

# Mineralogie I

Pro 1. ročník odborné geologie  
přednáší Václav Vávra

## Morfologická krystalografie

## Forma výskytu minerálů

Minerály, s výjimkou přírodních amorfních fází, mají určité vnitřní uspořádání částic, od kterého je odvozen jejich krystalový tvar.

Krystal, charakteristický pro jednotlivé minerály, je vlastně geometrický mnohostěn, více či méně pravidelný.

Krystalické substance (minerály) se mohou vyskytovat také jako jemně zrnité agregáty, jejichž krystalický původ nelze určit makroskopicky.

Ty jsou označovány jako *mikrokrystalické*. Pokud jsou krystalová individua tak malá, že je nelze rozlišit ani mikroskopem, ale můžeme je detekovat RTG difrakčními technikami, hovoříme o minerálech *kryptokrystalických*. Pokud ve struktuře minerálu zcela chybí uspořádání na dlouhou vzdálenost, je minerál označován jako *amorfní*.

# Omezení krystalu

Těleso krystalu (krystalový mnohostěn) se skládá z krystalových ploch, krystalových hran a krystalových rohů. Jejich počet je dán *Eulerovou rovnicí*, která je platná pouze pro monokrystaly (neplatí pro srostlice se zapuklými úhly hran):

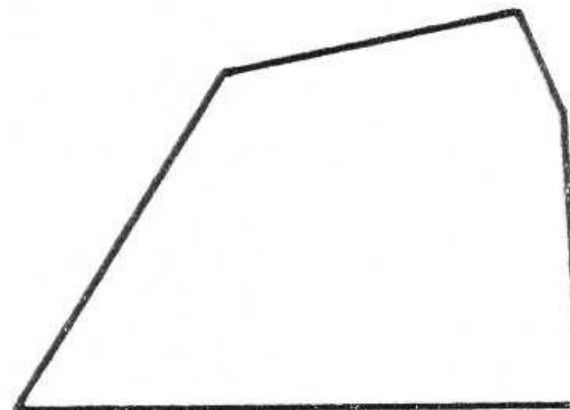
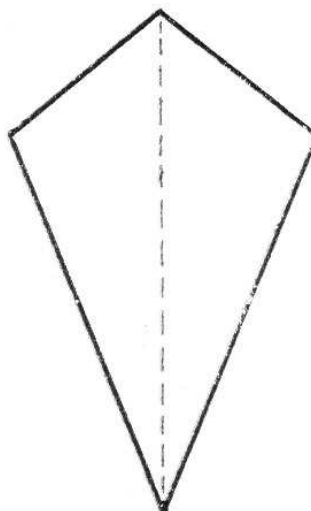
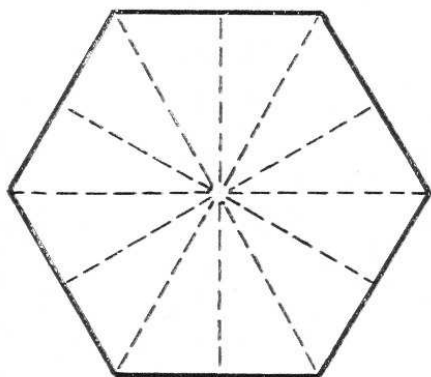
$$P + R = H + 2$$

Počet ploch a rohů na krystalu je roven počtu hran, zvýšený o 2.

# Krystalové plochy

Na krystalech se vyskytují plochy různého druhu.

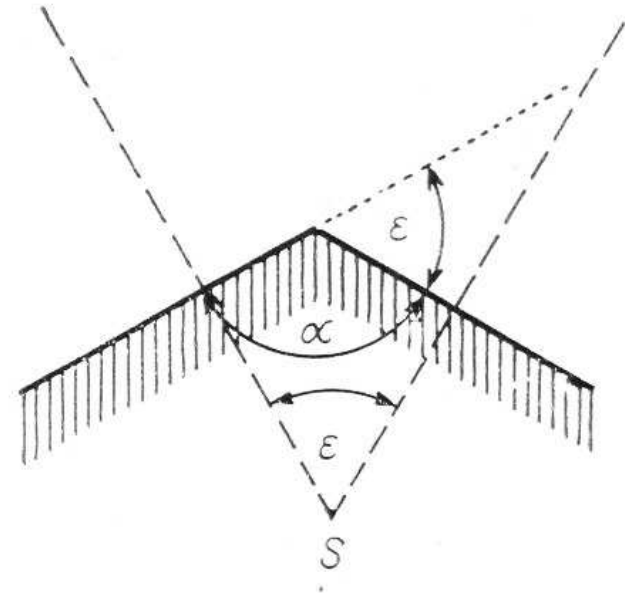
- ❑ Plochy *pravidelné* jsou takové, které lze souměrně rozdělit více jak dvěma řezy na zrcadlově shodné poloviny např. čtverec, rovnostranný trojúhelník nebo pravidelný šestiúhelník.
- ❑ Plochy *souměrné* lze rozdělit nejvýše dvěma řezy na zrcadlově shodné poloviny např. obdélník nebo rovnoramenný trojúhelník.
- ❑ Plochy *nesouměrné* jsou všechny ostatní (bez roviny symetrie).



# Krystalové rohy a hrany

V krystalových rozích se sbíhají plochy a hrany krystalu. Krystalové rohy dělíme podobně jako plochy na *pravidelné*, *souměrné* a *nesouměrné*, podle stupně pravidelnosti plochy, která vznikne rovnoměrným seříznutím krystalového rohu.

Skutečná *krystalová hrana* je místo na krystalu, kde se přímo setkávají dvě různoběžné krystalové plochy. Pokud se plochy nestýkají přímo, hovoříme o hraně myšlené. Prostorový vztah stýkajících se ploch označujeme buď přibližně - hrana ostrá, tupá, vypuklá, zapuklá - nebo přesně pomocí úhlu krystalové hrany. Vnitřní úhel hrany ( $\alpha$ ) je úhel mezi vnitřními stranami ploch, vnější úhel hrany ( $\varepsilon$ ) je doplněk vnitřního úhlu do  $180^\circ$  a zároveň je to úhel kolmic spuštěných na krystalové plochy ze středu krystalu.



## Stálost úhlů hran, pásmo

Úhly hran krystalu jsou charakteristické veličiny pro danou látku. Tuto zákonitost formuloval v roce 1669 Niels Stensen:

Velikost úhlů hran, tvořených stejnolehými plochami, je na všech krystalech téže látky za stejných podmínek veličinou stálou.

Pásmo (zóna) je soubor krystalových ploch, jejichž vzájemné hrany (skutečné i myšlené) jsou rovnoběžné. Osa pásma (zóny) je přímka rovnoběžná s hranami pásma a prochází středem krystalu.

## Vznik krystalů - krystalizace

Krystaly mohou vznikat z roztoků, tavenin nebo par. V těchto skupenstvích (kapalném a plynném) mají atomy náhodnou distribuci, ale změnou teploty, tlaku nebo koncentrace roztoku může docházet ke vzniku pravidelného uspořádání, které je charakteristické pro krystalický stav pevné fáze.

Pokud má krystalizace plynule probíhat, musí být dodržena některá z následujících podmínek:

- ✓ snižuje se teplota roztoku nebo taveniny
- ✓ zvyšuje se koncentrace krystalizujícího roztoku odpařováním rozpouštědla
- ✓ dosycuje se krystalizující roztok krystalizující látkou

# Krystalizace

Příkladem krystalizace může být NaCl v roztoku. Pokud se voda z roztoku může odpařovat, dojde systém do stavu, kdy začíná krystalizovat halit. Pokud je odpařování dostatečně pomalé, budou se iony  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  sdružovat kolem několika málo center krystalizace (krystalizační zárodek, nukleus) a vznikne malé množství dokonalých krystalů, charakteristických pro halit. Je-li odpařování rychlé, vznikne velké množství krystalizačních center.

Stejně jako z roztoků může docházet ke krystalizaci z taveniny, např. krystalizace minerálů vyvřelých hornin z magmatu. Jednodušším modelem může být krystalizace vody. Za příhodných podmínek se molekuly vody přestávají volně pohybovat v libovolném směru a zaujímají pevné, definovatelné uspořádání krystalické hmoty - vzniká krystalická pevná fáze (led).

Krystalizace z par je méně běžná. Příkladem může být vznik sněhových vloček ve vzduchu nebo tvorba síry na sopečných fumarolách.



# Růst krystalů I

Některé minerály jsou vyvinuty v dokonalých krystalech, jiné mají vyvinutou jen část krystalových ploch nebo je vyvinuty vůbec nemají. Tvar krystalu je ovlivněn podmínkami během krystalizace. Jsou to zejména tyto:

- dostatek atomů nebo ionů nezbytných pro vznik krystalu a možnost slučovat se v odpovídajících poměrech
- fyzikálně chemické podmínky krystalizace, které mají vliv zejména na rychlost růstu
- velikost prostoru, ve kterém ke krystalizaci dochází

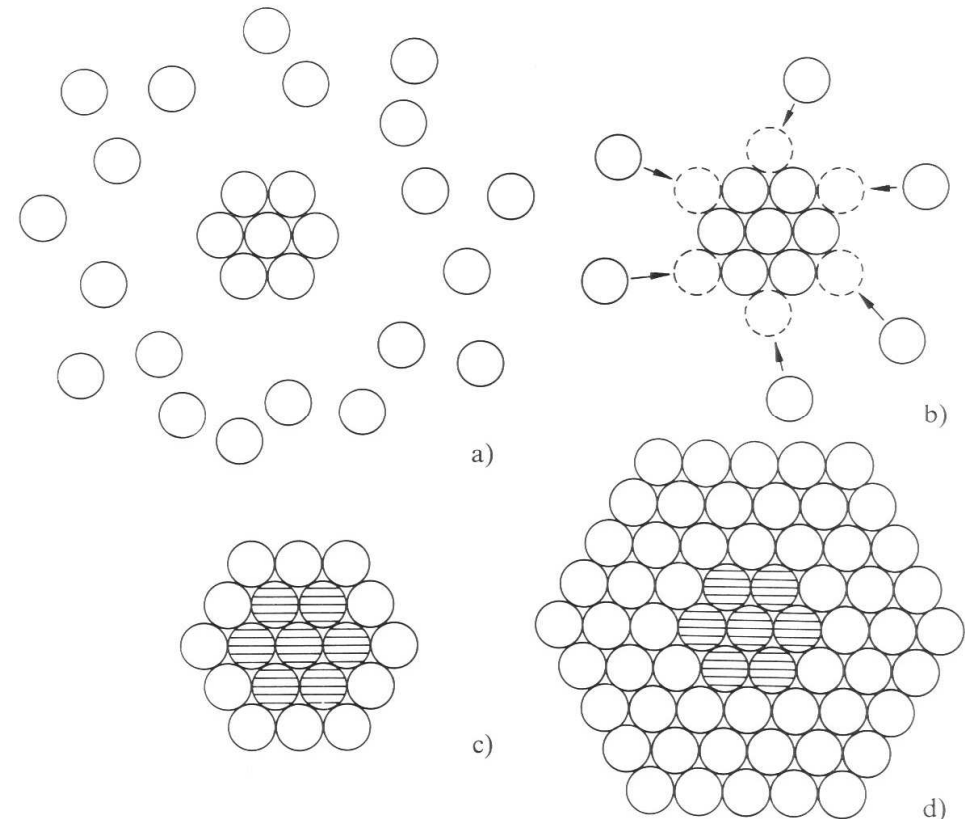
## Růst krystalů II

Prvním krokem při růstu krystalů je vznik krystalizačního jádra (zárodek, nukleus) v roztoku. Spontánní vznik zárodků je podmíněn náhodným setkáním dostatečného množství stavebních částic. V roztocích nenasycených nebo nasycených znamená vznik zárodku zvýšení volné energie, což je pro celý systém nevýhodné. V přesyceném roztoku je zárodek, který překročí určitý rozměr, termodynamicky stabilní a jeho růst je doprovázen snižováním volné energie. Čím větší je přesycení nebo podchlazení roztoku, tím menší je kritický rozměr zárodků a je tedy pravděpodobnější jejich spontánní vznik. Další krystalizace rozpuštěné látky je provázána zmenšením její koncentrace v roztoku a proces nukleace je tím bržděn.

