

Zbigniew TYMIŃSKI¹, Bogumiła MYSŁEK-LAURIKAINEN²

**ZASTOSOWANIE NEUTRONOWEJ ANALIZY AKTYWACYJNEJ NAA
DO IDENTYFIKACJI MATERII POCHODZENIA KOSMICZNEGO NA ZIEMI**
APPLICATION OF NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS
FOR IDENTIFICATION OF COSMIC MATTER ON EARTH

Abstract: Neutron activation analysis (NAA) is an analytical method based on the measurement of characteristic radiation from radionuclides formed by neutron irradiation of the material of interest. The most suitable source of neutrons for NAA is a research reactor. The neutron activation analysis has been found to be extremely useful in the determination of trace and minor elements in geological and extraordinary samples. The method is non-destructive, giving many advantages, which are described. Measured abundances of the elements in meteorites, from major constituents down to those appearing only in trace amounts, provide information important for the theories of the origin and history of the Solar System.

Keywords: neutron activation analysis, meteorites, neutrons, γ spectrometry, classification of meteorites, impact craters

Skały pochodzenia kosmicznego zawierają te same pierwiastki, które wchodzą w skład ziemskich minerałów, jednakże w meteoroidach występują one w innych proporcjach, różniących je od skał ziemskich. Odpowiada za to mechanizm produkcji tych pierwiastków - zarówno w reakcji syntezy jak i rozczepienia ostatecznym elementem łańcucha reakcji jądrowych jest stabilne żelazo i towarzyszące mu pierwiastki pokrewne. Skład minerałów i zawartość poszczególnych pierwiastków w meteoroidach odpowiada ich dystrybucji w Układzie Słonecznym i daje tym samym podstawę do rozróżniania i klasyfikacji meteoroidów. Analiza pierwiastków śladowych w meteoroidach niezbędna jest do określenia ich pochodzenia, tzn. wyznaczenia czasu, miejsca i sposobu utworzenia się w obłoku protoplanetarnym, czyli do pogłębienia naszej wiedzy i zrozumienia procesów, które zachodziły w młodym, formującym się Układzie Słonecznym.

Neutronowa analiza aktywacyjna jest metodą radiochemiczną polegającą na naświetlaniu miligramowej próbki skały meteoroidowej neutronami, w celu przemiany stabilnych izotopów w izotopy promieniotwórcze. Odpowiednie instrumenty, w które wyposażone jest każde laboratorium NAA, pozwalają na jednoczesny pomiar promieniowania gamma nowo powstających pierwiastków a niezbędna wiedza o zachodzących reakcjach podczas oddziaływań materii z neutronami gwarantuje precyzyjne określenie ilościowego składu pierwiastkowego naświetlanej próbki (Dziunikowski 1991, Florkowski & Piórek 1974).

¹ Instytut Energii Atomowej, Ośrodek Radioizotopów POLATOM

² Instytut Energii Atomowej, Centrum Doskonałości MANHAZ

Neutronowa analiza aktywacyjna zajmuje szczególne miejsce wśród analiz nieorganicznych, wyróżniając się wysoką precyzją, niskimi progami detekcji, identyfikacją dużej liczby pierwiastków oraz innymi unikalnymi cechami, jak np. brakiem tzw. „ślepej próby” przy pomiarach i przede wszystkim nieniszczącym charakterem badań, co ma ogromne znaczenie przy analizie obiektów o szczególnym znaczeniu naukowo-kulturowym. Wszystkie te cechy decydują o tym, że NAA jest często wybierana jako podstawowa metoda do analizy i klasyfikacji meteorytów oraz identyfikacji pierwiastków ziem rzadkich w próbkach geologicznych. Czułość metody pozwala na oznaczenie składu pierwiastkowego i izotopowego w zakresie 1 – 0.01 ppm (ppm – cząstek na milion). Metoda pozwala na jakościowe i ilościowe oznaczenia zawartości ok. 30 pierwiastków w próbkach minerałów pochodzenia pozaziemskiego o masach rzędu kilkunastu miligramów.

