (400g) i małym poborem prądu (1W) (Fig. 2) (Klingelhöfer et. al. 2003). Ponieważ podczas misji niemożliwe było przygotowywanie próbek, została wybrana geometria rozproszeniowa. Dzięki temu możliwe było badanie zarówno próbek gleby marsjańskiej jak również skał.

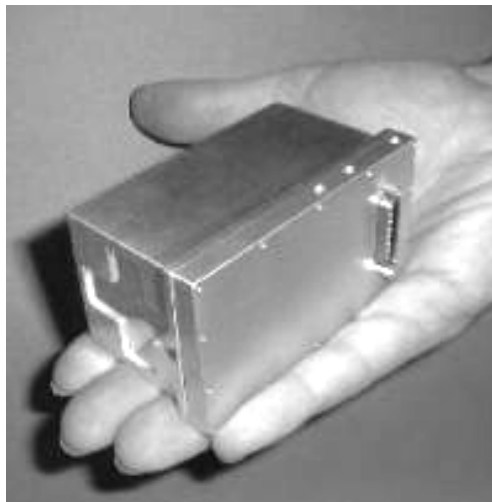


Fig. 2. Główna część spektrometru MIMOS II mieści się w dłoni.
(<http://iacgu32.chemie.uni-mainz.de/mimos.html>)

Parametry mössbauerowskie są czułe na zmiany temperatury badanej próbki. Na powierzchni Marsa występują bardzo duże zmiany temperatury w ciągu doby – od 190K do 300K – dlatego pomiary wykonywane były dla 11 różnych przedziałów temperatur. Dane zbierane były podczas pomiaru, a następnie przesyłane na Ziemię, gdzie były przetwarzane i analizowane.

Pomiary były wykonywane z wykorzystaniem źródła ^{57}Co o wydajności 150mCi (w chwili wylądowania na Marsie). Każdy pomiar trwał od 6 do 12 godzin. Pomiary były kontynuowane przez około 1000 dni po wylądowaniu, później zbyt mała aktywność źródła – czas połowicznego rozpadu ^{57}Co to około 270 dni - uniemożliwiła przeprowadzanie dalszych badań.

Spektrometr MIMOS II poza głównym źródłem i detektorami pracującymi w geometrii rozproszeniowej posiada dodatkowe źródło i detektor pracujące w geometrii transmisyjnej. Źródło to wykorzystywane jest do rejestracji sygnału kalibracyjnego podczas wykonywania głównych pomiarów. Pozwoliło to dołączyć do każdego pomiaru dane kalibracyjne, co zwiększa precyzję pomiaru minimalizując błędy.

DANE Z MARSA

Dane z pomiarów wykonanych podczas misji MER są ogólnie dostępne. Wszystkie dane przesłane przez łaziki – w oryginalnej postaci - są dostępne w Internecie między innymi na stronie Planetary Data System prowadzonego przez NASA pod adresem http://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mer/geo_mer_datasets.htm. Dla ułatwienia dane zostały wstępnie opracowane i udostępniane dla wszystkich chętnych poprzez specjalną

aplikację „MER Analyst's Notebook” pod adresem <http://anserver1.eprsl.wustl.edu/>. Aplikacja ta działa w większości przeglądarek internetowych i nie wymaga instalacji na komputerze żadnych dodatkowych programów.

Dane są dostępne w oryginalnym formacie co powoduje, że do odczytania plików potrzebne jest specjalne oprogramowanie. Grupa przygotowująca spektrometr MIMOS II udostępniła prosty program pozwalający na odczytanie oryginalnych plików binarnych i zapisanie danych w formacie csv. Program pozwala na odczytanie danych w podziale na detektor i zakres temperatur. Dostępne są zarówno dane pomiarowe, jak również dane kalibracyjne i dane o nieliniowości napędu. Program nie wykonuje kalibracji widma. Oddzielnie zostały udostępnione dane o maksymalnych prędkościach pozwalające na kalibrację widm.

ANALIZA DANYCH

Każdy z łazików przesłał dane uzyskane podczas kilkuset pomiarów. Dane są zbierane i analizowane przez grupę naukowców z uniwersytetu Gutenberga w Moguncji jak również przez innych naukowców.

