

OLSZTYŃSKIE PLANETARIUM I OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE
POLSKIE TOWARZYSTWO METEORYTOWE
II SEMINARIUM METEORYTOWE
24-26.04.2003 OLSZTYN

Andrzej MANECKI¹

**PYŁY KOSMICZNE METODY SEPARACJI, MINERALOGICZNO-
CHEMICZNEJ IDENTYFIKACJI, KLASYFIKACJE**

Minie za rok 120 lat od pierwszej publikacji J. M. Murray'a i A. F. Renarda (1883) na temat pyłów kosmicznych. Murray brał udział w morskiej ekspedycji naukowej „Challegera” (1872-76) na Pacyfik i w łożach wydobytych z dna oceanu znalazł kulki metaliczne (magnetytowe) i krzemianowe, nazwał je kulkami kosmicznymi i uważał, że utworzyły się z roztopionych powierzchni meteoroidów przelatujących przez atmosferę Ziemi. Na kwartę pobranego łożu przypadało 20-30 kulek metalicznych i 5-6 krzemianowych. Znacznie więcej materiału zebrano podczas wyprawy „Albatrosa” w latach 1947-48. Materiał zebrany przez wspomniane ekspedycje analizowany był metodami rentgenograficzną i neutronograficzną w Instytucie Mineralogii w Sztokholmie. Uczni anglosascy nadawali im różne nazwy: spherules, microspherules, spherulites, micrometeorites itp. częściej zgodnie z propozycją Murraya; cosmic dust. Określenia typu spherules, kulki nie opisują dobrze morfologii tych cząstek, bowiem mają one też postać kropli czy hantla, bywają i ostrokrawędziste lub w postaci różnokształtnych agregatów. Ze względu na trudności związane z separacją tych cząstek z osadów, lub kosztowne programy „łowienia” pyłów w górnych strefach naszej atmosfery oraz specyfikę badań wchodzącą w zakres mikro- czy nawet nanomineralogii przez okres 100. lat od publikacji Murray/Renard powolny był postęp w badaniach, nie było międzynarodowej organizacji stymulującej lub koordynującej tego typu prace, projekty. W Polsce problematykę tą podejmowali m.in. B. i M. Hurnik, A. Manecki, M. Mazur, A. Skowroński, T. Wieser, M. Żbik i in., na Węgrzech C. S. Detre, w Rosji K. P. Florenski, w USA P. W. Hodge, F. W. Wright.

Na początku lat 80. ubiegłego wieku wzrosło gwałtownie zainteresowanie pyłami kosmicznymi, które zaczęto nazywać cząstkami pyłu międzyplanetarnego (ang. Interplanetary Dust Particles – IDPs). Pobierano je głównie na specjalnych kolektorach w niskich i górnych strefach stratosfery, a także separowano z lodu obszarów polarnych. Cząstki te mają one różne kształty, zazwyczaj są to ostrokrawędziste ziarna lub agregatowe kuliste skupienia polimineralne, a średnie ich wielkości mają 10 μm . Pomiaru te i badania prowadzone są przez zespoły związane m.in. z programami NASA, a to: D. E. Brownlee i in., G. J. Flynn i in., F. J. M. Ritmeijer i in., M. E. Zolensky i in.

¹ Zakład Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademia Górniczo-Hutnicza 30-059
Kraków, al. Mickiewicza 30, e-mail: manecki@geol.agh.edu.pl

Badanie IDPs ma przede wszystkim na celu prześledzenie ewolucji protoplanet w Układzie Słonecznym. W jego początkach pył stanowił budulec ziemskich planet, jąder planet – gigantów, planetoid i komet. Kolaps grawitacyjny części ciemnej molekularnej chmury z międzygwiazdowym pyłem, spowodowany różnymi czynnikami (np. fale szokowe supernowej) w rezultacie utworzył centralną gwiazdę otoczoną dyskiem pyłowo-gazowym. Mgławica słoneczna była typowym produktem procesów powstawania gwiazd 4,5 mld lat temu. Pył znajdujący się w tym dysku to tzw. pył przedsloneczny. Podczas gdy powstało już Słońce, pył grawitacyjnie „związał” się z nim i odtąd ewoluowały nierozłącznie. Młode Słońce przeszło przez tzw. epizod T-Tauri, który oznacza mocne podgrzanie otaczającego dysku. Temperatury w tym epizodzie maleją wraz ze wzrostem odległości od Słońca. Pył przedsloneczny, znajdujący się w dysku najbliższej gwiazdy centralnej zaczął parować w temperaturze $\sim 1700^{\circ}\text{C}$. Tak powstała strefa przejściowa, która oddziela wewnętrzną część dysku zawierającą pył kondensacyjny od części zewnętrznej, gdzie pył przedsloneczny pozostał niezmienny.