Jako příklad uveďme opět krystalizaci halitu. Iony  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  vytvářejí pravidelné kubické uspořádání. Dochází k náhodnému vzniku mnoha zárodků a zároveň k jejich rozpadu. Pokud některý ze zárodků „přežije“, musí dostatečně růst, aby tím snížil svoji povrchovou energii (vypočtenou jako poměr povrchu k objemu zárodku). Teprve po překročení určité kritické velikosti se ze zárodku postupným růstem stane krystal.

# Růst krystalů III

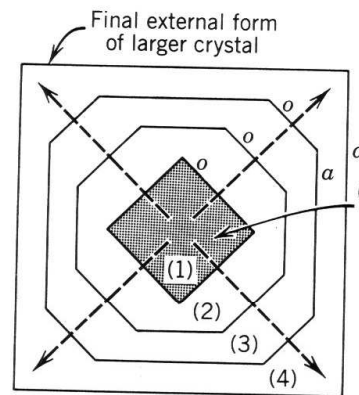
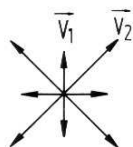
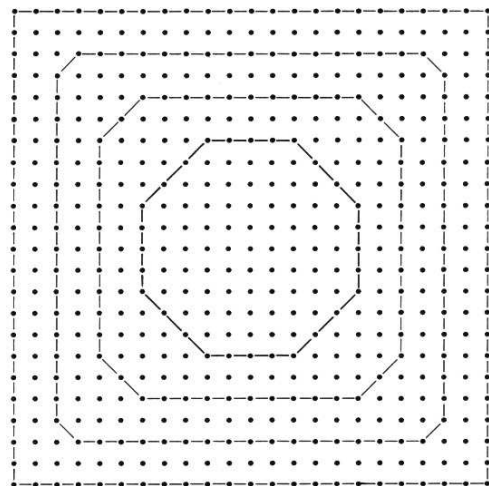
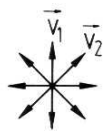
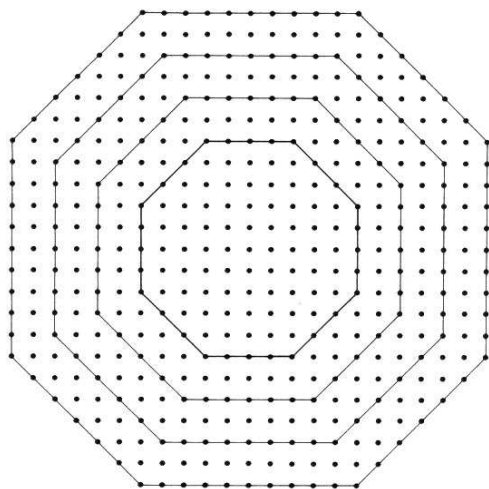
Růst krystalu probíhá  
přikládáním stavebních částic  
na povrch - *apozicí*. Povrch  
rostoucího krystalu na kontaktu  
s roztokem představuje plochu  
nevyvázaných chemických  
vazeb. Energie povrchu se  
sníží, pokud se na něj připojí  
atom a množství uvolněné  
energie závisí na místě, ve  
kterém se atom připojí. Pokud  
je například energeticky  
nejvýhodnější připojení v rohu  
krystalu, dochází k rychlému  
růstu právě v těchto směrech a  
vznikají dendrity.



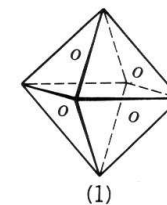
# Růstová rychlost krystalu I

Kolmice spuštěné ze zárodečného bodu (většinou totožný se středem krystalu) na krystalové plochy udávají růstové směry těchto ploch. Rychlost postupu dané plochy při jejím růstu se označuje jako *růstová rychlost*. Plochy se stejným tvarem a růstovou rychlostí označujeme jako fyzikálně a krystalograficky *stejnocenné*. Objeví-li se plochy s jiným tvarem a jinou růstovou rychlostí, jsou vůči původním plochám *různocenné*. Plochy s velkou růstovou rychlostí jsou postupně potlačeny nebo zcela zanikají, zatímco plochy s malou růstovou rychlostí na výsledném krystalu převažují.

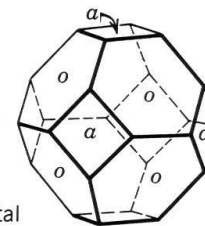
# Růstová rychlost krystalu II



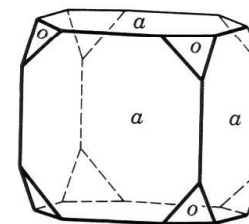
Original crystal nucleus



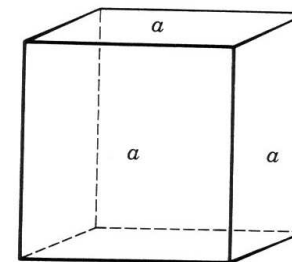
(1)



(2)



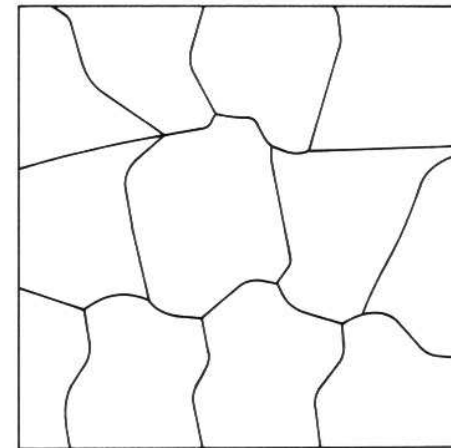
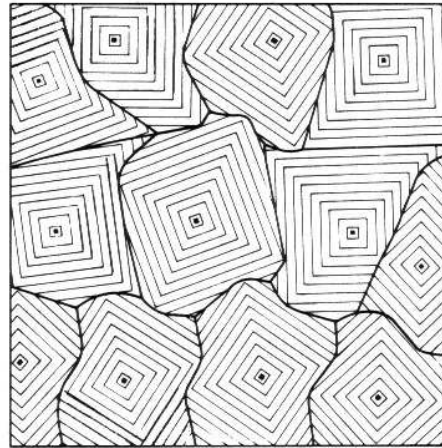
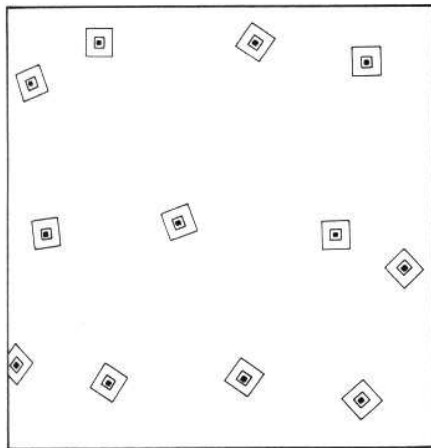
(3)



(4)

# Krystalické agregáty

V případě vzniku velkého množství zárodků během krystalizace dochází k jejich zcela nahodilému srůstání a vzniká krystalický agregát.



# Morfologie krystalů

Těleso krystalu je tvořeno opakováním základní strukturní jednotky v trojrozměrném prostoru. Jeho povrch je tvořen plochami, hranami a rohy. Úhlové vztahy, velikost a tvar ploch na krystalu tvoří morfologii krystalu. Morfologie krystalu dané látky závisí na vnějších podmínkách při krystalizaci, tj. na teplotě, tlaku, složení roztoku, směru proudění roztoku a velikosti krystalizačního prostoru.

Díky různým podmínkám během krystalizace se může reálný tvar krystalu velmi lišit od ideálního geometrického tvaru. Lokální změny v teplotě, koncentraci a proudění roztoku mohou např. způsobit rychlejší apozici částic v určitých částech krystalu. Tyto zcela běžné odchylky se označují jako různoměrný vývin krystalů.

Pokud je krystal omezen stejnocennými plochami, označujeme toto omezení jako *jednoduchý tvar*. Je-li krystal omezen různocennými plochami, označujeme těleso krystalu jako *spojku*.

# Symetrie krystalů

Vnější forma krystalů odráží přítomnost nebo nepřítomnost prvků symetrie. Na celkové symetrii krystalů se podílejí pouze ty prvky symetrie, které *neobsahují translaci*. Všechny přítomné prvky symetrie lze zpravidla určit jen na dokonale vyvinutých krystalech.

Na základě kombinace beztranslačních prvků symetrie lze odvodit 32 bodových grup (krystalových oddělení), které vyjadřují symetrii všech přírodních krystalů. Každá bodová grupa je určena jménem nebo symbolem. Nejčastěji používané symboly jsou Hermann - Mauguinovy nebo Schoenfliesovy.

Některé bodové grupy mají společné charakteristiky. Ty se potom spojují do krystalových soustav.



# Krystalografické osy

Popis každého krystalu (nebo krystalové struktury) se provádí vzhledem k referenčním osám, které se běžně označují jako krystalografické osy.

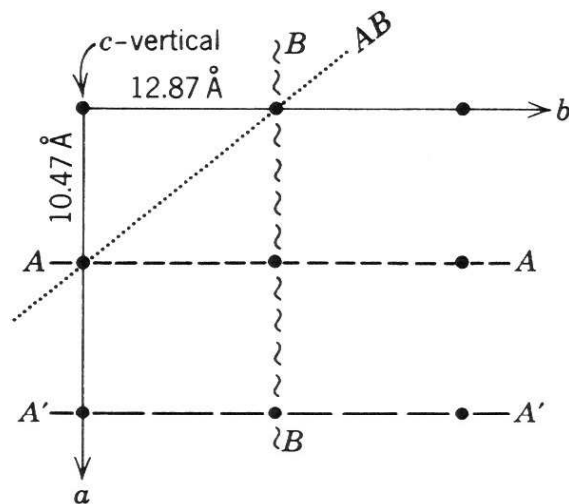
U většiny krystalových soustav se osy označují jako  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Obecně má každá osa jinou délku a konec každé osy je označen plus nebo minus; pozitivní je přední část osy  $x$ , pravá část osy  $y$  a horní část osy  $z$  - opačné směry jsou negativní. Úhly mezi osami jsou konvenčně značeny jako  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Modelem, který znázorňuje symetrii v každé soustavě je krystalografický osní kříž.

Často se soustavy člení do skupin, které se označují jako soustavy vyšší kategorie (kubická), střední kategorie (trigonální, hexagonální, tetragonální) a nižší kategorie (rombická, monoklinická, triklinická).

