# Wykłady z przedmiotu *SUROWCE MINERALNE*

**dla studentów WIMiC AGH (kierunki: *Technologia Chemiczna i Ceramika*) w roku akademickim 2013/2014**

Autor: prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski

# SUROWCE MINERALNE

## Wykład 1

Autor: prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski

# REGULAMIN ZAJĘĆ

1.Udział studentów we wszystkich zajęciach laboratoryjnych jest obowiązkowy.

- ✓ Każda nieobecność na zajęciach laboratoryjnych powinna być usprawiedliwiona. Podstawą jej usprawiedliwienia jest świadectwo lekarskie. Nieprzekraczalny termin usprawiedliwienia – dwa tygodnie.
- ✓ W przypadku usprawiedliwionej nieobecności na więcej niż trzech zajęciach laboratoryjnych o sposobie odrobienia zaległości i uzyskania zaliczenia decyduje wykładowca przedmiotu.
- ✓ Nieusprawiedliwiona nieobecność na pisemnym sprawdzianie wiadomości jest równoznaczna z uzyskaniem oceny niedostatecznej bez możliwości jej poprawy. W przypadku usprawiedliwionej nieobecności student jest zobowiązany do odrobienia zaległości w trybie uzgodnionym z prowadzącym zajęcia.
- ✓ Ocenę niedostateczną (2,0) ze sprawdzianu uzyskują też osoby, które postępują w sposób nieetyczny (np. poprzez *ściąganie*). To samo dotyczy egzaminu pisemnego z przedmiotu *Surowce mineralne.*

2.Student może dokonać zamiany grupy laboratoryjnej na początku semestru. Warunkiem jest zaproponowanie na opuszczane miejsce osoby z grupy, do której zamierza przejść.

3. Podstawą uzyskania zaliczenia jest systematyczna praca studenta w czasie trwania semestru i pozytywne jej efekty (obecność na zajęciach laboratoryjnych, oceny uzyskiwane na tych zajęciach i sprawdzianach).

4. Zaliczenia zajęć laboratoryjnych dokonuje osoba prowadząca te zajęcia.

5. Studentów obowiązuje dbałość o sprzęt i materiały niezbędne do prowadzenia zajęć laboratoryjnych (skrypty i podręczniki, eksponaty surowców mineralnych, preparaty mikroskopowe, mikroskopy i inne). Stwierdzone i dowiedzione uchybienia w tym zakresie będą naprawiane lub uzupełniane na koszt studenta.

6. Egzamin z przedmiotu *Surowce mineralne jest* przeprowadzany w formie pisemnej. W tym czasie należy udzielić obszernych odpowiedzi na 5 pytań z zakresu tematyki wykładów i zajęć laboratoryjnych. Czas trwania egzaminu – 90 minut.

7. Przed przystąpieniem do egzaminu pisemnego student jest zobowiązany do wpisania się na listę osób zdających w określonym terminie. Student może zrezygnować z przystąpienia do egzaminu pisemnego w terminie najpóźniej do trzech dni przed jego przeprowadzeniem. O tym fakcie należy powiadomić egzaminatora. Nie spełnienie tego warunku powoduje utratę terminu egzaminu.

# PODRĘCZNIKI

## LITERATURA PODSTAWOWA:

- P.WYSZOMIRSKI, K.GALOS – SUROWCE MINERALNE I CHEMICZNE PRZEMYSŁU CERAMICZNEGO. UCZELNIANE WYDAWNICTWA NAUKOWO-DYDAKTYCZNE AGH. KRAKÓW 2007.

## LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- A.BOLEWSKI, M.BUDKIEWICZ, P.WYSZOMIRSKI – SUROWCE CERAMICZNE. WYDAWNICTWA GEOLOGICZNE. WARSZAWA 1991.
- A.MANECKI, M.MUSZYŃSKI (red.) – PRZEWODNIK DO PETRO-GRAFII. UCZELNIANE WYDAWNICTWA NAUKOWO-DYDAKTYCZNE AGH. KRAKÓW 2007.
- A.POLAŃSKI – GEOCHEMIA I SUROWCE MINERALNE. WYDAWNICTWA GEOLOGICZNE. WARSZAWA 1974.
- INTERNET

# PODSTAWOWE DEFINICJE

***MINERAŁ*** **– rodzima faza krystaliczna powstała w wyniku procesów geologicznych lub kosmologicznych i stanowiąca składnik skorupy ziemskiej.**

**Nie objęte powyższą definicją składniki Ziemi i innych ciał kosmicznych, tj. bezpostaciowe ciała stałe, ciekłe i gazowe, nazywamy *substancjami mineralnymi*.**

***CIAŁO KRYSTALICZNE*** **to ciało jednorodne i anizotropowe pod względem co najmniej jednej właściwości.**

***KRYSZTAŁ*** **to takie ciało krystaliczne, które wykazuje prawidłową, wielościenną postać zewnętrzną samorzutnie wykształconą.**

***SKAŁA*** **– rodzimy utwór wielomineralny, rzadziej monomineralny, powstały w wyniku działania procesów geologicznych lub – szerzej – kosmologicznych i stanowiący geologicznie wyodrębnioną jednostkę strukturalną skorupy ziemskiej.**

Piotr Wyszomirski

## PODSTAWOWE DEFINICJE (c.d.)

Minerały i skały przydatne do technicznego wykorzystania określa się jako *MINERAŁY I SKAŁY UŻYTECZNE* lub *KOPALINY UŻYTECZNE* (w skrócie *KOPALINY*).

*ZŁOŻE KOPALINY* (w skrócie *ZŁOŻE*) jest to takie naturalne nagromadzenie minerałów, skał oraz innych substancji stałych, gazowych i ciekłych, których wydobywanie może przynieść korzyść gospodarczą.

Eksploatacja złóż to zadanie górnictwa, którego produkt – *UROBEK* (*NIESORT*) *GÓRNICZY* w większości przypadków nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania. Na ogół jest on przerabiany w *zakładach przeróbki kopalin.*

Finalnymi produktami zakładów przeróbki kopalin są *SUROWCE MINERALNE.*

Piotr Wyszomirski

**G. Agricola (1494-1555) – *DE RE METALLICA***

**Z zagadnieniem surowców mineralnych związane są też mineralne surowce odpadowe.**

**Pochodzą one z:**

- **górnictwa i przeróbki kopalin,**
- **elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni (głównie popioły lotne, desulfogipsy),**
- **hutnictwa żelaza i metali nieżelaznych (m.in. żużle wielkopiecowe i stalownicze),**
- **przemysłu chemicznego (np. fosfogipsy).**

Piotr Wyszomirski

# **Kryształy o skrajnie dużej wielkości** (Metz 1964; *fide* Rösler 1984)

| Minerał | Wielkość [cm] | Masa | Miejsce występowania | Geneza |
|---|---|---|---|---|
| Diament (Cullinan) | ≈ 9 | 3025,75 ct ≈ 605 g | Kop. Premier Kimberley, RPA | roztwory pomagmowe w kimberlicie |
| Siarka | 14x13x4 | | Cianciana, Sycylia, Włochy | osadowa |
| Piryt | 50 | | Crysa k/Xánthe, Macedonia | pneumatolityczna |
| Halit | ≈100 | | Allertal, Niemcy; Detroit, USA | osadowa |
| Fluoryt | 200 | | dystrykt Petaca, Nowy Meksyk, USA | pegmatytowa |
| Spinel | | 26,8 kg | Amity, Orange Co., Nowy York, USA | metamorficzna |
| Kwarc | | 70 t | Kazachstan | pegmatytowa |
| Kalcyt | 600x200 | | Eskifjord, Islandia | pomagmowa (pustki w bazaltach) |
| Dolomit | 15 | | Trepča, Serbia | hydrotermalna |
| Baryt | | 45 kg | Dufton, Westmorland, Anglia | hydrotermalna |

Piotr Wyszomirski

# **Kryształy o skrajnie dużej wielkości** (Metz 1964; *fide* Rösler 1984) (c.d.)

| Minerał | Wielkość [cm] | Masa | Miejsce występowania | Geneza |
|---|---|---|---|---|
| Gips | 800x300 | | Kop. Braden, El Teniente, Chile | hydrotermalna |
| Cyrkon | | 7 kg | Brundell, Ontario, Kanada | Pegmatytowa |
| Topaz | | 270 kg | Minas Geras, Brazylia | pegmatytowa |
| Muskowit | 300x230x990 | | Pruddy Mines, Ontario, Kanada | pegmatytowa |
| Biotyt | 700 | | Evje, Norwegia | pegmatytowa |
| K-skaleń | 100 | | Moss, Norwegia | pegmatytowa |

Piotr Wyszomirski

**W przeciwieństwie do tego kryształy o skrajnie małej wielkości są reprezentowane przez minerały ilaste. Wśród nich wyróżniają się minerały grupy smektytu (np. montmorillonit), których ziarna niejednokrotnie mają wielkość submikroskopową, a nawet nanometryczną.**

Piotr Wyszomirski

## Nazwy minerałów pochodzą najczęściej od:

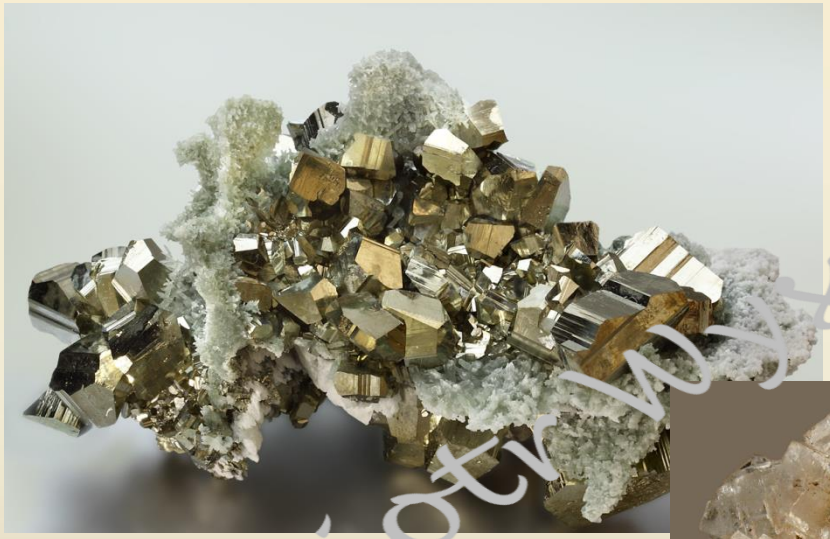
- ✓nazwy złoża/stanowiska, w którym minerał odkryto,
- ✓nazwiska odkrywcy lub znanej osobistości,
- ✓składu chemicznego,
- ✓słów z różnych języków (głównie greckiego i łacińskiego) przez aluzję do kształtu, pokroju, cech fizycznych, optycznych, czy chemicznych (barwa, połysk, łupliwość, reakcja w płomieniu dmuchawki itp.).

