

Podstawy nauki o meteorytach

Niniejszy tekst powstał w oparciu o „Handbook for Meteor Observers”, podręcznik wydany w 2008 r. przez International Meteor Organization, będący dość aktualnym i przystępnym wprowadzeniem w świat współczesnej nauki o meteorach. Tym razem kilka słów o meteorytach.

Meteoryty

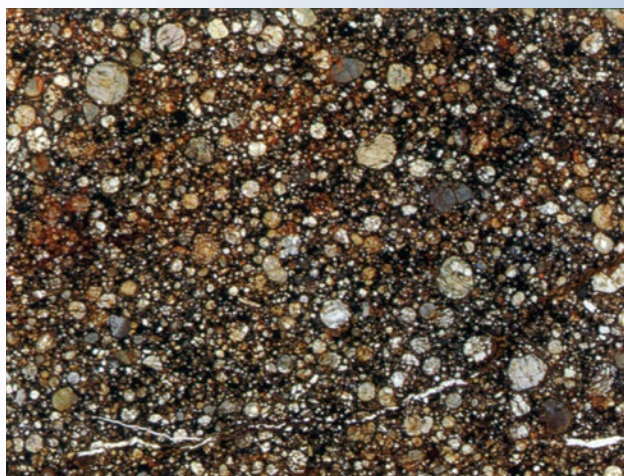
Ziemska atmosfera stanowi potężną barierę dla materii, która przypadkowo spotyka się z Ziemią na swojej orbicie. Większość materii wpadającej w atmosferę odparowuje, a tylko nieliczne fragmenty spadają jako meteoryty. Z tego powodu zdobycie materiału do bezpośrednich badań laboratoryjnych jest bardzo trudne. Duża część materii dociera do powierzchni globu pod postacią mikrometeorytów. Jest to drobny pył meteorytowy, który choć na pozór niedostrzegalny, osiada na Ziemi w ilościach rzędu 10 tys. ton rocznie. Tego typu materiał został odnaleziony w osadach na dnie morza po roku 1880 r., a w późniejszych latach odnajdowano mikrometeoryty na pustyniach czy też na lądolodzie zalegającym na obu biegunach. Próbowano również pozyskiwać tak drobną materię przy pomocy balonów stratosferycznych i rakiet do sondowań atmosferycznych. Wśród cząsteczek pochodzenia kosmicznego można znaleźć zarówno mikroskopijne zlepki drobnych ziaren tworzące nieco porowate struktury, jak i przetopione cząsteczki o sferycznych kształtach, z których większość może być produktem ablacji meteoroidów w atmosferze. Ich rozmiary zawierają się w zakresie od kilku do około 100 mikrometrów. W latach 70. zebrano próbki pyłu meteorytowego, używając samolotów osiągających znaczny pułap. Na podstawie badań składu stwierdzono, że 60% materii składa się z żelaza, magnezu, krzemu, węgla, siarki, wapnia, niklu i innych pierwiastków. W skład mikrometeorytów wchodzi również węgiel w postaci prostych związków organicznych. 30% materii składało się z żelaza, niklu i siarki, przy czym zawartość niklu była stosunkowo niewielka, natomiast 10% mikrometeorytów składało się wyłącznie z żelaza i magnezu. Powtarzane w ostatnich latach badania potwierdzają wcześniejsze doniesienia o składzie drobnej materii meteorytowej.

Oprócz mikrometeorytów do dyspozycji badaczy są też znajdowane na powierzchni Ziemi meteoryty. Jest to materiał rzadki i stosunkowo trudno dostępny, pochodzący z największych meteoroidów, innych niż te, które wywołują widoczne każdej nocy meteory. Ciała, które dają spadki w postaci meteorytów, przed wejściem w atmosferę muszą być znacznych rozmiarów. Muszą również posiadać skład chemiczny umożliwiający przetrwanie części materii w drastycznych warunkach przelotu przez atmosferę. Pod względem składu chemicznego są zauważalne jednak znaczne podobieństwa do mikrometeorytów.

