

POLSKA AKADEMIA NAUK
ODDZIAŁ W KRAKOWIE



ANDRZEJ MANECKI

**METEORYTY,
PYŁY KOSMICZNE
I SKAŁY KSIEŻYCOWE**

**POLSKA AKADEMIA NAUK
ODDZIAŁ W KRAKOWIE**

**NAUKA DLA WSZYSTKICH
Nr 251**

ANDRZEJ MANECKI

**METEORYTY,
PYŁY KOSMICZNE
I SKAŁY KSIĘŻYCOWE**

**PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
WARSZAWA — KRAKÓW 1975**

Wydawnictwo „Nauka dla Wszystkich” Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, skupiającego w swoich komisjach z górą 1600, pracowników naukowych, pragnie spełnić; obowiązek upowszechnienia i popularyzacji nauki w społeczeństwie. Spodziewamy się, że zwięzłe »1-2-arkuszowe zeszyty, którymi mamy zamiar objąć zakres wszystkich nauk, tzn. humanistycznych, przyrodniczych i technicznych, z korzyścią uzupełnią działalność w tym kierunku innych instytucji. Tomiki „Nauki dla Wszystkich” są przeznaczone dla szerokich kół społeczeństwa, które pragnąc nadażyć za coraz szybszym postępowaniem nauk i odkryć, chce nieustannie odnawiać, bogacić i pogłębiać swą wiedzę tak w zakresie swego zawodu, jak i ogólnej kultury. Mamy też nadzieję, że przynosząc ostatnie zdobycze wiedzy i podając wykaz najważniejszych aktualnych publikacji: z danej nauki, nasze tomiki dopomogą w pracy przede wszystkim nauczycielstwu i prelegentom towarzystw oświatowych. Powinny też stać się niezbędnym narzędziem w pracy studentów wyższych uczelni i przedmaturalnych klas liceów, szkół technicznych i zawodowych.

KOMITET WYDAWNICZY

WYDAWNICTWO „NAUKA DLA WSZYSTKICH”

posiada trzy działy:

DZIAŁ NAUK HUMANISTYCZNYCH (*okładka niebieska*)

Serie:

Archeologia	Etnografia i socjologia
Historia	Nauki prawnicze i ekonomiczne
Nauka o literaturze	Orientalistyka
Językoznawstwo	Kultura klasyczna
Słowianoznawstwo	Sztuka, teatr, muzyka
Psychologia i pedagogika	

DZIAŁ NAUK PRZYRODNICZYCH (*okładka zielona*)

Serie:

Matematyka i astronomia	Nauka o Ziemi
Fizyka i chemia	Nauki rolnicze i leśne
Biologia	Nauki medyczne

DZIAŁ NAUK TECHNICZNYCH (*okładka pomarańczowa*)

Serie:

Energetyka	Metalurgia
Elektrotechnika i automatyka	Ceramika
Mechanika	Architektura i urbanistyka
Górnictwo i geodezja	

KOMITET WYDAWNICZY

Przewodniczący Franciszek Sławski; **wiceprzewodniczący: Zbigniew Jabłoński**; **sekretarz: Jacek Kajtoch**; członkowie: Julian Aleksandrowicz, Bolesław Faron, Henryk **Górecki**, **Edward Górlich**, Zygmunt Grodziński, Jerzy Jarowiecki, Aleksander Koj, Aleksander **Krupkowski**, Stefan Myczkowski, Tadeusz Ruebenbauer, Stanisław Urbańczyk

ADRES REDAKCJI:

POLSKA AKADEMIA NAUK — ODDZIAŁ W KRAKOWIE
Kraków, ul. Sławkowska 17

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE ODDZIAŁ W KRAKOWIE

Wydanie I. Nakład 1700+90 egz. Ark. wyd. 2. Ark. druk. 27*.
Papier druk. m. gł. ki. IV, 82X104, 65 g. Oddano do składania w lutym 1975 r. Podpisano do druku w październiku 1975 r. Druk ukończono w grudniu 1975 r. Z-20-1129. Zam. 736/75 Cena zł 4.—

PRASOWE ZAKŁADY GRAFICZNE RSW „PRASA-KSIĄŻKA-RUCH”
KRAKÓW

1. Wstęp

Badania materii pochodzenia pozaziemskiego prowadzą do poznania nowych faz krystalicznych nie znanych na Ziemi oraz do poszerzenia znajomości procesów minerałotwórczych. Stwarza to unikalną szansę rozszyfrowania historii powstania układu słonecznego czy budowy wnętrza naszej planety. Wyniki tych badań mają doniosłe znaczenie dla ujawnienia podstawowych własności materii tworzącej Kosmos. Otwiera to przed nauką perspektywę związane z syntezą nowych faz krystalicznych i praktycznym ich wykorzystaniem stwarzając przesłank¹ w zakresie badań wyprzedzających rozwój technologii. Wymaga to współpracy specjalistów z różnych dziedzin, m. in. mineralogów, chemików, geologów, fizyków i metalografów. W ostatnich kilkunastu latach obserwuje się gwałtowny rozwój kosmomineralogii i kosmochemii. Zdaniem wielu uczonych, minerały i skały pochodzenia pozaziemskiego, a zwłaszcza skały księżycowe, to najbardziej intensywnie, a zarazem ekstensywnie badany materiał w historii nauki.

Przez wiele lat zaprzeczano, że meteoryty są ciałami pochodzenia kosmicznego. Pogląd o ich pozaziemskim pochodzeniu ugruntowały dopiero prace E. F. F. Chladniego (1794) i G. B. Biota (1803). Szczegółowe opracowania mineralogiczne datują się od czasu zastosowania do badań mikroskopu polaryzacyjnego (G. Tschermak — 1835, S. Meunier — 1893). G. Tschermak w monograficznej pracy o meteorytach przedstawił opisy 16 minerałów,

w tym 4 nie znanych w skałach ziemskich. W latach następnym zainteresowanie meteoritami było niewielkie, W ciągu bowiem 70 lat (1885—1955) od badań Tschermaka opisano zaledwie 10 minerałów (tab. 1). Gwałtowna zmiana nastąpiła po r. 1957. Wystrzelenie pierwszego sztucznego satelity (1957) i lot J. Gagarina (1961) otworzyły przed człowiekiem perspektywę penetracji przestrzeni kosmicznej. Rozpoczyna się szybki rozwój kosmomineralogii i kosmochemii, a efektem tego jest rozpoznanie w meteoritach, tylko w okresie ostatnich 18 lat, następnym 78 minerałów, w tym 30 to minerały nie znane w skałach ziemskich.

Tabela 1

Minerały meteoritów

Opisane w latach	Liczba minerałów	W tym nie znane na ziemi
do 1885	16	4
1885-1955	10	1
1955-1973	78	30
	104	35

Minerały i skały księżycowe przywiezione na Ziemię przez wyprawy **Apollo** i automatyczne stacje bezzałogowe typu Łuna okazały się znacznie bardziej różnorodne niż przewidywano. W skałach tych opisano ponad 30 minerałów w tym kilka nie znanych na Ziemi. Przedmiotem badań kosmomineralogów są także tektyty i pyły kosmiczne.

Pierwsze polskie prace dotyczące meteoritów datują się w początkach dziewiętnastego wieku (K. Kortum — 1805, S. B. Jundziłł — 1805, 1821, F. Makólski — 1820, J. Sniadecki — 1822, H. Kratter — 1825 i in.). Prace J. Makólskiego i H. Krattera były pierwszymi w świecie pracami doktorskimi z meteorityki. Znaczny wkład

w rozwój kosmomineralogii wniosły liczne prace, najwybitniejszego mineraloga polskiego I. Domeyki (1802—1889).

2. Meteoryty

Meteoryty są to skały spadłe na Ziemię z przestrzeni międzyplanetarnej. Najliczniejszą grupę meteorytów stanowią tzw. *chondryty (meteoryty kamienne)*, które najczęściej spadają na Ziemię. Charakteryzują się one specyficzną teksturą, nieznaną w ziemskich skałach ani też w skałach występujących na powierzchni Księżyca. Chondryty zbudowane są z małych kulistych agregatów krystalicznych tzw. *chondr.* W wielu nowoczesnych teoriach kosmogenicznych rolę szczególną przypisuje się tej grupie meteorytów, a zwłaszcza bardzo rzadkim *chondrytom tęglistym*. Znacznie rzadziej spadają na Ziemię *achondryty* (odmiana meteorytów kamiennych), *meteoryty żelazno-kamienne* i *żelazne*. Achondryty składem mineralnym i teksturą podobne są do niektórych magmowych skał ziemskich typu gabra i brekcji księżycowych. Meteoryty żelazne stanowią zaledwie 6% wszystkich opisanych meteorytów, ale ze względu na zupełnie odmienny od skał ziemskich wygląd i znaczny ciężar znajdowane są często. Przyjmuje się, że skład meteorytów żelaznych odpowiada składowi chemicznemu jądra ziemskiego. Stąd znaczne zainteresowanie kosmomineralogów tą grupą meteorytów. Zagadnieniem podstawowym mineralogii i petrologii meteorytów jest geneza chondrytów.

Klasyfikacja i skład mineralny meteorytów

W roku 1807 M. H. Klaproth podzielił meteoryty na dwie grupy: kamienne i żelazne, a **wr. 1870 N. S. Maskeylyne** wyróżnił ponadto grupę meteorytów żelazno-kamiennych. W latach następnych opracowano klasyfikację

szczególnością (tzw. klasyfikacja Rosego-Tschermaka-Breziny), w której wyróżniono 8 grup i 76 klas:

achondryty	12 klas	syderolity	3 klasy
chondryty	30 klas	litosyderyty	5 Mas
chondryty enstatytowo-anortytowe	1 klasa	oktaedryty heksaedryty	14 klas 3 klasy
		ataksyty	8 klas

Klasyfikacja ta, z tak dużą liczbą klas i oparta w znacznym stopniu na teksturze, okazała się trudna i kłopotliwa w stosowaniu. W r. 1920 G. T. Prior opracował klasyfikację, w której za podstawę podziału przyjął skład mineralny. Wydzielił on cztery grupy meteorytów: chondryty, achondryty, meteoryty żelazno-kamienne i żelazne, obejmujące łącznie 19 klas. W tabeli 2 przedstawiono stosowaną ogólną klasyfikację meteorytów oraz skład mineralny tych ciał.