W niektórych przypadkach geneza nazw minerałów nie jest w pełni jasna.

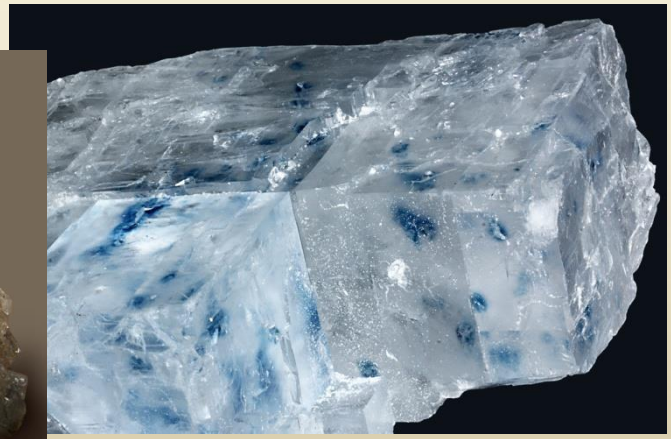
Piotr Wyszomirski

# Geneza nazw minerałów; przykłady:

• **diament C: od *gr. adamas* – niepokonany, niezniszczalny, przez aluzję do wyjątkowej twardości,**



• **piryt $FeS_2$: od *gr. pyr* – ogień, przez aluzję do powstawania iskier po uderzeniu stalą,**



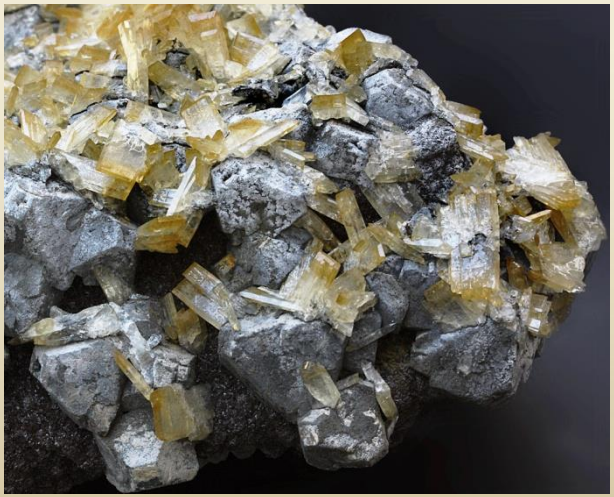
•**halit NaCl: od *gr. hals* – sól,**

Piotr Wyszomirski

# Geneza nazw minerałów; przykłady:

- kalcyt $CaCO_3$:
  od *łac. calx* – wapno,

- dolomit $CaMg(CO_3)_2$:
  od nazwiska francuskiego mineraloga D.Dolomieu,



- baryt $BaSO_4$ od *gr. barys* –
  ciężki, przez aluzję do wysokiej gęstości,

Piotr Wyszomirski

# Geneza nazw minerałów; przykłady:

**gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$:**
**od *gr. gypsos* – gips,**
**przez aluzję do podstawowego zastosowania,**

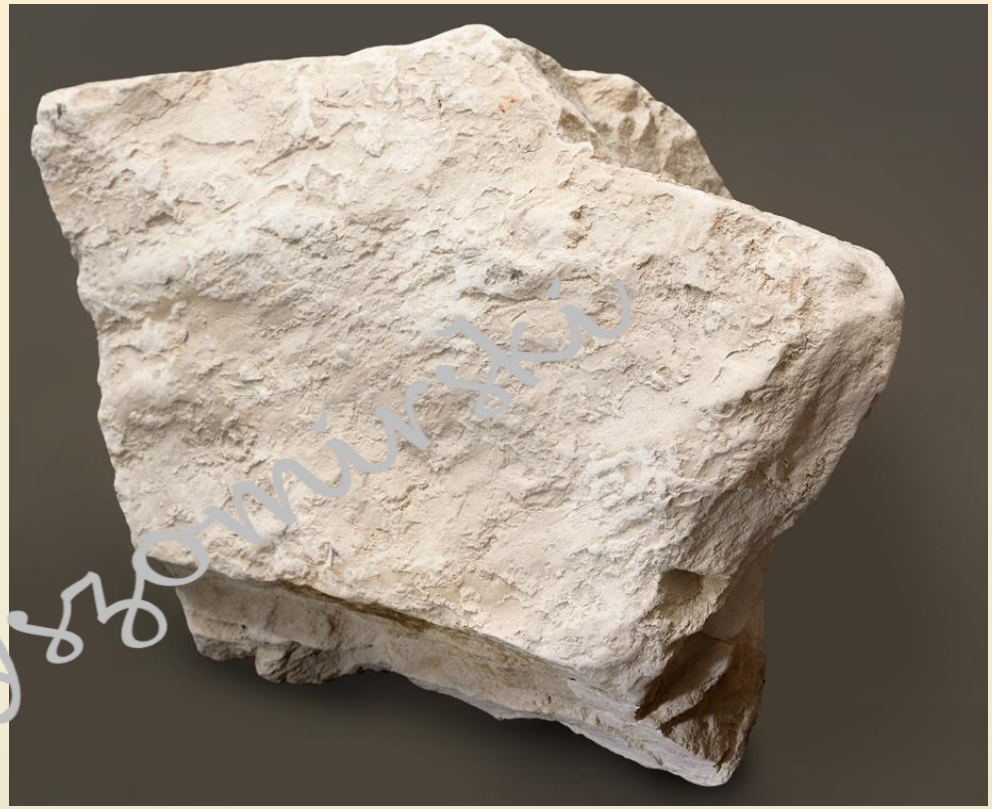
**• muskowit:**
**od *łac. vitrum muscoviticum***
**– szkło moskiewskie,**

**• biotyt:**
**od nazwiska francuskiego fizyka i chemika J.B.Biota,**

Piotr Wyszomirski

# Geneza nazw minerałów; przykłady:

• **kaolinit:**
**od *chin. Kao-Ling***
**– nazwy wzgórz,**
**gdzie występują złoża kaolinu,**



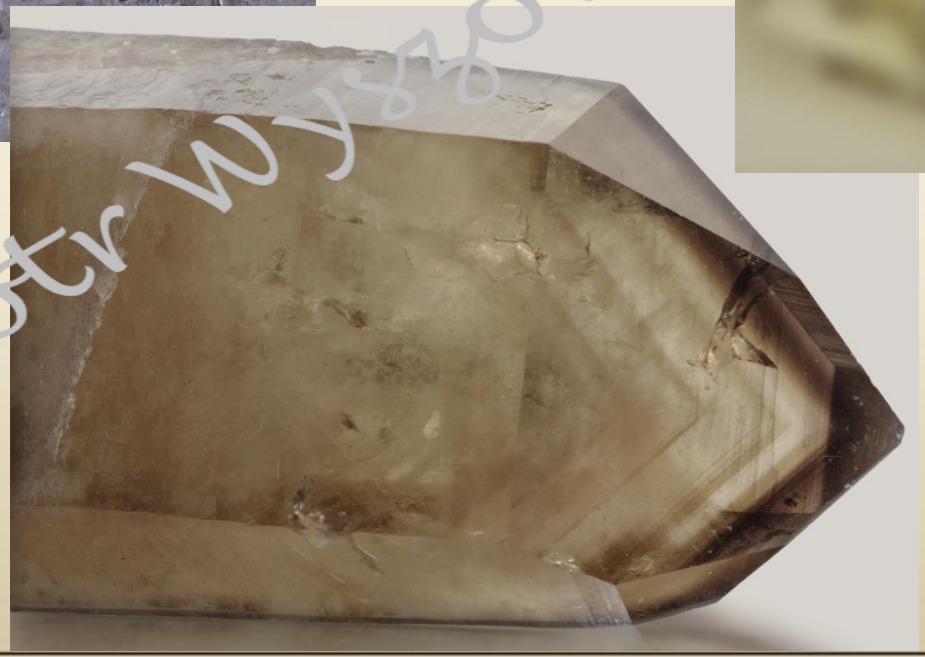
• **illit:**
**od typowej lokalizacji**
**w stanie Illinois (USA),**

• **montmorillonit:**
**od miejscowości**
**Montmorillon (Francja),**

Piotr Wyszomirski

# Geneza nazw minerałów; przykłady:

- **kwarc $SiO_2$:**
  **przypuszczalnie od starosaksońskiego *Quererzgänge***
  **– żyły białej skały płonnej, skośnie przecinającej kruszce.**



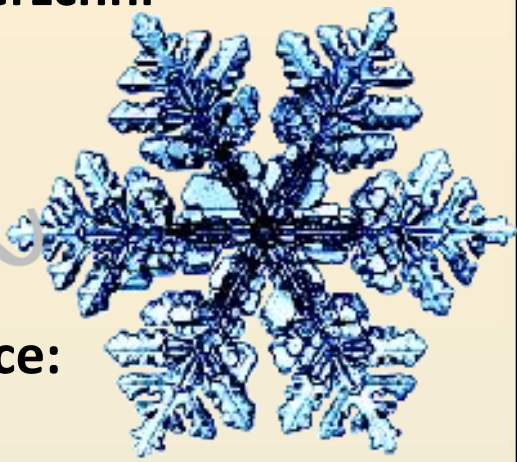
Piotr Wyszomirski

Nieodłączną cechą stanu krystalicznego jest **symetria**. Pod tym pojęciem rozumiemy prawidłowe powtarzanie się w przestrzeni pewnego motywu według określonego przepisu. W przypadku kryształu takim motywem może być atom lub grupa atomów, gdy bierzemy pod uwagę jego sieć krystaliczną, bądź też element jego postaci zewnętrznej, np. ściana.

Piotr Wyszomirski

# Proste elementy symetrii są reprezentowane przez:

- **Oś symetrii (L)** to kierunek w czasie obrotu wokół którego następuje powtórzenie identycznych elementów powierzchni kryształu.