Podjęcie problematyki zastosowania NAA do oznaczania składu materii pozaziemskiego pochodzenia wiąże się z unikalną możliwością wykorzystania dużego urządzenia badawczego, jakim jest reaktor Maria należący do Instytutu Energii Atomowej. Jest to jedyne tego typu urządzenie w kraju pozwalające na aktywacje neutronami termicznymi o strumieniu $2 - 3 \cdot 10^{14}$ n/cm²/sek. Istnieją sprawdzone opisy metod aktywacyjnych wykonanych przy użyciu aktywacji neutronami z reaktora Maria, które z wielkim sukcesem zastosowano do badań materii meteorytowej – tą metodą badano jak na razie tylko jeden polski meteoryt – Baszkówkę. Przykładowe widmo otrzymane po naświetleniu próbki tego meteorytu o masie 0.213g przedstawia Fig. 1 (Dybczyński et. al. 2001).

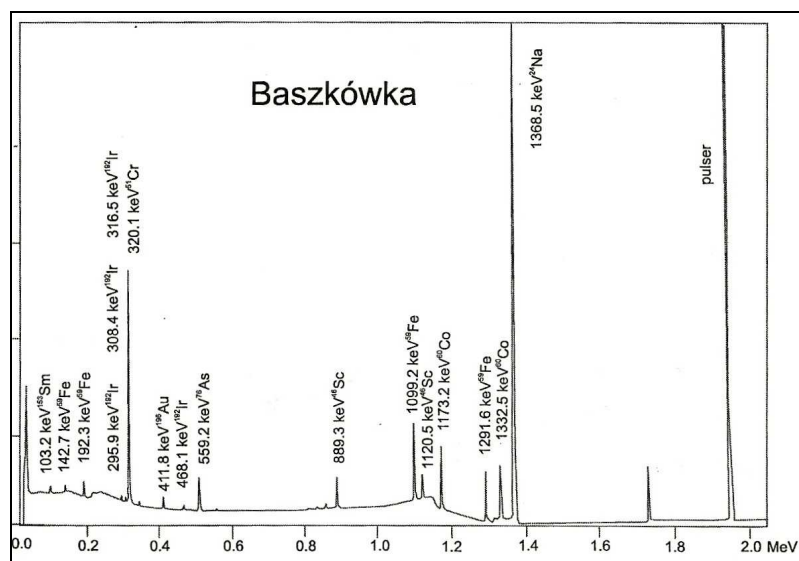


Fig. 1. Widmo promieniowania γ meteorytu Baszkówka otrzymane po naświetleniu próbki neutronami z reaktora Maria, zmierzone po czasie 89 godz. (Dybczyński et. al. 2001).

W dziedzinie badań materii meteorytowej ważnym zagadnieniem jest także rozpoznawanie kraterów zderzeniowych na Ziemi. Kraterotwórcze spadki meteorytów są obecnie rzadkim

zjawiskiem, w przeszłości zdarzenia takie kształtowały powierzchnię Ziemi przez wiele milionów lat. Na Ziemi rozpoznanych jest zaledwie ok. 170 kraterów uderzeniowych lub wybuchowych i tylko 17 kraterów, przy których wciąż znajduje się meteoryty. Brak jednoznacznych dowodów, z powodu niewielkiej ilości materiału pozostałego po zderzeniach, jest czynnikiem hamującym rozpoznawanie struktur zderzeniowych. Przy wybuchu komety w atmosferze lub kraterotwórczym uderzeniu planetoidy, materia kosmiczna zostaje rozpylona wokół miejsca zdarzenia. Prace badawcze nad śladowymi pozostałościami kosmicznych pocisków na Ziemi zapoczątkowane zostały przez L.W. Alvareza, który wysunął tezę o wyginięciu dinozaurów spowodowanym działalnością wulkaniczną bądź też uderzeniem planetoidy (Alvarez et. al. 1980). Za drugą opcją, oprócz podwyższonej zawartości Ir na granicy okresów kredy i trzecirzędu (K/T), przemawia obecność mikrotektytów (przetopionego szkliwa zderzeniowego) i zmienionych wysokim ciśnieniem ziaren kwarcu. Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość irydu przewyższa tło o kilka rzędów wielkości w warstwie granicznej K/P w różnych odsłonięciach na Ziemi. W chondrytach zwyczajnych i węglistych stężenie Ir zawiera się w przedziale od 400 do 800 ng/g. Wysoka zawartość tego pierwiastka w warstwie K/P może świadczyć o wielkoskalowej katastrofie kosmicznej sprzed ok. 65,5 mln lat.

Badania pozostałości pyłu kosmicznego i analiza podwyższonego stężenia pierwiastków kosmogenicznych takich jak np. Ir, Cr, Co, Pt, Pd, Ru oraz Fe i Ni odpowiadających składowi meteorytów i komet, może wskazywać na zaistnienie kolizji obiektu kosmicznego z Ziemią i stanowić istotny argument przy identyfikacji impaktowych struktur w naszym środowisku.

