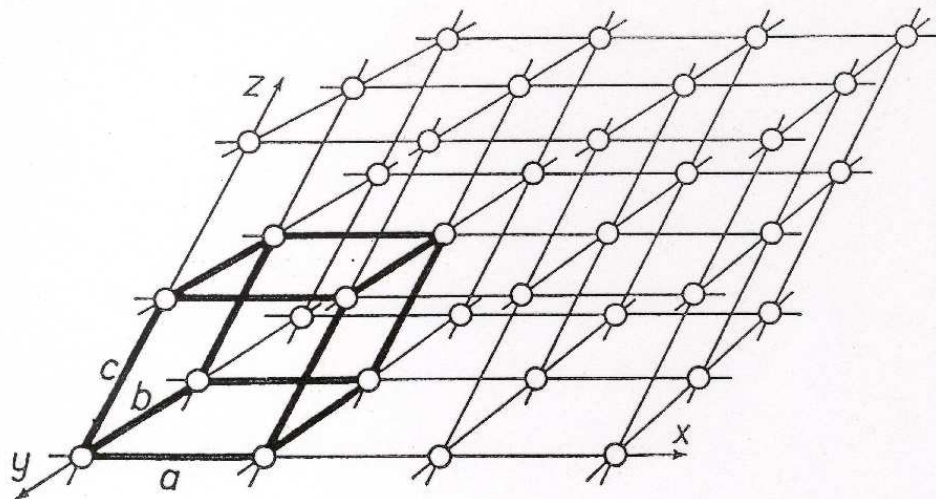
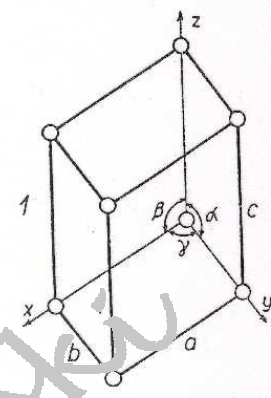


SUROWCE I RECYKLING

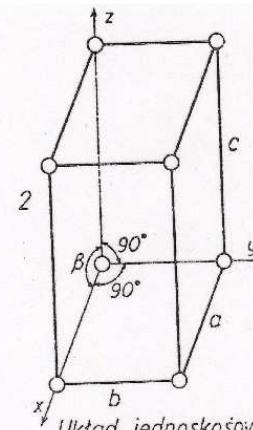
Wykład 2



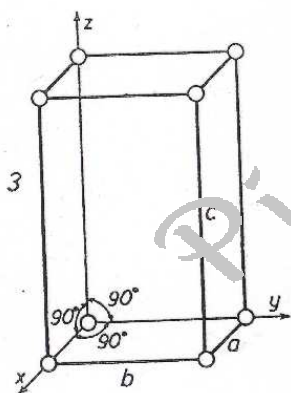
Sieć przestrzenna ciał krystalicznych



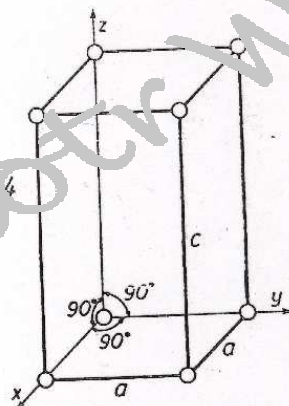
Układ trójosny



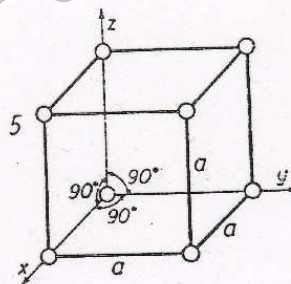
Układ jednoskośny



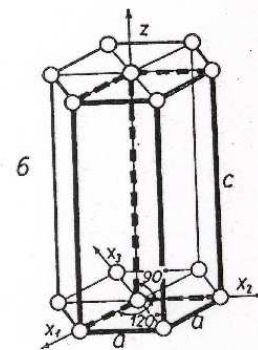
Układ rombowy



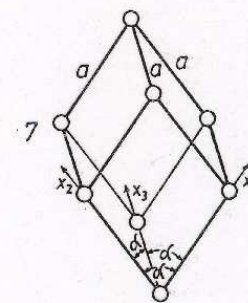
Układ tetragonalny



Układ regularny



Układ heksagonalny



Układ trygonalny

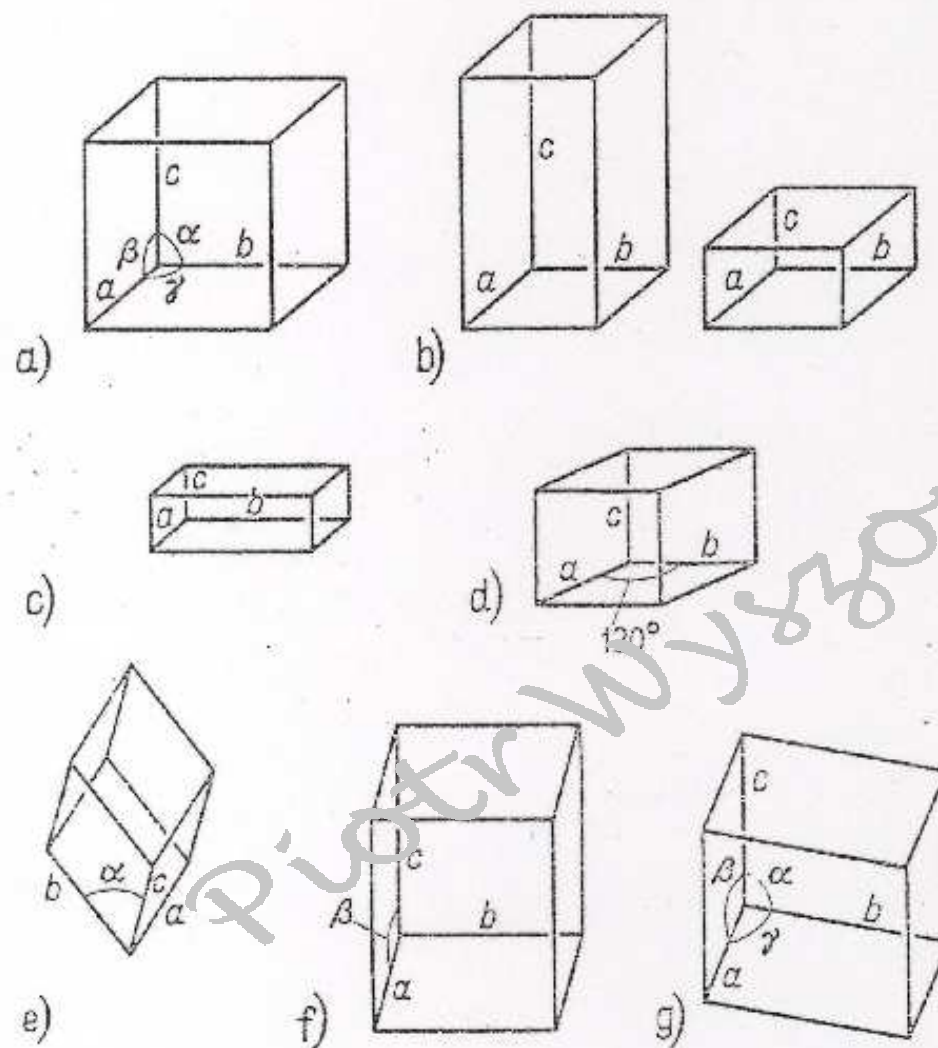
Siedem zasadniczych kształtów komórki elementarnej

Układ krystalograficzny grupuje kryształy o pewnych wspólnych cechach symetrii geometrycznej

Charakterystyka układów krystalograficznych

Układ krystalograficzny	Stosunki kątowe i osiowe		Symetria minimum	Symetria maksimum
	Kąty międzyosiowe	Parametry ściany jednostkowej		
Trójskośny	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$	L^3 lub L^6	C
Jednoskośny	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	$a \neq b \neq c$	L^2 lub P	$L^2 + P + C$
Rombowy	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$	$3L^2$ lub $L^2 + 2P$	$3L^2 + 3P + C$
Tetragonalny	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$	L^4 lub L_s^4	$L^4(L_s^4) + 4L^2 + 5P + C$
Trygonalny	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	L^3 lub L_s^6	$L_s^6(L^3) + 3L^2 + 4P + C$
(Rombodryczny)	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \neq 90^\circ$	$a = b = c$		
Heksagonalny	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	L^6 $(L^3 \text{ lub } L_s^6)^*$	$L^6 + 6L^2 + 7P + C$
Regularny	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$	$4L^3$ lub $4L_s^6$	$3L^4 + 4L_s^6 + 6L^2 + 9P + C$

* Do układu heksagonalnego zalicza się najczęściej także dwie klasy o symetrii trójrotnej.