Podstawą klasyfikacji meteorytów jest ich skład chemiczny i występujące w nich charakterystyczne minerały. Pod względem zawartości pierwiastków rozróżniamy meteoryty kamienne, których głównym budulcem są różnego rodzaju krzemiany, często z dodatkiem metali; meteoryty żelazne, które najprościej opisać jako stop żelazowo-niklowy oraz meteoryty żelazno-kamienne zawierające ziarna krzemianowe w otoczeniu materiału żelazowo-niklowego. Stosowany jest też inny, zdaniem wielu badaczy bardziej praktyczny podział na meteoryty zróżnicowane i niezróżnicowane. Meteoryty niezróżnicowane wydają się być tylko nieznacznie zmienione od czasów formowania Układu Słonecznego. Wszystkie

meteoryty niezróżnicowane są meteorytami kamiennymi. Tego typu meteoryty dotarły do nas w postaci prawie niezmienionej, a działanie atmosfery ziemskiej podczas spadku spowodowało tylko minimalne zmiany w strukturze takiego ciała. Wszystkie meteoryty, które doświadczyły znaczących zmian fizykochemicznych w okresie późniejszym, zaliczają się do meteorytów zróżnicowanych. Meteoryty te często pochodzą z ciał, które uległy wewnętrznemu przetopieniu i zróżnicowaniu. Do meteorytów zróżnicowanych zaliczamy wszystkie meteoryty żelazne i żelazno-kamienne jak też pewną część meteorytów kamiennych.

Większość meteorytów kamiennych zawiera niewielkie sferyczne twory zwane chondrami. Chondry zazwyczaj widoczne są pod mikroskopem, choć niekiedy dają się dostrzec gołym okiem. Meteoryty zawierające chondry nazywamy chondrytami. Większość meteorytów znajdujących na Ziemi jest zaliczana do tej grupy obiektów. Pod względem chemicznym chondryty są podobne do pierwszej spośród opisywanych poprzednio grup mikrometeorytów. Pewna niewielka część chondrytów ma mniejszą gęstość od przeciętnej, jest znacznie wrażliwsza mechanicznie i zawiera znaczne ilości związków węgla. Tego typu meteoryty nazywamy chondrytami węglistymi. Na uwagę zasługują też rzadko spotykane chondryty enstatytowe. Występują w nich znaczne ilości żelaza w postaci kamacytu, obecny jest też siarczek żelaza, czyli troilit. W meteorytach tych obserwujemy chondry enstatytowe zawierające krzemian magnezu zwany właśnie enstatytem, przy zupełnym braku oliwину.



Przekrój chondrytu zwyczajnego z widocznymi chondrami

Na powierzchni chondrytów, bezpośrednio po upadku, można zaobserwować cienką i dość ciemną skorupę obtopieniową powstałą podczas ablacji i zastygłą niemal natychmiast podczas fazy lotu (ostatni odcinek podróży meteorytu w dolnej warstwie atmosfery). Skorupa taka w warunkach ziemskich ulega szybkiemu utlenianiu, wietrzeniu i po stosunkowo krótkim czasie upodabnia się nieco do ziemskich kamieni. W warunkach wysokiej wilgotności materia chondrytowa w ciągu setek czy tysięcy lat może ulec całkowitej erozji. Szybkie zmiany zachodzące po spadku meteorytu

METEORYTY

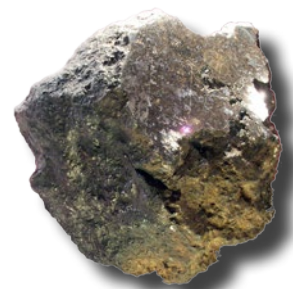
NIEZRÓŻNICOWANE

ZRÓŻNICOWANE

CHONDRYTY WĘGLISTE C	CHONDRYTY ZWYCZAJNE L LL H	CHONDRYTY ENSTATYTOWE EH EL	ACHONDRYTY	METEORYTY ŻELAZNE	METEORYTY ŻELAZNO-KAMIENNE
CI <i>Ivuna</i>	LL <i>Czelabińsk</i>	EH <i>Abee</i>	Ureility <i>NWA 2624</i>	Heksaedryty <i>NWA 10418</i>	Pallasyty <i>Brahin</i>
CO <i>Moss</i>	L <i>Baszkówka</i>	EL <i>NWA 1910</i>	Diogenity <i>NWA 3143</i>	Oktaedryty <i>Gibeon</i>	Mezocyderyty <i>Bondac</i>
CV <i>Allende</i>	H <i>Pułtusk</i>		Eukryty <i>Millbillillie</i>	Ataksyty <i>Hoba</i>	
CM <i>Murchison</i>			Aubryty <i>Cumberland Falls</i>		
CR <i>Renazzo</i>			Howardyty <i>Yurtuk</i>		
CB <i>Bencubbin</i>			Księżycowe <i>NWA 6252</i>		
C <i>Tagish Lake</i>			Marsjańskie <i>DaG 476</i>		