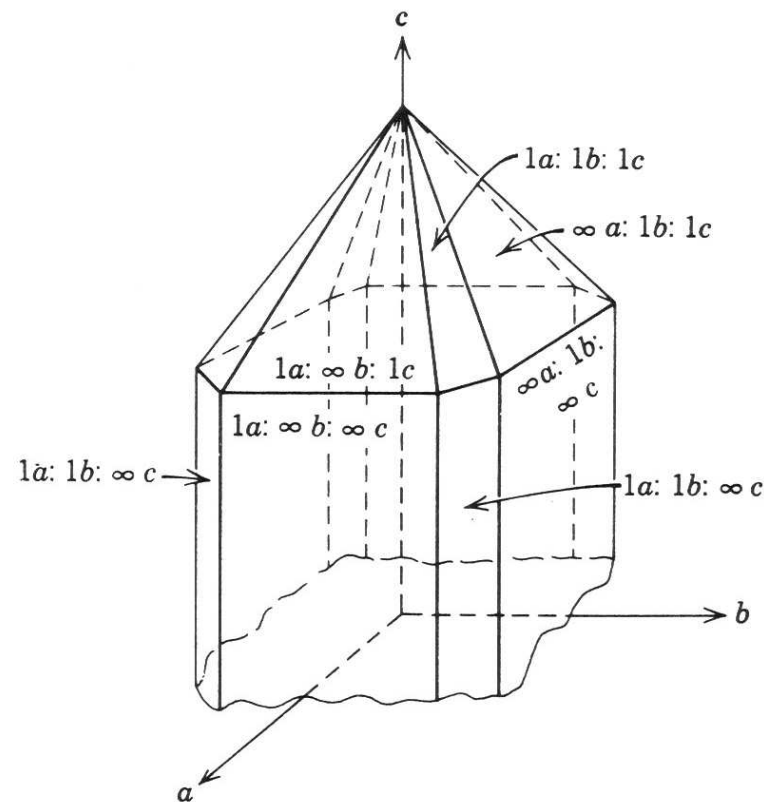
Horizontální osy označujeme někdy jako osy pasné; protínají pasné rohy a pasné hrany. Dvěma osami prochází tzv. osní rovina. Tři osní roviny dělí krystalografický kříž na oktanty.

# Úseky na osách

Podle polohy krystalových ploch vůči krystalografickým osám, můžeme vyčlenit plochy jednoúsekové (utínají pouze jednu osu, s ostatními jsou rovnoběžné), dvojúsekové a trojúsekové. Každá plocha je definována právě těmito úseky které vytne na krystalografických osách. Úseky vyjadřují vždy jen relativní vzdálenosti. Je třeba si také uvědomit, že každá plocha na krystalu odpovídá souboru rovin ve struktuře.



Intercepts for  
 $AA - 1a: \infty b: \infty c$   
 $A'A' - 2a: \infty b: \infty c$   
 $BB - \infty a: 1b: \infty c$   
 $AB - 1a: 1b: \infty c$



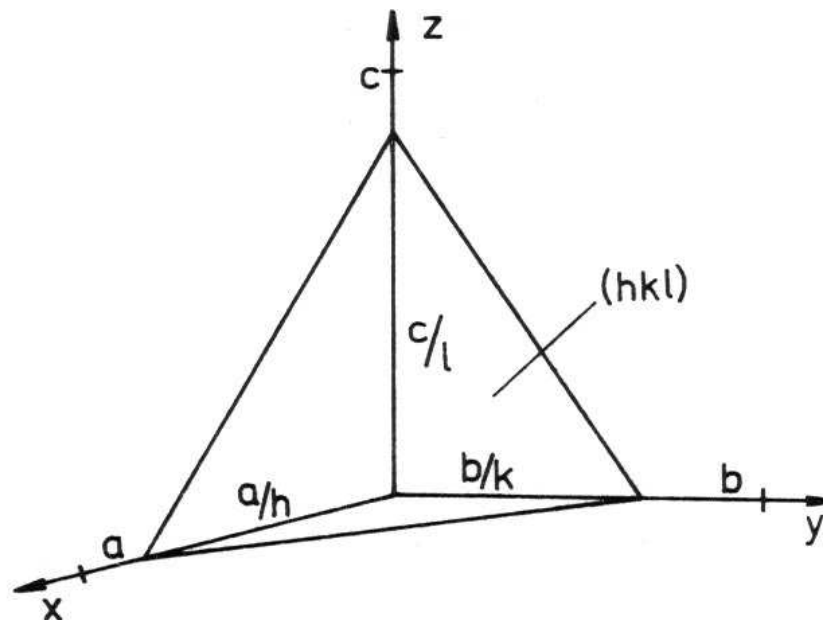
## Weissovy a Millerovy symboly

Plocha rovnoběžná s osami  $x$ ,  $y$ , vytíná jednotkový úsek na ose  $z$  a vyjádření bude vypadat :  $\infty a$ ,  $\infty b$ ,  $c$ . Plocha, které vytíná všechny tři osy v jednotkových úsecích  $1a$ ,  $1b$ ,  $1c$ , se označuje jako jednotková plocha. Tento trojpoměr parametrů  $ma : nb : pc$  jsou tzv. *Weissovy symboly* krystalových ploch.

*Millerovy indexy* ( $hkl$ ) ploch jsou složeny ze souboru celých čísel, která jsou odvozena od úseků vyřatých na osách (Weissovy symboly). Indexy  $hkl$  jsou reciproké hodnoty Weissoových symbolů, převedené na tři nejmenší nesoudělná čísla.

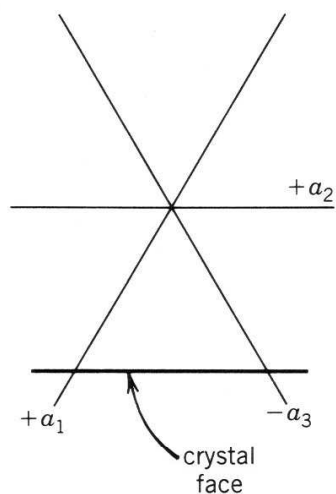
## Převod Weisových na Millerovy symboly

Máme-li např. plochu vyjádřenou jako  $2a$ ,  $2b$ ,  $3/2c$ , vyjádříme ji Millerovými indexy jako  $(334)$ . Záporné indexy označujeme pruhem nad příslušnou číslicí. Pokud je plocha rovnoběžná s některou z os, vyjádříme to obecně symboly  $(0kl)$ ,  $(h0l)$  nebo  $(hk0)$ . Jednoúsekové plochy jsou značeny symboly  $(100)$  - vytíná osu  $x$ ,  $(010)$  - vytíná osu  $y$  nebo  $(001)$  - vytíná osu  $z$ .

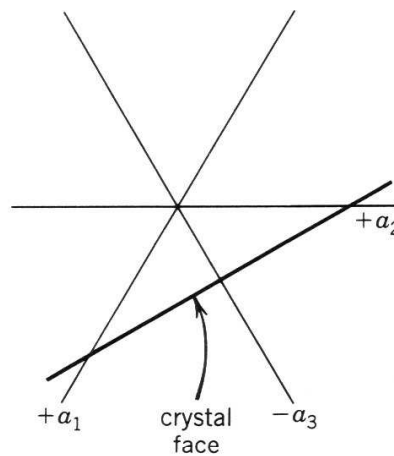


# Indexování v hexagonální soustavě

Poněkud odlišná situace je u soustav s jednou trojčetnou nebo šestičetnou osou. Rovina kolmá k takové ose obsahuje tři pasné osy  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ . Zde se používá systém indexování pomocí čtyř symbolů, tzv. Bravaisovy symboly. Princip indexování je založen rovněž na vytínaných úsecích na jednotlivých osách a obecné označení je  $(hk-il)$ . Platí pravidlo, že  $h + k + i = 0$ .

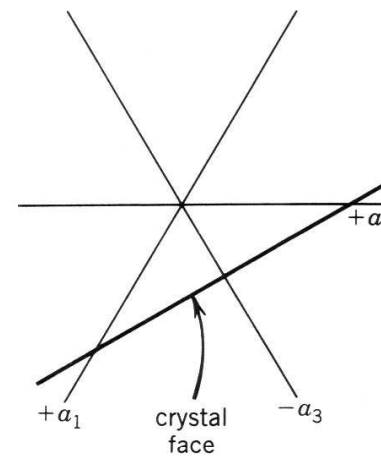


$1a_1, \infty a_2, 1a_3(-), \infty c$



Intercepts for shaded faces:

$1a_1, 1a_2, \frac{1}{2}a_3(-), \infty c$



$1a_1, 1a_2, \frac{1}{2}a_3(-), 1c$

Miller-Bravais indices for shaded faces:

$$\frac{1}{1} \quad \frac{1}{\infty} \quad \frac{\bar{1}}{1} \quad \frac{1}{\infty}$$

$$1 \ 0 \ \bar{1} \ 0$$

$$\frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{\bar{1}}{\frac{1}{2}} \quad \frac{1}{\infty}$$

$$1 \ 1 \ \bar{2} \ 0$$

$$\frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{\bar{1}}{\frac{1}{2}} \quad \frac{1}{1}$$

$$1 \ 1 \ \bar{2} \ 1$$

# Závorky v Millerově symbolice

V Millerově symbolice se používá několik typů závorek, které mají tyto významy:

$(hkl)$  - značí rovinu (plochu)

$[hkl]$  - značí přímku (hranu)

$\{hkl\}$  - značí soubor symetricky rovnocenných rovin, patřících k témuž krystalovému tvaru

$\langle hkl \rangle$  - soubor symetricky rovnocenných přímek, patřících k témuž krystalovému tvaru

# Krystalové tvary

Obecně je termín krystalový tvar používán k vyjádření celkového vnějšího vzhledu. V krystalografii je pro vnější tvar krystalu používáno označení habitus, zatímco výraz „krystalový tvar“ se používá ve speciálním významu.

*Krystalový tvar* se skládá ze skupiny stejnocenných krystalových ploch, které mají shodný vztah k prvkům symetrie a shodné chemické a fyzikální vlastnosti.

Aplikujeme-li operace symetrie bodové grupy na výchozí krystalovou plochu, získáme určitý počet stejnocenných krystalových ploch. *Soubor ekvivalentních krystalových ploch se nazývá krystalový tvar.* Krystalový tvar je definován indexem jedné z ploch krystalového tvaru. Pro označení tvaru se používá indexů ve složených závorkách  $\{hkl\}$ .

# Typy krystalových tvarů I

Krystalové tvary můžeme z hlediska symetrie rozdělit na obecné a speciální.

Obecný krystalový tvar je složen z ekvivalentních ploch, kdy každá plocha má plošnou symetrii 1. Prakticky to znamená, že pokud vyneseme ve stereografické projekci póly těchto ploch, neleží na žádném z prvků symetrie. Obecný krystalový tvar se označuje obecnými indexy  $\{hkl\}$ . Pro danou bodovou grupu (krystalové oddělení) existuje nekonečné množství obecných tvarů, ale platí pravidlo, že plochy s vysokými hodnotami indexů  $hkl$  jsou vzácné.

Speciální krystalový tvar je složen z ekvivalentních krystalových ploch, které mají symetrii plochy vyšší než 1. Ve stereografické projekci leží pól takové plochy alespoň na jednom prvku symetrie.



## Typy krystalových tvarů I

Z hlediska omezení prostoru můžeme rozlišit tvary otevřené a uzavřené.