$n = 360^o/\alpha$

$\alpha = 360^o, 180^o, 120^o, 90^o, 60^o$

a więc n przyjmuje wartości równe 1, 2, 3, 4, 6

Wynikające stąd oznaczenie osi symetrii jest następujące:

$L^1, L^2, L^3, L^4$ i $L^6$

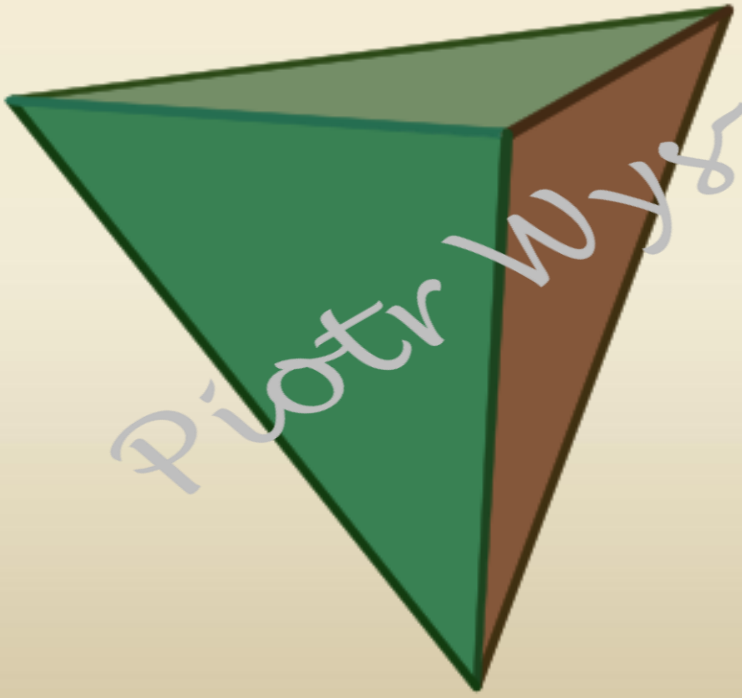
- **Środek symetrii (C)** (inaczej centrum symetrii) to punkt położony wewnątrz kryształu, który łączy na przeciwległych końcach identyczne elementy kryształu znajdujące się w jednakowej od niego odległości.

- **Płaszczyzna symetrii (P wzgl. π)** dzieli kryształ na dwie jednakowe części mające się względem siebie jak przedmiot i jego odbicie w lustrze.

Piotr Wyszomirski

**Wyróżnia się ponadto złożone elementy symetrii. Ich przykładem może być oś zwierciadlana ($L_s$).**

**Oś symetrii, która łączy różne elementy powierzchni kryształu (np. naroże ze środkiem przeciwległej ściany) to oś polarna ($L_p$).**



Piotr Wyszomirski

**Oś polarna występuje np. w czworościanie (inaczej: w tetraedrze)**

# PODSTAWOWE PRAWA KRYSTALOGRAFICZNE

✓**Zasada paralelizmu (*prawo sieciowe*):**

Każdej ścianie kryształu odpowiada zbiór równoległych do niej płaszczyzn sieciowych, a każdej krawędzi – zbiór równoległych prostych sieciowych.

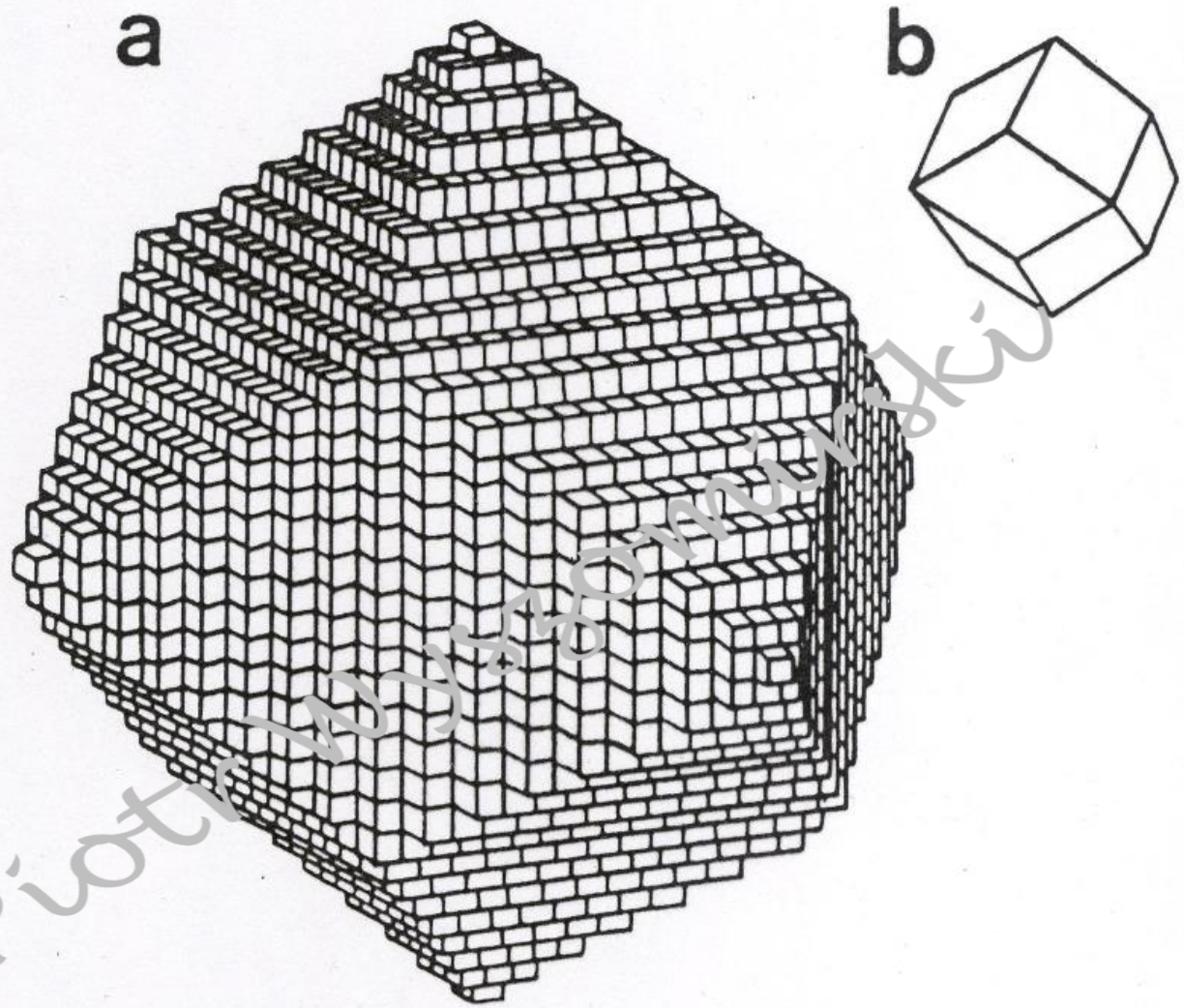
✓**Prawo stałości kątów (Niels Stensen vel Nicolaus Stenius, 1669):**

Analogiczne ściany różnych osobników krystalicznych tego samego minerału tworzą ze sobą zawsze jednakowe kąty.

✓**Prawo wymierności wskaźników (René Juste Haüy, 1789):**

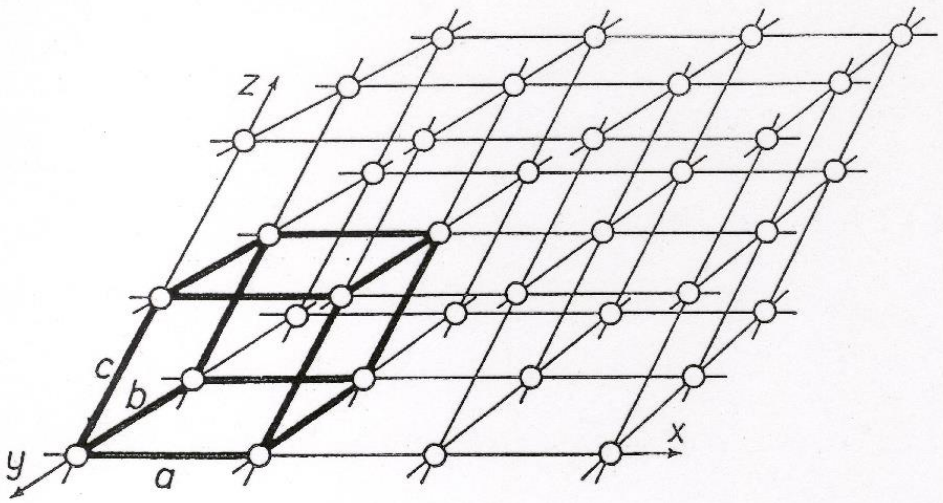
Wskaźniki wszystkich ścian kryształu są liczbami wymiernymi, całkowitymi i prostymi.

Piotr Wyszomirski

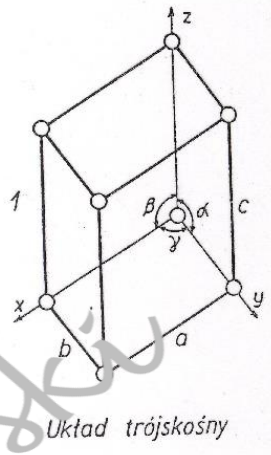



Powstanie bryły dwunastościanu rombowego (a), typowej dla wielu kryształów granatu (b), z dużej ilości sześciennych komórek elementarnych (wg Haüy'ego)