Profesor David Agresti z uniwersytetu Alabama w Birmingham stworzył program MERView odczytujący pliki z danymi przesłane przez łaziki. Program korzystając z danych kalibracyjnych i danych o nieliniowości napędu wykonuje złożenie i kalibrację widma. Program usuwa też nieliniowość widma, która jest wynikiem maksymalnej miniaturyzacji mechanizmu spektrometru. Skalibrowane i złożone widmo można analizować za pomocą popularnie wykorzystywanych programów do analizy widma mössbauerowskiego np. Recoil. Program MERView został napisany ponieważ grupa z Monachium udostępniła niewiele informacji na temat kalibracji marsjańskich widm, co powoduje, że kalibracja wykonana przy użyciu tych danych jest niedokładna.

OTRZYMANE WYNIKI

Misja MER miała wyznaczone następujące cele:

1. Poszukiwanie śladów wody znajdujących się w skałach i glebie marsjańskiej.
2. Określanie minerałów skał i gleby w okolicy miejsca lądowania.
3. Określenie jakie procesy geologiczne ukształtowały teren. Procesy brane pod uwagę to erozja wywołana przez wodę i wiatr, sedimentacja, procesy hydrotermalne i wulkanizm.
4. Weryfikacja wyników badań składu mineralogicznego otrzymanych zdalnie podczas badań wykonanych z orbity.
5. Poszukiwanie minerałów zawierających żelazo. Zwłaszcza zawierających wodę lub powstających w środowisku wodnym.
6. Charakteryzacja mineralogii i tekstury skał i gleby dla określenia procesów je tworzących.

Powyższe cele zostały już osiągnięte, ale łaziki działają nadal, dlatego naukowcy kontynuują badania powierzchni Marsa. Spektroskopia mössbauerowska okazała się bardzo pomocna w poszukiwaniach śladów wody.

WODA NA MARSIE

Wcześniejsze badania rzeźby terenu przeprowadzone na podstawie zdjęć wykonanych z orbity sugerowały, że pewne obszary na Marsie zostały ukształtowane przez działanie wody. Jednym z głównych zadań postawionych przed łazikami było znalezienie śladów istnienia wody na powierzchni planety. Łaziki dostarczyły kilka dowodów, które pozwalają z dużym prawdopodobieństwem potwierdzić tę hipotezę.

Jednym z najważniejszych dowodów jest zidentyfikowanie w widmie mössbauerowskim jarosytu. Jarosyt zawiera grupę hydroksylową –OH. Jarosyt zaobserwowano w skale nazwanej „El Capitan” co świadczy o tym, że w swojej historii była prawdopodobnie poddana działaniu wody (Fig. 3, 4, 5, 6).