Tabela 2

Ogólna klasyfikacja meteorytów

Grupa	%	Minerały główne	Minerały poboczne
Kamienne: (chondryty)	84,6	oliwiny, pirokseny	kamacyt, taenit, plagioklasy, troilit
achondryty	8,0	pirokseny, plagioklasy, oliwiny	troilit, kamacyt, taenit
Żelazno-kamienne	1,6	kamacyt, taenit, oliwiny, pirokseny	plagioklasy, troilit, schreibersyt
Żelazne	5,8	kamacyt, taenit	oliwiny, schreibersyt, troilit

Minerały meteorytów badane do niedawna głównie mikroskopowo są obecnie analizowane nowoczesnymi metodami rentgenowskimi, fluorescencyjnymi, aktywacji neutronowej, spektrofotometrii w podczerwieni i in. Nie-

ocenione usługi oddają metody rentgenowskiej analizy spektralnej w mikroobszarze (mikrosondy elektronowe). Za pomocą mikrosondy elektronowej można oznaczać z dużą dokładnością skład chemiczny nawet bardzo małych ziarn (do 2 M) w sposób nie niszczący próbki. Minerale meteorytów zestawiono w tabeli 3. A oto krótka charakterystyka najważniejszych skało twórczo minerałów meteorytów.

Oliwiny. Najpospolitsze w meteorytach kamiennych. W chondrytach tworzą małe kuliste skupienia (chondry) o charakterystycznych strukturach ekscentryczno-promienistych. Mineral ten cementuje także chondry. Skład chemiczny zmienny, najczęściej 15—30% mol. $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$.

Pirokseny. W meteorytach stwierdzono różne odmiany tych minerałów, lecz zwykle są to pirokseny rombowe. Skład chemiczny piroksenów, podobnie jak i oliwinów, jest różny w meteorytach, zwykle ze wzrostem udziału faz (Fe, Ni) wzrasta zawartość żelaza w tych minerałach. Pirokseny budują chondry w chondrytach.

Plagioklasy. Występują pospolicie, lecz w małych ilościach w wielu meteorytach kamiennych. Są to zwykle odmiany szeregów bytownit-anortyt i albit-oligoklaz. W meteorytach tych stwierdzono także szkliwo o składzie plagioklazów zwane maskelynitem.

Kamacyt, taenit. Fazy żelaza niklowego (Fe, Ni), obecne, są prawie we wszystkich meteorytach, z wyjątkiem chondrytów węglistych i niektórych achondrytów. W XIX w. był zwyczaj wprowadzania odrębnych nazw dla niewiele różniących się odmian tych minerałów.

S. Meunier opublikował w r. 1893 wyniki badań żelaza meteorytowego i wprowadził 22 nazwy jego odmian utworzone od miejsc spadków meteorytów; *agramit, arvait, bendigit, burlingtonit, caillit, campbellit, carltonit, catarinit, cahuillit, dicksonit, ieknit, jewellit, kendallit, lenartyt, lickportyt, madocyt, nelsonit, rocyt, schwetzyt, tazawellit, thundyt, tucsonit.* Nazwy te zostały wyprowadzone z użycia. Żelazo niklowe jest najbardziej rozpowszechnioną odmianą żelaza rodzimego, występującą w meteorytach. Jest ono składnikiem głównym meteory-

Minerały meteorytów

t	<i>Pierwiastki rodzime</i>	
	Diament	C
!	Grafit	C
	Kamacyt	a (Fe, Ni)
I	Miedź rodzima	Cu
	Siarka rodzima (?)	S
'	Taenit	Y (Fe, Ni)
	Złoto rodzime	Au
	<i>Chlorki:</i>	
	Lawrencyt *	FeCL
	<i>Węgliki, azotki, fosforki</i>	
	Cohenit	Fe ₃ C
	Moissanit (?)	SiC
	Sinoit *	Si ₂ N ₂ O
	Schreibersyt	(Fe, Ni, Co) ₃ P
	Perryit *	(Ni, Fe) (Si, P),
	Osbornit *	TiN
	Chalypit	Fe ₂ C
	<i>Siarczki:</i>	
	Alabandyn	MnS
	Chalkopiryt	CuFeS ₂
!	Chałkopirotyn	CuFeS ₂ -FeS (roztwór stały)
	Daubreelit *	FeCr ₂ S ₄
	Djerfisheryt *	K ₃ (Cu, Na) (Fe, Ni) ₁₂ S ₁₄
	Gentneryt	siarżek Cr, Cu i Fe
	Kubanit	CuFe ₂ S ₃
!	Macki na wit	FeS
	Niningeryt *	(Mg, Fe, Mn)S
	Oldhamit *	CaS
	Pentlandyt	Ni, Fe ₉ Sa
!	Piryt	FeS ₂
	Sfaleryt	ZnS
	Troilit	FeS
	Yalleriit	CuFeS ₂

Tabela 3 (cd)

<i>Tlenki:</i>	
Chromit	Cr_2FeO_4
Hercynit	Al_2FeO_4
Ilmenit	FeTiO_3
Magnetyt	Fe_3O_4
Perowskit	CaTiO_3
Ringwoodyt *	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$
Rutyl	TiO_2
Spinel	AlMgO_4
<i>Wegłany:</i>	
Breunneryt	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Kalcyt	CaCO_3
Magnezyt	MgCO_3
<i>Siarczany:</i>	
Astrachanit	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Epsomit (?)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Gips (?)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<i>Fosforany:</i>	
Apatyt chlorowy	$\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$
Farringtonit *	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$
Graftonit	$\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca}, \text{Mg})_3 (\text{PO}_4)_2$
Brianit *	$\text{Na}_2\text{CaMg}(\text{PO}_4)_2$
Panethyt *	$\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{PO}_4)_2$
Sarkopsyd	$(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$
Stanfieldyt	$\text{Ca}_4\text{Mg}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_6$
Whitlockit	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
<i>Krzemiany:</i>	
Cyrkon	ZrSiO_4
Gehlenit	$\text{Ca}_2\text{Al}((\text{SiAl})_2\text{O}_7)$
Grossular	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Kordieryt	$\text{Mg}_2(\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18})$
Krinowit	$\text{NaMg}_2\text{Cr}(\text{Si}_3\text{O}_{10})$
Krystobalit	SiO_2
Kwarc	SiC_2

Tabela 3 (cd)

Merrihuenit *	$(K, Na)_2Fe_2(Fe, Mg)_3(Si_{12}O_{30})$
Oliwiny	$Mg_2(SiO)_4 - Fe_2(SiO)_4$
Nefelin	$KNa_3(AlSi_0.4)_4$
Plagioklazy	$Na(AlSi_3O_8) - Ca(Al_2Si_2O_8)$
1 Pirokseny	krzemiany o urozmaiconym
Richteryt	składzie chemicznym
1 Roedderyt *	$(Na, K)_2Mg_2(Mg, Fe)_3(Si_{12}O_{3a})$
Serpentyny	$Mg_6(OH)_8(Si_4O_{10})$
Trydymit	SiO_2
Ureyit	$NaCr(Si_2O_5)$
Yagiit *	$(NaK)_{1.5}Mg_2(Al, Mg, Fe)_3(Al_2Si_{10}O_{30})$

* — Nie znane w skałach ziemskich.

(?) — Wątpliwe.

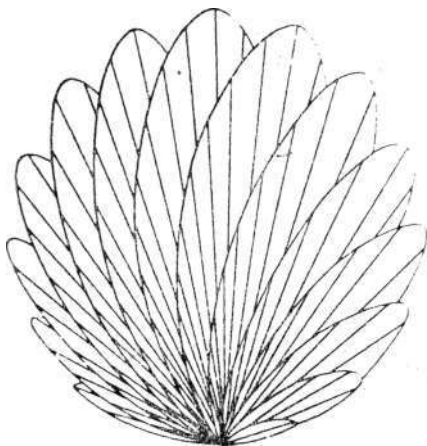
tów żelaznych, w których występuje **jako ubogi w Ni kamacyt** (tzw. żelazo belkowe — 7,5% Ni) i **zasobny w Ni taenit** (tzw. żelazo wstęgowe — 8—55% Ni). W meteorytach spotyka się także często drobnolamelkowe przerosty kamacytu i taenitu tzw. *plessyt*.

Wśród minerałów meteorytów występują licznie **nie** stwierdzone w skałach ziemskich węgliki, azotki, fosforki, fosforany, siarczki i krzemiany. Nie ulega wątpliwości, że charakterystyczne zespoły mineralne wielu meteorytów, udział faz (Fe, Ni), obecność nowych faz mineralnych oraz formy skupień minerałów (chondry) wskazują na różne warunki tworzenia się tych ciał. Wiele meteorytów jest bardzo starych (4,7 bilionów lat), są one starsze od najstarszych ze znanych nam skał ziemskich — reprezentują więc materię kosmiczną o bardzo wczesnym stadium rozwojowym.