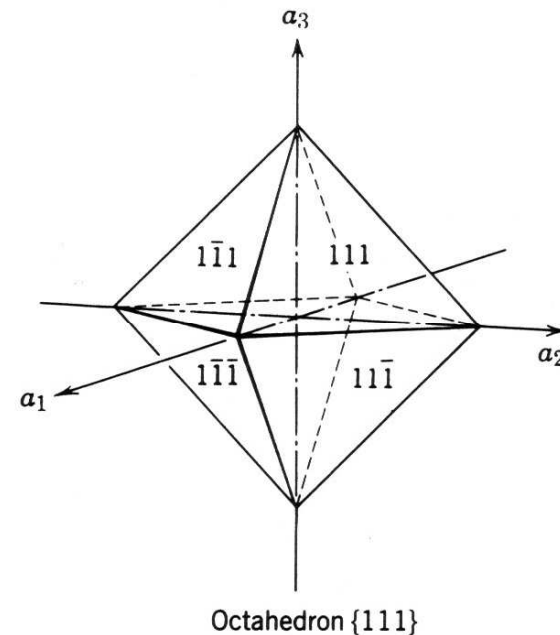
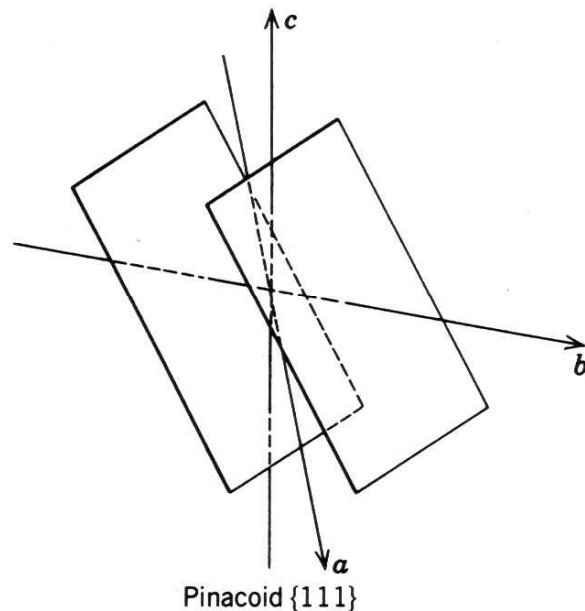
Krystalový tvar uzavřený je souborem ploch, které zcela vymezují těleso krystalu.

Tvarem otevřeným míníme soubor ploch které nemohou sami ohraničit prostor. Otevřené krystalové tvary musí být nejméně dva, aby mohli omezit těleso krystalu (to neplatí, kombinuje-li se ještě tvar uzavřený).

# Krystalový tvar a symetrie

Vztah mezi krystalovým tvarem a prvky symetrie je důležitý - např. vezmeme-li jednotkovou plochu (111), zobrazí se tato v oddělení se středem symetrie pouze jako pinakoid (dvojploší), zatímco v nejvýše symetrickém oddělení vznikne operacemi symetrie dalších 7 ploch - oktaedr. Je tedy jasné, že počet ploch krystalového tvaru je určen symetrií krystalového oddělení.

Plochy jednoho tvaru se mohou lišit velikostí i tvarem díky deformacím krystalu, které vznikají v přírodních podmínkách.



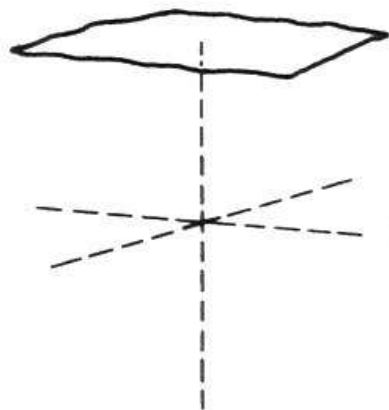
# Pojmenování krystalových tvarů

Používaná nomenklatura krystalových tvarů je podle Grotha (1895) modifikovaná Reogерsem (1935). Toto schéma vyčleňuje 48 různých krystalových tvarů, rozlišených podle úhlových vztahů krystalových ploch. 32 z nich jsou obecné tvary nacházející se ve 32 bodových grupách, 10 z nich jsou speciální uzavřené tvary kubické soustavy a 6 jsou speciální otevřené tvary hexagonální a tetragonální soustavy.

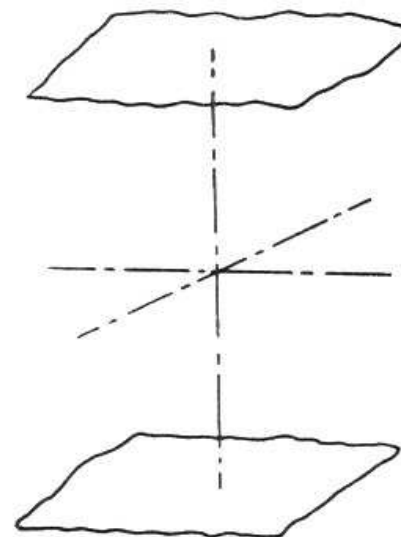
# Pojmenování krystalových tvarů – pedion, pinakoid

pedion – otevřený tvar  
obsahující jednu plochu

pinakoid - otevřený tvar  
tvořený dvěma paralelními  
plochami



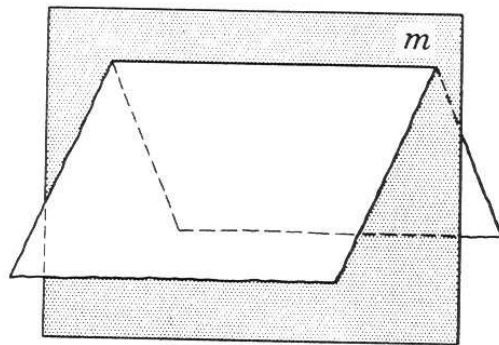
(1) Pedion  
(Monohedron)



(2) Pinacoid  
(Parallelohedron)

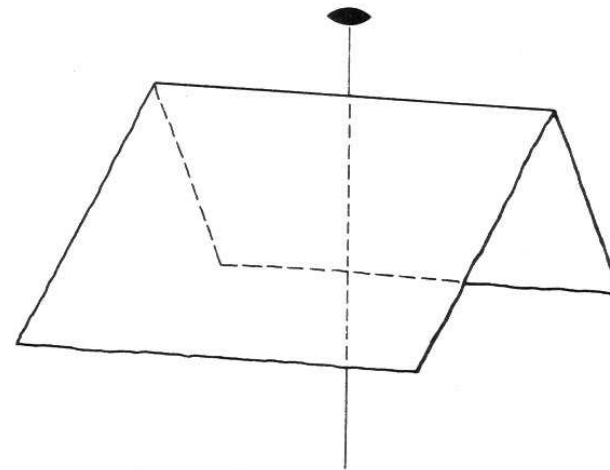
# Pojmenování krystalových tvarů – dóma, sfenoid

dóma - otevřený tvar dvou  
různoběžných ploch  
symetrických podle roviny  
zrcadlení



(3) Dome  
(Dihedron)

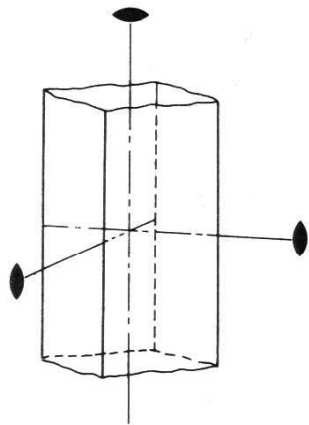
sfenoid - otevřený tvar dvou  
různoběžných ploch,  
souměrných podle 2-četné  
rotační osy



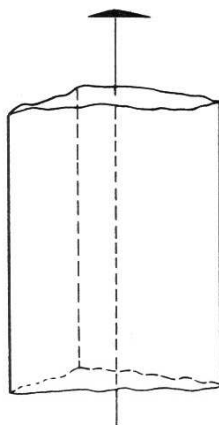
(4) Sphenoid  
(Dihedron)

## Pojmenování krystalových tvarů – prizma

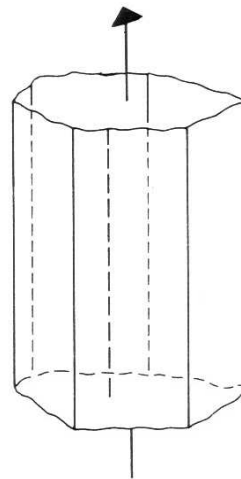
prizma - otevřený tvar, skládající se ze 3, 4, 6, 8 nebo 12 ploch, které jsou rovnoběžné se stejnou osou. S výjimkou některých prizmat v monoklinické soustavě, je tato osa vždy totožná s některou krystalografickou osou.



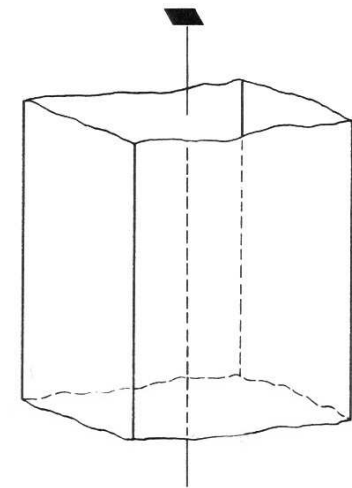
(5) Rhombic prism



(6) Trigonal prism



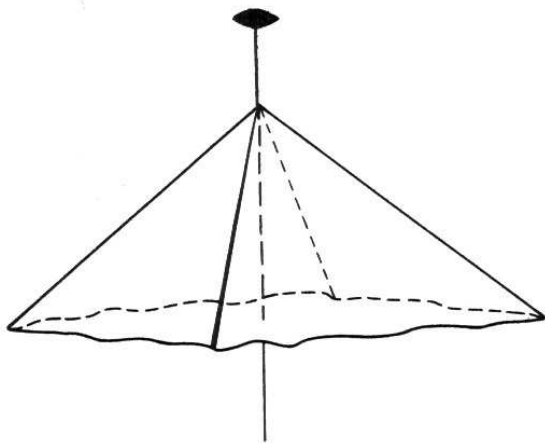
(7) Ditrigonal prism



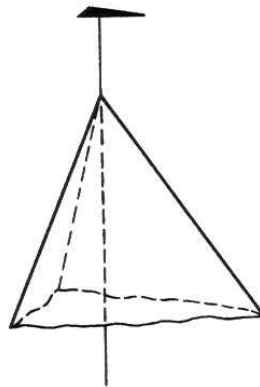
(8) Tetragonal prism

## Pojmenování krystalových tvarů – pyramida

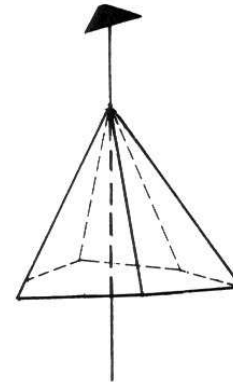
pyramida - otevřený tvar, sestávající z 3, 4, 6, 8 nebo 12 různoběžných ploch, které se sbíhají v jednom bodě



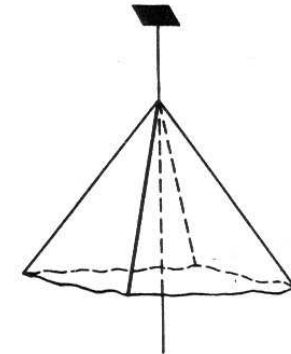
(12) Rhombic pyramid



(13) Trigonal pyramid



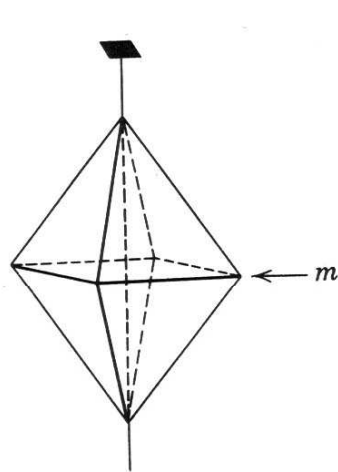
(14) Ditrigonal pyramid



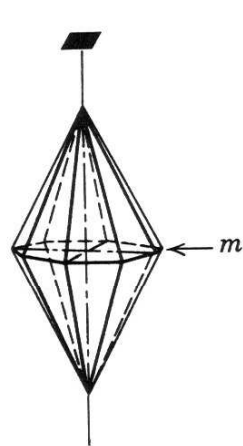
(15) Tetragonal pyramid

## Pojmenování krystalových tvarů – dipyramida

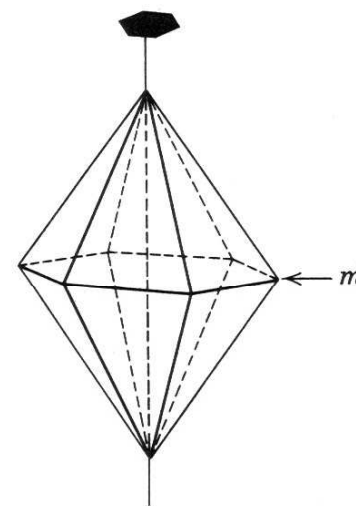
dipyramida - je uzavřený tvar s 6, 8, 12, 16 nebo 24 plochami. Lze si ji představit jako dvě pyramidy navzájem souměrné podle horizontální roviny zrcadlení.