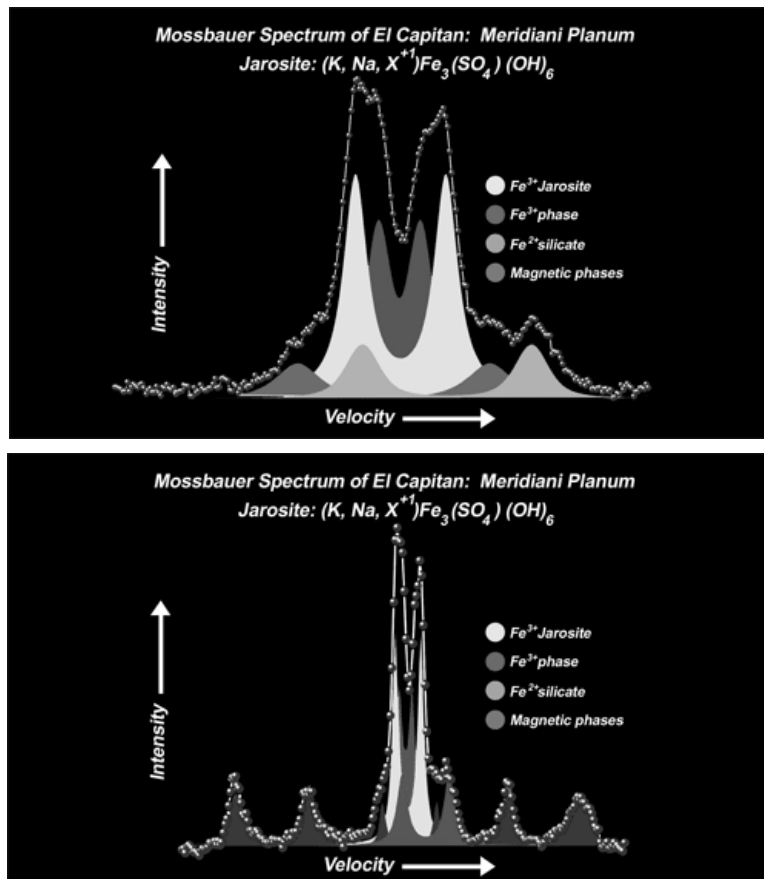


Fig. 3. Widmo skały El Capitan, w widmie zidentyfikowany został Jarosyt. (<http://iacgu32.chemie.uni-mainz.de/mer.html>)

Kolejnym dowodem na istnienie wody są sferyczne narośla zaobserwowane na niektórych skałach przez łazik Opportunity. Kulki te mają rozmiar do 5 mm i przypuszczalnie powstały w środowisku wodnym.

METEORYT NA MARSIE

Podczas misji MER łazik Opportunity znalazł skałę, która została zidentyfikowana jako meteoryt żelazny (Fig. 7). Wykonane badania wykazały zawartość niklu na poziomie 5-7% (Fig. 8). Meteoryt został znaleziony na równinie Meridiani Planum – wybranej na miejsce lądowania łazika Opportunity. Zespół kierujący misją nadał skale nazwę Heat Shield Rock, ponieważ pierwszy raz została zauważona na zdjęciu obok osłony termicznej odrzuconej przez statek podczas lądowania. Meteoritical Society uznało meteoryt jako oficjalne znalezisko i nadało nazwę Meridiani Planum od miejsca, w którym został znaleziony.

KATALOG WIDM

W ramach danych otrzymanych ze spektroskopu mössbauerowskiego podczas misji na Marsa został przygotowany katalog widm. Katalog ma na celu stworzenie możliwości szybkiego porównania próbek pochodzących z wielu miejsc. W katalogu znalazło się 815 widm ze 153 dni, podczas których prowadzone były badania mössbauerowskie.

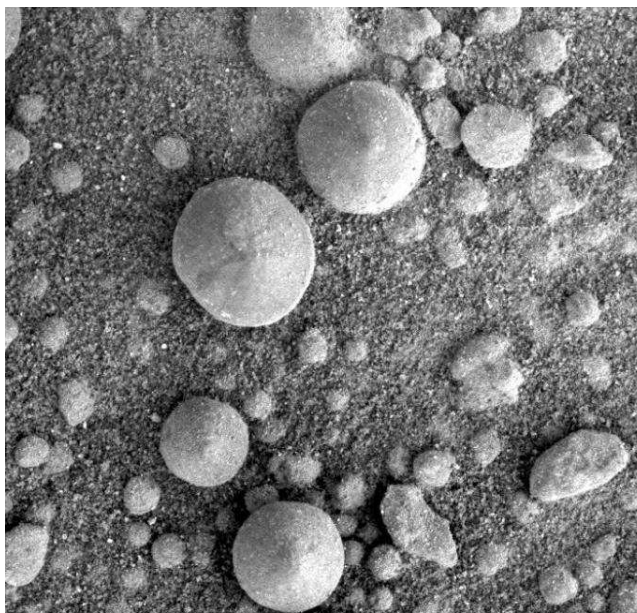


Fig. 4. Sferyczne narośla (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA09077>).

Trzecim dowodem na istnienie wody jest ukształtowanie skał. Takie ślady erozji obserwuje się na skałach poddanych działaniu wody – na brzegach zbiorników.

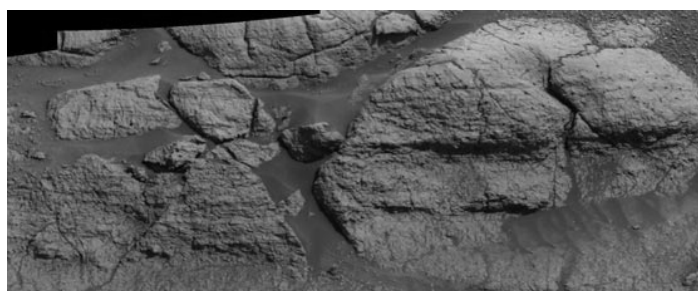


Fig. 5. Ukształtowanie skały El Kapitan.