C h o n d r y t y i c h o n d r y

Cechą charakterystyczną większości chondrytów jest obecność małych kulistych agregatów **minerałów** krzemianowych — *chondr*. Skład **mineralny chondr w różnych**

klasach meteorytów jest **podobny**. Te kuliste, rzadziej elipsoidalne agregaty krystaliczne, o przeciętnej średnicy około 1 mm, zbudowane są z oliwinów **lub** piroksenów, a **niekiedy** także ze szkliwa. Chondry piroksenowe są najczęściej wypełnione pręcikami, a oliwinowe zwykle płytkami o strukturach ekscentryczno-promienistych. Na rycinie 1 przedstawiono wyidealizowany obraz chondry



Ryc. 1. Schemat chondry o strukturze ekscentryczno-promienistej

o budowie ekscentryczno-promienistej; w sferolitach płytkowych minerały krzemianowe ułożone są podobnie jak kartki otwartej książki, a w sferolitach pręcikowych — na podobieństwo kolców zwiniętego jeża. Agregaty typu chondr nie są znane w skałach ziemskich i księżycowych.

Chondryty należą do najpospolitszych meteorytów. Skład mineralny tych meteorytów, z wyjątkiem nielicznej grupy chondrytów węglistych, jest podobny. Mineralami głównymi są krzemiany; *oliwiny* i *pirokseny*, a pomocznymi; *plagioklasy*, *kamacyt*, *taenit* i *troilit*. Do składników akcesorycznych zaliczyć należy *chromit* i *maskelynit*. Chondrytem jest meteoryt PUŁTUSK*, który spadł

* Nazwę meteorytu formułuje się zgodnie z nazwą miejscowości, w której go znaleziono.

w postaci deszczu aerolitów dnia 30 stycznia 1868 r. około godziny 19 czasu miejscowego nad Pułtuskim, rozsiewając się na przestrzeni 127 km². Meteoryt PUŁTUSK należy do odmian chondrytów oliwinowo-bronzytowych i notowany jest w zbiorach 147 muzeów, z czego 135 to muzea znajdujące się poza granicami Polski. Ogólny ciężar odłamów tego meteorytu przechowywanych w zbiorach świata ocenia się na 276 kg.

Wśród ponad 1000 znanych chondrytów bardzo interesującą, lecz małą grupę stanowią *chondryty węgliste*. Liczba ich według różnych klasyfikacji waha się w granicach 17—28. Pierwszą analizę chemiczną chondrytu węglistego ALAIS wykonał w r. 1834 J. J. Berzelius. Wyraził on wątpliwość, czy badana skała jest meteoritem, tak bowiem bardzo różnił się jej skład chemiczny od składu innych meteorytów znanych w tym czasie. W trzydzieści lat później opisano podobny meteoryt RENAZZO. Obecnie wydziela się trzy typy chondrytów węglistych (typy I, II i III, oznaczone często symbolami; CCI, CCII i CCIII). Chondryty węgliste I typu charakteryzuje brak chondr oraz znaczny udział C i H₂O. Składnikami głównymi tego typu chondrytów są amorficzne substancje krzemianowe, słabo skryształizowane krzemiany pakietowe (typu *serpentynu*), a składnikami pobocznymi i akcesorycznymi są: *magnetyt*, *spinele*, *siarczany*, *węglany* i *węglowodory*. W II typie chondrytów węglistych pojawiają się chondry zbudowane głównie z *oliwinu* lub *piroksenu*, a zmniejsza się nieco udział H₂O i C. I w tym typie przeważają krzemiany pakietowe typu *serpentynu* lub *chlorytu*. Typ III chondrytów węglistych składem chemicznym, mineralnym i teksturą zbliżony jest do chondrytów zwyczajnych. Charakterystyczną więc cechą tej nielicznej grupy chondrytów jest obecność minerałów uwodnionych i węglowodorów. Udział pierwiastka C w chondrytach węglistych waha się w granicach 3,54—0,46%. Wchodzi on w skład amorficznej substancji typu *grafitoidu* i *węglowodorów*. Zdaniem większości uczonych węglowodory te utworzyły się w wyniku procesów chemicznych, a nie biologicznych. Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że w pozostałych licznych grupach meteorytów

ani też w skałach księżycowych nie stwierdzono minerałów uwodnionych i węglowodorów.

Przez wiele lat panował pogląd wyrażony przez R. A. Daly'ego (1943), że wszystkie meteoryty są fragmentami jednej dużej planety, która rozpadła się na planetoidy w obszarze między orbitami Marsa i Jowisza. Meteoryty kamienne i żelazno-kamienne miały reprezentować strefy bardziej zewnętrzne owej planety, a meteoryty żelazne jej jądro. Wyniki szczegółowych badań fazowych i chemicznych wykonane w ostatnich latach pozwoliły na stwierdzenie braku ciągłości mineralogicznej i chemicznej między niektórymi grupami meteorytów. Wyklucza to koncepcję, że wszystkie meteoryty pochodzą z jednego ciała planetarnego. Punktem wyjścia niektórych teorii kosmogonicznych jest struktura chondrytów i chondr. Chondryty najprawdopodobniej utworzyły się w wyniku akumulacji chondr i dlatego w wielu rozważaniach dotyczących tej grupy meteorytów oddziela się genezę chondr od genezy i późniejszych przemian strukturalnych chondrytów. Dotychczas ogłoszone poglądy na temat genezy chondr są następujące:

1. Chondry utworzyły się z kropelek stopionych krzemianów.

2. Chondry są fragmentami wcześniej istniejących meteorytów, które w procesach dezintegracji i wietrzenia mechanicznego uzyskały charakterystyczne postaci kuliste.

3. Chondry stanowią produkt szybkiej segregacji magmowej.

4. Chondry utworzyły się w zewnętrznej chłodnej strefie pramaterii słonecznej w wyniku kondensacji koloidalnych cząstek amorficznych, które przeszły etap wysokotemperaturowy i krystalizowały w chondry.

5. Chondry utworzyły się w wyniku erupcji wulkanicznych na planecie macierzystej meteorytów.

6. Chondry rekrytalizowały w stanie stałym w procesie przemian serpentyn————> oliwin————> piroksen spowodowanych progresywnym metamorfizmem termicznym.

Przedstawione hipotezy można podzielić ogólnie na

magmowe i mgławicowe. W świetle ostatnich wyników badań wieku chondrytów mało prawdopodobne wydają się hipotezy o magmowym pochodzeniu chondr i chondrytów.

Achondryty

Jest to nieliczna grupa meteorytów kamiennych, w których brak jest chondr. Są one zwykle znacznie bardziej grubokrystaliczne niż chondryty, a składem chemicznym i mineralnym podobne do ziemskich ultrazasadowych i zasadowych skał magmowych. Zwraca także uwagę podobieństwo niektórych achondrytów do księżycowych brekcji impaktytowych. Mineralami głównymi są bezwodne krzemiany; *pirokseny*, *plagioklasy* i *oliwiny*. Wyróżnia się dwie podgrupy achondrytów:

1. ubogie w Ca (0—3% CaO) — *aubryty*, *diogenity*, *chassignity*,

2. zasobne w Ca (5—25% CaO) — *eukryty* i *howardyty*.

Na podstawie składu mineralnego, chemicznego oraz cech teksturalnych uważa się, że w większości achondryty utworzyły się w wyniku krystalizacji magmy, a tylko niektóre w procesach metamorfizmu uderzeniowego (impaktytowego).

Meteoryty żelazno-kamienne

Jest to niewielka grupa meteorytów, które podzielono na cztery podgrupy:

1. pallasyty (oliwinowe),
2. mezosyderyty (piroksenowo-plagioklazowe),
3. lodranity (oliwinowo-piroksenowe),
4. syderofiry (piroksenowo-trydymitowe).

Dwie ostatnie podgrupy reprezentowane są przez pojedyncze egzemplarze. Mineralami głównymi są bezwodne krzemiany i fazy metaliczne (kamacyt, taenit).

Mezosyderytem jest meteoryt ŁOWICZ. Spadł on w postaci deszczu meteorytów 12 marca 1935 roku 11 km na S od Łowicza. Zebrano około 100 sztuk okazów o łącznej

wadze 110 kg. Okazał się on drugim z kolei na świecie mezosydytem pod względem ilości spadłych okazów i ich masy. Meteoryt ŁOWICZ był m. in. szczegółowo badany przez St. Jaskólskiego (1938).

Meteority żelazne

Meteority żelazne stanowią zaledwie 6% wszystkich obserwowanych spadków, ale ze względu na charakterystyczny wygląd i znaczny ciężar, znajdują one najczęściej (tab. 4).

Tabela 4

Częstość spadków i znalezisk meteorytów
(według G. T. Priora — 1953)

Grupa	Znaleziska		Spadki obserwowane	
	liczba	f %	liczba	%
Meteority:				
kamienne	304	35	628	92
żelazno-kamienne	55	6	12	2
żelazne	003	59	42	6

Głównym i dominującym składnikiem meteorytów żelaznych jest *żelazo niklowe (kamacyt, taenit)*, dlatego też w stosowanych powszechnie klasyfikacjach ugrupowane są one według procentowej zawartości Ni i wielkości ziarn kamacytu (tab. 5 i 6). W ostatnich latach podejmuje się próby klasyfikacji genetycznej uwzględniającej szybkość stygnięcia meteorytów żelaznych, efekty metamorfizmu impaktytowego, a także skład chemiczny i cechy strukturalne. Wymienione klasyfikacje uzupełnia się ostatnio podziałem na tzw. grupy germanowo-galowe.

Heksaedryty. Heksaedryty są wielkimi kryształami kamacytu (o wielkości niekiedy ponad 5 cm). Krystalizują one w postaci sześciątów (hexaedron), stąd ich nazwa.