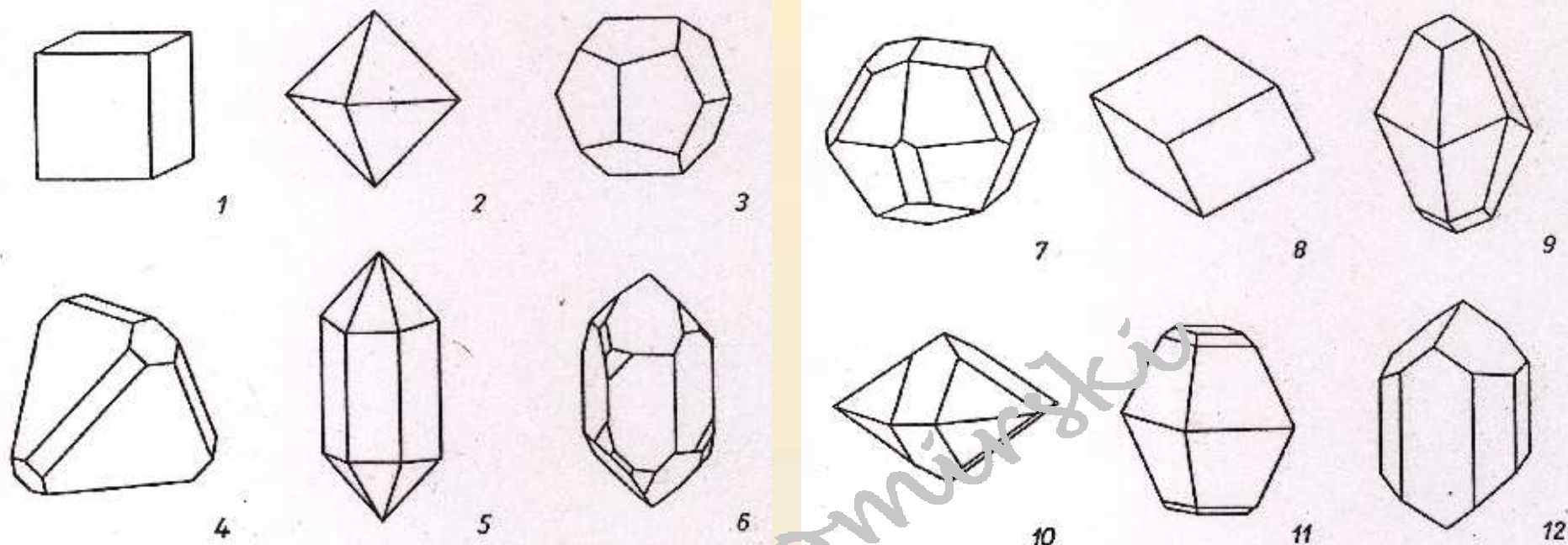
Rys. 2.10 (a) Komórka regularna: $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. (b) Komórka tetragonalna: $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. (c) Komórka rombowa: $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. (d) Komórka heksagonalna: $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$ (jak na rys. 2.9). (e) Komórka romboedryczna: $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$. (f) Komórka jednoskośna: $a \neq b \neq c$, $\alpha=\gamma=90^\circ$, $\beta > 90^\circ$. (g) Komórka trójskośna: $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Postacie krystalograficzne

Kryształy ograniczone ścianami jednoznaczными stanowią **postać prostą**. W wyniku kombinacji dwóch lub więcej postaci prostych powstaje **postać złożona**.

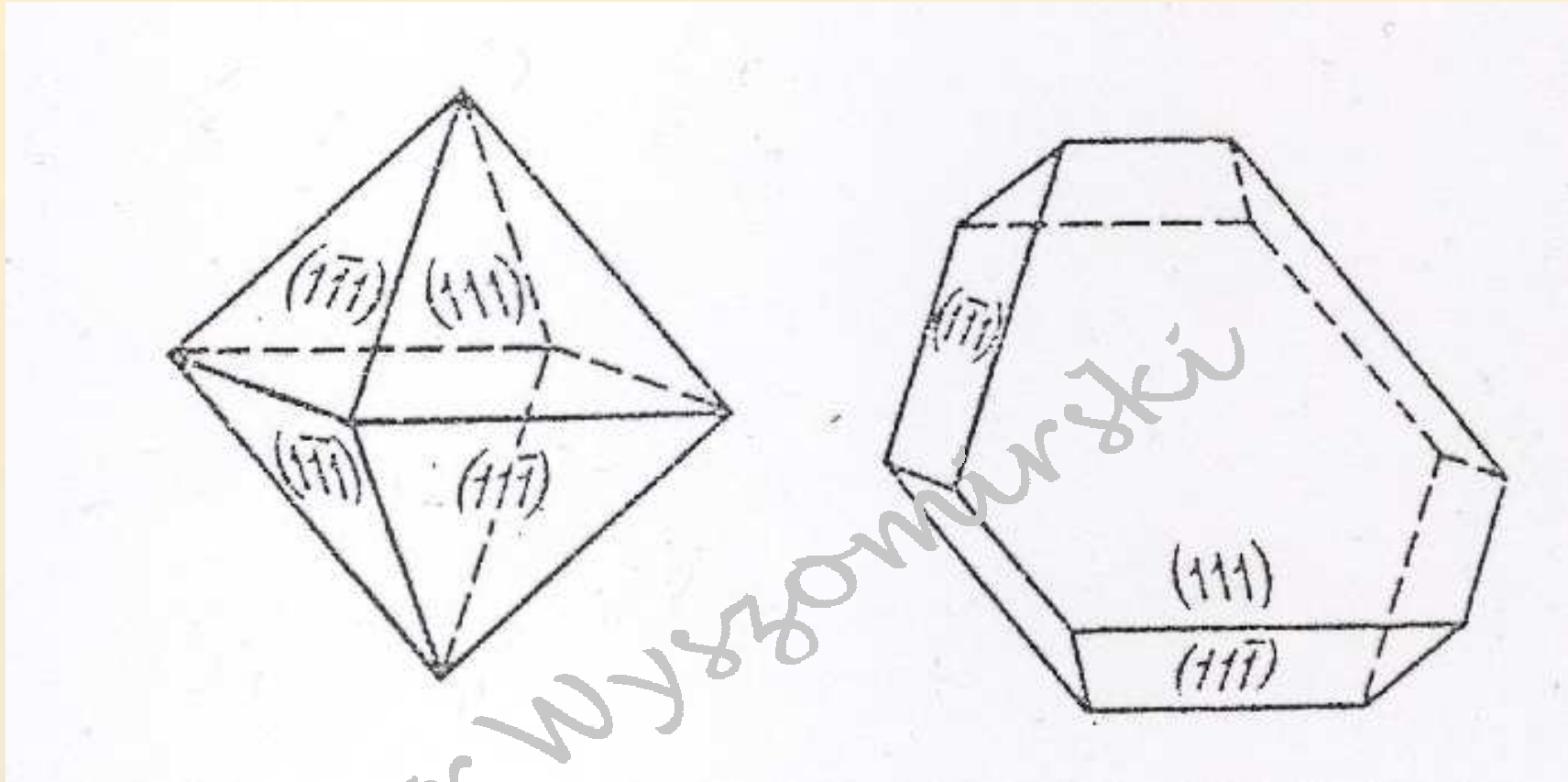
Postać prosta jest to zespół ścian symetrycznie równoważnych, tzn. dających się przeprowadzić jedna w drugą działaniem elementów symetrii tworzących daną grupę punktową.

Dominująca postać prosta nadaje kryształowi charakterystyczny wygląd zewnętrzny, zwany jego **pokrojem**. Przykładowo, silnie rozwinięte ściany słupów amfiboli i apatyty nadają tym minerałom pokrój słupkowy lub igiełkowy.



Postacie geometryczne kryształów kilku pospo- litych minerałów

1 — halit, NaCl (układ regularny), 2 — magnetyt, Fe_3O_4 (układ regularny), 3 — piryt, FeS_2 (układ regularny), 4 — sfaleryt, ZnS (układ regularny), 5, 6 — kwarc, SiO_2 (układ trygonalny), 7 — hematyt, Fe_2O_3 (układ trygonalny), 8, 9 — kalcyt, CaCO_3 (układ trygonalny), 10 — rutil, TiO_2 (układ tetragonalny), 11 — siarka, S (układ rombowy), 12 — diopsyd, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (układ jednoskośny)