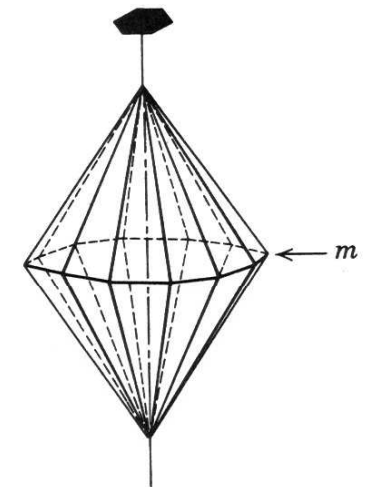
(22) Tetragonal dipyramid



(23) Ditetragonal dipyramid



(24) Hexagonal dipyramid

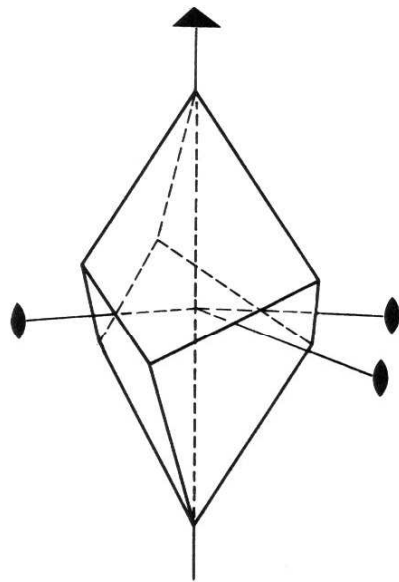


(25) Dihexagonal dipyramid

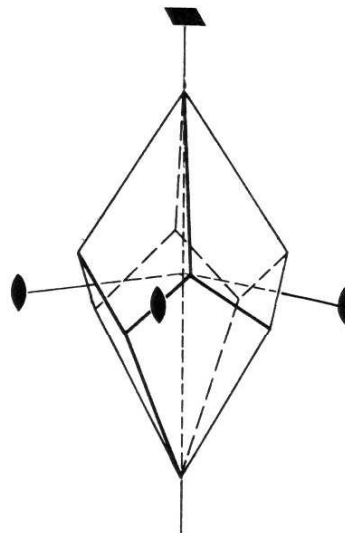


# Pojmenování krystalových tvarů – trapezoedr

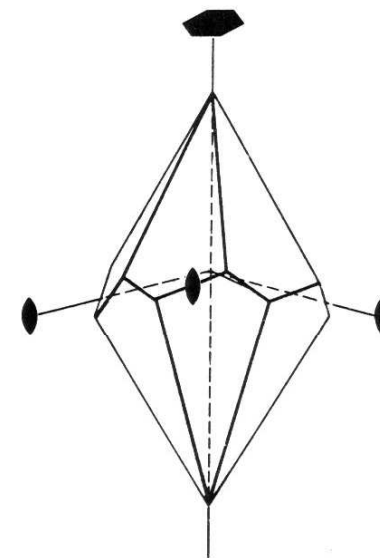
trapezoedr - uzavřený tvar s 6, 8 nebo 12 plochami. Plochy mají tvar asymetrických různoběžníků (na dobře vyvinutém jednoduchém tvaru), které se stýkají v klikatě běžících pasných hranách. Svrchní plochy jsou vůči spodním mírně pootočený kolem vertikály (o méně než  $60^\circ$ ). Tvar vzniká kombinací 3-, 4- nebo 6-četné osy s kolnými 2-četnými osami.



(26) Trigonal trapezohedron



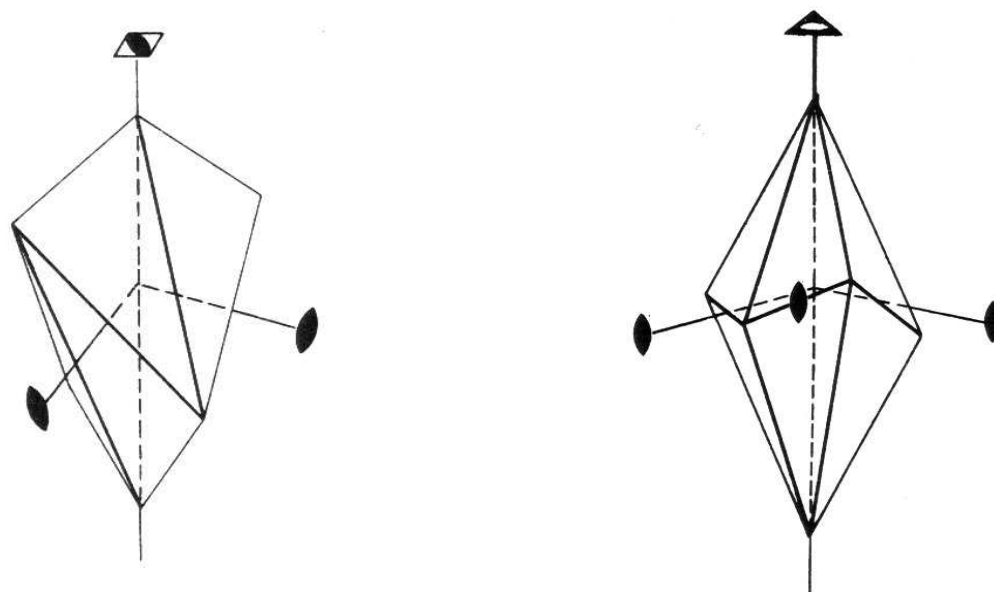
(27) Tetragonal trapezohedron



(28) Hexagonal trapezohedron

## Pojmenování krystalových tvarů – skalenoedr

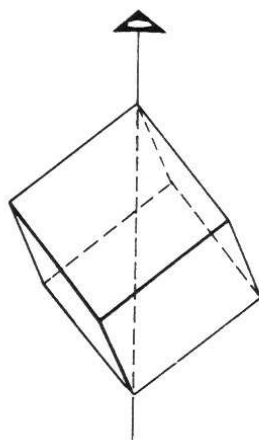
skalenoedr - uzavřený tvar s 8 nebo 12 plochami. V tetragonálním skalenoedru se párují horní plochy s dolními podle 4-četné rotačně inverzní osy. Pásné hrany mají klikatý průběh a plochy stýkající se v těchto hranách neleží nad sebou, ale jsou vůči horizontální rovině střídavě otočeny okolo 2-četné osy střídavě vpravo a vlevo. Ideálně vyvinutý skalenoedr má plochy ve tvaru skalenických trojúhelníků.



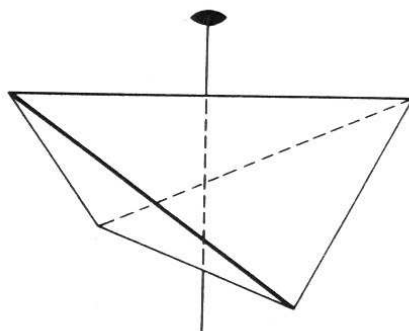
## Pojmenování krystalových tvarů – romboedr, disfenoid

romboedr (klenec) - uzavřený tvar, na kterém se střídají 3 plochy v horní a 3 plochy ve spodní části po  $60^\circ$

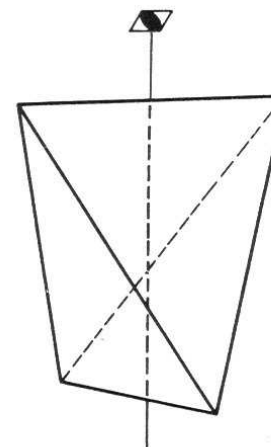
disfenoid - uzavřený tvar, ve kterém se střídají 2 horní a 2 spodní plochy po  $90^\circ$



(31) Rhombohedron



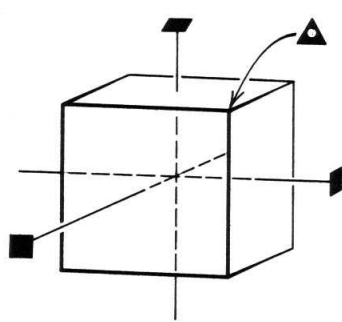
(32) Rhombic disphenoid  
(Rhombic tetrahedron)



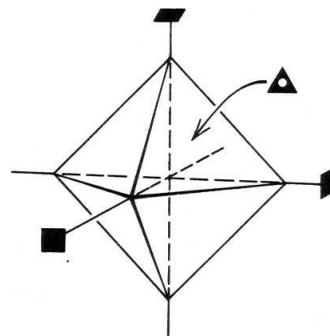
(33) Tetragonal disphenoid  
(Tetragonal tetrahedron)

# Tvary kubické soustavy

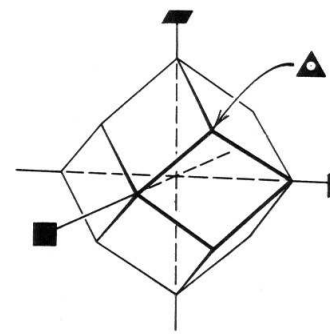
Speciální tvary kubické soustavy obsahují vždy 3-četnou osu nebo 3-četnou inverzní osu. Všechny krystalové tvary kubické soustavy jsou uzavřené a nevyskytují se v žádné jiné krystalové soustavě.