Jedno z takich domniemyanych miejsc zderzenia znajduje się w obrębie Poznania w dzielnicy Morasko, gdzie sześć kolistych struktur podejrzanych jest o pochodzenie kosmiczne. Utworzone tu „Rezerwat Meteoryt Morasko” mimo, że do końca nie wiadomo, czy rzeczywiście struktury są związane z kosmiczną katastrofą, czy też są to oczka polodowcowe powstałe na skutek wytopienia brył lodu pozostałego po zanikającym ostatnim lądolodzie skandynawskim (ok. 10 tys. lat temu). Argument za pochodzeniem impaktowym struktur wysunął w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku Pokrzywnicki, który kierował się faktem znalezienia w okolicy kilku brył żelaza meteorytowego oraz rozkładem struktur i ich kształtem (niektóre oczka posiadają wały). Natomiast badania geologiczne przeprowadzone w roku 1976 przez Karczewskiego zaprzeczyły tej hipotezie. Ostatnie datowania radiometryczne osadów wypełniających zagłębienia wskazały, że formy te mogły powstać 4-10 tysięcy lat temu a więc nie wykluczają teorii kosmicznej katastrofy (Stankowski 2007). W ciągu 40 lat podejmowanych było wiele prób opracowania genezy struktur, jednak żadna nie określiła ostatecznie, czy istniejące kolisty obiekty są kraterami. Mając do dyspozycji dokładne metody badawcze, jakim jest m.in. NAA, można przyczynić się do rozwiązania zagadki meteorytu Morasko. Monitorując zawartość pierwiastków ziem rzadkich w próbkach z miejsca spadku i porównując ją ze stężeniem kosmogenicznych radionuklidów zawartych w asteroidzie i mierzonych w tychże próbkach, można przeprowadzić selekcję głównych kosmogenicznych pierwiastków śladowych, które mają największe znaczenie przy rozpoznawaniu struktur zderzeniowych na Ziemi.

Innym istotnym zagadnieniem jest wpływ zalegających w okolicy meteorytów na środowisko w obrębie pola spadku materii kosmicznej. Badając próbki gruntu metodą NAA jesteśmy w stanie określić stopień dyfuzji pierwiastków kosmogenicznych w glebę ziemską. Podobne badania można wykonać w obrębie największego spadku meteorytów w historii

nowożytny, który miał miejsce pod Pułtuskiem w roku 1868. Szacuje się, że spadło wtedy ok. 70000 kamieni. Jest to stosunkowo młody spadek meteorytów kamiennych, przy którym nastąpiło duże rozpylenie materii kosmicznej, zawierającej także znaczne ilości ciężkich pierwiastków (żelazo, nikiel, kobalt).

Metoda NAA może posłużyć także do identyfikacji meteorytów planetarnych, które niejednokrotnie są brekcjami – „zlepkami” okruchów i minerałów, czy też bazaltami odpowiadającymi i przypominającymi skałę ziemską. Do odróżnienia skał pochodzenia kosmicznego, które są podobne do skał ziemskich, niezbędna jest analiza izotopowa pierwiastków głównych i śladowych, która może pomóc w wyjaśnieniu genezy badanej skały. Rozwijając umiejętności analizy aktywacyjnej przy Reaktorze Maria w Instytucie Energii Atomowej w Świerku możemy dorównać zagranicznym laboratoriom i realizować zapotrzebowanie na takie badania w Polsce a także w Europie.

LITERATURA

- DZIUNIKOWSKI B., 1991. Radiometryczne metody analizy chemicznej. WNT. Warszawa.
- FLORKOWSKI T., PIÓREK S., 1974. Analysis of air particles by radioisotope X-ray fluorescence for air pollution control, *Nucleonica*. 10. 19.
- DYBCZYŃSKI R., CHWASTOWSKA J., DANKO B., 2001. A study on chemical composition of Baszkówka and Mt. Tazerzeit chondrites, *Geological Quarterly*. 3. 45.
- ALVAREZ L. W., ALVAREZ W., ASARO F., MICHEL H. V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: Experimental results and theoretical interpretation, *Science*. 208. 1095-1108.
- STANKOWSKI W. T. J., 2007. Luminescence dating as a diagnostic criterion for the recognition of Quaternary impact craters, *Planetary & Space Science*. 55.
- WASSON J. T., 1985. *Meteorites. Their Record of Early Solar-System History*. Freeman.