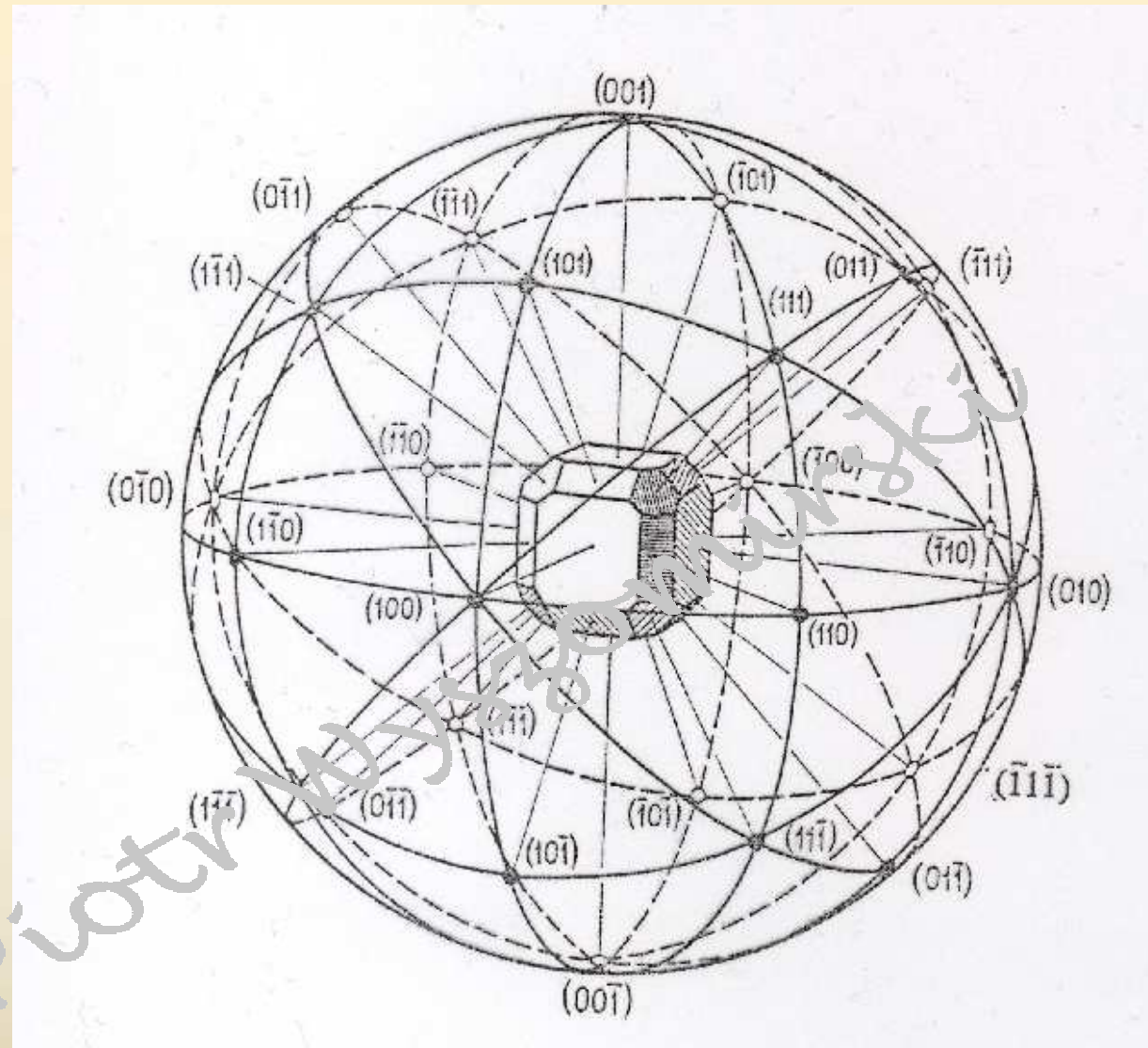


Dwa ośmiościany ograniczone ścianami należącymi do postaci $\{111\}$:

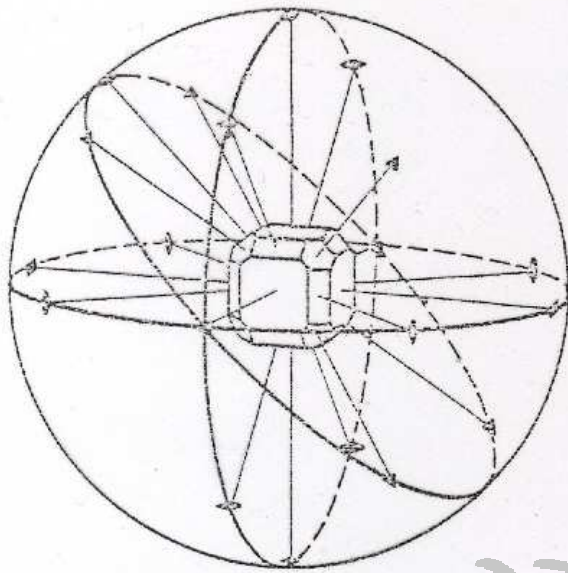
- **jednakowo wykształconymi,**
- **różnie wykształconymi.**

Projekcja kryształów

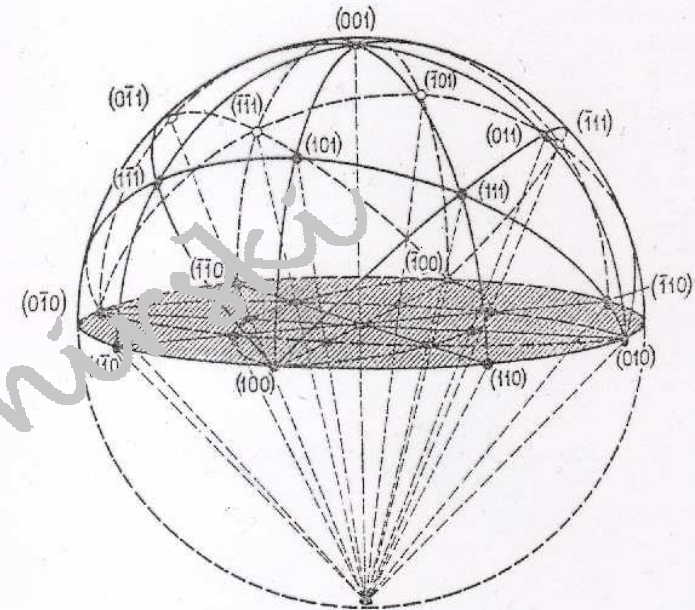
- Konsekwencją prawa stałości kątów jest specyficzny sposób przedstawiania kryształów na płaszczyźnie. Polega on wykonaniu rzutu kulistego, który następnie zostaje przekształcony w projekcję stereograficzną lub – rzadziej - gnomoniczną.
- Na podstawie prawidłowo wykonanej projekcji i dysponując odpowiednią siatką projekcyjną (siatka Wulfa) można odczytać wartości kątów pomiędzy dowolnymi ścianami kryształów. To zaś definiuje jednoznacznie dany kryształ.



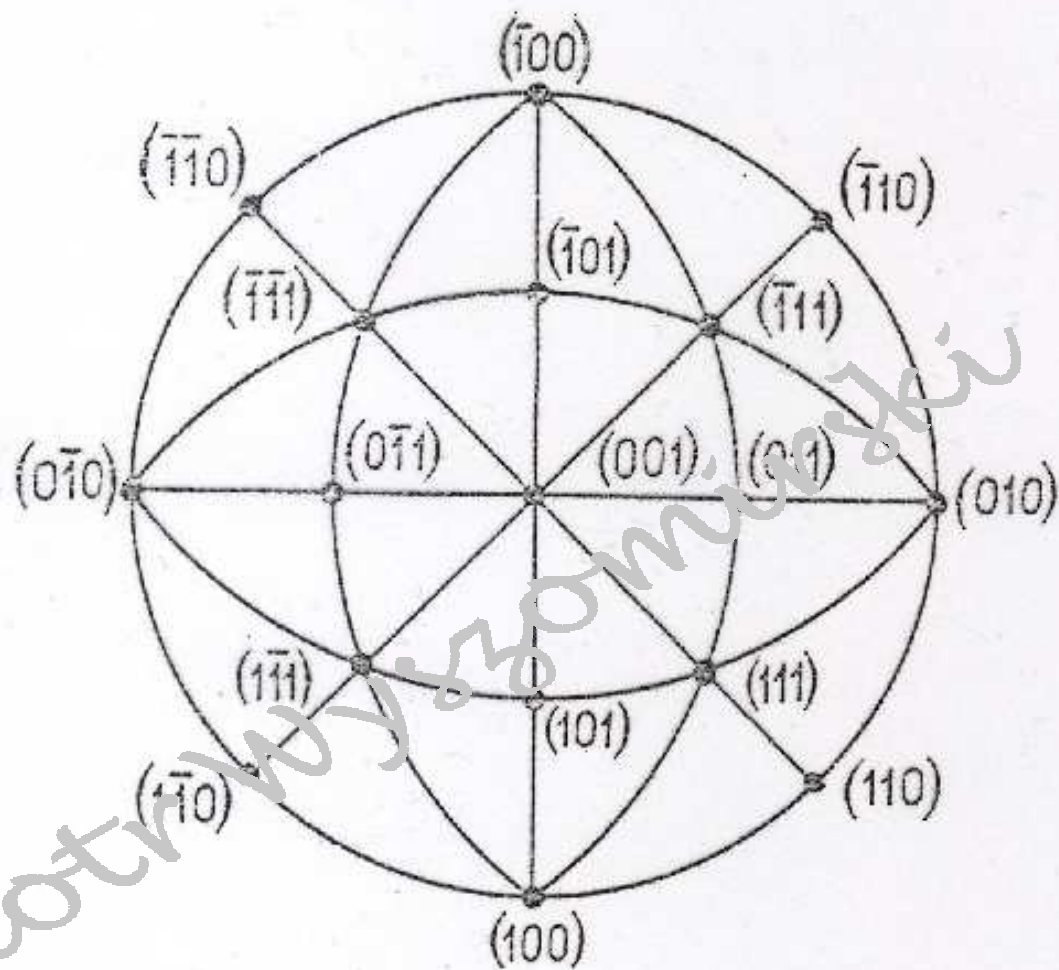
Rzut kulisty (sferyczny) kryształu stanowiącego postać złożoną z sześcianu, ośmiościanu i dwunastościanu rombowego.



Niektóre elementy symetrii kryształu stanowiącego postać złożoną z sześciianu, ośmiościanu i dwunastocianu rombowego, widoczne na jego rzucie kulistym.



Sposób wykonania projekcji stereograficznej kryształu stanowiącego postać złożoną z sześciianu, ośmiościanu i dwunastocianu rombowego na podstawie jego rzutu kulistego.



Projekcja stereograficzna kryształu stanowiącego postać złożoną z sześcianu, ośmiościanu i dwunastościanu rombowego.