Baszkówka — chondryt typu L5, który spadł w Polsce 25 sierpnia 1994 r. i ze względu na unikalny kształt uformowany podczas orientowanego przelotu przez atmosferę został uznany za najpiękniejszy polski meteoryt



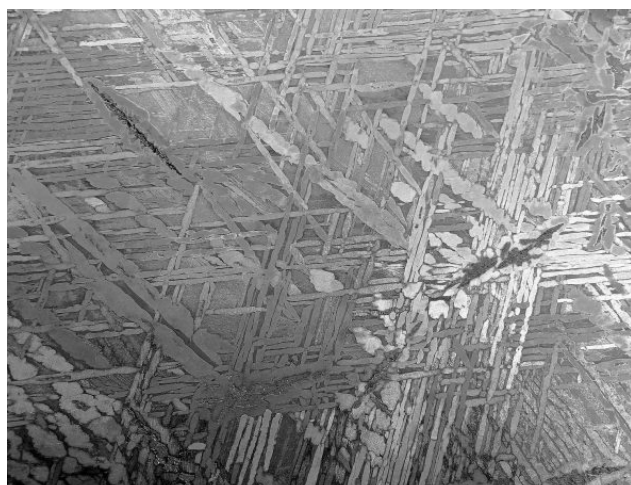
Meteoryt żelazno-kamienny Łowicz, który spadł nocą z 11 na 12 listopada 1935 r. Okaz prezentowany powyżej przywiózł do Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego astronom Maciej Bielicki, delegowany do zbadania tego zjawiska. Po wojnie udało się odnaleźć ten meteoryt w gruzach zniszczonego obserwatorium

są powodem, dla którego poszukiwania takich obiektów powinny być organizowane w możliwie jak najkrótszym czasie. Świeże meteoryty jest łatwiej odnaleźć, a zebrany materiał będzie naukowo cenniejszy, mniej zmieniony przez warunki środowiskowe.

Istnienie chondr ma związek z niecałkowitym przetopieniem się materii podczas formowania się meteoroidu. W przypadku, gdy doszło do całkowitego przetopienia się materii, mamy do czynienia z ciałami niezawierającymi chondr i takie obiekty nazywamy achondrytami. Tylko około 5% meteorytów kamiennych to achondryty, różniące się często od siebie składem, ale mające dość podobną do siebie strukturę. Niewielka część achondrytów ma skład bardzo podobny do materii księżycowej zebranej podczas misji Apollo, a jeszcze mniejsza część ma własności, które sugerują ich marsjańskie pochodzenie.

Meteoryty żelazne są znacznie odporniejsze na warunki ziemskie i dają się odnaleźć w dobrym stanie nawet po tysiącach lat od upadku. Pomimo że meteoryty żelazne stanowią tylko niewielki odsetek wszystkich spadających meteorytów, to ze względu na ich znacznie mniejszą podatność na wietrzenie i wysoką magnetyczność są odnajdowane bardzo często. W większości to meteoryty, które spadły na powierzchnię Ziemi bardzo dawno, a ich upadki nie zostały nigdzie odnotowane. Meteoryty żelazne w rzeczywistości nie składają się z samego żelaza, bardzo charakterystyczna dla nich jest obecność niklu. Obserwuje się tutaj wyrazistą strukturę krystaliczną będącą efektem bardzo wolnego schładzania płynnej mieszaniny metali. Charakterystyczne jest występowanie tzw. figur Widmanstättena, linii widocznych po przecięciu meteorytu i wytrawieniu rozcieńczonym kwasem azotowym. Figury te są utworzone przez naprzemiennie ułożone belki kamacytu (z niewielką zawartością niklu) i taenitu (z wyższą zawartością niklu). Meteoryty, w których widoczne stają się linie Widmanstättena, nazywamy oktaedrytami, składają się one z taenitu i kamacytu. Niekiedy trafiają się meteoryty żelazne, które składają się głównie z uboższego w nikiel kamacytu. Wówczas przy wytrawianiu nie powstają linie Widmanstättena, natomiast widoczna staje się inna struktura, zwana liniami Neumanna. Takie meteoryty nazywamy heksaedrytami. Istnieją też meteoryty żelazne o dużej zawartości taenitu, niewykazujące widocznej struktury krystalicznej. Takie meteoryty nazywane są ataksytami.