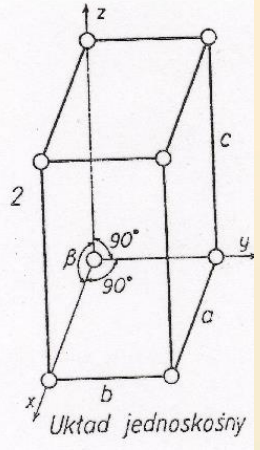
Piotr Wyszomirski



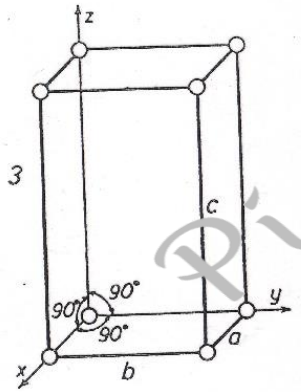

Sieć przestrzenna ciał krystalicznych



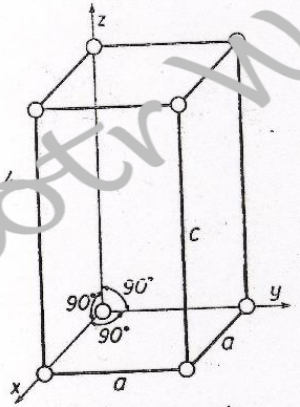

Układ trójskośny



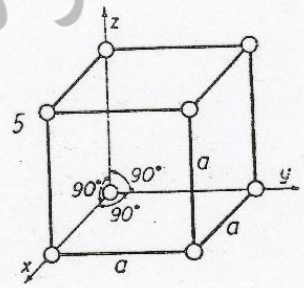

Układ jednoskośny



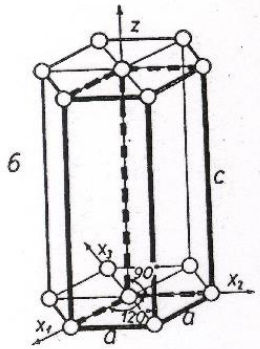

Układ rombowy



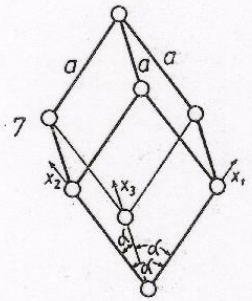

Układ tetragonalny




Układ regularny




Układ heksagonalny




Układ trygonalny

Siedem zasadniczych kształtów komórki elementarnej

Piotr Wyszomirski

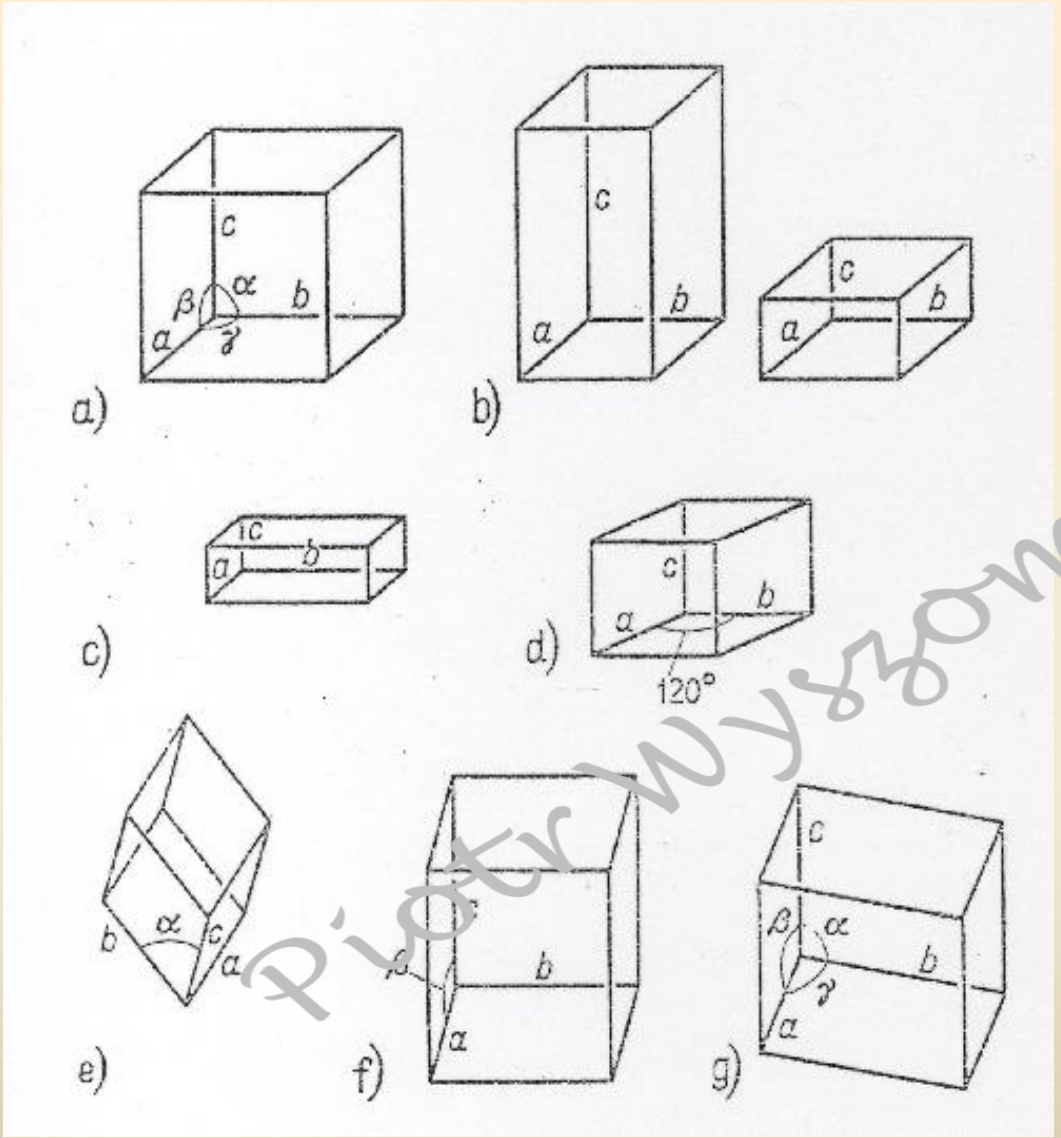
# Układ krystalograficzny grupuje kryształy o pewnych wspólnych cechach symetrii geometrycznej

**Charakterystyka układów krystalograficznych**

| Układ krystalograficzny | Stosunki kątowe i osiowe | | Symetria minimum | Symetria maksimum |
|---|---|---|---|---|
| | Kąty międzyosiowe | Parametry ściany jednostkowej | | |
| Trójskośny | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$ | $a \neq b \neq c$ | $L^1$ lub $C$ | $C$ |
| Jednoskośny | $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$ | $a \neq b \neq c$ | $L^2$ lub $P$ | $L^2 + P + C$ |
| Rombowy | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | $a \neq b \neq c$ | $3L^2$ lub $L^2 + 2P$ | $3L^2 + 3P + C$ |
| Tetragonalny | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | $a = b \neq c$ | $L^4$ lub $L_s^4$ | $L^4(L_s^4) + 4L^2 + 5P + C$ |
| Trygonalny | $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90°$ $\gamma = 120°$ | $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ | $L^3$ lub $L_s^6$ | $L_s^6(L^3) + 3L^2 + 4P + C$ |
| (Romboedryczny) | $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \neq 90°$ | $a = b = c$ | | |
| Heksagonalny | $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90°$ $\gamma = 120°$ | $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ | $L^6$ ($L^3$ lub $L_s^6$)* | $L^6 + 6L^2 + 7P + C$ |
| Regularny | $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | $a = b = c$ | $4L^3$ lub $4L_s^6$ | $3L^4 + 4L_s^6 + 6L^2 + 9P + C$ |

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

Piotr Wyszomirski




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

Piotr Wyszomirski

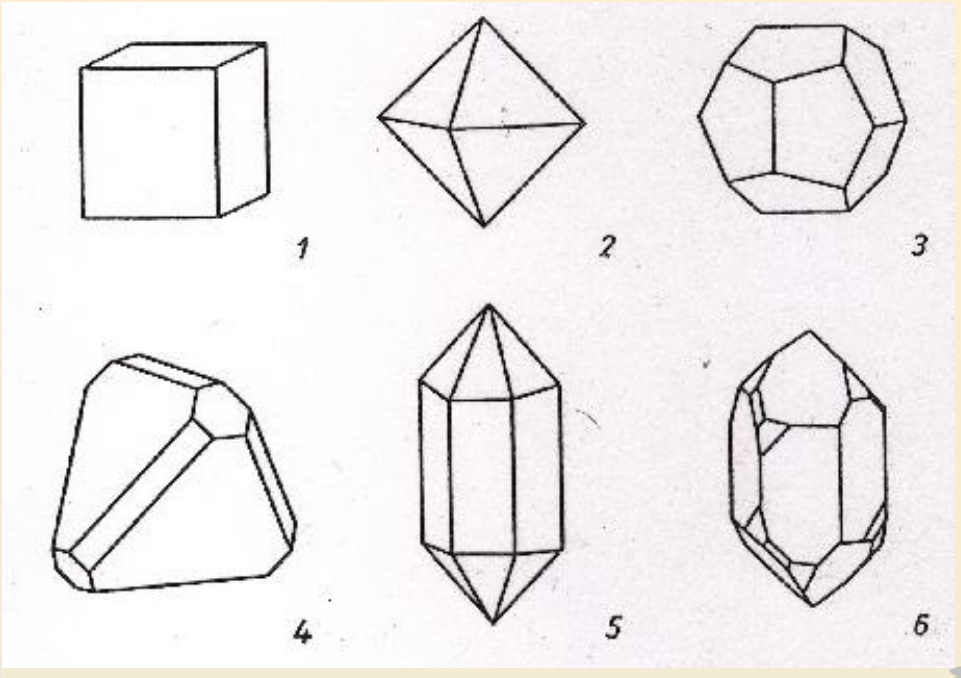
# Postacie krystalograficzne

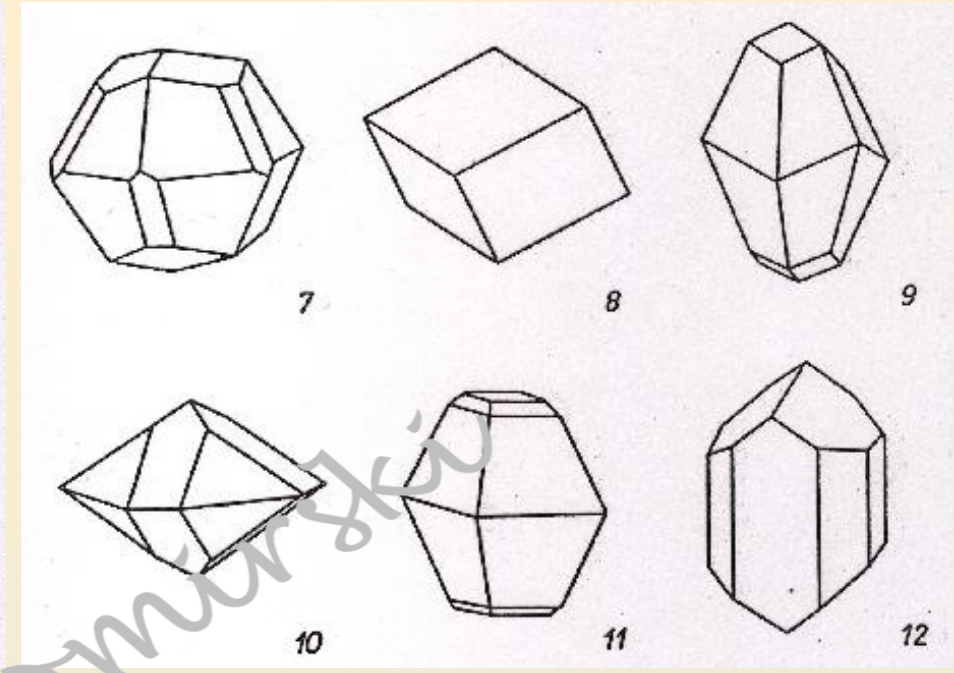
**Kryształy ograniczone ścianami jednoznacznymi stanowią postać prostą. W wyniku kombinacji dwóch lub więcej postaci prostych powstaje postać złożona.**