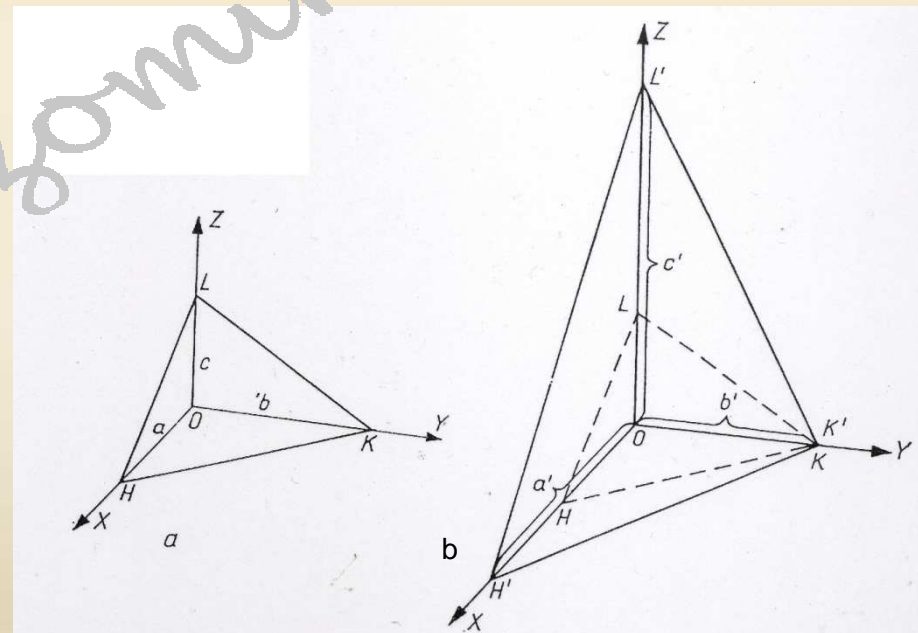
Wskaźniki ścian kryształu

Chcąc określić położenie ścian kryształów

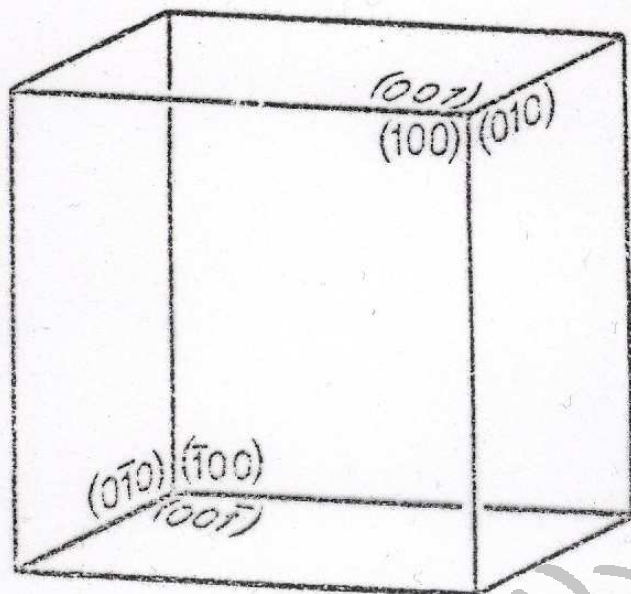
w przestrzeni nie musimy znać wartości parametrów a , b , c , jakie odcinają one na osiach układu odniesienia. Wystarczy znajomość stosunków parametrów ściany jednostkowej a , b , c do parametrów dowolnej ściany kryształu a' , b' , c' . Stosunki te określają tzw. wskaźniki ścian kryształu (**wskaźniki Millera h , k , l**).

$$h = a/a', \quad k = b/b', \quad l = c/c'$$

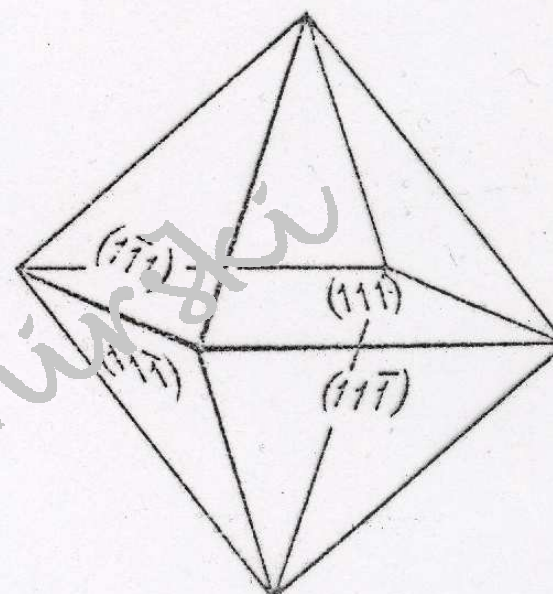
a – ściana jednostkowa HKL,
 b – położenie ściany wskaźnikowanej $H'K'L'$ w stosunku do ściany jednostkowej



Na podstawie wskaźników Millera można wnioskować o orientacji ścian kryształu w przestrzeni.



Kryształ sześciennu z zaznaczonymi wskaźnikami (hkl) jego ścian.



Kryształ ośmiościanu z zaznaczonymi wskaźnikami (hkl) jego ścian.

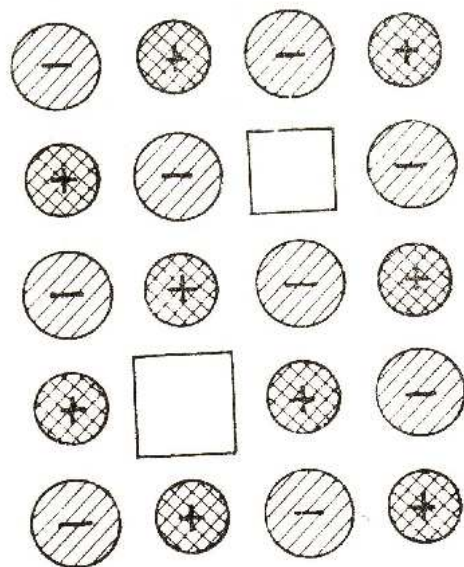
Kryształy rzeczywiste

Defekty sieciowe

Obszar objęty zaburzeniem (zdefektowaniem)	Rodzaj błędu (defektu)	Nazwa defektu	Rola defektu (przykłady)
Skala makro- i mikroskopowa ($> 10^{-5}$ cm)	rysy, pęknięcia, inkluzje itp.	defekty makro- i mikroskopowe	wpływają na własności mechaniczne, optyczne, termiczne
Skala submikroskopowa ($10^{-5} - 10^{-7}$ cm)	sieć krystaliczna zbudowana z obszarów (bloków) idealnie uporządkowanych lecz skręconych względem siebie o niewielki kąt ($1 - 2^\circ$)	budowa mozaikowa	wpływają na dyfrakcję promieni Roentgena
Skala atomowa ($10^{-7} - 10^{-8}$ cm)	brak atomu lub jonu w miejscu węzła sieciowego (luka)	defekty punktowe: — typu Schottky'ego	wpływają na zjawiska dyfuzji w kryształach, przewodnictwo elektryczne, własności optyczne, topliwość
	atom przemieszczony w pozycję międzywęzłową i wytworzona wskutek tego luka	— typu Frenkla	
	obecność dodatkowych atomów lub jonów w przestrzeniach międzywęzłowych	— typu międzywęzłowego	
	obecność obcych atomów lub jonów w węzłach	— typu substytucyjnego	

Obszar objęty zaburzeniem (zdefektowaniem)	Rodzaj błędu (defektu)	Nazwa defektu	Rola defektu (przykłady)
Skala atomowa (10 ⁻⁷ —10 ⁻⁸ cm)	zaburzenia periodyczności wzdłuż prostej tworzącej brzeg dodatkowej półpłaszczyzny sieciowej	dyslokacje (defekty liniowe) – dyslokacje krawędziowe	wpływają na przebieg reakcji w fazie stałej (dyfuzja), plastyczność, topliwość
	zaburzenia periodyczności wokół linii takie iż prostopadła do niej płaszczyzna sieciowa przechodzi w powierzchnię śrubową	– dyslokacje śrubowe	jak wyżej; wpływają także na wzrost krysztalów
	granice między domenami idealnego uporządkowania (blokami mozaiki lub szczepami) skreconymi względem siebie o niewielki kąt (1–2°)	defekty płaskie: – granice mozaiki (kolinearności)	wpływają na przebieg reakcji w fazie stałej (dyfuzja), plastyczność, topliwość, przebieg rekrytalizacji
	granice między ziarnami skreconymi względem siebie o kąt mniejszy niż 6–10°	– granice międzyziarnowe (nisko-kątowe)	
	granice między sąsiednimi warstwami atomów, stanowiącymi elementy strukturalne kryształów, przy zaburzonej kolejności nawarstwiania	– błędy nawarstwiania	
	granice pomiędzy fazą krystaliczną a gazem lub próżnią	– powierzchnia graniczna kryształu	wpływa na zjawiska absorpcji i własności katalityczne

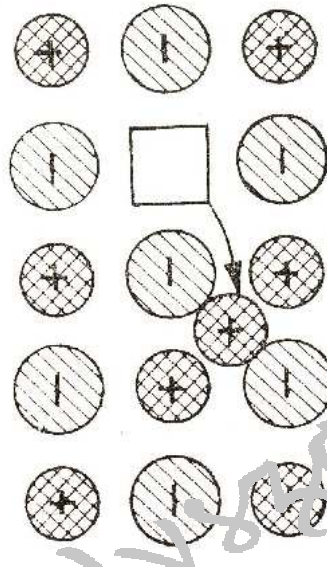
Skala „subatomowa“ (10^{-8} cm)	<p>•</p> <p>dodatkowy elektron w luce poanionowej</p>	<p>defekty elektro- nowe:</p> <p>— typu ele- ktron do- datkowy</p>	<p>wpływają na zjawiska termoelektryczne, fotoprzewodnictwo, przewodzenie prądu w półprzewodnikach, absorpcję promieniowania (barwę), luminescencję</p>
	<p>wakans po elektronie usuniętym z sieci krystalicznej</p>	<p>— typu dziura elektro- nowa</p>	
	<p>związana para: wzbudzony elektron — dziura</p>	<p>— typu ekscyton</p>	
	<p>zmiennie w czasie przemieszczanie atomów wynikające z ich drgań sprężystych; zaburzenie to może obejmować wszystkie atomy lub też zlokalizowane do- meszki</p>	<p>defekty — typu fono nów</p>	