(<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA05492>)

Katalog zawiera wszystkie widma uzyskane przez łazik Opportunity, które udało się odczytać i skalibrować przy użyciu programu MERView. Dane pobrano z ogólnie dostępnej bazy PDS prowadzonej przez NASA (NASA, 2007). Dane są dostępne w formie plików binarnych przesłanych przez łazik Athena pracujący na powierzchni Marsa. Każdy z 378 plików zawiera dane zebrane podczas jednego pomiaru. Każdy pomiar trwał kilka do kilkunastu godzin. Każdy plik trzeba przetworzyć na dane tekstowe nadające się do dalszej analizy i skalibrować względem α -Fe. Do odczytania i kalibracji widm został użyty

program MERView. Ze względu na ograniczoną funkcjonalność tego programu udało się odczytać i skalibrować 153 pliki. Ponieważ każdy plik zawiera dane o pomiarach wykonanych w różnych przedziałach temperatur otrzymano łącznie 815 widm. Uzyskane w ten sposób dane wprowadzono do relacyjnej bazy danych, co pozwala na łatwe sortowanie i wybór odpowiednich danych. Całość danych dostępna jest na stronie internetowej Zakładu VI Wydziału Fizyki PW (www.if.edu.pl).

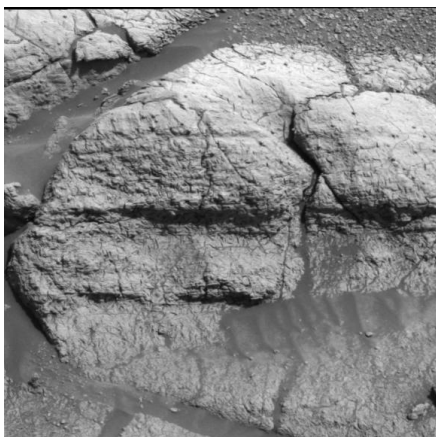


Fig. 6. Ukształtowanie skały El Capitan. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA05478>)

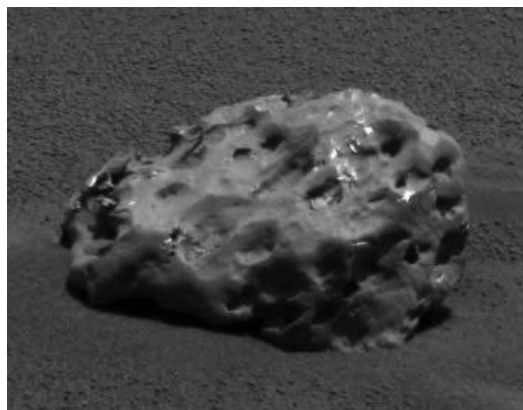


Fig. 7. Zdjęcie meteorytu Meridiani Planum wykonane przez łazik Opportunity. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA0907>)

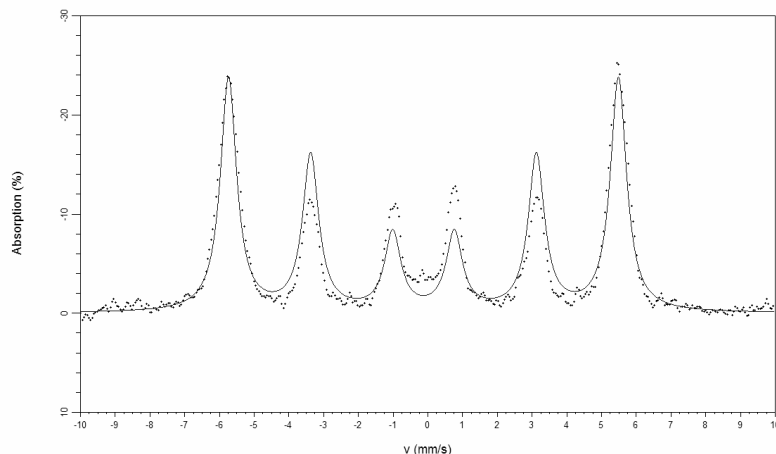


Fig. 8. Widmo mössbauerowskie meteorytu Meridiani Planum uzyskane przez łazik Opportunity. Widać, że widmo wskazuje jedynie na fazę metaliczną.