Pył w naszym Układzie Słonecznym tworzył/tworzy się także w wyniku uderzeń meteorów w powierzchnię Księżyca, planetoid oraz planet o rozrzedzonych atmosferach (Mars), a także w trakcie zderzeń pomiędzy planetoidami. Takie procesy uwalniają dużą ilość gruzu o rozmiarach od „typowych” meteorów do IDPs. Większe okruchy są grawitacyjnie przyciągane do Słońca lub Jowisza (ciała z wewnętrznego i środkowego torusa głównego pasa planetoid w kierunku Słońca, te z zewnętrznego - do Jowisza), ale pył pochodzący z tych ciał może dotrzeć do wewnętrznych części Układu Słonecznego. Sublimacja lodu wodnego na powierzchniach aktywnych komet (oraz na mniejszej ilości lodowych planetoid) także uwalnia pył z tych ciał. Ten proces jest bardzo efektywny ponieważ te lodowe protoplanety są małymi (zwykle 1-10 km średnicy) nieskonsolidowanymi brudnymi „kulami śniegowymi”.

Tak więc przestrzeń międzyplanetarna naszego Układu Słonecznego zawiera IDPs pochodzące z kolizji i sublimacji, a także jest tam niezmienny przedsloneczny międzygwiazdny pył, który przetrwał do dziś. Potrzeba badania takich cząstek nie budzi wątpliwości, kryją one w sobie wiele możliwości odczytania kosmologicznych przemian materii na różnych etapach kształtowania się naszego Układu Słonecznego. Dlatego należy zadać sobie pytanie, dlaczego tak niewiele zespołów badaczy podejmuje te pasjonujące badania „międzygwiazdowego pyłu”. Wynika to niewątpliwie z uciążliwości uzyskiwania materiału do badań.

Do wyboru są dwa sposoby:

- (1) klasyczna, tania ale i czasochłonna separacja cząstek pozaziemskich z kopalnych osadów (skały solne, ilaste, węglanowe), osadów morskich pobieranych z większych głębokości oraz starego lodu lodowców;
- (2) szybkie ale i bardzo kosztowne metody pobierania próbek w górnych strefach stratosfery na specjalnych kolektorach.

W przypadku klasycznej separacji z niewspółczesnych osadów (najlepiej pobieranych w górniczych wyrobiskach podziemnych) i starego lodu lodowcowego, wyseparowane cząstki nie zawierają pyłów antropogenicznych, są tam wyłącznie naturalne pyły ziemskie i pyły kosmiczne. Można uzyskać większą próbkę, co dla statystycznego przedstawienia wyników jest istotne. W próbkach obecne są cząstki kosmiczne o różnej wielkościach, a przy precyzyjnej separacji także i te najdrobniejsze. Metody separacji są tanie i nie wymagają kosztownej aparatury.

Separacja na kolektorach jest mało efektywna (do 5 cząstek na 30 cm² powierzchni kolektora, w czasie 32 godzin ekspozycji), zebrane cząstki to pyły kosmiczne, ale też naturalne i antropogeniczne ziemskie. Duże utrudnienie sprawiają pyły antropogeniczne podobne morfologicznie do kosmicznych. Na kolektorach zbierane są tylko najdrobniejsze cząstki o średniej wielkości około 10 μm. Możliwości uzyskiwania na tej drodze materiału do badań ma tylko niewielka grupa uczonych, ale można korzystać z informacji o pyłach zebranych w stratosferze w odpowiednim katalogu NASA (NASA/JSC Cosmic Dust Catalogs).

F. J. M. Rietmeijer (1998) zestawił i opracował dotychczasowe swoje i innych autorów (głównie Mackinnona i in. oraz Brownlee i in.) wyniki badań pyłów zebranych z ziemskiej stratosfery. W tym monograficznym opracowaniu nie nawiązuje do autorów wcześniejszych badań tzw. pyłów (kulek) kosmicznych separowanych z ziemskich osadów i lodu, cytowane przez niego klasyfikacje dotyczą submikro- i nanocząstek.

Wydziela, zgodnie z innymi autorami, trzy formy morfologiczne i związane z tym postaci skupień pyłów:

- cząstki kuliste,
- cząstki nieregularne,
- agregaty.

Na podstawie składu mineralnego i chemicznego podzielono najdrobniejsze pyły na chondrytowe i niechondrytowe podając też ich inne cechy jako diagnostyczne (Tab. 1.). Cząstki o podwyższonej zawartości K, uznawano za ziemskie wulkaniczne. Nie podano jasnych kryteriów odróżniania cząstek antropogenicznych.