**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 apatytu nadają tym minerałom pokrój słupkowy lub igiełkowy.**

Piotr Wyszomirski

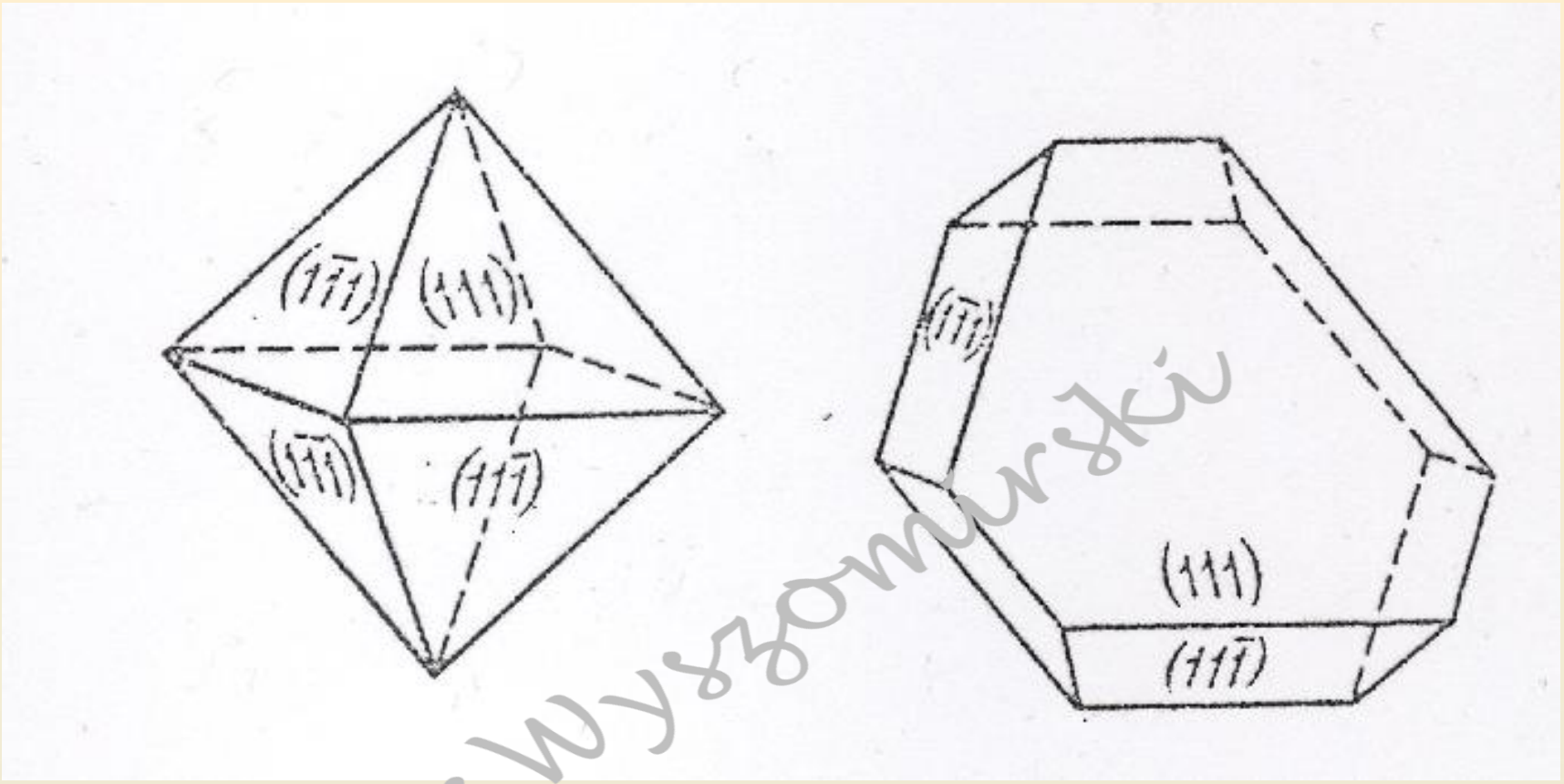



**Postacie geometryczne kryształów kilku pospolitych minerałów**

*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* — rutyl, $TiO_2$ (układ tetragonalny), *11* — siarka, S (układ rombowy), *12* — diopsyd, $CaMgSi_2O_6$ (układ jednoskośny)

Piotr Wyszomirski




Piotr Wyszomirski

**Dwa ośmiościany ograniczone ścianami należącymi do postaci {111}:**

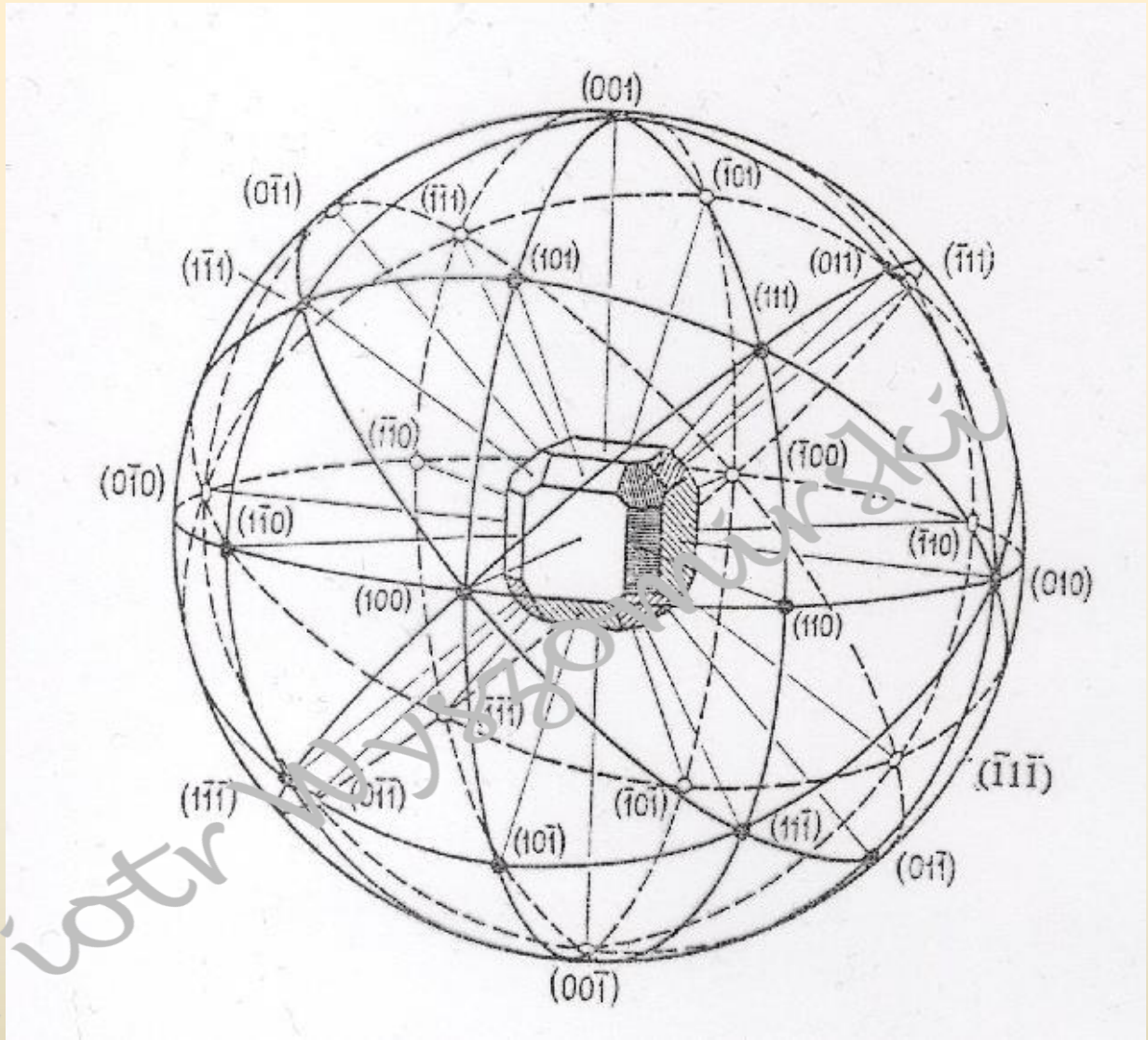
- **jednakowo wykształconymi,**
- **różnie wykształconymi.**

# 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.**

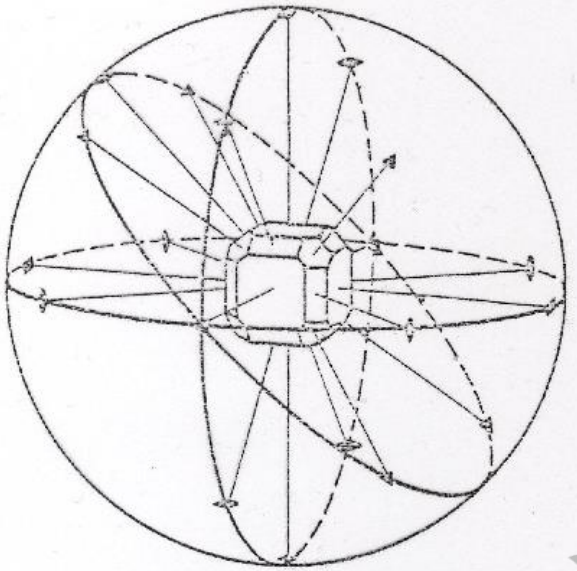
- **Na podstawie prawidłowo wykonanej projekcji i dysponując odpowiednią siatką projekcyjną (siatka Wulfa) można odczytać wartości kątów pomiędzy dowolnymi ścianami kryształów. To zaś definiuje jednoznacznie dany kryształ.**

Piotr Wyszomirski

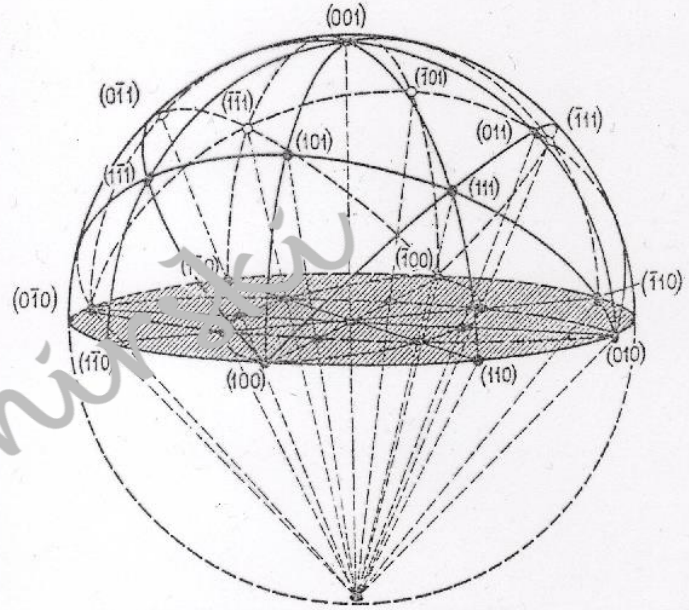



Rzut kulisty (sferyczny) kryształu stanowiącego postać złożoną z sześcianu, ośmiościanu i dwunastościanu rombowego.