Na podstawie danych zapisanych w bazie przygotowano wykresy korzystając z programu BIRT (<http://www.eclipse.org/birt/phoenix/>). Program ten umożliwia prezentację graficzną danych zapisanych w bazie danych. Dla łatwiejszego przeglądania katalogu oznaczono maksima wraz z podaniem prędkości, jaka odpowiada najwyższemu zarejestrowanemu punktowi (Fig. 9).

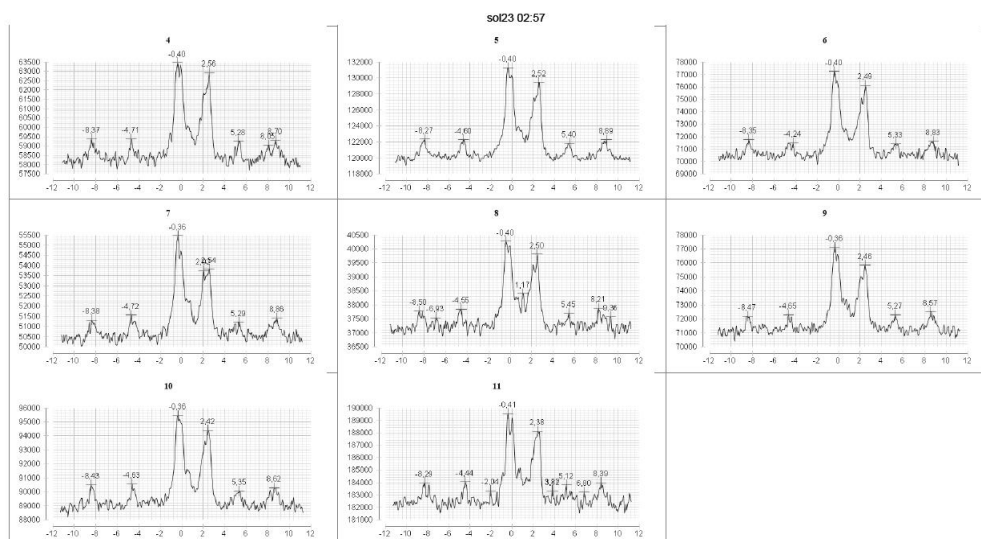


Fig. 9. Fragment katalogu widm, dane zebrane podczas 23 dnia misji Opportunity. Na jednej stronie prezentowane są dane dla różnych zakresów temperatur.

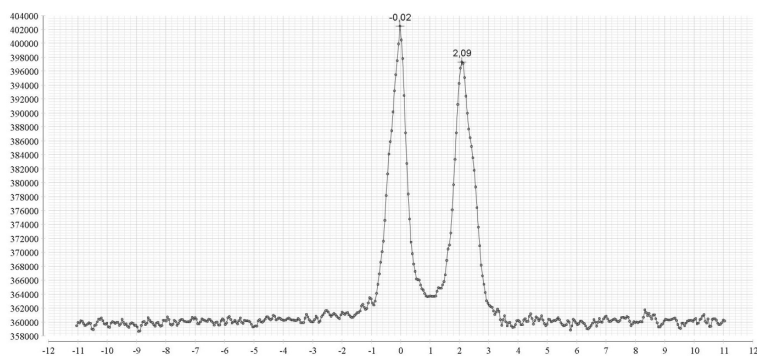


Fig. 10. Najlepsze widmo w pierwszej grupie. Widmo pochodzi z 67 dnia misji Opportunity.