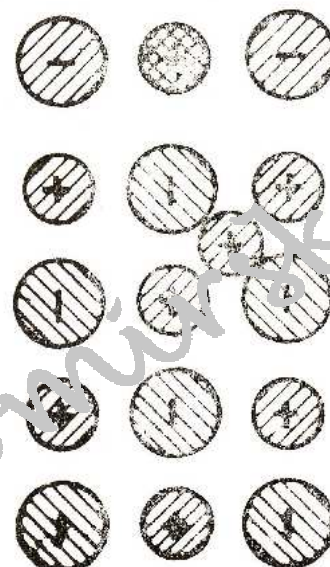
a

Ryc. 108. Defekty kryształów

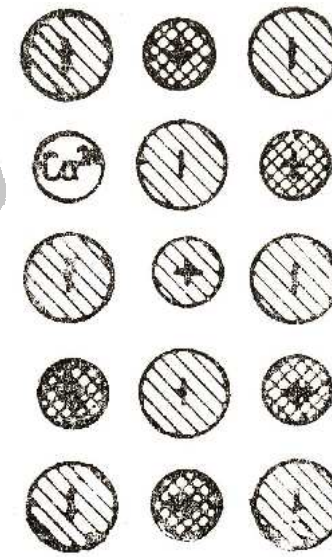
a — Schottky'ego (luka kationowa i poanionowa),
b — Frenkla (kation w położeniu międzywęzłowym i luka po nim)



b



a



b

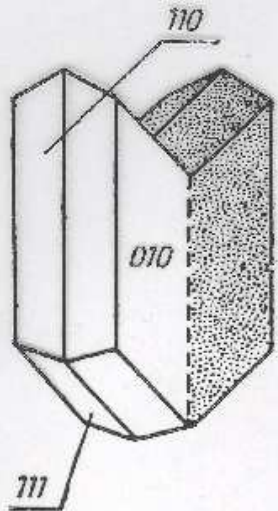
Ryc. 109. Defekty kryształów

a — międzywęzłowy (dodatkowy kation w przestrzeni międzywęzłowej), *b* — substytucyjny (obcy kation w węźle sieciowym)

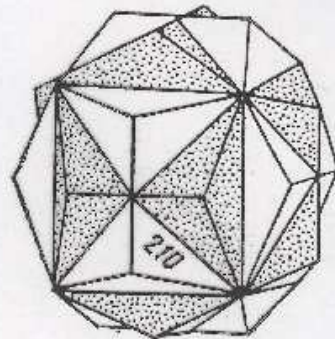
Prawidłowe zrosty kryształów

Wśród nich można wyróżnić:

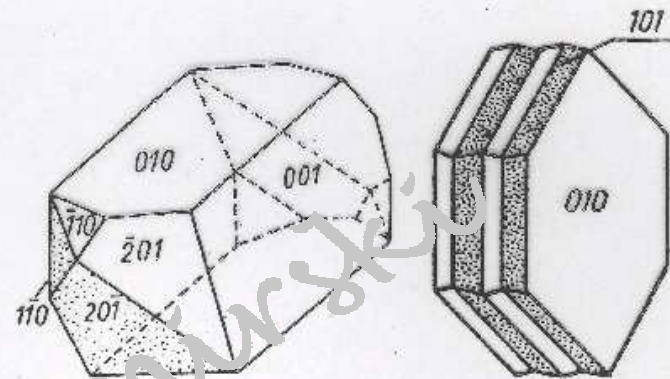
- Prawidłowe zrosty kryształów tego samego rodzaju:
 - zrosty równoległe (np. kryształów kwarcu),
 - zrosty bliźniacze (np. gipsu, plagioklazów),
- Prawidłowe zrosty kryształów różnego rodzaju, tj. zrosty epitaktyczne.



Bliźniak gipsu
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tzw.
 jaskółczy ogon

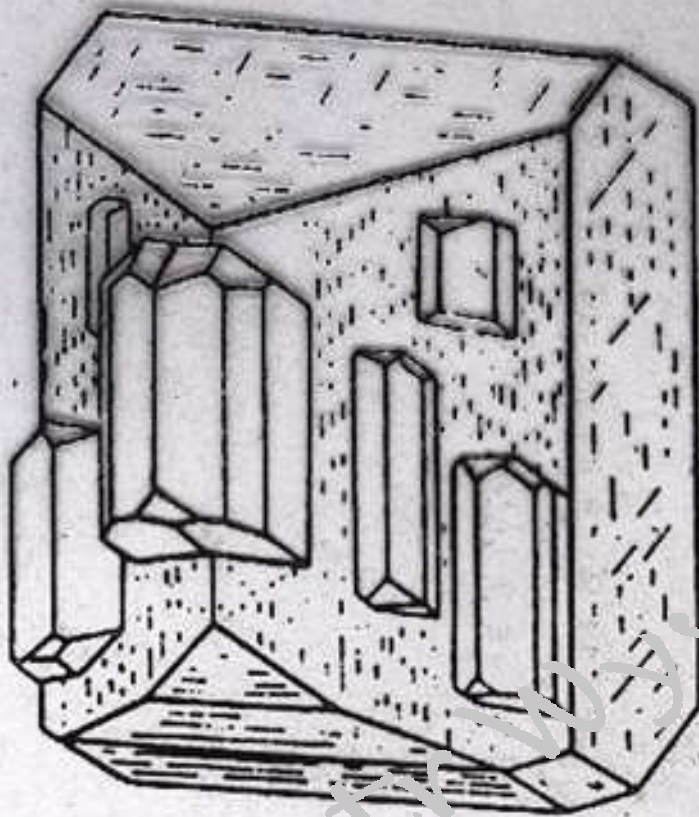


Bliźniak pirytu FeS_2
 tzw. krzyż żelazny

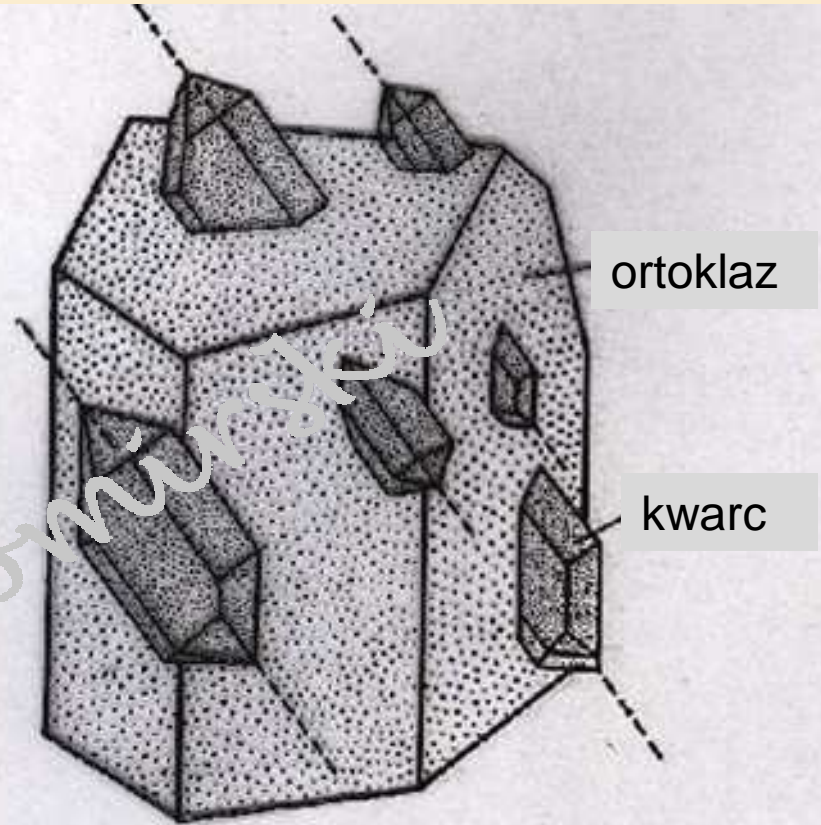


Bliźniak baweński
 ortoklażu $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
 według $\{021\}$

Plagioklaz $n\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot m\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ zblizniaczony według $\{010\}$