Meteoryty żelazno-kamienne są zdecydowanie najrzadsze. Składają się z mniej więcej porównywalnych ilości krze-



Figury Widmanstättena widoczne po wytrawieniu powierzchni meteorytu żelaznego

mianów i metalu. Istnieją dwa podstawowe typy meteorytów żelazno-kamiennych. Niezwykle efektowne pallasyty posiadają liczne kryształy oliwinu wbudowane w żelazowo-niklową otoczkę. Zarówno część żelazna, jak i oliwinowa ulegała bardzo powolnemu chłodzeniu w procesie formowania, przez co kryształy oliwinu są duże, a na wytrawionych powierzchniach żelazowo-niklowych widać figury Widmanstättena. Drugim typem są mezosyderyty, w których znajdujemy dość chaotycznie wymieszany materiał żelazowo-niklowy oraz krzemianowy. Często znajdujemy tam szkliwo, jak też żyły metalu. Taka budowa sugeruje znacznie bardziej burzliwy proces formowania się tego typu ciał.

Meteoryty mogą być w przybliżeniu datowane. Możliwe jest określenie momentu, w którym doszło do zestalenia się materii meteoroidu, jak też określenie czasu, przez jaki meteoroid był wystawiony na działanie promieniowania kosmicznego. Dla większości meteorytów wiek określony jest na około 4,5 mld lat, co w przybliżeniu zgadza się z wiekiem Układu Słonecznego. Analiza orbit dla nielicznych przypadków, w których obserwowano wejście ciała do atmosfery, wskazuje na planetoidalne pochodzenie meteorytów. W niektórych wypadkach meteoryty mogą pochodzić z wnętrza dużych obiektów, gdzie doszło do pełnego przetopienia materii. Dotyczy to meteorytów żelaznych, które mogą pochodzić z jąder dużych planetoid. Również achondryty pochodzą z wnętrza planetoid, które mogły mieć średnice większe niż 200 km. Dla chondrytów węglistych skład chemiczny może sugerować pochodzenie kometarne. Wiek achondrytów księżycowych ocenia się na 3,9 mld lat, natomiast dla meteorytów marsjańskich wiek jest znacznie niższy.



Indochinit — tektyt pochodzący z Półwyspu Indochińskiego

Obok meteorytów na Ziemi spotykamy też pewien niezwykły typ obiektów bezpośrednio związanych z uderzeniami większych, kraterotwórczych meteorytów. Te obiekty to tektyty — niewielkie kamienie o szklistej powierzchni. Tektyty różnią się kolorami, spotykamy tu różne odcienie zieleni, brązu, często bywają czarne i nieprzezroczyste. Spotykane są na pewnych konkretnych obszarach i zazwyczaj można je powiązać z istniejącymi na Ziemi strukturami uderzeniowymi. Skład chemiczny tektytów jest w przybliżeniu zgodny ze składem chemicznym ziemskich skał. Tektyty powstają przy uderzeniu dużego ciała z prędkością wielu kilometrów na sekundę. Tego typu uderzenia powodują powstanie kraterów, dochodzi do częściowego odparowania lub też roztopienia materiału skorupy ziemskiej w miejscu uderzenia. Drobinę roztopionej materii wyrzucane na odległości setek kilometrów są błyskawicznie schładzane, przyjmując postać szkliwa, które następnie opada pod postacią tektytów. W Europie największe ilości tektytów znajduje się w Czechach i na Morawach. Znajdowane tam tektyty nazywa się moldawitami, pochodzą one sprzed 14 mln lat, kiedy to wskutek uderzenia planetoid o rozmiarach 1,5 km i 100 m doszło do powstania kraterów Nördlinger i Riess w południowych Niemczech.

Przemysław Żołądek