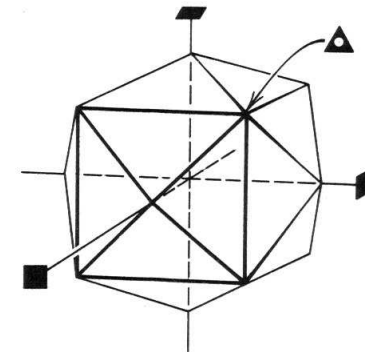
(34) Cube (Hexahedron)



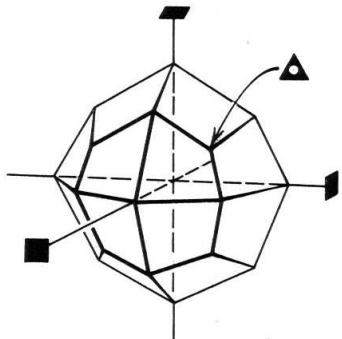
(35) Octahedron



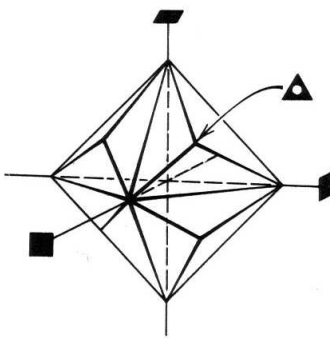
(36) Dodecahedron  
(Rhomb-dodecahedron)



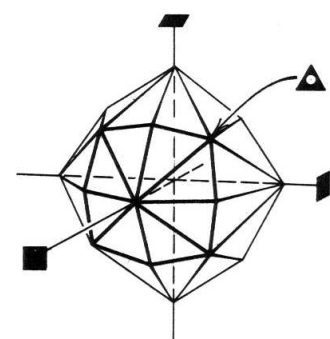
(37) Tetrahexahedron



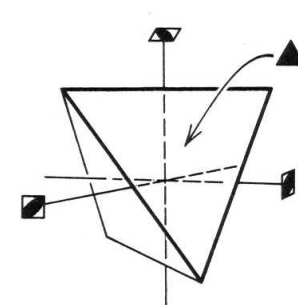
(38) Trapezohedron  
(Tetragon-trioctahedron)



(39) Trisoctahedron  
(Trigon-trioctahedron)



(40) Hexooctahedron  
(Hexaoctahedron)



(41) Tetrahedron

# Popis krystalových oddělení

K označení každého oddělení bude použito Hermann - Mauguinova symbolu. Ke grafickému zobrazení symetrie je použit stereogram (stereografická projekce). Póly ploch horní polokoule jsou označeny plným kroužkem, póly ploch jižní polokoule prázdným kroužkem. Pokud leží dvě plochy nad sebou (na horní i dolní polokouli) je to vyjádřeno bodem nebo křížkem v kroužku. Označení prvků symetrie odpovídá mezinárodnímu značení, přítomné roviny souměrnosti jsou značeny plnou čarou.

Zastoupení minerálů v jednotlivých soustavách je přibližně následující:

- triklinická 2%
- monoklinická 21%
- rombická 20%
- tetragonální 12%
- hexagonální 19%
- kubická 26%

Největší počet minerálních druhů je zastoupen v nejvíce symetrickém oddělení každé soustavy. Takové oddělení je označováno jako holodrické.

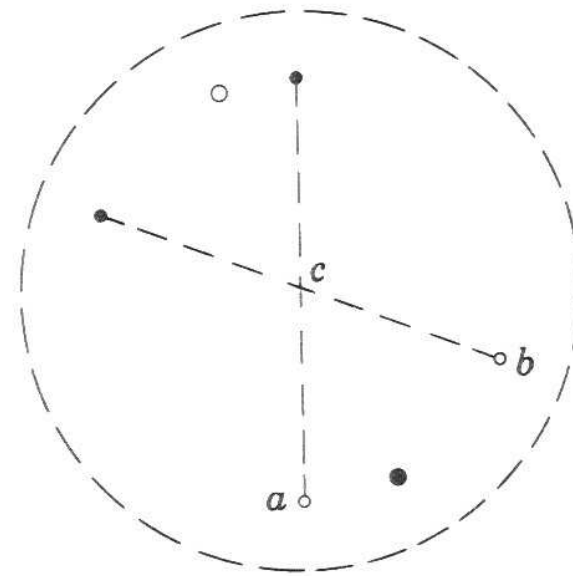
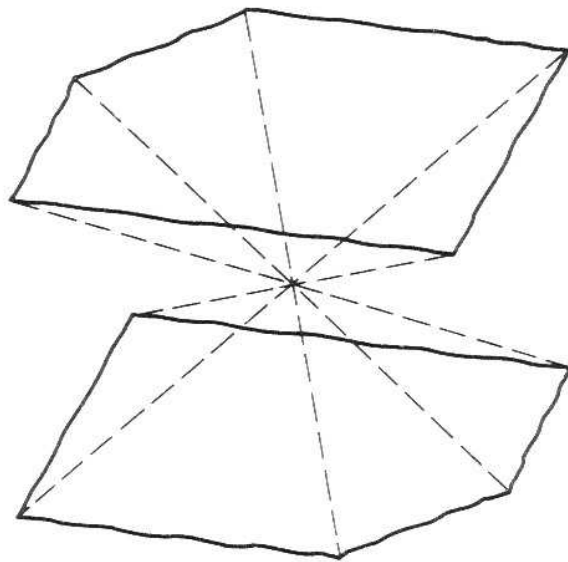
# Soustava triklinická

V této soustavě se krystalové tvary vztahují ke třem nestejnocenným krystalografickým osám, které svírají zcela obecné úhly. Pro orientaci triklinických krystalů platí tři základní pravidla:

1. nejvýraznější zóna je vertikální; osa této zóny je totožná s krystalografickou osou  $z$
2. tvar  $\{001\}$  se svažuje vpravo dopředu
3. ve vertikální zóně mohou být vybrány dva tvary - jeden jako  $\{100\}$  a druhý jako  $\{010\}$ . Směr os  $x$  a  $y$  je pak určen protnutím těchto tvarů. Osa  $y$  by měla být delší než osa  $x$ . Obecně by mělo pro mřížkové parametry platit, že  $c_0 < a_0 < b_0$  a všechny úhly jsou tupé.

# Oddělení triklinicky pinakoidální - $\bar{1}$

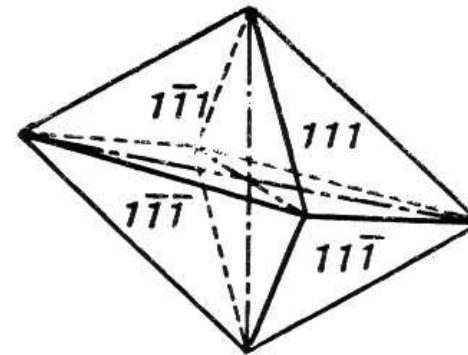
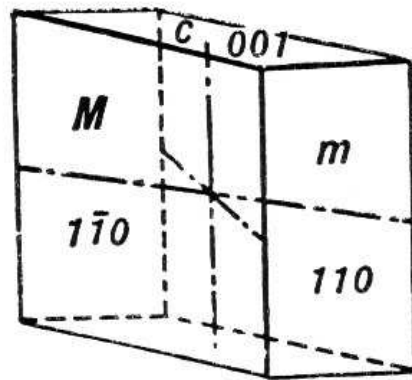
Prvkem symetrie tohoto oddělení je pouze jednočetná rotoinverzní osa (střed symetrie). Obecným tvarem je pinakoid (otevřený tvar). Pinakoid je tvořen dvěma identickými paralelními plochami. Příklady minerálů, krystalizujících v tomto oddělení, jsou chalkantit (modrá skalice), mikroklin, plagioklasy, rodonit a wollastonit.



## Oddělení triklinicky pinakoidální (-1)

Je-li krystal v prostoru orientován, Millerovy indexy pinakoidu určují jeho pozici:

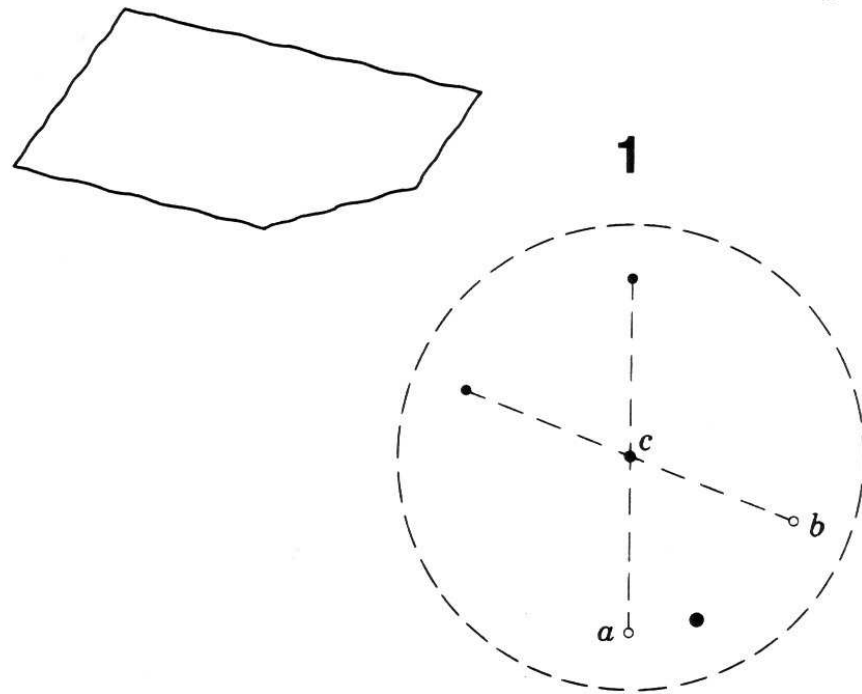
- jednoúsekové pinakoidy  $\{100\}$ ,  $\{010\}$  a  $\{001\}$ . Každý z těchto pinakoidů protíná jednu krystalografickou osu a s ostatními je rovnoběžný. Pinakoid a (přední) protíná osu  $x$ ; pinakoid b (boční) protíná osu  $y$ ; pinakoid c (bazální) protíná osu  $z$ .
- dvojúsekové pinakoidy  $\{0kl\}$ ,  $\{h0l\}$  a  $\{hk0\}$ . Např. tvar  $\{0kl\}$  je rovnoběžný s osou  $x$  a může být pozitivní  $\{0kl\}$  nebo negativní  $\{0-k-l\}$ .
- trojúsekový pinakoid  $\{hkl\}$ . Tvar  $\{hkl\}$  je pozitivní pravý,  $\{h-kl\}$  je pozitivní levý,  $\{hk-l\}$  je negativní pravý a  $\{h-k-l\}$  je negativní levý.





# Oddělení triklinicky pediální (1)

V oddělení je pouze 1-četná rotační osa, což odpovídá úplné asymetrii. Obecným a zároveň jediným tvarem je pedion – jednoplochý, otevřený tvar. Příkladem minerálu krystalizujícího v tomto oddělení je axinit.



## Soustava monoklinická

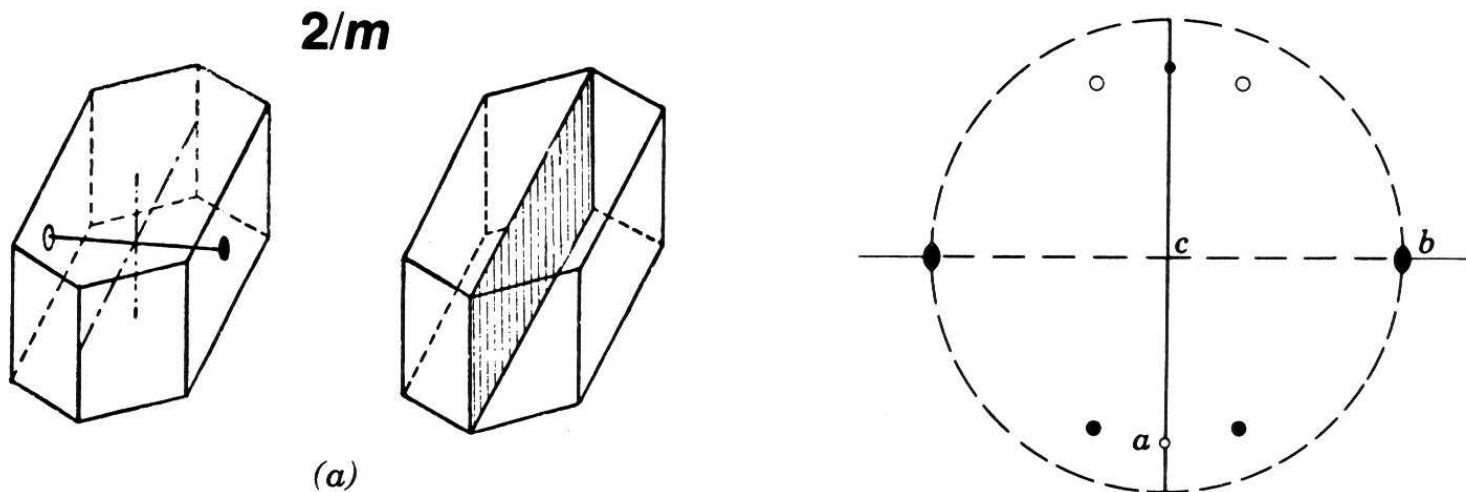
Monoklinické krystaly se vztahují ke třem nestejnocenným osám, úhly  $\alpha$  a  $\gamma$  jsou  $90^\circ$ . Úhel  $\beta$  (mezi osami  $x$ ,  $z$ ) je větší než  $90^\circ$ . V případě, že je úhel  $\beta = 90^\circ$ , není monoklinická symetrie zřejmá z morfologie a krystal se označuje jako pseudorombický.