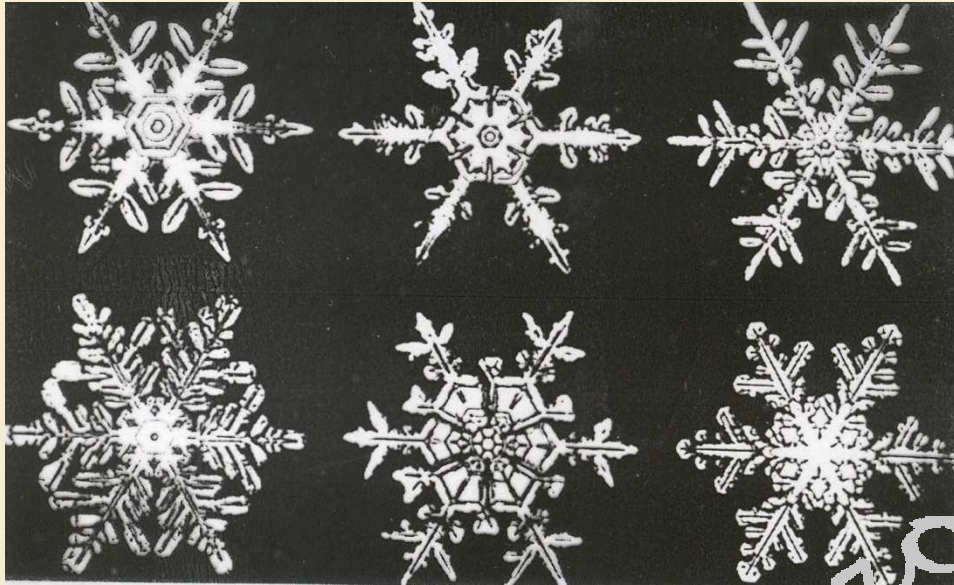


Epitaktyczne narastanie albitu $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ na ortoklazie $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$



Epitaktyczne narastanie kwarcu SiO_2 na ortoklazie $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

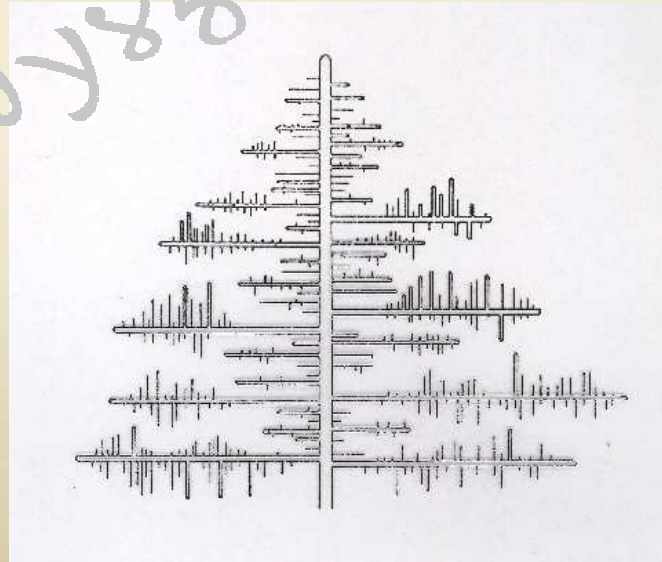
Różne przykłady minerałów i syntetycznych faz dendrytowych



Płatki śniegu H_2O .

Tlenkowe minerały
manganu

Cristobalit SiO_2
powstający w procesie
odszklenia szkła.



Niektóre fizyczne właściwości minerałów i faz syntetycznych

- Gęstość
- Twardość
- Łupliwość

Gęstość minerałów (przykłady)

Nazwa minerału	Skład chemiczny	Gęstość g/cm ³
Bursztyn	żywica kopalna --- mieszanina związków organicznych	1,03
Siarka rodzima	S	2,07
Halit	NaCl	2,25
Ortoklaz	K[AlSi ₃ O ₈]	2,56
Kwarc	SiO ₂	2,65
Kalcyt	CaCO ₃	2,72
Diament	C	3,52
Sfaleryt	ZnS	4,06
Piryt	FeS ₂	5,03
Hematyt	Fe ₂ O ₃	5,10
Magnetyt	Fe ₃ O ₄	5,17
Galena	PbS	7,50
Srebro rodzime	Ag	10,60
Platyna rodzima (poliksen)	(Pt, Fe)	17,00
Złoto rodzime	Au	19,00

Ciecze ciężkie (przykłady)

Nazwa i skład chemiczny	Rozpuszczalnik	Największa gęstość	Uwagi
Bromoform CHBr_3	benzen; toluen	2,89	ulega działaniu światła dziennego; działa na organizm!
Czterobromek acetylenu $\text{CHBr}_2\text{—CHBr}_2$	benzen, toluen	3,0	
Jodek metylenu CH_2J_2	benzen, ksylen	3,34	jw., trujący!
Ciecz Sonstada-Thouleta (wodny roztwór HgJ_2 i KJ)	woda	3,17	słabo trująca
Ciecz Retgersa (roztwór jodoformu w CH_2J_2)	jodek metylenu	3,45	trująca
Ciecz Clericiego (roztwór wodny TiCl_4 i $\text{CH}_2(\text{COO})_2\text{Ti}_2$)	woda	4,25	bardzo silnie trująca!
Stop $\text{HgNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	woda zakwaszona HNO_3	4,30	topi się w 70°C
Stop Retgersa $\text{TiNO}_3 + \text{HgNO}_3$		5,30	topi się w 76°C

Twardość

Jest to opór jaki sieć krystaliczna jakiegoś ciała stawia zewnętrznym bodźcom mechanicznym, starającym się to ciało zarysować lub zetrzeć.

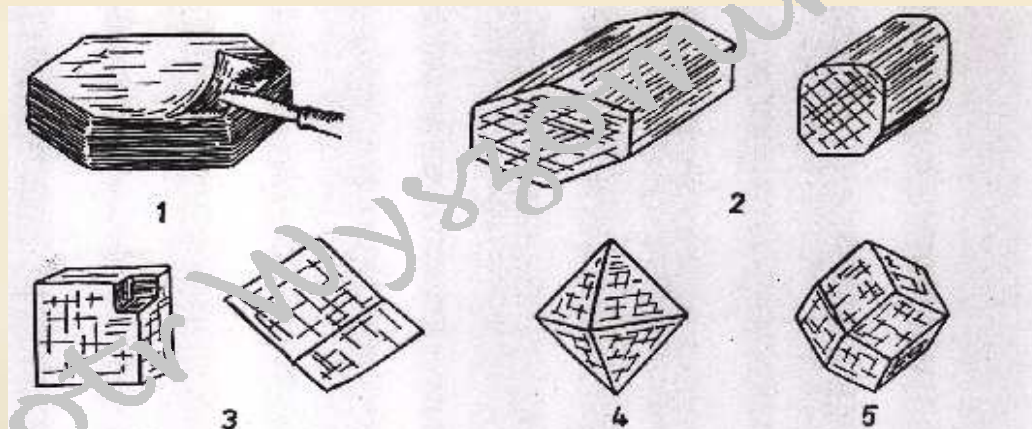
Skala twardości minerałów wg Mohsa

Stopień twardości	Minerał daje się zarysować:	Minerał wzorcowy	Grupa twardości
1	paznokciem — bez trudu	talk	bardzo miękkie
2	paznokciem	gips	
3	miedzianym drutem — łatwo	kalcyt	miękkie
4	nożem — bez trudu	fluoryt	
5	nożem	apatyt	twarde
6	nożem — z dużym trudem krawędzią pilnika	ortoklaz	
	Minerał nie daje się zarysować nożem i stałą narzędziową:		
7	rysuje szkło	kwarc	bardzo twarde
8	rysuje szkło — bardzo łatwo	topaz	
9	przecina szkło	korund	
10	nie daje się niczym zarysować	diamant	

MINERAL	TWARDOŚĆ WEDŁUG MOHSA	TWARDOŚĆ WEDŁUG VICKERSA
Talk	1	20
Gips	2	70
Kalcyt	3	110
Fluoryt	4	180
Apatyt	5	500
Ortoklaz	6	700
Kwarc	7	1300
Topaz	8	1600
Korund	9	2000
Diamant	10	8000

Łupliwość

Jest to zdolność kryształów do pękania lub rozdzielania się pod wpływem uderzenia lub nacisku wzdłuż płaskich powierzchni, tj. płaszczyzn łupliwości. Wyróżnia się łupliwość doskonałą, bardzo dobrą, dobrą, wyraźną, niewyraźną. Są też minerały pozbawione łupliwości; wykazują one tzw. przełam.



Rodzaje łupliwości w minerałach

1 - jednokierunkowa łupliwość muskowitu, 2 - dwukierunkowa łupliwość amfibolu (z lewej) i piroksenu (z prawej; w amfibolu kąt między płaszczyznami łupliwości jest rozwarty i wynosi 124° , a w piroksenie zbliżony do prostego, 3 - trójkierunkowa łupliwość galeny (łupliwość kostkowa) i kalcytu (łupliwość romboedryczna), 4 - czterokierunkowa łupliwość fluorytu (według ścian ośmiościanu), 5 - sześciokierunkowa łupliwość sfalerytu.