Piotr Wyszomirski

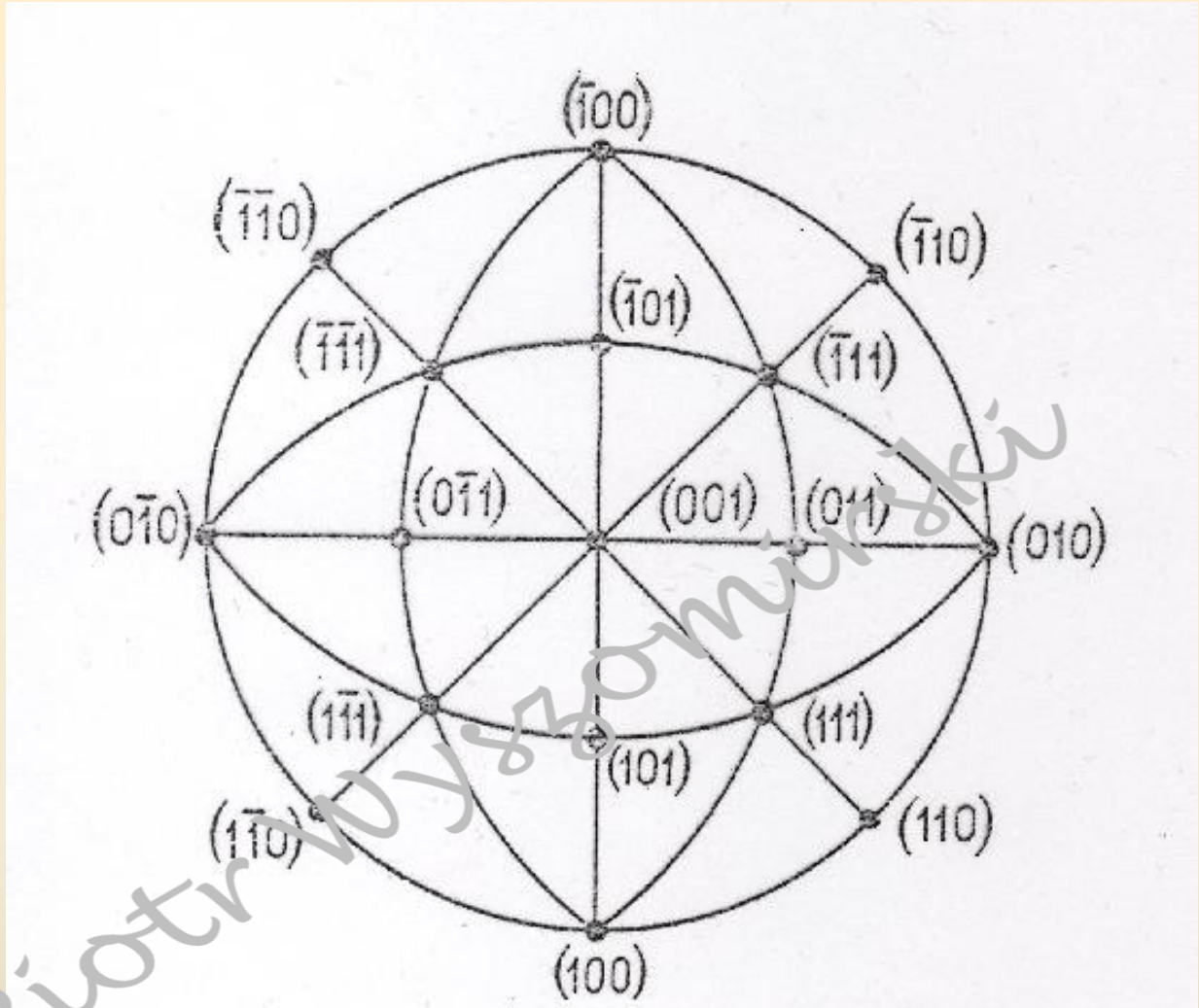


Niektóre elementy symetrii kryształu stanowiącego postać złożoną z sześcianu, ośmiościanu i dwunastościanu rombowego, widoczne na jego rzucie kulistym.




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

Piotr Wyszomirski




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

Piotr Wyszomirski

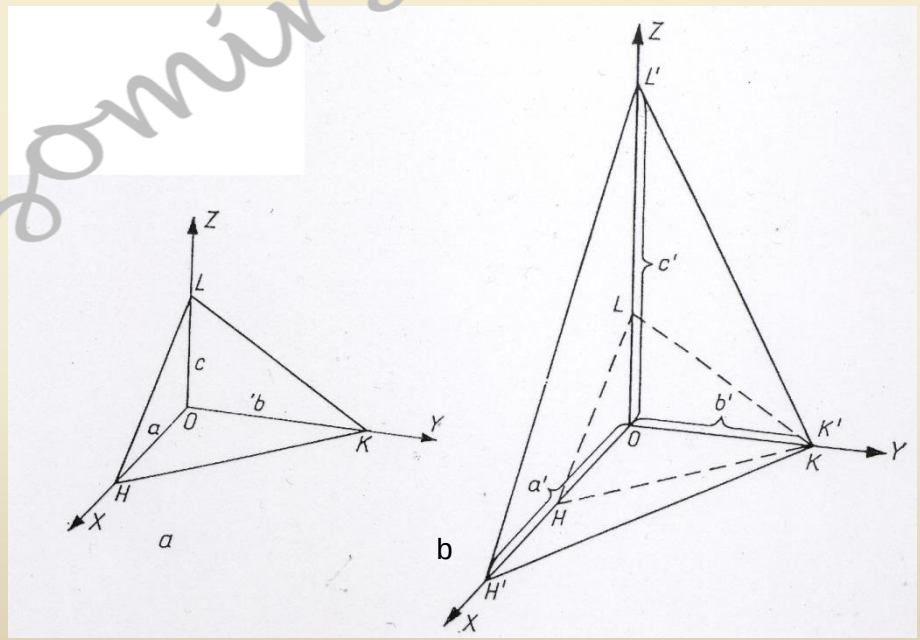
# Wskaźniki ścian kryształu

**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*).**

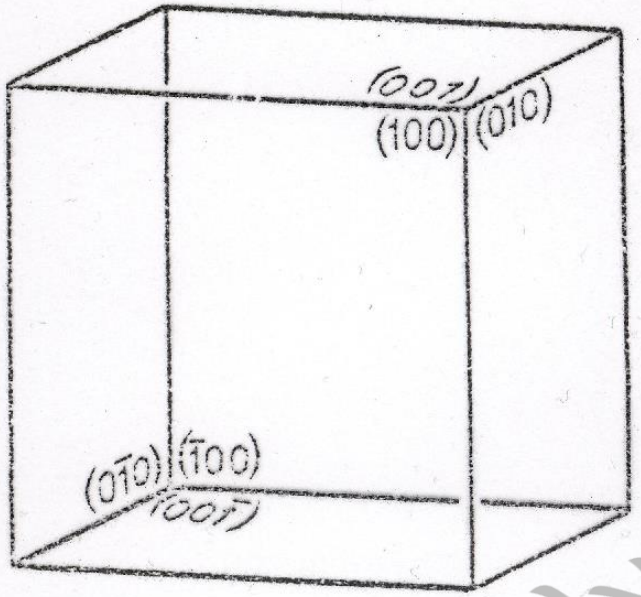
**h = a/a', k = b/b', l= c/c'**

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

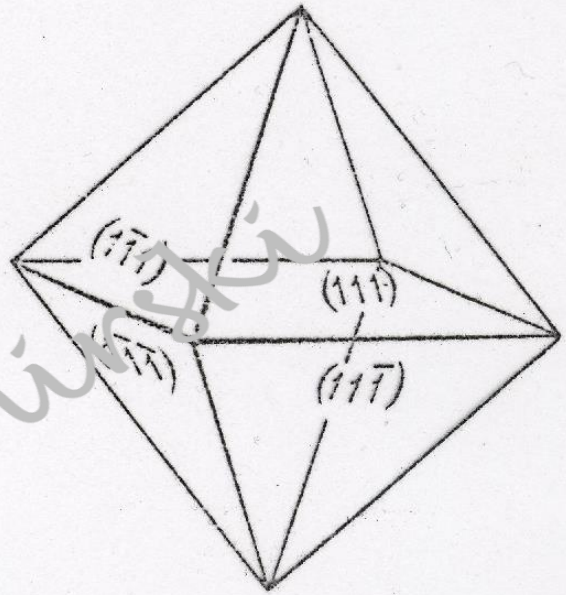



**Na podstawie wskaźników Millera można wnioskować o orientacji ścian kryształu w przestrzeni.**

Piotr Wyszomirski




Kryształ sześcianu z zaznaczonymi wskaźnikami (hkl) jego ścian.




Kryształ ośmiościanu z zaznaczonymi wskaźnikami (hkl) jego ścian.