Tabela 5

Ogólna klasyfikacja meteorytów żelaznych

Typ	Zawartość Ni w %
Heksaedryty	5,0- 6,0
Oktaedryty	6,0-18,0
Ataksyty	>10

Tabela 6

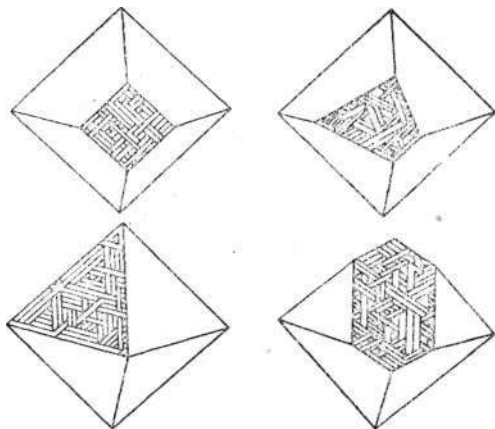
Szczegółowa klasyfikacja meteorytów żelaznych
(według J. I. Goldsteina)

Typ	Symbol	Zawartość Ni w %	Wielkość ziarn kamacytu w mm
Heksaedryty	H	5,0-6,0	>50
Heksa-oktaedryty	H-O	5,5-7,0	50-3
Oktaedryty grubostrukturne	O	6,0-8,5	3,0-1,5
Oktaedryty średniostrukturne	Om	7,0-9,5	1,5-0,5
Oktaedryty drobnostrukturne	Of	7,5-9,5	0,5-0,2
Oktaedryty bardzo drobnostrukturne	Off	13,0-18,0	<0,2
Plessytowe oktaedryty	D-Off	9,5-12,0	<0,2
Ataksyty	D	15,5-18,5	<0,1

Na wypolerowanych powierzchniach obserwuje się mechaniczne zbliżnienia tzw. *linie Neumana*. Nie ma wyraźnej granicy między heksaedrytami, a oktaedrytami —

w nowych klasyfikacjach wyróżnia się typ przejściowy heksa-oktaedrytów. W wielu heksaedrytach stwierdzono deformacje mechaniczne wskazujące, że podlegały one ciśnieniom w granicach 139—750 kb.

Oktaedryty. Jest to najliczniejsza grupa meteorytów żelaznych. Mineralem głównym jest *kamacyt*, podrzędnym *taenit*, a akcesorycznymi: *troilit*, *schreibersyt*, *grafit*, *diament*, *daubreelit* i *cohenit*. Kamacyt wykształcony



Ryc. 2. Różne ułożenie belek kamacytu w strukturze Widmanstattena w zależności od orientacji krystalograficznej przekroju

w postaci belek i taenit jako cienkie lamelle układają się równoległe do ścian ośmiościanu — oktaedru — stąd nazwa oktaedry (ryc. 2). Tego typu zrosty o wspólnej orientacji ujawniają się po odpowiednim wytrawieniu w kwasach wypolerowanych powierzchni oktaedrytów i noszą nazwę *struktury Widmanstattena*. Figury wytrawień zostały opisane w r. 1808 niezależnie w Austrii przez A. von Widmanstattena i w Anglii przez G. Thomsona. Widmanstatten struktury te nazywał „samodrukiem przyrody”. Wytrawione w kwasach płytki oktaedrytów po-

krywał on farbą drukarską i tak sporządzonym stemplem uzyskiwał odciski figur trawienia, które odbijał w swoich publikacjach naukowych. Oktaedryty podzielono na grupy, przyjmując za podstawę zawartość Ni i szerokość belek kamacytu. Opisane struktury Widmanstattena nie są znane w naturalnych stopach utworzonych w warunkach ziemskich.

W ostatnich latach opracowano metody określania szybkości stygnięcia meteorytów. Znajdują one zastosowanie do tych meteorytów, które ujawniają struktury Widmanstattena (oktaedryty, pallasyty). Wykorzystując znane współczynniki dyfuzji Ni i równowagi fazowe w układzie Fe-Ni uzyskano dwie metody; w pierwszej uwzględnia się szerokość belek kamacytu i % udział niklu, a w drugiej skład chemiczny stref międzyziarnowych kamacytu i taenitu. Stwierdzono następnie, że około 70% zbadanych meteorytów ulegało ochłodzeniu z szybkością 1–10°C/mln lat. Przedział szybkości stygnięcia jest większy i waha się w granicach 0,4–500°C/mln lat. Wyniki te potwierdzają pogląd, że oktaedryty pochodzą z ciał planetarnych o różnej wielkości, przy założeniu, że stanowiły one strefy wewnętrzne tych ciał. Średnice takich ciał planetarnych wahały się w granicach 300–30 km. Wyraźny związek szybkości stygnięcia z zawartością galu i germanu umacnia twierdzenie, że meteoryty te należy wiązać nie z jednym, ale z wieloma ciałami macierzystymi.

Ataksyty. W ataksytach zanika struktura Widmanstattena i pojawiają się bardzo drobne przerosty kamacytu z taenitem tzw. *plessyt*. Nieliczne ataksyty zawierające ponad 27% niklu zbudowane są prawie wyłącznie z taenitu, z drobnymi tylko wrostkami kamacytu. Istnieje ciągłe przejście między drobnostukturalnymi oktaedrytami i ataksytami, w nowych systematykach wyróżnia się dodatkową grupę *plessytowych oktaedrytów*.

Największy z obserwowanych spadków meteorytów żelaznych miał miejsce w zachodniej części gór Sichote Alin, około 380 km na północ od Władywostoku. Dnia 12 lutego 1947 r. w tajdze spadł deszcz meteorytów żelaznych. Z lotniska w Władywostoku dwaj piloci obser-

wując przelot meteorytu opisali go jako ognisty pocisk, który zakreśliwszy łuk na horyzoncie zniknął za górami, a pozostała po nim smuga dymu utrzymywała się przez kilka godzin. W kilka dni później ci sami piloci lecąc na wysokości kilkuset metrów zaobserwowali w tajdze na tle białego śniegu liczne kratery oraz połamane i powalone drzewa. Inny świadek przebywający w odległości 2 km od miejsca spadku zauważył rażący w oczy błysk, obłok dymu, a następnie huk eksplozji zakończony serią krótkich trzasków podobnych do strzałów z karabinu maszynowego. Miejsce spadku meteorytu SICHOTE ALIN zostało dokładnie zbadane przez kilka wypraw naukowych. Na powierzchni elipsy o polu $2,4 \text{ km}^2$ stwierdzono 122 kratery o średnicach od 0,5 do 28 m i głębokości do 6 m. Zebrano łącznie 23 tony metalu. Ciężar całości ocenia się na 70 ton, a masę rozproszoną w postaci odłamków i pyłu ocenia się na 200 ton. Największe fragmenty meteorytu ważyły 1750, 700 i 500 kg, a najmniejszy znaleziony okruch — 0,18 g. Deszcz meteorytów spowodował zniszczenie lasu.

W Polsce przedmiotem szczegółowych badań był w ostatnich latach meteoryt żelazny, grubostrukтурalny oktaedryt, MORASKO. Pierwszy jego odłamek o wadze 77,5 kg znaleziony został w r. 1914 podczas budowy umocnień wojskowych w miejscowości Morasko, położonej 7 km na północ od Poznania. Kierujący pracami saperskimi sierżant Cobliner wydobył z głębokości około pół metra wspomniany odłamek. W latach następnych wydobyto lub odzyskano od miejscowej ludności dalsze fragmenty tego meteorytu. Obecnie w zbiorach polskich znajdują się okazy o łącznej wadze **165 kg**. J. Pokrzywnieki, prowadzący badania terenowe w okolicy Moraska, zwrócił uwagę na osiem zagłębień o charakterze kraterów usytuowanych w pobliżu znalezienia meteorytu MORASKO i rozważył możliwość ich kosmicznego pochodzenia. Za ich meteorytowym pochodzeniem przemawia obecność w największym — o średnicy 55—62 m — **wału** obramowującego **charakterystycznego dla tego typu** kraterów. Kratery z okolic Moraska są wielkością i kształtem podobne do meteorytowych kraterów **CAMPO DEL**

CIELO, DALGARANGA, BOXHOLE i in. W fazach żelaza niklowego meteorytu MORASKO stwierdzono liczne wtrącenia innych minerałów w postaci charakterystycznych skupień o przekrojach kolistych lub owalnych. W skupieniach tych przeważają: *troilit* i *grafit*. Ponieważ udało się wyseparować potrzebną do badań ilość grafitu, minerał ten poddano szczegółowym badaniom rentgenostrukturnym i mikroskopowym. Naturalny grafit ziemski występuje w postaci dwóch odmian krystalograficznych, heksagonalnej i romboedrycznej. Kryształy grafitowe zbudowane są ze stosów warstw złożonych z atomów węgla ułożonych w regularne, płaskie sześcioboki. Odległości pomiędzy najbliższymi sąsiednimi atomami w warstwie wynoszą 1,42 Å. Poszczególne warstwy mogą być ułożone względem siebie na dwa różne sposoby:

1) w sekwencji ABABAB... (struktura heksagonalna), gdzie co druga warstwa w kierunku osi *c* jest translacyjnie identyczna,

2) w sekwencji ABC ABC... (struktura romboedryczna), gdzie co trzecia warstwa w kierunku osi *c* jest translacyjnie identyczna.

Stabilną i powszechną formą struktury w grafitach ziemskich jest odmiana heksagonalna. Grafit z meteorytu MORASKO różni się od grafitów ziemskich większym udziałem struktury romboedrycznej, mniej dokładnym uporządkowaniem 3-wymiarowym warstw i obecnością *cliftonitu* (polikrystaliczny agregat grafitu o morfologii regularnej). Uzyskane wyniki świadczą, że grafit meteorytowy poddany był działaniu sił niszczących (metamorfizm uderzeniowy), które spowodowały wzrost udziału struktury romboedrycznej. Duża podatność grafitu na przemiany strukturalne pod wpływem ciśnień i wysokich temperatur czyni ten minerał ważnym wskaźnikiem procesów metamorfizmu uderzeniowego i termicznego w meteorytach. W meteorycie MORASKO stwierdzono także *cliftonit* opisany wcześniej w dziesięciu innych meteorytach żelaznych. Po raz pierwszy tego typu formy skupień grafitu opisane zostały przez Flechtera (1887 r.) w żelaznym meteorycie, znalezionym w rejonie Youndegin w zachodniej Australii. Geneza *cliftonitu* jest dyskusyj-

wana od kilkudziesięciu lat i do niedawna przeważał pogląd, że są to pseudomorfozy grafitu po diamencie. Wykonane w ostatnich latach badania eksperymentalne wskazują, że cliftonit powstał jako produkt rozkładu wcześniej utworzonego cohenitu — Fe_3C .