Osa 2-čtá nebo směr kolmý k rovině souměrnosti jsou obvykle totožné s krystalografickou osou  $y$ , osa  $x$  se sklání vpřed a osa  $z$  je vertikální. Tato orientace se označuje jako „druhé postavení“, které je běžné v mineralogii. Osa  $y$  je dána jednoznačně, ze zbývajících dvou směrů volíme za vertikálu směr růstový (nejhustěji obsazené uzlové přímky) - pro volbu parametrů základní buňky platí  $c_0 < a_0$ .

# Oddělení monoklinicky prizmatické (2/m)

Oddělení obsahuje dva tvary - pinakoid a prizma.

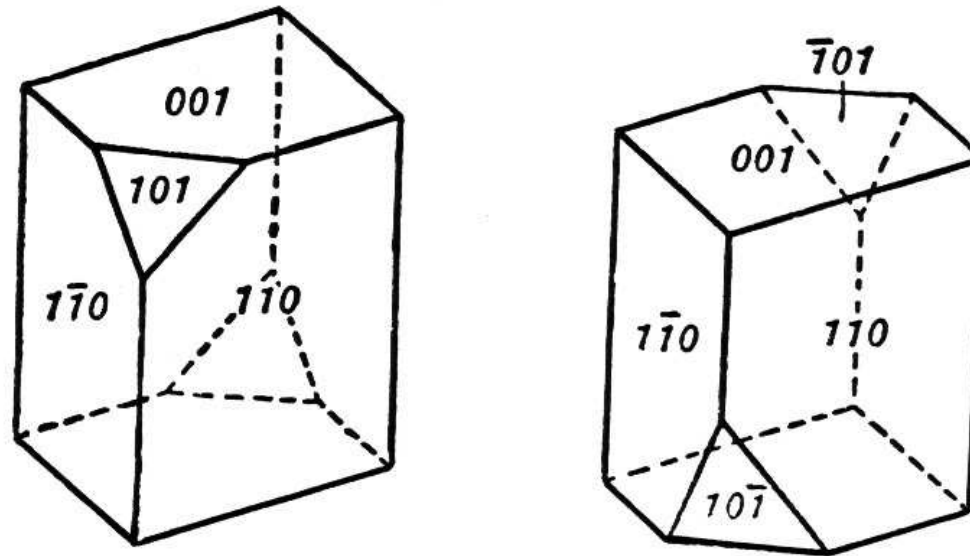
V tomto oddělení krystalizují například tyto minerály: amfiboly, pyroxeny, ortoklas, slídy, sádrovec, titanit, epidot a malachit.



## Oddělení monoklinicky prizmatické (2/m)

pinakoid - přední (pinakoid a) je  $\{100\}$ , boční (pinakoid b) je  $\{010\}$  a bazální (pinakoid c) je  $\{001\}$ . Dále existují pinakoidy  $\{h0l\}$  a  $\{h0-l\}$ , které jsou navzájem nezávislé a přítomnost jednoho nevyžaduje přítomnost druhého.

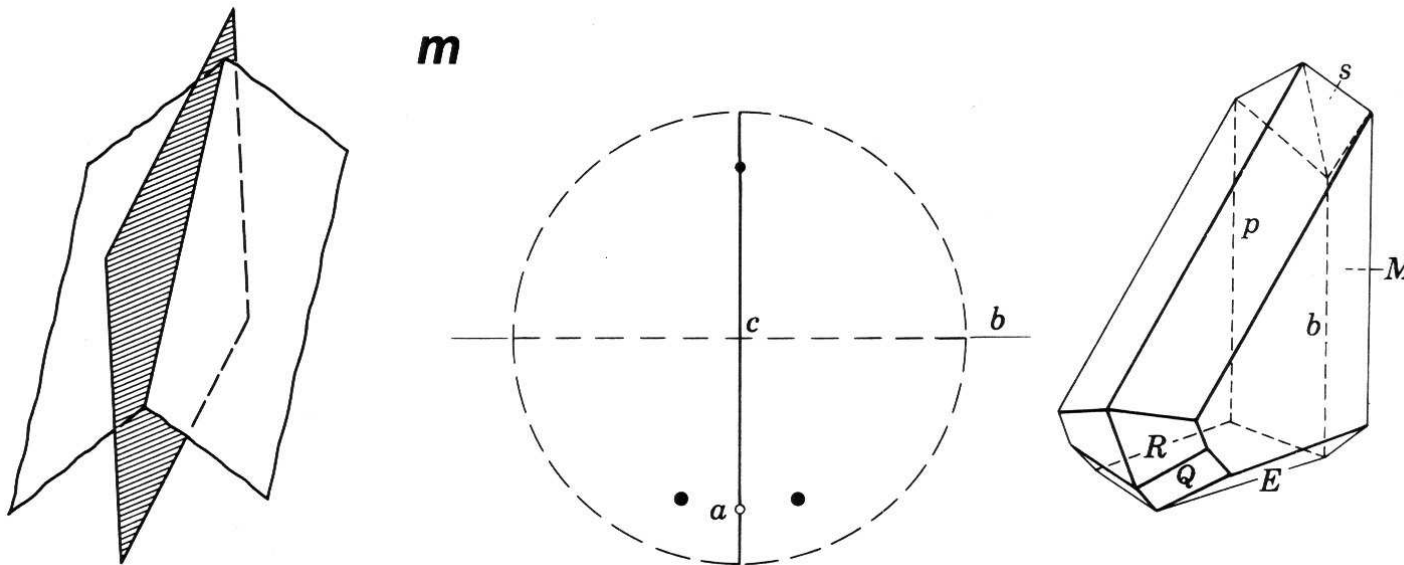
prizma - je to čtyřplochý otevřený obecný tvar  $\{hkl\}$  nebo z dvojúsekových ploch se operacemi souměrnosti zobrazí prizmata  $\{0kl\}$  a  $\{hk0\}$ . Prizma  $\{0kl\}$  protíná osy  $y$  a  $z$  a je paralelní s osou  $x$ .



## Oddělení monoklinicky domatické (m)

Obsahuje pouze vertikální rovinu symetrie (010), ve které leží krystalografické osy  $x$ ,  $z$ . Obecný tvar  $\{hkl\}$  je dóma.

Dóma je dvojplochý tvar symetrický podle roviny zrcadlení (narozdíl od sfenoidu!). Jako dóma se zobrazí plochy kosé k rovině souměrnosti, plochy k této rovině kolmé se zobrazí jako pedion, plochy rovnoběžné jako pinakoid. Existují dva nezávislé tvary dómat -  $\{hkl\}$  a  $\{-hkl\}$ .

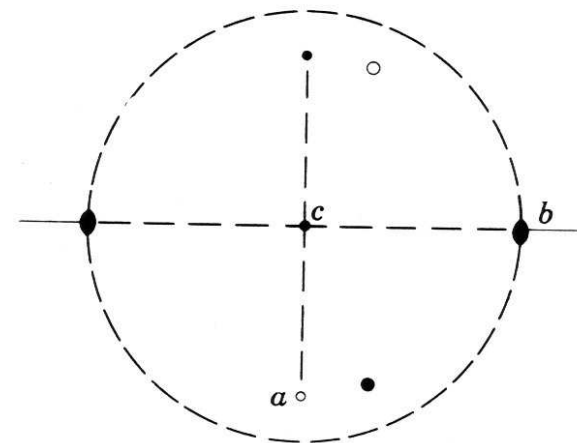
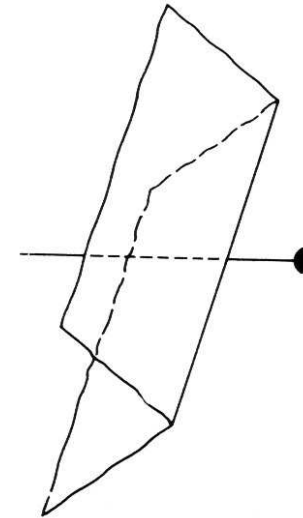


## Oddělení monoklinicky sfenoidické (2)

Krystalografické osa  $y$  odpovídá 2-četné rotační ose. Obecným tvarem  $\{hkl\}$  tohoto oddělení je sfenoid.

Díky absenci roviny symetrie  $x, z$  je osa  $b$  polární a proto jsou na opačných koncích rozdílné tvary. Z pinakoidu  $\{010\}$  oddělení  $2/m$  se stávají dva pediony  $\{010\}$  a  $\{0-10\}$ . Podobně prizmata  $\{0kl\}$ ,  $\{hk0\}$  a  $\{hkl\}$  degradují na enantiomorfní sfenoidy. Sfenoid je dvojplochý tvar, symetrický podle 2-četné osy rotace (osa  $y$ ). Plochy rovnoběžné s 2-četnou osou dávají vzniknout pinakoidu.

2



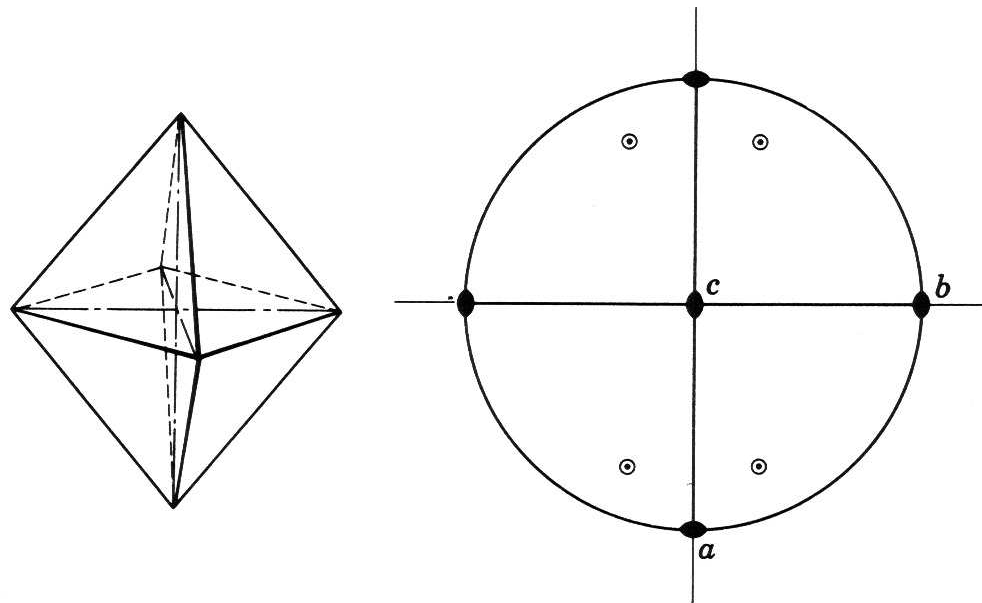
## Soustava rombická

Krystalové tvary se vztahují ke třem různocenným krystalografickým osám, které svírají navzájem  $90^\circ$ . Relativní délka os, resp. jejich poměr je pro každý rombický minerál jiný. Orientace krystalu se provádí tak, aby platilo  $c_0 < a_0 < b_0$ . Nejdelší růstový směr je zpravidla vertikála, z pasných os je delší osa  $y$ . Pokud je na krystalu vyvinut výrazně pinakoid tak, že je krystal tabulkovitý, je tento pinakoid obvykle orientován jako  $\{001\}$ .