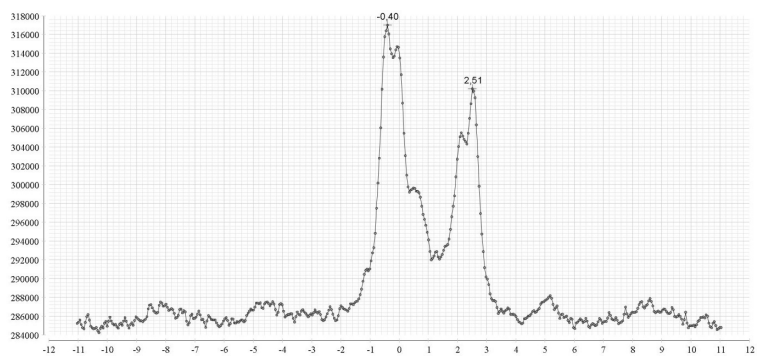


Fig. 11. Najlepsze widmo w drugiej grupie. Widmo pochodzi z 26 dnia misji Opportunity.

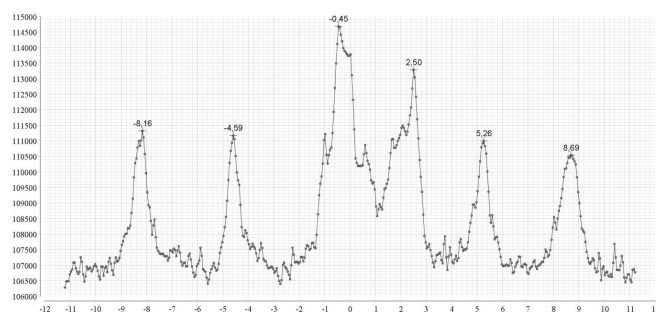


Fig. 12. Najlepsze widmo w trzeciej grupie. Widmo pochodzi z 98 dnia misji Opportunity.

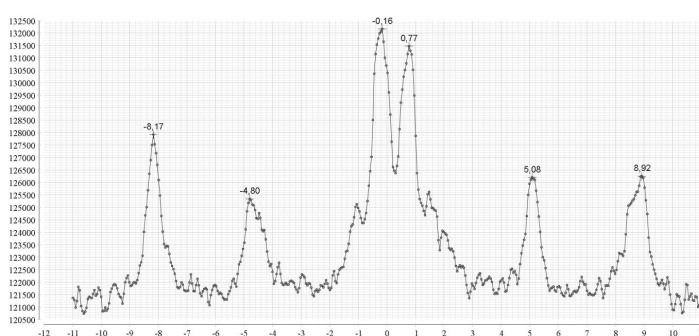


Fig. 13. Najlepsze widmo w czwartej grupie. Widmo pochodzi z 51 dnia misji Opportunity.

Na podstawie kształtu i lokalizacji maksimumów podzielono widma na 4 grupy (wyłączono widma meteorytu Rock Shield i widma kalibracyjne). W każdej grupie wybrano widma o najlepszej statystyce. Powyżej przedstawione są widma reprezentujące każdą grupę (Fig. 10, 11, 12, 13).

LITERATURA

- GAŁĄZKA-FRIEDMAN J., 1988. The investigation of the surface of terrestrial planets. *Postępy Astronomii* 36. 233.
- GAŁĄZKA-FRIEDMAN J, KOTLICKI A., ŚLAWSKA-WANIEWSKA A., WITEK A., 1991. In: Szegoe K (ed) *Environmental model of Mars. Vol 2*, Pergamon, Oxford, UK.
- KLINGELHÖFER G., MORRIS R. V., DE SOUZA JR. P. A., BERNHARDT, B., 2003. *The Miniaturized Mössbauer Spectrometer MIMOS II Of The Athena Payload For The 2003 Mer Missions. Sixth International Conference on Mars (2003)*. Pasadena, California: Lunar and Planetary Institute.
- NASA. 2007. (2 10). *Planetary Data System*. (NASA) Pobrano 2 10, 2007 z lokalizacji *The Planetary Data System (PDS)*: <http://pds.nasa.gov/>.
- NASA, J. 2007. (9, 30). *Catalog Page for PIA09077*. Pobrano 9 30, 2007 z lokalizacji *Planetary Photojournal*: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/index.html>.
- RODIONOV D. 2007. (9, 30). *Miniaturized Moessbauer spectrometer*. Pobrano z lokalizacji *Mars Moessbauer Group*: <http://iacgu32.chemie.uni-mainz.de/mimos.html>.