3. Tektyty

Tektyty są to małe (200—300 gramów), zwykle kuliste lub wydłużone ciała zbudowane ze szkliwa zawierającego 70—80% SiO_2 . Makroskopowo są one podobne do naturalnych ziemskich szkliw wulkanicznych tzw. *obsydianów*, przy szczegółowych badaniach wykazują znaczne różnice. Obiekty te były kolekcjonowane i badane przez około 200 lat. Pierwsze opisane okazy tektytów pochodzą z Czech, gdzie znaleziono je w osadach Wełtawy i nazwano *moldawitami*. Licznie występujące tektyty w południowej Australii, na Tasmanii i okolicznych wyspach zostały nazwane *austr alitami*. Ponadto tektyty znaleziono na Borneo i Jawie (*jawaity*), na wyspach Banka i Billiton (*billitonity*), na Malajach (*malajzjanity*), w Indochinach (*indochinity*) oraz na Filipinach (*filipinity*, *rizality*). W Afryce znane jest tylko jedno miejsce występowania tektytów: wybrzeże Republiki Kości Słoniowej. Rzadko występują one na kontynencie amerykańskim; w Ameryce Północnej notowane są tylko trzy stanowiska występowania tych ciał (*hedazyty*). Australoazjatycki obszar występowania tektytów jest największy ze znanych. Tektyty te różnią się między sobą tylko nieznacznie cechami fizycznymi i chemicznymi. Są one brązowe i zielonawe w świetle przechodzącym, a ich wiek określony został metodą argonową i śladów rozszczepienia jąder atomów uranu na 700 000 lat. Nieco starsze są tektyty afrykańskie, znajdujące we współczesnych żwirach. Wiek ich określono na 1,5 miliona lat. Mołdawity występują w późnoplioceńskich iłach. Różnią się one nieco składem chemicznym i zabarwieniem, a ich wiek określony metodą potasowo-argonową i śladów rozszczepienia jąder atomów

uranu wynosi około 14,8 milionów lat. Najstarsze są be-
diazyty, występujące w oligoceńskiej formacji żwirów.
Wiek ich został określony na 34 miliony lat.

Tektyty są to naturalne szkliwa o teksturach często
fluidalnych. Formowały się one w wysokich temperatu-
rach (2000°C i więcej). Charakter szkliwa, częste wrostki
lechatelierytu, tj. szkliwa kwarcowego, świadczą o nie-
jednorodności materiału, który uległ stopieniu. Tekstury
fluidalne świadczą o szybkim stopieniu i ochłodzeniu
pierwotnego materiału. W niektórych tektytach stwier-
dzono drobne wtrącenia metalicznych kulek zawierają-
cych około 95% Fe i 1,2–3,2% Ni. Geneza tektytów jest
sporna, wysuwane są koncepcje ziemskiego i pozaziem-
skiego pochodzenia. Znalaziono dotąd około 650 tysięcy
tektytów. Skład chemiczny tych ciał wyraźnie odbiega
od wszystkich znanych meteorytów i różni się od szkliv
i skał księżycowych. Hipotezy, że tektyty są pochodzenia
księżycowego lub meteorytowego, wydają się mało praw-
dopodobne. Wielu zwolenników ma hipoteza uderzeniowa.
Na powierzchni Ziemi stwierdzono krater, co do których
nie ulega wątpliwości, że są pochodzenia meteorytowego,
np. znany krater w Arizonie. W ostatnich latach przed-
miotem szczegółowych badań geologicznych była wielka
kotlina Ries położona koło Nördlingen w RFN. Okazało
się, że kotlina ta o średnicy 25 km jest starym kraterem
meteorytowym pochodzącym sprzed 14,8 mln lat. W kra-
terze tym stwierdzono obecność wysokociśnieniowych
odmian SiO_2 — *stiszowitu* i *coesytu* — opisanych wcześ-
niej z krateru z Arizony. Minerale te tworzą się w wa-
runkach wysokiej temperatury i bardzo dużych ciśnień
(rzędu stu kilkudziesięciu tysięcy atmosfer). Utworzenie
takiego krateru ma miejsce wówczas, gdy pędzący z szyb-
kością kosmiczną wielki meteoryt nie zdąży wyhamować
w atmosferze ziemskiej. Skutkiem uderzenia tworzy się
krater. W warunkach tak gwałtownego ciśnienia udaro-
wego część skał podłoża nagrzewa się do temperatury
topnienia i wówczas mogą utworzyć się kryształy *stiszowitu*,
a pod działaniem odbitej fali ciśnieniowej — *coesytu*.
Z badań pometeorytowych kraterów księżycowych
wynika, że znaczna ilość skał podłoża ulega przetopieniu

w szklivo. W kraterze Ries znaleziono i opisano kawałki szkliva, których wiek wynosi około 14,8 mln lat. W granicach błędu wiek tych szkliv i mołdawitów jest jednaki. Być może wyrzucona z krateru Ries masa szkliva przeleciała 500 km i spadła na terytorium Czech.

4. Pyły kosmiczne

Materia pochodzenia pozaziemskiego dociera na powierzchnię naszego globu w postaci większych fragmentów — meteorytów — oraz mikroskopijnej wielkości okruchów materii zwanych *pyłami kosmicznymi*. Roczny opad materii pochodzenia pozaziemskiego ocenia się na około 1 miliona ton, w tym meteoryty stanowią znikomy procent. W ostatnich latach zainteresowanie pyłami kosmicznymi wyraźnie wzrosło, co spowodowane zostało przez astronautykę, dla której stanowią one problem bezpieczeństwa lotów. Pyły dostarczają ważnych informacji o rodzaju materii we wszechświecie.

W roku 1891 J. Murray przedstawił pierwsze opracowanie pyłów kosmicznych. Był on uczestnikiem wyprawy „Challenger” (1872—1876) i w osadach wydobytych z dna Oceanu Sjoekojnego stwierdził drobne ciała kuliste, o średnicy do 400 μm , które nazwał *pyłami kosmicznymi*. Na kwartę łu przypadało 20—30 kulek magnetytu i 5—6 kulek krzemianowych. Od tego czasu pyły kosmiczne znajdowano wielokrotnie w lodach Arktyki i Antarktydy, w skałach osadowych i w wyższych warstwach atmosfery. Pyły takie znaleziono m. in. na terenie Polski w tufoogenicznych osadach Śląska Cieszyńskiego, w solach Wieliczki, Inowrocławia i Kłodawy oraz w karbońskich iłach bentonitowych na Górnym Śląsku. Wartości rocznego opadu materii kosmicznej na powierzchnię Ziemi różnią się w opracowaniach dotyczących tego tematu aż o cztery rzędy wielkości, co zapewne zależy w znacznej mierze od stosowanej metodyki pomiarów. Najczęściej przyjmowana jest wielkość 1—10⁶ ton/rok. W skałach osadowych różnego wieku nie stwierdzono większych

zmian w ilości opadu pyłu kosmicznego. Od kambru do dziś masa Ziemi zwiększyła się o około 0,01%), tj. $1-2,5 \times 10^{15}$ ton.

Obecność pyłów kosmicznych można stwierdzić w przestrzeni kosmicznej. Informacji o gęstości pyłów dostarczają obserwacje astronomiczne światła zodiakalnego, które tworzy się w wyniku rozpraszania promieni słonecznych na cząstkach pyłu. Do badania pyłów stosuje się ostatnio technikę raketową; są to sztuczne satelity, pojazdy z załogą ludzką i specjalne rakiety wystrzeliwane na wysokość do 20 km. Rejestracji cząstek pozaziemskich w przestrzeni kosmicznej dokonuje się za pomocą specjalnych detektorów lub kolektorów pyłów. Wyniki tych pomiarów wskazują, że nie należy obawiać się uszkodzenia statków kosmicznych przez pędzące cząstki. Średnią ich prędkość w przestrzeni kosmicznej ocenia się na około 15 km/sek. Masy cząstek są niewielkie, a ilość cząstek maleje ze wzrostem ich wymiarów i masy. Pomiarzy wykonane podczas lotu Gemini-12 wykazały, że gęstość pyłów o masach cząstek ponad 10^{-7} g stanowiła 3×10^{-5} cząstek/m² sek., a o masach poniżej 10^{-15} g około 200/m² sek. Cząstki o wielkości ponad 10 M- należą do rzadkości.

Nasza wiedza o pyłach kosmicznych jest jeszcze niewielka. Niełatwe, a nawet wręcz niemożliwe jest uzyskiwanie pyłów z opadów z atmosfery, która zawiera coraz więcej zanieczyszczeń. Przemysł, eksplozje nuklearne, eksperymenty kosmiczne powodują zanieczyszczenie atmosfery pyłami, które utrudniają separację i identyfikację pyłów kosmicznych. W tej sytuacji pozostają do badania pyły kosmiczne zawarte w skałach.