Niektóre optyczne właściwości minerałów widoczne makroskopowo:

- **Barwa**

- **Luminescencja**

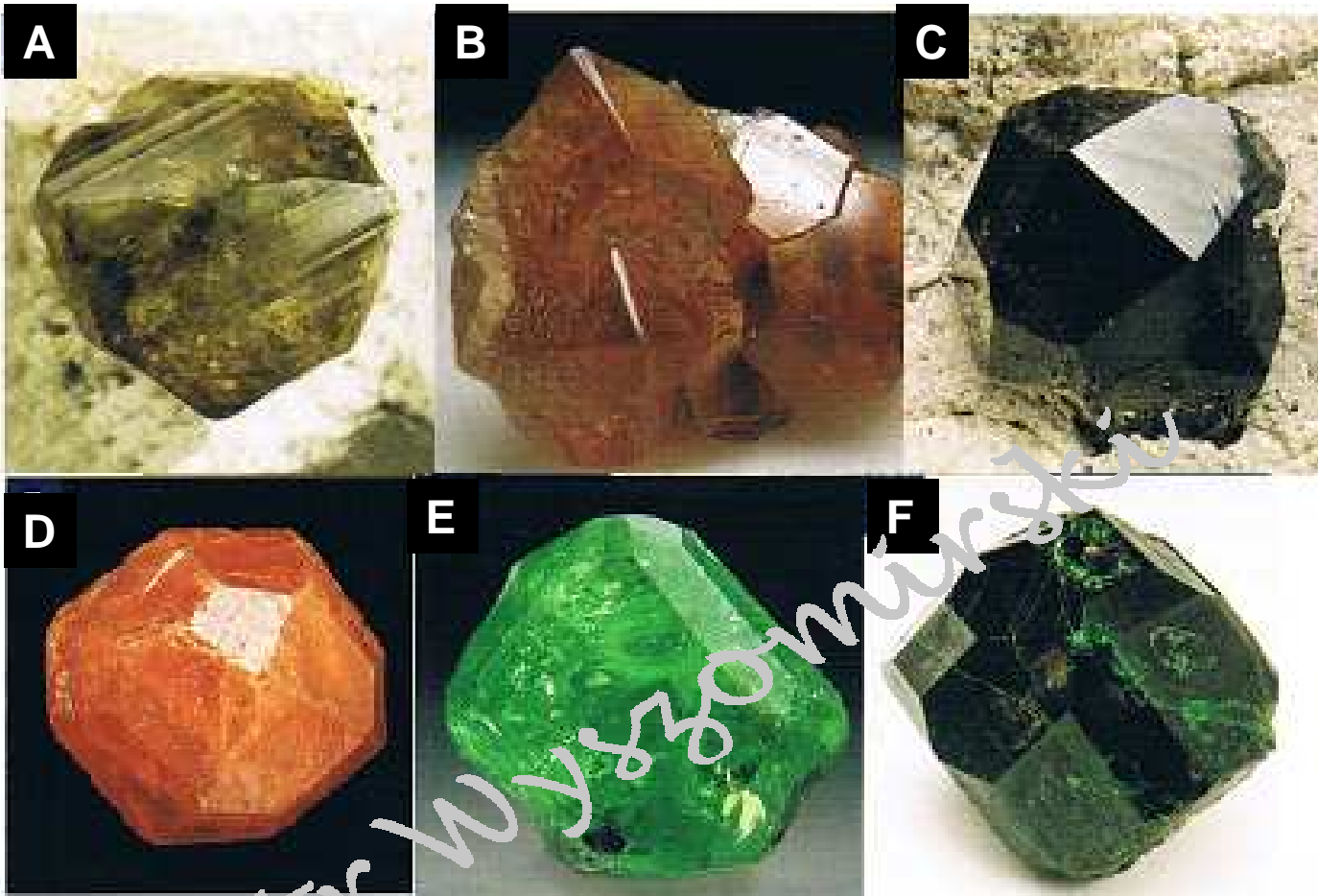
Barwa minerałów

Wyróżniamy:

- **minerały idiochromatyczne, tj. o barwie własnej spowodowanej strukturą elektronową wchodzących w ich skład atomów,**
- **minerały allochromatyczne, tj. o barwie zapożyczonej spowodowanej obecnością domieszek.**

Przykłady barwy minerałów

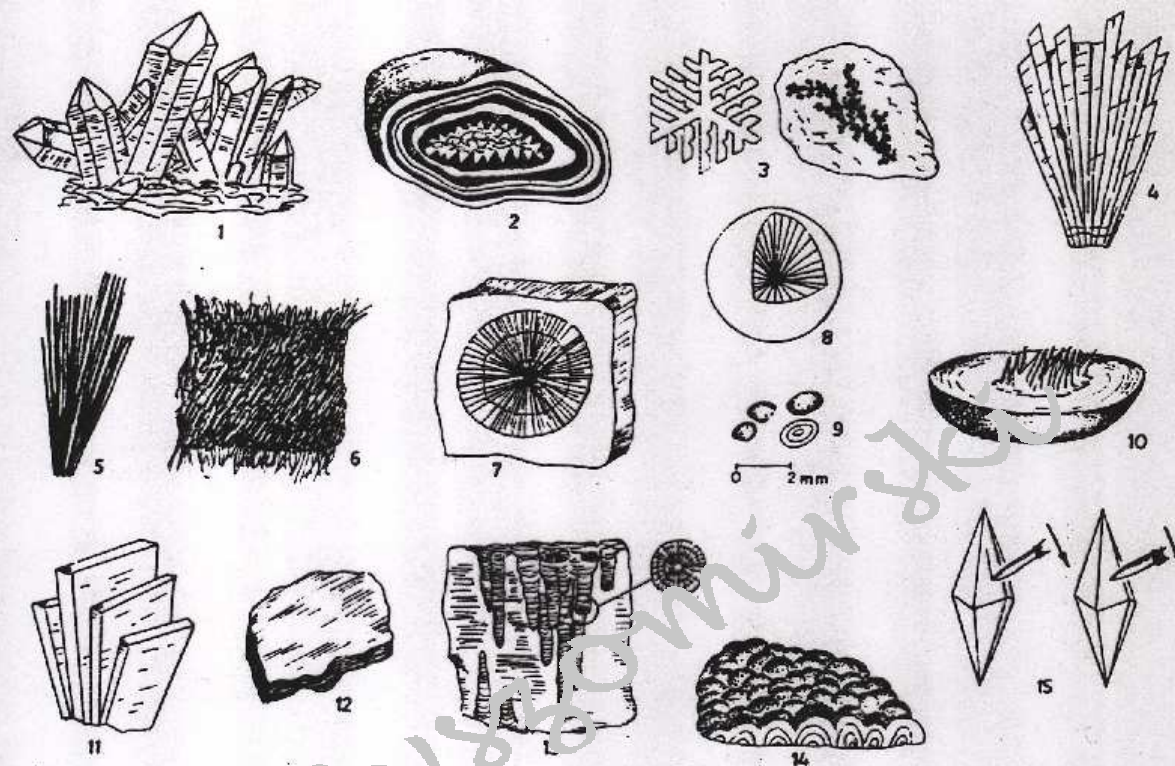
Barwa	Minerał wzorcowy	Barwa	Minerał wzorcowy
czarna	— magnetyt	czerwona	— cynober
stalowoczarne	— tetraedryt	pomarańczowa	— krokoit
szlaciasto-szara	— galena	zielona	— malachit
niebrzystobiała	— arsenopiryt	niebieska	— azuryt
żółta	— siarka	indygowo-niebieska	— kowelin
brunatna	— limonit	fioletowa	— ametyst



Barwa różnych odmian granatów $X_3Y_2[SiO_4]_3$: A – andradyt ($X = Ca^{2+}$, $Y = Fe^{3+}$), B – grossular ($X = Ca^{2+}$, $Y = Al^{3+}$), C – melanit ($X = Ca^{2+}$, $Y = Ti^{3+}$, Fe^{3+}), D – spessartyn ($X = Mn^{2+}$, $Y = Al^{3+}$), E – tsaworyt ($X = Ca^{2+}$, $Y = Al^{3+}$, także ślady V i Cr), F – uwarowit (Ca^{2+} , $Y = Cr^{3+}$)

Minerały wykazujące luminescencję

Minerał	Fluorescencja po naświetleniu promieniami:		
	ultrafioletowymi	katodowymi	rentgenowskimi
Apatyty $\text{Ca}_5[(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH}) (\text{PO}_4)_3]$	różowa, fioletowa, czerwona	żółta, żółtawo-czerwona, liliowa	żółta, zielona, niebieska
Cyanit $\text{Al}_2[\text{O} \text{SiO}_4]$	—	malinowa	—
Cyrkon $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$	żółta, złocista	żółta, złocista	żółta, zielona
Diament C	żółta, niebieska, fioletowa	niebieska, zielona	niebieska
Fluoryt CaF_2	fioletowa	fioletowa, zielona	zielona
Kalcyt CaCO_3	fioletowa, czerwona, żółta	czerwona	czerwona
Kwarc SiO_2	—	szafirowa, różowa, fioletowa	—
Scheelit CaWO_4	niebieska	niebieska	niebieska