Piotr Wyszomirski

# 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°) | **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 krysztale, 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 | |

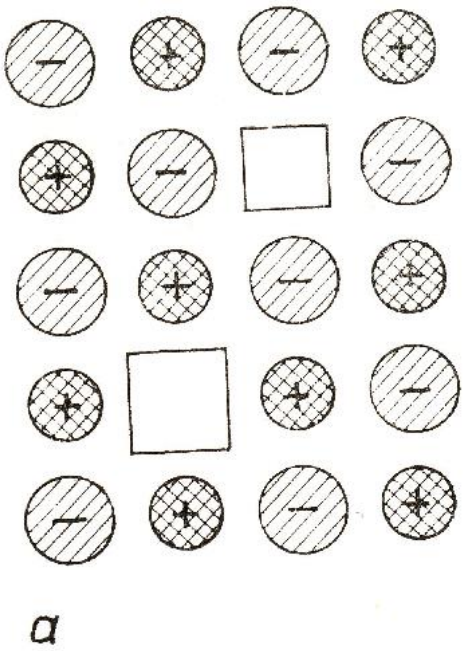
Piotr Wyszomirski

| 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 kryształów |
| | granice między domenami idealnego uporządkowania (blokami mozaiki lub szczepami) skręconymi względem siebie o niewielki kąt (1—2°) | **defekty płaskie:** — granice mozaiki (kolinearności) | wpływają na przebieg reakcji w fazie stałej (dyfuzja), plastyczność, topliwość, przebieg rekrystalizacji |
| | granice między ziarnami skręconymi względem siebie o kąt mniejszy niż 5—10° | — granice międzyziarnowe (niskokątowe) | |
| | 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 |

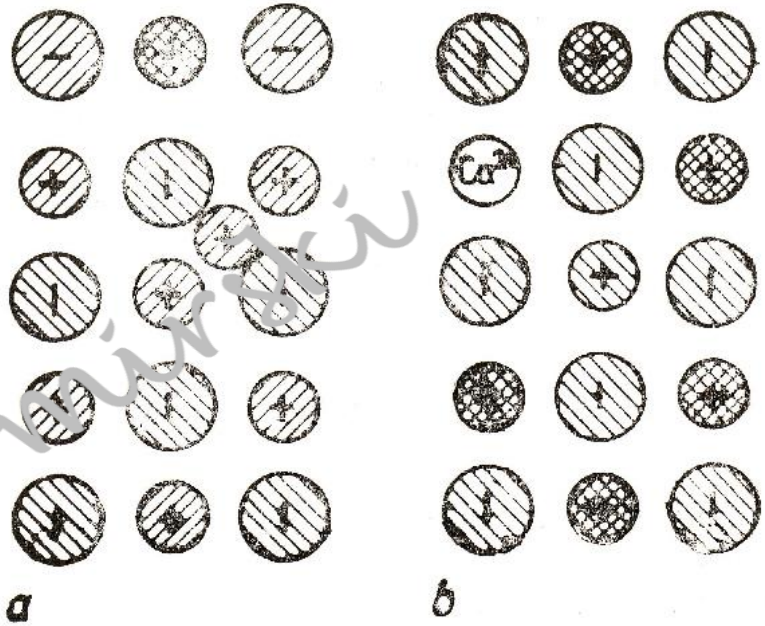
Piotr Wyszomirski

| | | | |
|---|---|---|---|
| Skala „subatomowa" ($10^{-8}$ cm) | dodatkowy elektron w luce poanionowej | **defekty elektronowe:** — typu elektron dodatkowy | wpływają na zjawiska termoelektryczne, fotoprzewodnictwo, przewodzenie prądu w półprzewodnikach, absorpcję promieniowania (barwę), luminescencję |
| | wakans po elektronie usuniętym z sieci krystalicznej | — typu dziura elektronowa | |
| | związana para: wzbudzony elektron — dziura | — typu ekscyton | |
| | zmienne w czasie przemieszczanie atomów wynikające z ich drgań sprężystych; zaburzenie to może obejmować wszystkie atomy lub też zlokalizowane domieszki | **— defekty typu fononów** | wpływają na absorpcję promieniowania, własności cieplne |

Piotr Wyszomirski




Ryc. 108. Defekty kryształów
*a* — Schottky'ego (luka kationowa i poanionowa), *b* — Frenkla (kation w położeniu międzywęzłowym i luka po nim)




Ryc. 109. Defekty kryształów
*a* — międzywęzłowy (dodatkowy kation w przestrzeni międzywęzłowej), *b* — substytucyjny (obcy kation w węźle sieciowym)

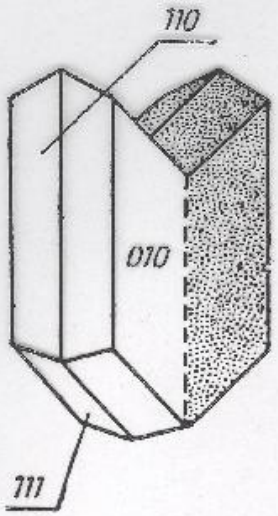
Piotr Wyszomirski

# Prawidłowe zrosty kryształów

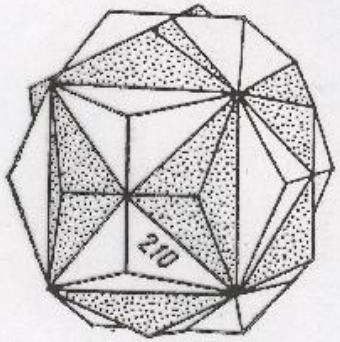
**Wśród nich można wyróżnić:**

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

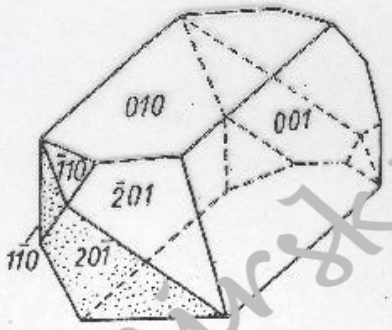
Piotr Wyszomirski



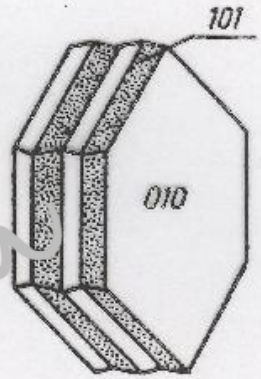

Bliźniak gipsu $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, tzw. jaskółczy ogon




Bliźniak pirytu $FeS_2$ tzw. krzyż żelazny



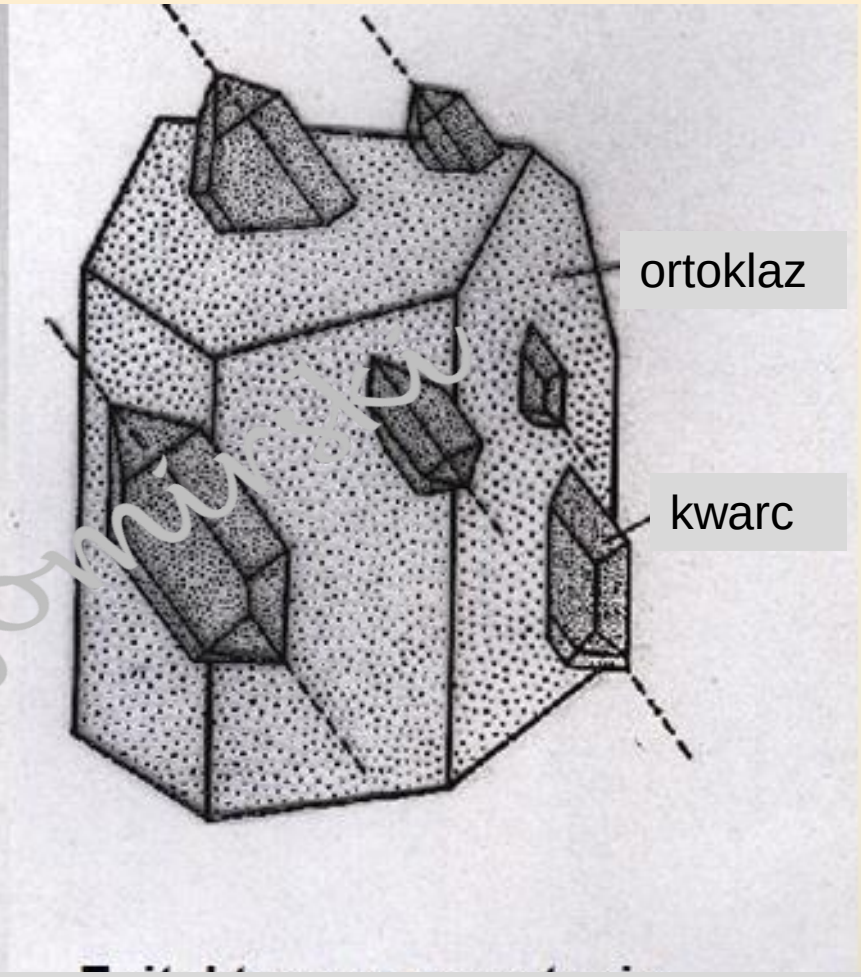

Bliźniak baweński ortoklazu $K[AlSi_3O_8]$ według (021)




Plagioklaz $nNa[AlSi_3O_8] \cdot m Ca\,[Al_2Si_2O_8]$ zbliźniaczony według (010)

Piotr Wyszomirski

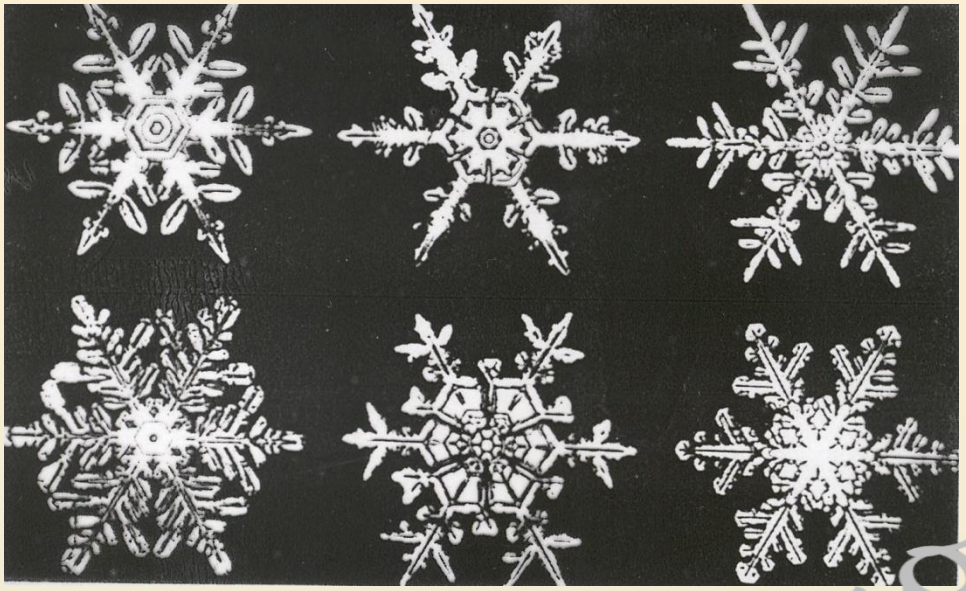
Epitaktyczne narastanie albitu $Na[AlSi_3O_8]$ na ortoklazie $K[AlSi_3O_8]$