W Polsce szczególną uwagę mineralogów zwrócić w ostatnich latach pyły kosmiczne wydzielone z frakcji gruboziarnistej iłów bentonitowych wieku karbońskiego. Skały te występują w warstwach górnośląskiego karbonu produktywnego. Dotychczas opisywano przeważnie występowanie tego typu pyłów w młodszych osadach. Wśród minerałów ciężkich, które wydzielono z frakcji gruboziarnistych wspomnianych skał, stwierdzono niewielkie ciała kuliste o średnicach mniejszych od 400 μ , wśród

których wyróżniono trzy odmiany: typ I — kulki nieprzezroczyste o nierównej powierzchni; typ II — kulki nieprzezroczyste, czarne o lustrzanie gładkiej powierzchni i typ III — kulki przeświecające lub przezroczyste o gładkich powierzchniach barwy zielonkawej, brunatnej, pomarańczowej lub bezbarwne. Kulki I i II typu są metaliczne zwykle magnetytowe. Podobny typ kulek niklowych został opisany przez L. Mazura w solach z Wieliczki. Kulki III typu zbudowane są prawie wyłącznie ze szkliwa.

Badania spektrograficzne w podczerwieni szkliwa budującego kulki kosmiczne wykazały jego bezwodny charakter, co różni je od wulkanicznych szkliw pochodzenia ziemskiego.

5. Minerale i skały Księżyca

Minerale i skały księżycowe przywiezione na Ziemię przez wyprawy Apollo i automatyczne stacje bezzałogowe typu Łuna okazały się znacznie bardziej różnorodnie niż przewidywano. W miejscach lądowania pojazdów księżycowych stwierdzono liczne nierówności od małych zagłębień o średnicy kilku centymetrów do kraterów o średnicy kilkuset i więcej metrów. Obfitość kraterów jest zapewne cechą charakterystyczną powierzchni Księżyca. Ich geneza (pometeorytowe, wulkaniczne) jest i będzie przedmiotem licznych sporów. Największe mają po kilkaset kilometrów (np. Clavius 235 km). Kratery zwykle obrzeżone są pierścieniowym wzniesieniem i w przybliżeniu ilość materiału w pierścieniu podobna jest depresji krateru. Wiele kraterów ma w środku wzniesienia, a inne mają gładkie dno, co pozwala przypuszczać, że zostały wypełnione częściowo przez lawę. Kraterowanie było niewątpliwie długo trwającym procesem, o czym świadczą stare kratery, a w nich młode dobrze zachowane. Należy przypomnieć tu o pionierskich pracach Galileusza z r. 1610, który badał powierzchnię Księżyca za pomocą teleskopu. **Oprócz** kraterów zaobserwował on wielkie ciemne obszary nizin, które nazwał morzami (maria).

Podstawową cechą strukturalną Księżyca stanowi zróżnicowanie powierzchni na obszary wyżynne i morza, na które nakładają się struktury koliste: wklęsłe — krater i wypukłe — kopuły oraz różnorodne struktury liniowe: grzbiety, wały, bruzdy. Powierzchnia wyżyn leży średnio 3 km ponad powierzchnią mórz. Wyżyny są silnie rozczłonkowane przez liczne dyslokacje i krater i. Na powierzchni mórz jest mniej dyslokacji i dużych kraterów, zwraca jednak uwagę duża liczba małych kraterów, obecność kopuł, wydłużonych wałów i bruzd o krętym przebiegu.

Skały księżycowe dostarczone na Ziemię można podzielić na trzy główne grupy: 1. skały magmowe, 2. brekcje, 3. drobnoziarnisty luźny materiał tzw. grunt księżycowy i szkliwo. Najpełniejszego opracowania doczekały się próbki skał przywiezione przez wyprawę Apollo 11, zebrane w rejonie SW Marę Tranquillitatis. Marę Tranquillitatis jest częścią zespołu wielkich równin księżycowych i ma kształt nieregularny w odróżnieniu od wielu mórz kolistych. W miejscu lądowania stwierdzono nierówności od małych dołków o średnicy kilku centymetrów do kraterów o 180 m średnicy i 30 m głębokości. W odstonięciach kraterów nie zaobserwowano warstwowania skał. Aczkolwiek skały z tego obszaru zawierają w przewodzie materiału mórz, przypuszcza się, że są tam także okruchy skał reprezentujące wyżyny. Badaniami laboratoryjnymi stwierdzono: brekcje, bazalty, anortotyty i szkliwa (tab. 7). Określono także skład mineralny materiału luźnego zalegającego na powierzchni (tab. 8).

Tabela 7

Skały księżycowe — strefa SW Marę Tranquillitatis

Brekcje	52,4%
Bazalty	37,4
i Anortotyty	3,6
Szkliwa	5,1
Inne	1,3

Skład mineralny luźnego materiału księżycowego
(strefa SW Mare Tranquillitatis)

Szklivo	50%
• Pirokseny	25
Plagioklasy	15
Ilmenit	8
Oliwin	1
Inne	1

Erekcje

Są to ostrokrawędziste fragmenty skał, minerałów i szkliwa o wielkości 40–300 μ m tkwiące w drobnoziarnistej zizotropizowanej i zeszlonej masie tego samego materiału co grunt księżycowy. Pospolicie w brekcjach obecne są małe kulki zbudowane ze szkliwa. W skałach tych stwierdzono okruchy starszych brekcji. Ziarna minerałów są często spękane i zdeformowane, a okruchy skał w różnym stopniu zeszlone. Te i wiele innych faktów przemawia za tym, że brekcje księżycowe utworzyły się w wyniku uderzeń meteorytów o powierzchnię Księżyca.

Luźny i drobny materiał zalegający na powierzchni Księżyca (*grunt księżycowy*) składa się głównie ze szkliwa oraz fragmentów minerałów i skał. Skład mineralny pyłu podobny jest do składu tła skalnego brekcji. Są to *pirokseny*, *plagioklasy*, *oliwiny* i *ilmenit* oraz podrzędnie *irydymit*, *krystalalit*, *troilit* i *żelazo nikłowe*. Szklivo wykształcone jest w postaci ostrokrawędzistych okruchów i obficie jako kulki o różnym zabarwieniu. Przypuszcza się, że brekcje i drobny pył utworzyły się w wyniku gwałtownych kolizji meteorytów z powierzchnią Księżyca. Fragmenty skał w brekcjach to bazalty, anortozyty i szklivo, które najczęściej są obtopione lub przepojone szklivem.

Bazalty

Nazwę bazalt zastosowano w nieco szerszym pojęciu, obok bowiem gruboziarnistych odmian typu mikrogabra

i gabra występują charakterystyczne dla mórz odmiany drobnoziarniste typu bazaltów. Mineralami głównymi tych skał są: *jednoskośne pirokseny*, *Ca-plagioklasy* i *ilmenit* (tab. 9). Mineralami pobocznymi są: *oliwin*,

Tabela 9

Minerały główne w bazaltach księżycowych z Marę Tranquillitatis

Odmiana skały	Pirokseny	Ca-plagioklasy	Ilmenit
Bazalt gruboziarnisty	61	28	11
Bazalt średnioziarnisty	48-61	24-42	8-18
Bazalt drobnoziarnisty	51	22	27

rutyl, *spinele*, *pseudobrookit*. Odmiany gruboziarniste są jaśniejszej barwy od odmian średnio- i drobnoziarnistych, co spowodowane jest większą zawartością ilmenitu w tych drugich. Typowe bazalty mórz są barwy ciemnej (ciemnoszare i czarne) i drobnoziarniste. Ciężar właściwy tych skał waha się od 3,27 do 3,42 g/cm³. A oto krótka charakterystyka minerałów występujących w skałach typu bazaltów księżycowych.

Pirokseny są reprezentowane **przez** *augit tytanowy* i *pigeonit*. Zaobserwowano w nich wyraźną strefowość w rozmieszczeniu Ti i Al.

Plagioklasy (*bytownit* i *anortyt*) prawie zawsze polisyntetycznie zbliżniaczone. W plagioklazach o budowie zonalnej zróżnicowanie chemiczne pomiędzy pasami jest niewielkie. Pasm inwersyjnych nie stwierdzono.

Ilmenit. Cechą różniącą wyraźnie bazalty Marę Tranquillitatis od bazaltów ziemskich jest obfitość *ilmenitu*. Jego obecność w tych skałach powoduje, że morza księżycowe są czarne. Sądząc z pokroju ziarn, minerał ten krystalizował jako jeden z pierwszych.

Oliwin. Ziarna oliwinu są zwykle większe do ziarn mi-

nerałów z którymi współwystępuje. Jego osobniki są często skorodowane magmowo.

Pseudobrookit występuje **sporadycznie**. **Najczęściej** tworzy otoczki reakcyjne wokół **ilmenitu**.

Troilit i *żelazo rodzime* są minerałami akcesorycznymi. Często współwystępują ze sobą. Mała zawartość **niklu** w żelazie rodzimym wyklucza jego meteorytowe pochodzenie.

Inne sporadycznie występujące minerały to *kwarc*, *trydymit*, *krystalalit*, *rutyl* i *chromit*. Za pomocą mikroskopy elektronowej stwierdzono w bazaltach mikroobszary wzbogacone w potas. Jest to szkliwo **lub** nowy nieznaną minerał. W bazaltach księżycowych nie stwierdzono minerałów zawierających grupy OH i uwodnionych ani też nie zaobserwowano ciekłych inkluzji, co dowodzi, że na powierzchni brak jest wody.

A n o r t o z y t y

Anortozyty stanowią nikłą część próbek przywiezionych z Księżyca. Są to skały leukokratyczne szeregu anortozyt — gabro anortozytowe. Makroskopowo wyraźnie odróżniają się od bazaltów. Są bowiem barwy jasnoszarej w odróżnieniu od prawie czarnych bazaltów. Anortozyty właściwe składają się głównie z niezblizniaczonych ziarn zasadowych plagioklazów — *anortytów*. W odmianach typu gabra anortozytowego pojawiają się obok plagioklazów *pirokseny* i *oliwin*. Gęstość tych skał **nie** przekracza 2,9 g/cm³. Występowanie anortozytów było niespodzianką, gdyż nie przewidywano ich obecności na Księżycu. Odbiegają **one wyraźnie składem** chemicznym **od** bazaltów. Anortozyty **pobrane z rejonu Marę Tranquillitatis** mają podobny skład chemiczny **do** skał obrzeżających **krater Tycho**. **Krater Tycho położony jest na** obszarze wyżyn, które charakteryzują się jaśniejszym zabarwieniem **od mórz**. **Skład** chemiczny tych skał został przesłany przez Surveyora **VIII, który tam wylądował**.