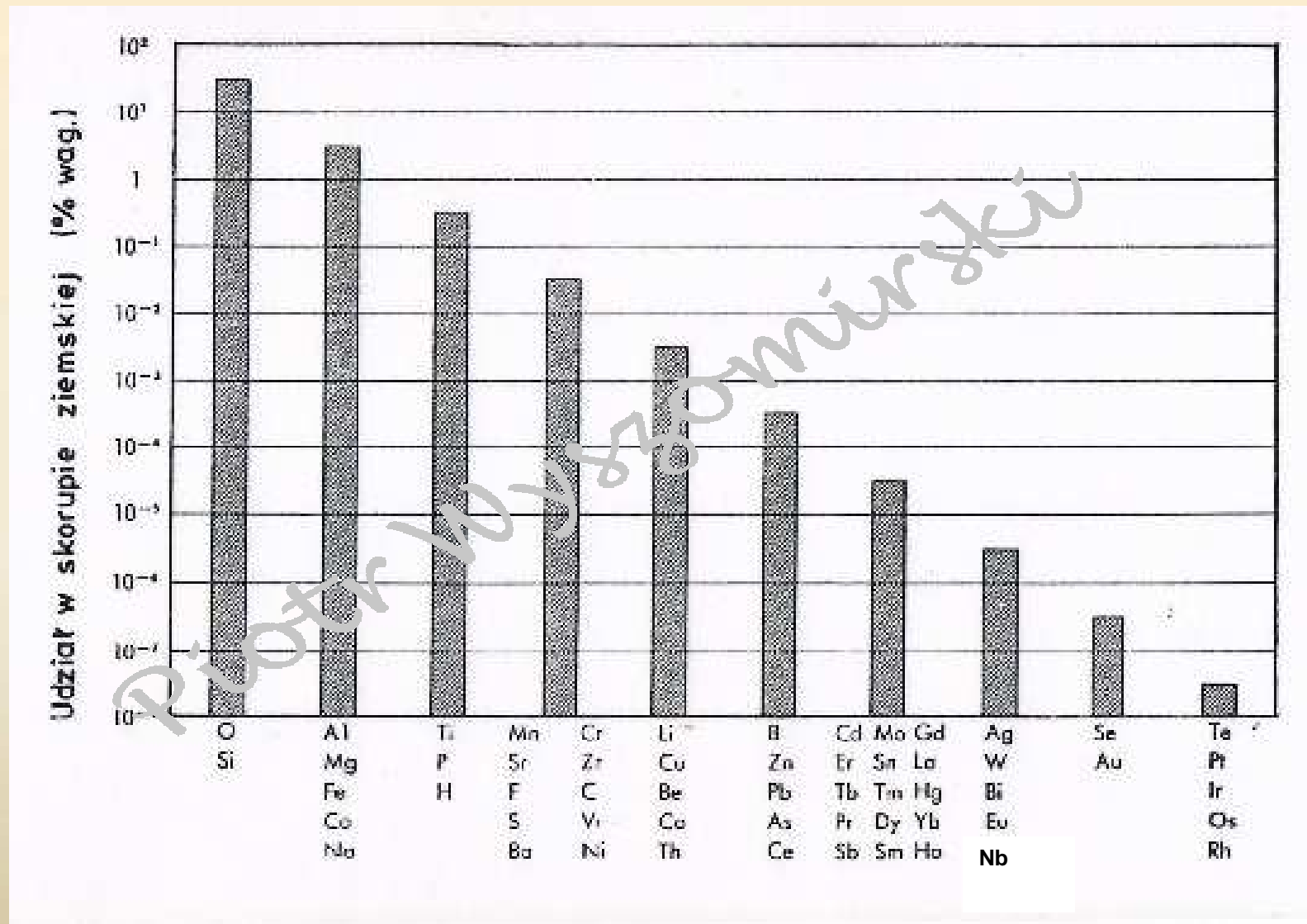
Przykłady form skupień minerałów

1 - szczotka kryształów kwarcu, 2 - ametystowa geoda otoczona apetytem, 3 - dendryty: z lewej - srebra rodzimego, z prawej - tlenkowych minerałów manganu i żelaza, 4 - skupienia słupkowe epidotu, 5 - skupienia igielkowe turmalinu, 6 - włókniste skupienia azbestu chryzotylowego, 7 promieniste skupienia wavellitu, 8 - sferolitowe skupienia desminu, 9 - oolity aragonitu, 10 - kongrecja syderytowa ze szczotką kryształów kalcytu, 11- tabliczkowe skupienia barytu w ułożeniu rozetkowym, 12 - blaszkowe skupienia miki, 13 - stalaktyty goethytu, 14 - groniaste skupienia psyломelanu, 15 - pseudomorfoza (z prawej) kwarcu po kalcyecie - kryształ o pokroju typowym dla kalcytu nie daje się zarysować nożem, z lewej: kryształ kalcytu - ostrze noża łatwo rysuje jego powierzchnię.

PODZIAŁ MINERAŁÓW NA GROMADY

- I. Pierwiastki rodzime, stopy i związki międzymetaliczne
- II. Węglik, azotki, fosforki i krzemki
- III. Siarczki i pokrewne kruszce
- IV. Halogenki
- V. Tlenki i wodorotlenki
- VI. Sole kwasów tlenowych:
 - 1. Azotany
 - 2. Jodany i chlorany
 - 3. Węglany
 - 4. Seleniny i seleniany
 - 5. Telluryny i tellurany
 - 6. Borany
 - 7. Siarczany i siarczyny
 - 8. Chromiany i dwuchromiany
 - 9. Molibdeniany
 - 10. Wolframiany
 - 11. Fosforany
 - 12. Arseniny i arseniany
 - 13. Antymoniany
 - 14. Wanadany
 - 15. Minerale uranylu
 - 16. Germaniany
- 17. Krzemiany i glinokrzemiany
 - a. Krzemiany wyspowe
 - b. Krzemiany grupowe i pierścieniowe
 - c. Krzemiany i glinokrzemiany łańcuchowe
 - d. Krzemiany i glinokrzemiany wstęgowe
 - e. Krzemiany i glinokrzemiany warstwowe
 - f. Krzemiany i glinokrzemiany szkieletowe
- 18. Krzemiany berylu, berylokrzemiany i beryloglinokrzemiany
- VII. Minerale amonu
- VIII. Związki organiczne i pokrewne

Rozpowszechnienie niektórych pierwiastków w skorupie ziemskiej (Norton 1974)



SYSTEMATYKA MINERALÓW (H.STRUNZ 1996)
zaakceptowana przez Międzynarodową Asocjację Mineralogiczną
(*International Mineralogical Association*)

- 1. Pierwiastki (łącznie z węglnikami itp.)**
 - 1.A Metale, stopy międzymetaliczne
 - 1.B Węgliki, krzemki, azotki, fosforki metali
 - 1.C Metaloidy, niemetale
- 2. Siarczki (łącznie z selenkami itp.)**
 - 2.A Stopy metali z metaloidami As, Sb, Bi, (Te)
 - 2.B Siarczki z M : S < 1 : 1 (głównie 2 : 1)
 - 2.C Siarczki z M : S = 1 : 1
 - 2.D Siarczki z M : S < 1 : 1 i > 1 : 2 (głównie 3 : 4 i 2 : 3)
 - 2.E Siarczki z M : S = 1 : 2 i < 1 : 2
 - 2.F Siarkosole z jednostkami strukturalnymi AsS_3 i SbS_3 (siarkoarsenki wyspowe, grupowe, pierścieniowe, łańcuchowe, warstwowe, przestrzenne)
 - 2.G Siarkosole z jednostkami strukturalnymi typu Sn S
 - 2.H Siarkosole z jednostkami strukturalnymi typu Pb S
 - 2.I Siarkoarseniany
 - 2.J Siarkoantymoniany
 - 2.K Siarczki metaloidów, chlorosiarczki, tlenosiarczki
- 3. Halogenki**
 - 3.A Halogenki proste bez H_2O
 - 3.B Halogenki proste z H_2O
 - 3.C Halogenki złożone (glinofluorki wyspowe do przestrzennych, itp.)
 - 3.D Tlenohalogenki
- 4. Tlenki (wodorotlenki, itp.)**
 - 4.A Tlenki z M : O > 2 : 1 i podobne
 - 4.B Tlenki z M : O = 2 : 4 i podobne
 - 4.C Tlenki z M : O = 2 : 3 i podobne
 - 4.D Tlenki z M : O = 1 : 2 i podobne
 - 4.E Tlenki z M : O = 2 : 5 i inne
 - 4.F Wodorotlenki (bez V i U)
 - 4.G Wodorotlenki uranylu
 - 4.H Wanadany V^{5+} (wanadany wyspowe do przestrzennych)
 - 4.I Arseniny, siarczyny, seleniny, telluryny, jodany
- 5. Węglany, Azotany**
 - 5.A Węglany bez dodatkowych anionów, bez H_2O
 - 5.B Węglany z dodatkowymi anionami, bez H_2O
 - 5.C Węglany bez dodatkowych anionów, z H_2O
 - 5.D Węglany z dodatkowymi anionami, z H_2O
 - 5.E Węglany uranylu
 - 5.N Azotany
- 6. Borany**
 - 6.A Jednoborany
 - 6.B Dwuborany
 - 6.C Trójborany
 - 6.D Czteroborany
 - 6.E Pięcioborany
 - 6.F Sześcioborany
 - 6.G Siedmioborany i dalsze wieloborany (megaborany), podzielone np. na tetraborany od wyspowych do przestrzennych.
- 7. Siarczany (seleniany, chromiany, itp.)**
 - 7.A Siarczany bez dodatkowych anionów, bez H_2O
 - 7.B Siarczany z dodatkowymi anionami, bez H_2O
 - 7.C Siarczany bez dodatkowych anionów, z H_2O
 - 7.D Siarczany z dodatkowymi anionami, z H_2O
 - 7.E Siarczany uranylu
 - 7.F Chromiany
 - 7.G Molibdeniany, wolframiany
 - 7.H Molibdeniany uranylu itp.
- 8. Fosforany (arseniany, wanadany V^{4+})**
 - 8.A Fosforany, itp. bez dodatkowych anionów, bez H_2O
 - 8.B Fosforany, itp. z dodatkowymi anionami, bez H_2O
 - 8.C Fosforany, itp. bez dodatkowych anionów, z H_2O
 - 8.D Fosforany, itp. z dodatkowymi anionami, z H_2O
 - 8.E Fosforany uranylu
 - 8.F Dwufosforany, itd.
- 9. Krzemiany**
 - 9.A Krzemiany wyspowe
 - 9.B Krzemiany grupowe
 - 9.C Krzemiany pierścieniowe
 - 9.D Krzemiany łańcuchowe
 - 9.E Krzemiany warstwowe
 - 9.F Krzemiany przestrzenne
- 10. Związki organiczne**
 - 10.A Sole kwasów organicznych
 - 10.B Węglowodory
 - 10.C Żywiec