**Epitaktyczne narastanie kwarcu $SiO_2$ na ortoklazie $K[AlSi_3O_8]$**

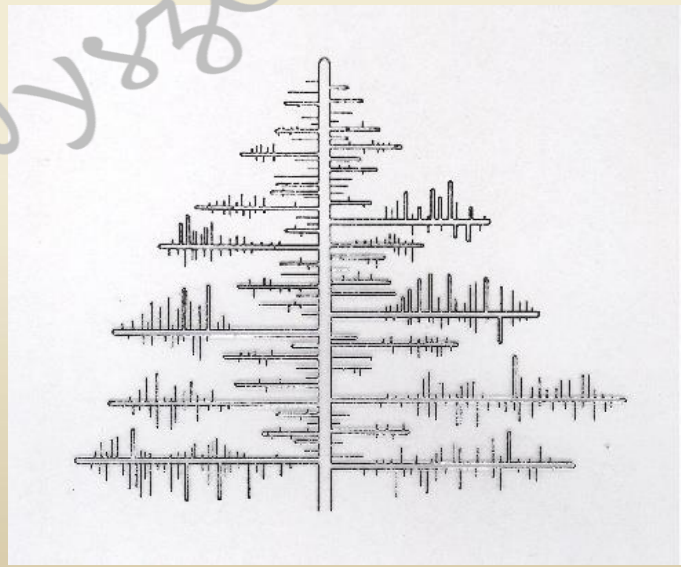
Piotr Wyszomirski

# Różne przykłady minerałów i syntetycznych faz dendrytowych



Płatki śniegu $H_2O$.

Tlenkowe minerały manganu



Cristobalit $SiO_2$ powstający w procesie odszklenia szkła.

Piotr Wyszomirski

**Wstępna identyfikacja faz występujących w surowcach mineralnych jest przeprowadzana przy wykorzystaniu niektórych właściwości fizycznych i makroskopowo dostrzegalnych cech optycznych.**

## Wybrane fizyczne właściwości minerałów i faz syntetycznych

- Gęstość
- Twardość
- Łupliwość

Piotr Wyszomirski

# Gęstość minerałów (przykłady)

| Nazwa minerału | Skład chemiczny | Gęstość g/cm³ |
|---|---|---|
| Bursztyn | żywica kopalna — mieszanina związków organicznych | 1,03 |
| Siarka rodzima | S | 2,07 |
| Halit | NaCl | 2,25 |
| Ortoklaz | $K[AlSi_3O_8]$ | 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 | $Fe_2O_3$ | 5,10 |
| Magnetyt | $Fe_3O_4$ | 5,17 |
| Galena | PbS | 7,50 |
| Srebro rodzime | Ag | 10,60 |
| Platyna rodzima (poliksen) | (Pt, Fe) | 17,00 |
| Złoto rodzime | Au | 19,00 |

Piotr Wyszomirski

# 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 $CHBr_2—CHBr_2$ | benzen, toluen | 3,01 | |
| Jodek metylenu $CH_2J_2$ | benzen, ksylen | 3,34 | jw., trujący! |
| Ciecz Sonstadta-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 HCOOTl i $CH_2(COO)_2Tl_2$) | woda | 4,25 | bardzo silnie trująca! |
| Stop $HgNO_3 \cdot H_2O$ | woda zakwaszona $HNO_3$ | 4,30 | topi się w 70°C |
| Stop Retgersa $TlNO_3 + HgNO_3$ | | 5,30 | topi się w 76°C |

Piotr Wyszomirski

# 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**

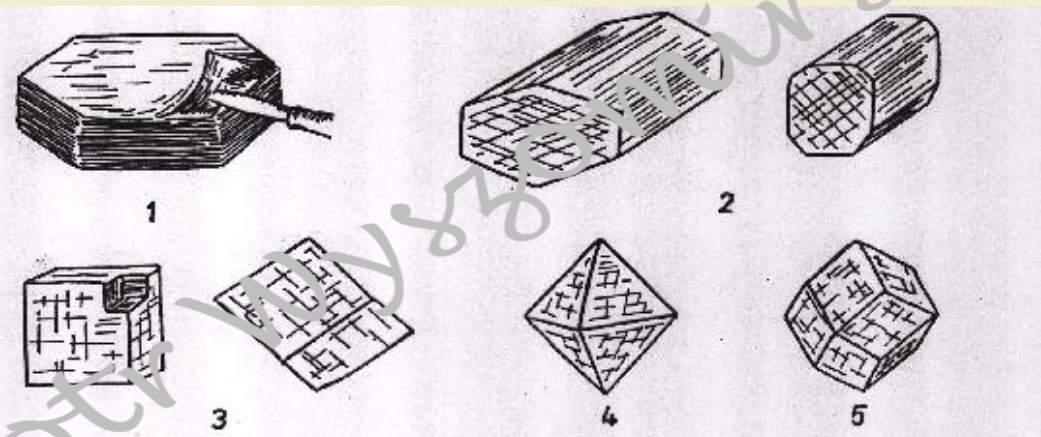
| Stopień twardości | Minerał daje się zarysować: | Minerał wzorcowy | Grupa twardości |
|---|---|---|---|
| 1 | paznokciem — bez trudu | talk | bardzo miękkie |
| 2 | paznokciem | gips | |
| 3 | miedzianym drutem — łatwo | kalcyt | miękkie |
| 4 | nożem — bez trudu | fluoryt | |
| 5 | nożem | apatyt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

| 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 |
| Diament | 10 | 8000 |

Piotr Wyszomirski

# 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 $124^0$, 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.

Piotr Wyszomirski

# Niektóre optyczne właściwości minerałów widoczne makroskopowo:

- Barwa
- Luminescencja

Piotr Wyszomirski

# 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

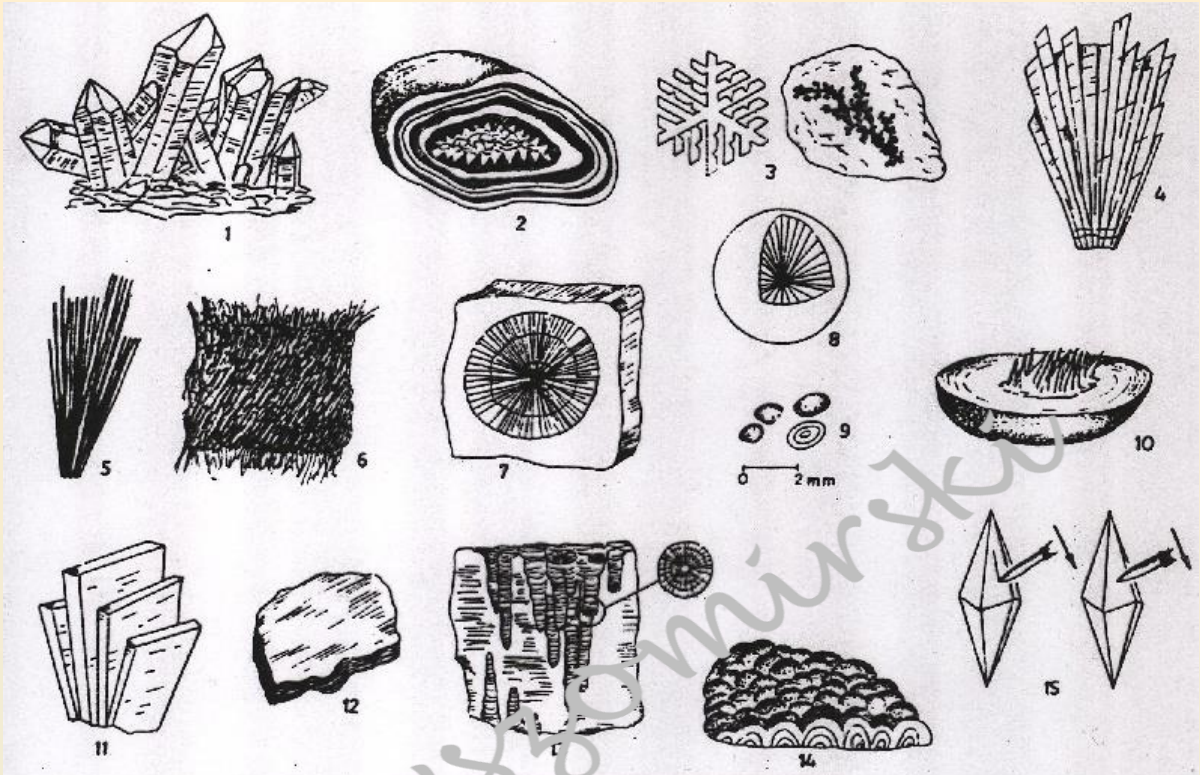
| Barwa | Minerał wzorcowy | Barwa | Minerał wzorcowy |
|---|---|---|---|
| czarna | — magnetyt | czerwona | — cynober |
| stalowoszara | — tetraedryt | pomarańczowa | — krokoit |
| ołowianoszara | — galena | zielona | — malachit |
| srebrzystobiała | — arsenopiryt | niebieska | — azuryt |
| żółta | — siarka | indygowo-niebieska | — kowelin |
| brunatna | — limonit | fioletowa | — ametyst |

Piotr Wyszomirski

# Minerały wykazujące luminescencję

| Minerał | Fluorescencja po naświetleniu promieniami: | | |
|---|---|---|---|
| | ultrafioletowymi | katodowymi | rentgenowskimi |
| Apatyty $Ca_5[(F, Cl, OH) \mid (PO_4)_3]$ | różowa, fioletowa, czerwona | żółta, [illegible]wo-czerwona, liliowa | żółta, zielona, niebieska |
| Cyanit $Al_2[O \mid SiO_4]$ | — | malinowa | — |
| Cyrkon $Zr[SiO_4]$ | żółta, złocista | żółta, złocista | żółta, zielona |
| Diament C | zielona, 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 |

Piotr Wyszomirski




**Przykłady form skupień minerałów**

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

Piotr Wyszomirski