Przypuszcza się, że okruchy anortozytów zebrane przez załogę Apolla 11 pochodzą z wyżyn księżycowych, a zostały przerzucone na obszary mórz w wyniku uderzeń meteorytów i tworzenia się wielkich kraterów. Koncepcja, że wyżyny księżycowe są zbudowane z anortozytów, jest nowa i wcześniej nie była brana pod uwagę.

Szkl i w a

Szkl i w a księżycowe są zróżnicowane pod względem form, barwy, cech optycznych i chemizmu. Są to ostrokrawędziste ziarna lub formy kuliste, zwykle niejednorodne, o teksturze fluidalnej, z licznymi wrostkami okruchów minerałów lub skał. W szkl i w ach tych stwierdzono także drobne wrostki kulek żelaza rodzimego i troilitu. Skład chemiczny szkl i w jest zmienny. Szkl i w a barwne (brunatne, czerwone, pomarańczowe i żółte) są zasobne w Fe, Mg i Ti. Szkl i w a bezbarwne są uboższe w te pierwiastki, a wzbogacone w Al i Si.. Kulki szkl i w a są prawdopodobnie zakrzepłymi kropelkami stopu utworzonego przy uderzeniu dużego meteorytu o powierzchnię Księżyca. Na powierzchni kulek stwierdzono różnorodne struktury; drobne kratery, rozbryzgi szkl i w a, zagłębienia i deformacje. Tego typu formy mogły powstać w „gorącej chmurze balistycznej” powstałej w wyniku uderzenia meteorytu. Różne typy szkl i w utworzyły się w wyniku stopienia różnych odmian skał księżycowych. Należy zwrócić uwagę, że kulki szkl i w a księżycowego są wielkością i zabarwieniem podobne do szkl i stych kulek pyłów kosmicznych wydzielanych z osadowych skał ziemskich.

M i n e r a ł y K s i ę ż y c a

Listę minerałów księżycowych przedstawiono w tabeli 10. Zwraca uwagę niewielka, w porównaniu z meteorytami, liczba nowych nieznanymi minerałów — są to:

Armaicolit	$(\text{Fe, Mg}) \text{Ti}_2\text{O}_5$
Piroksferroït	$\text{CaFe}_6(\text{SiO}_3)_7$
Tranquillityit	$(\text{Fe, Y, Ca, Mn})(\text{Ti, Si, Zr, Al, Cr})\text{O}_5$

Armaicolit został nazwany dla upamiętnienia nazwisk trzech astronautów misji Apollo 11: ARMstronga, ALdrina i COLlinsa. Nie stwierdzono na Księżycu minerałów uwodnionych ani też minerałów z grupami OH w strukturze. O braku wody na Księżycu dowodzą wyniki szczegółowych badań szkliv. Wiek pomarańczowych szkliv przywiezionych przez misję Apollo 17 określono na 3,7 miliardów lat. Szklivo w obecności wody szybko

Tabela 10

Minerały skał księżycowych

<i>Minerały główne</i>	Whitlockit
Pirokseny	Zirkelit
Plagioklazy	Fe rodzime
Oliwiny	Żelazo niklowe
<i>Minerały akcesoryczne</i>	Cu-rodzime
Ilmenit	Troillit
Chromit	Co henit
Ulvospinel	Schreibersyt
Spinel	Korund
Cr-pleonast	Grafit
Perowskit	Chalkopiryty
Dysanalty	Pseudobrookit
Rutyl	Magnetyt
Nb-rutyl	Pikotyty
Baddeleyit	Hematyty
Cyrkon	Granat
Kwarc	<i>Nowe minerały</i>
Trydymit	Armaicolit
Krystobalit	Piroksferroït
K-skaień	Tranquillityit
Apatyty	

ulega dewitryfikacji (odszkleniu), czego mamy przykłady w ziemskich szklivach **wulkanicznych**. Brak takich przejawów w szklivach liczących **kilka miliardów lat** świadczy o wyjątkowo „suchych **warunkach**” **panujących na Księżycu**. Wiek bezwzględny minerałów i skał księżycowych określano różnymi **metodami i wykazano**, że najstarsze skały liczą około **4,4** miliarda lat.

Metamorfizm uderzeniowy

Istnieją dwa poglądy na genezę morfologii powierzchni Księżyca, a co za **tym** idzie i na warunki tworzenia się skał tam występujących, głównie brekcji i gruntu. Jeden wiąże je z procesami wulkanicznymi, drugi z procesami bombardowania powierzchni Księżyca przez meteoryty i asteroidy. W myśl tych drugich poglądów uderzenia o powierzchnię Księżyca ciał spadających z prędkościami kosmicznymi rzędu kilometrów na sekundę dawać mają efekty eksplozji o energii znacznie przekraczającej energię najsilniejszych wybuchów wulkanicznych obserwowanych na Ziemi. W świetle wyników badań skał dostarczonych przez kolejne wyprawy Apollo, rola bombardowania meteorytowego i mikrometeorytowego nie budzi dziś wątpliwości. Spękane, zizotropizowane lub zeszkłone minerały i skały występują powszechnie w brekcjach i gruncie księżycowym. Są to efekty tzw. metamorfizmu uderzeniowego (impaktytowego). W minerałach brekcji księżycowych zaznaczają się trzy etapy tego metamorfizmu: 1. kataklaza i mikrodeformacja; 2. izotropizacja; 3. topienie. Materiał wyrzucony podczas eksplozji uderzeniowych tworzy pokrywy nie tylko wokół kraterów, lecz również daleko poza nimi m. in. na obszarze mórz. Zjawiskom wulkanicznym przypisać można wypełnianie basenów mórz przez lawy bazaltowe.

W ostatnich latach zarejestrowano także na Ziemi nieliczne przejawy metamorfizmu uderzeniowego w pierścieniowych kraterach pometeorytowych. **Kraterzy takie**

utworzyły się w wyniku upadku wielkich meteorytów, które nie wytraciły w atmosferze ziemskiej prędkości kosmicznych. Zalicza się do nich m. in. Meteor Crater (Arizona), krater Wabar (Arabia Saudyjska) czy Ries (Bawaria). W efekcie takiego uderzenia tworzą się krótkotrwałe, lecz bardzo wysokie ciśnienia i wysokie temperatury (metamorfizm uderzeniowy) powodujące zmiany strukturalne minerałów i skał. Do minerałów wysokociśnieniowych zalicza się *diament*, *stishowit* i *coesyt*. W żelaznym meteorycie z Canyon Diabło utworzyły się diamenty w efekcie zderzenia tego meteorytu z Ziemią. W skałach wypełniających kratery i zalegających wokół nich stwierdzono liczne spękania i zeszklenia minerałów, a także wspomniane wyżej odmiany kwarcu. Jak wykazano, w skałach ziemskich najbardziej podatne na metamorfizm uderzeniowy są kwarc i plagioklasy.

6. Jak opisać i gdzie zarejestrować spadek meteorytu

Ten, komu szczęśliwie zdarzy się zaobserwować spadający meteoryt, powinien przede wszystkim wyznaczyć kierunek spadku ustalając punkty odniesienia oraz dokładnie określić lub lepiej zaznaczyć położenie własne w terenie. Ważne jest także zmierzenie czasu lotu (wystarczy odliczać sekundy) oraz zanotowanie czasu spadku. Jeżeli meteoryt spadł w bezpośredniej bliskości, to należy natychmiast podjąć jego poszukiwania, po spadku bowiem nie grozi żadne niebezpieczeństwo. Po szczęśliwym znalezieniu meteorytu należy stwierdzić, czy jest on gorący i jakie jest położenie kanału poupadkowego: proste czy skośne. Meteoryty szybko stygną, nie ma więc niebezpieczeństwa poparzenia. Nagrzewa się on tylko w czasie krótkotrwałego **przelotu** przez atmosferę **Ziemi**, a rozgrzaniu podlega **cienka 1–2 mm warstwa** zewnętrzna. Ponadto **należy** zanotować następujące dane:

jaka była jego wielkość i jasność w czasie lotu (w porównaniu np. z Księżycem, **gwiazdami**);

jakiej był barwy w czasie lotu;
jaki był tor jego lotu;
jakie zjawiska akustyczne towarzyszyły spadków'
(eksplozja, grzmot, seria trzasków, szum itp.).

O znalezisku należy zawiadomić instytucje prowadzące badania w zakresie kosmomineralogii. Aktualnie badania tego typu są wykonywane w Zakładzie Mineralogii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30.

7. Jak wydzielić kulki kosmiczne

Nie szczęście, lecz cierpliwość jest potrzebna, by stać się właścicielem małego zbioru kulek kosmicznych. Roczny opad pyłów kosmicznych ocenia się na około 1 milion ton. Można więc próbować wydzielić je z opadów atmosferycznych, ale niestety obecnie powietrze atmosferyczne jest w znacznym stopniu zanieczyszczone pyłami przemysłowymi. Niesposób oddzielić jedne od drugich, a i często odróżnienie ich prostymi metodami sprawia trudność.