Zdaniem piszącego te słowa klasyfikacje pyłów pozaziemskiego pochodzenia nie powinno ograniczać się do cząstek najdrobniejszych, należy, po dyskusji, pogrupować je według wielkości np. w sposób następujący (Tab. 2.).

W badaniach składu mineralnego (fazowego) i chemicznego obserwuje się postęp, wymuszony w znacznej mierze małymi wymiarami cząstek. W przypadku badań makro cząstek stosuje się, podobnie jak w badaniach meteorytów, optyczną mikroskopię polaryzacyjną do światła przechodzącego i odbitego, skaningową mikroskopię elektronową (SEM-EDS), dyfraktometrię rentgenowską (XRD), rentgenowską analizę spektralną w mikroobszarach, spektroskopię w podczerwieni, spektroskopię mössbauerowską i in. W badaniach mikro- i nanocząstek kosmicznych dominują badania z zastosowaniem elektronowych mikroskopów transmi-

	CZĄSTKI CHONDRYTOWE		CZĄSTKI NIECHONDRYTOWE	
	Agregaty	Kulki	Cząstki krzemianowe	Cząstki FSN (FSN = Fe-Ni-S)
Własności optyczne	Czarne (nie przezroczyste)	Przezroczyste choć zwykle nieprzezroczyste zgodnie z zaw. Fe ₃ O ₄	Przezroczyste i nieprzezroczyste	Nieprzezroczyste
Chemizm	Chondrytowe o średniej zaw. węgla i siarki > 4% wag. (węgiel 2.2 – 15% wag.)	Chondrytowe ale bez siarki	Krzemiany Fe i Mg z siarką	S/Fe = 1 ÷ 0 Fe/Ni = ∞ ÷ 10
Rozmiar ziaren (µm)	0.001 ÷ >1, głównie ~ 0.1 ÷ 0.3, niektóre to polikrystaliczne agregaty	Brak danych	Ol: 4 x 5 ÷ 16 x 9 En: 6 x 6 FeS: 0.7	2.4 x 3.8 ÷ 6 x 6
Skład mineralny	Fe _{1-x} S; Fe ₃ O ₄	Ol(Mg = 60); px(Mg = 60); magnetyt	Fo ₁₀₀₋₄₇ ; En ₁₀₀₋₈₃ ; magnetyt	(Ni)-Fe _{1-x} S, x = 0 ÷ 0.1; magnetyt
Fazy	Mg-pirokseny; Oliwiny, Fe/Si różny; Fe, Mg, Si fazy; pentlandyt; (Ni) – piryt (?); ziarna Si, Al, Ca, Ti	Brak danych	Siarczki Fe: 1 ÷ 5 % wag. nikiel	Fe _{1-x} S oraz Fe ₃ O ₄

Tab. 1. Własności cząstek pyłu zebranych ze stratosfery do roku 1982 (wg Mackinnona i in)

Makro-cząstki	Mikro i submikro (nano-) cząstki
<u>Pyły pochodzenia pozaziemskiego:</u>	<u>Cząstki IDPS (Interplanetary Dust Particles):</u>
Z ablacji meteorytów	Chondrytowe
Asteroidalne	
Impaktytowe – np. Księżycowe	Niechondrytowe
Mikrometeoryty	

Tab. 2. Propozycja klasyfikacji pyłów pozaziemskiego pochodzenia.

syjnych i skaningowych, oraz instrumentalna analiza chemiczna w mikroobszarze. Zastanawia fakt, że zespoły badające cząstki typu IDPs nie stosują mikroskopu sił atomowych. Badania w podczerwieni, stwarzają szanse na odróżniania krzemianowych szkliw pochodzenia pozaziemskiego o szkliw ziemskich np. wulkani-

cznych, co zostało wykazane badaniami pyłów kosmicznych wyseparowanych z ilów montmorillonitowych wieku karbońskiego (A. Manecki, A. Skowroński, 1970).

Na przełomie XX i XXI wieku rozpoczęły się intensywne badania planetoid zbudowanych z krzemianów, metalu i lodu wodnego, a szczególnie śnieżno-lodowych obiektów – komet (brudnych „kul śnieżnych”), nośników pyłowych cząstek. Wydaje się być pilną potrzebą podjęcie na większą skalę badań pyłów pozaziemskiego pochodzenia, a programy takich badań powinny być koordynowane tak w kraju jak i w międzynarodowych gremiach.

Prace i badania były wspomagane finansowo w AGH w ramach Badań Statutowych nr 11.11.140.408