Stosunkowo najłatwiej jest wyseparować kulki kosmiczne z niektórych skał osadowych pochodzenia morskiego lub jeziornego, są to m. in. sól kamienna, iły lub łupki ilaste. Prosta jest operacja z solą kamienną, wystarczy bowiem rozpuścić w wodzie halit (NaCl) i z pozostałego osadu wydzielić kulki za pomocą magnesu. W solach jest mało interesującego nas materiału, znaczna bowiem ilość kulek, zwłaszcza metalicznych, ulega zniszczeniu w czasie krystalizacji minerałów chlorkowych z wody morskiej. Stosunkowo najwięcej kulek kosmicznych znajduje się w skałach ilastych, (np. w karpackich łupkach ilastych, górnośląskich iłach bentonitowych i in.). Materiał skalny w ilości kilku kilogramów należy dokładnie wymieszać z wodą w dużym naczyniu i zdyspergować (dodając kilka cm^3 amoniaku). Po 2 dniach powtarzanego co kilka lub kilkanaście godzin mieszania można rozpocząć szlamowanie. W tym celu należy po wymieszaniu próbki z wodą,

odczekać kilkadziesiąt sekund, aż opadną większe ziarna, a następnie zlać zawiesinę minerałów ilastych. Szlamowanie powtarza się tak długo, aż na dnie naczynia pozostanie piaszczysta frakcja o ziarnach większych od około **0,01** mm. Materiał *ten*, po wysuszeniu, rozsypuje się na dużą i gładką kartkę papieru, a przesuwanym magnesem umieszczonym pod kartką separuje frakcję magnetyczną, w której znajdują się też i małe kulki kosmiczne.

LITERATURA

- ' B. DOMINIK, *Wstępny komunikat z badań mineralogicznych meteorytu Morasko*, Sprawozdania z Posiedź. Kom. Oddz. PAN, Kraków 1972.
- S. JASKÓLSKI, *Badania składników nieprzeźroczystych meteorytu łowickiego w świetle odbitym*, Arch. Miner. XIV, 1938.
- A. MANECKI, *Chondry i chondryty. Studium mineralogiczno-petrograficzne meteorytu Pułtusk*, Prace Mineral. 27, 1972.
- A. MANECKI, A. SKOWROŃSKI, *Materiał gruboziarnisty i pyły kosmiczne ze skał montmorillonitowych karbonu górnośląskiego z Milowic*, Prace Mineral. 22, 1970.
- L. MAZUR, *Z badań pyłów kosmicznych*, Prace Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 1973.
- B. MASON, *Meteorites*, N. York 1962.
- J. POKRZYWNICKI, *I. Meteoryty Polski. II. Katalog meteorytów w zbiorach polskich*, Studia Geol. Pol XV, 1964.
- R. UNRUG, *Geologia Księżyca*, Postępy Nauk Geolog., 5, 1973.
- J. A. WOOD, U. B. MARVIN, B. N. POWELL, J. S. DICKEY, *Mineralogy and petrology of the Apollo 11 lunar sample*, Smiths. Astrophys. Obs., 307, 1970.

Dotychczas ukazały się (oprócz numerów 1—200 w latach 1965—1973)

201. Z. Niedziela, *współczesna literatura słowacka*
202. J. W. Aleksandrowicz, *Hipnoza*
203. D. Dąbrowski, *Powstanie i rozwój socjologii organizacji*
204. T. Wroński, *Ziemia krakowska pod okupacją hitlerowską*
205. J. Starnawski, *Praca wydawcy*
206. E. Rybka, *Istota nauki Kopernika*
207. W. Bieńkowski, *Kazimierz Kelles-Krauz. Życie i działalność*
208. J. Pawlica, *Typy postaw moralnych w Polsce Ludowej*
209. M. Łapiński, *Psychoanaliza współczesna*
210. J. Aleksandrowicz, *Metale życia a ochrona środowiska*
211. M. Karaś, *O polskim języku artystycznym (1944—1974)*
212. M. Stępień, *Polska literatura współczesna (1944—1973)*
213. B. Prażanowski, *Nowa Huta*
214. J. Smaga, *Fiodor Dostojewski*
215. A. Kielski, *Ceramiczne materiały ogniotrwałe*
216. J. Bańka, *Filozofia techniki a życie praktyczne*
217. J. Wódz, *Zjawiska patologii społecznej*
218. T. Fryzeł, *Panarabizm. Źródła i rozwój idei*
219. J. Wroński, *Teatr szkolny i jego funkcja wychowawcza*
220. T. Przybylski, *Kultura muzyczna Krakowa na przełomie XVIII i XIX w.*
221. M. Tobiasz, *Kraków przyszłości — rozwój urbanistyczny miasta*
222. M. Stępień, *Bruno Jasieński*
223. K. Nawara, *Wyniki badań geologicznych nu Księżycu*
224. T. Lityński, *Nawożenie na ziemiach polskich dawniej i dziś*
225. A. Szyszko-Bohusz, *Dojazdy młodzieży do szkół*
226. A. Bolewski, *Mineralogia wczoraj i dziś*
227. J. Koczwańska, *Zagrożenie środowiska przyrodniczego*
228. A. Stabryła, *Ekonomizacja systemów technicznych i administracyjnych*
229. W. Heflik, *Nefryt*
230. J. Pasławski, *Ksawery Pruszyński*
231. M. Książkiewicz, *Teoria wędrówki kontynentów w nowym świetle*
232. T. Z. Orłoś *Język czeski*
233. H. Smarzyński, *Narkomania wśród młodzieży. Hipisi*
234. P. Krywak, *Stanisław Lem*
235. J. Dużyk, *Władysław Orkan*
236. W. Parachoniak, *Wulkany a życie*
237. A. Szyszko-Bohusz, *Relaks — prawdziwy odpoczynek*
238. J. Smaga, *Dramaty Maksyma Gorkiego*
239. T. Gołaszewski, *Futurologia*
240. J. Pirożyński, *Drukarstwo krakowskie XV—XVI w.*
241. S. Myczkowski, *Rezerваты przyrody*
242. M. Romankówna, *Władysław Syrokomla. Życie i twórczość;*
243. M. Budkiewicz, *Surowce mineralne w Polsce*
244. T. Przybylski, *Karol Kurpiński (1786—1857)*
245. J. Rajman, *Osadnictwo Wielkiej Niziny Węgierskiej*
246. M. Gołaszewska, *Estetyka*
247. W. Wyskiel, *Witold Gombrowicz. Twórczość literacka*
248. E. Luchter, S. Chomałowski, *Przemysł regionu krakowskiego w XXX-leciu PRL*
249. H. Gembala, *Krakowskie teatry dramatyczne w XXX-leciu PRL*
250. C. Grece-Dąbrowska, *John Milton (1608—1674)*

201. Z. Niedziela, *Współczesna literatura słowacka*
202. J. W. Aleksandrowicz, *Hipnoza*
203. D. Dąbrowski, *Powstanie i rozwój socjologii organizacji*
204. T. Wroński, *Ziemia krakowska pod okupacją hitlerowską*
205. J. Starnawski, *Praca wydawcy*
206. E. Rybka, *Istota nauki Kopernika*
207. W. Bieńkowski, *Kazimierz Kelles-Krauz. Życie i działalność*
208. J. Pawlica, *Typy postaw moralnych w Polsce Ludowej*
209. M. Łapiński, *Psychoanaliza współczesna*
210. J. Aleksandrowicz, *Metale życia a ochrona środowiska*
211. M. Karaś, *O polskim języku artystycznym (1944—1974)*
212. M. Stępień* *Polska literatura współczesna (1944—1973)*
213. B. Prażanowski, *Nowa Huta*
214. J. Smaga, *Fiodor Dostojewski*
215. A. Ki-elski, *Ceramiczne materiały ogniotrwałe*
216. J. Bańka, *Filozofia techniki a życie praktyczne*
217. J. Wódz, *Zjawiska patologii społecznej*
- 2x8. T. Fryzeł, *Panarabizm. Źródła i rozwój idei*
219. J. Wroński, *Teatr szkolny i jego funkcja wychowawcza*
220. T. Przybylski, *Kultura muzyczna Krakowa na przełomie XVIII i XIX w.*
221. M. Tobiasz, *Kraków przyszłości — rozwój urbanistyczny miasta*
222. M. Stępień, *Bruno Jasieński*
223. K. Nawara, *Wyniki badań geologicznych na Księżycu*
224. T. Lityński, *Nawożenie na ziemiach polskich dawniej i dziś*
225. A. Szyszko-Bohusz, *Dojazdy młodzieży do szkół*
226. A. Bolewski, *Mineralogia wczoraj i dziś*
227. J. Kocwańska, *Zagrożenie środowiska przyrodniczego*
228. A. Stabryła, *Ekonomizacja systemów technicznych i administracyjnych*
229. W. Heflik, *Nefryt*
230. J. Paślawski, *Ksawery Pruszyński*
231. M. Książkiewicz, *Teoria wędrowki kontynentów w nowym świetle*
232. T. Z. Orłóš *Język czeski*
233. H. Smarzyński, *Narkomania wśród młodzieży. Hipisi*
234. P. Krywak, *Stanisław Lem*
235. J. Dużyk, *Władysław Orkan*
236. W. Parachoniak, *Wulkany a życie*
237. A. Szyszko-Bohusz, *Relaks — prawdziwy odpoczynek*
238. J. Smaga, *Dramaty Maksyma Gorkiego*
239. T. Gołaszewski, *Futurologia*
240. J. Pirożyński, *Drukarstwo krakowskie XV—XVI w.*
241. S. Myczkowski, *Rezerваты przyrody*
242. M. Romankówna, *Władysław Syrokomla. Życie i twórczość*
243. M. Budkiewicz, *Surowce mineralne w Polsce*
244. T. Przybylski, *Karol Kurpiński (1785—1857)*
245. J. Rajman, *Osadnictwo Wielkiej Niziny Węgierskiej*
246. M. Gołaszewska, *Estetyka*
247. W. Wykiel, *Witold Gombrowicz. Twórczość literacka*
248. E. Luchter, S. Chomałowski, *Przemysł regionu krakowskiego w XXX-leciu PRL*
249. H. Gembala, *Krakowskie teatry dramatyczne w XXX-leciu PRL*
250. C. Grece-Dąbrowska, *John Milton (1608—1674)*
251. A. Manecki, *Meteority, pyły kosmiczne i skały księżycowe*