## Oddělení rombicky dipyramidální ( $2/m \ 2/m \ 2/m$ )

Obsahuje tři různocenné roviny souměrnosti, rovnoběžné s osními rovinami. V jejich průsečnicích vznikají tři různocenné 2-četné osy, které jsou totožné s krystalografickými osami. Společný průsečík všech prvků symetrie je střed symetrie. Obecným tvarem  $\{hkl\}$  je rombická dipyramida.

V tomto oddělení krystaluje řada důležitých minerálů, např.: amfiboly, pyroxeny, andalusit, baryt, topaz, síra, aragonit, antimonit a olivín.



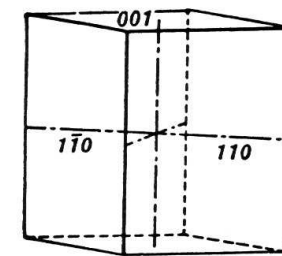
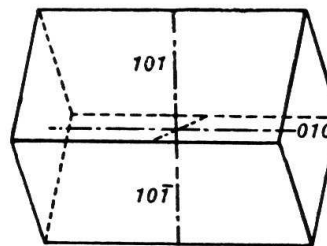
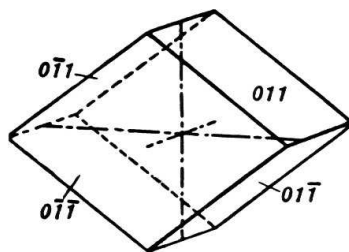
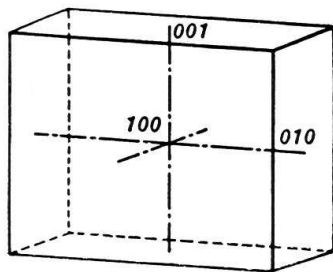


## Oddělení rombicky dipyramidální ( $2/m\ 2/m\ 2/m$ )

pinakoid se vyskytuje ve třech různých krystalografických orientacích - pinakoid a (protíná osu  $x$ )  $\{100\}$ , pinakoid b (protíná osu  $y$ )  $\{010\}$  a pinakoid c (bazální)  $\{001\}$ .

rombické prizma je tvořeno čtyřmi plochami, které jsou s jednou osou rovnoběžné a zbylé dvě protíná. Prizma  $\{0kl\}$  je paralelní s osou  $x$  (protíná osy  $y, z$ ), analogicky pak prizma  $\{h0l\}$  a prizma  $\{hk0\}$ .

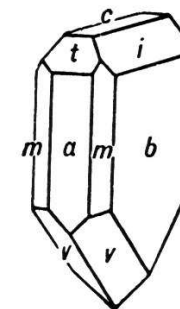
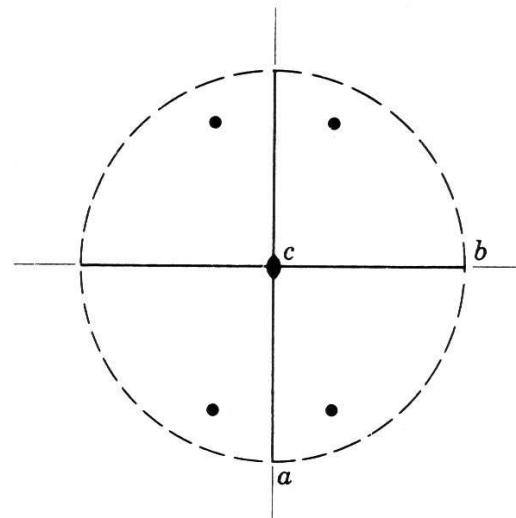
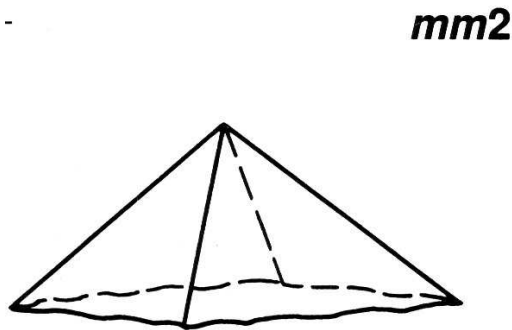
rombická dipyramida - tento tvar má osm trojúhelníkových ploch a protíná všechny osy. Vzniká z obecného trojúsekového tvaru  $\{hkl\}$ . Pokud se na spojce vyskytuje více dipyramid, volíme největší a nejčastěji se vyskytující za základní  $\{111\}$ .



# Oddělení rombicky pyramidální ( $mm2$ )

Osa 2-čtetná je totožná s osou  $z$ , dvě navzájem kolmé roviny symetrie se protínají právě v ose  $z$ .

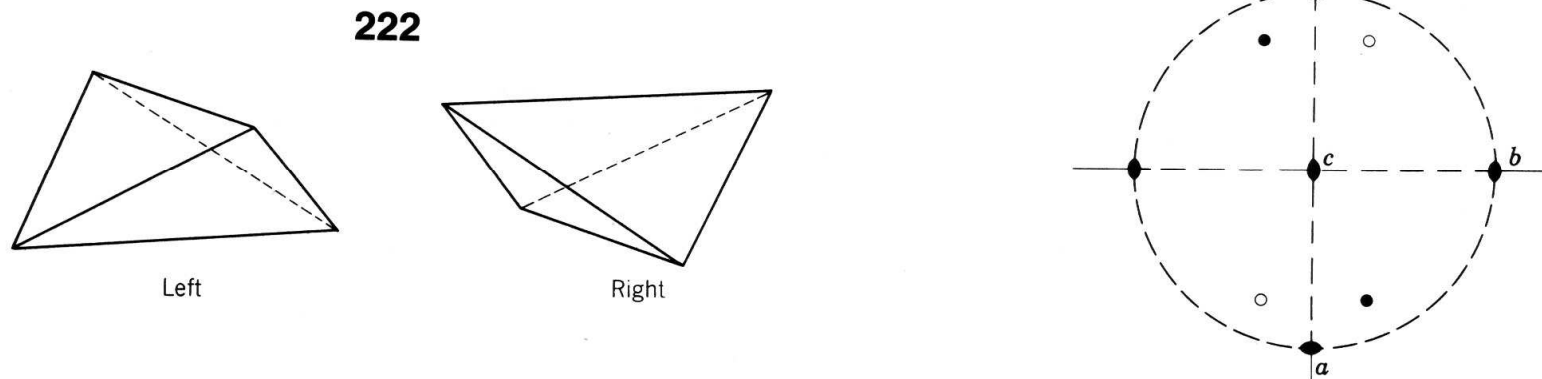
Protože chybí horizontální rovina souměrnosti, vznikají z rombické dipyramidy dvě různocenné pyramidy - horní  $\{hkl\}$  a dolní  $\{hk-1\}$ . Prizmata  $\{0kl\}$  a  $\{h0l\}$  přecházejí na dómata  $\{0kl\}$ ,  $\{0k-1\}$  a  $\{h0l\}$ ,  $\{h0-1\}$ . Pinakoid  $\{001\}$  se mění ve dvě různocenná pedia  $\{001\}$  a  $\{00-1\}$ . Nezměněny zůstávají tvary (pinakoidy a prizmata) rovnoběžné s osou  $z$ .



Hemimorphite

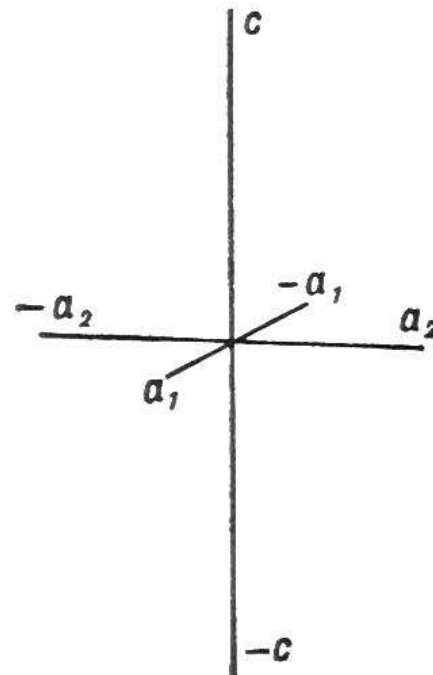
# Oddělení rombicky disfenoidické (222)

Tři 2-četné rotační osy jsou totožné se třemi krystalografickými osami. Roviny souměrnosti zde chybí. Obecná plocha  $\{hkl\}$  se prvky symetrie zobrazí do čtyřplochého tvaru bez středu symetrie - rombického disfenoidu (pravého  $\{hkl\}$  a levého  $\{h-kl\}$ ). Tento tvar má dvě horní plochy, které se střídají s dvěma spodními po  $90^\circ$ . Každá plocha má tvar trojúhelníku. Oba disfenoidy - pravý a levý - jsou navzájem enantiomorfní. Prizmata a pinakoidy se v tomto oddělení zachovávají.



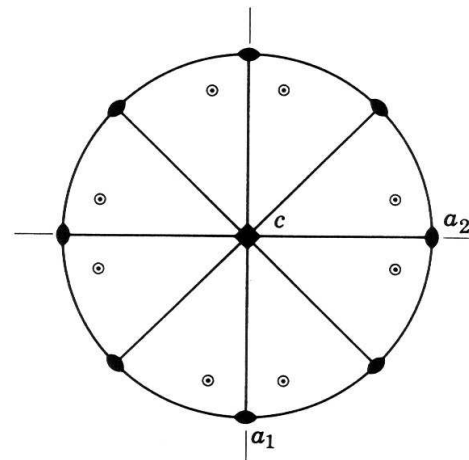
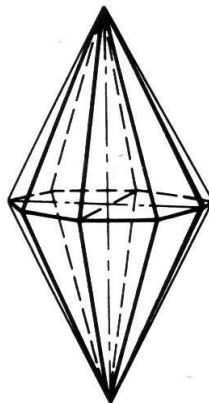
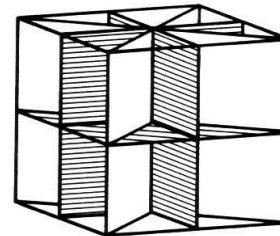
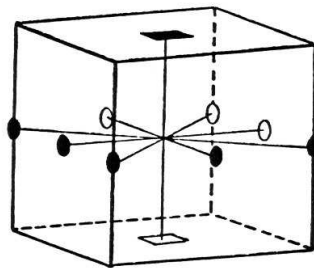
# Tetragonální soustava

Tvary tetragonální soustavy jsou vztahovány ke třem krystalografickým osám, které navzájem svírají pravé úhly. Horizontální (pasné) osy jsou stejně dlouhé a zaměnitelné ( $x, y = a_1, a_2$ ), vertikální osa  $z$  se liší délkou.



## Oddělení ditetragonálně dipyramidální ( $4/m\ 2/m\ 2/m$ )

Vertikální krystalografická osa  $z$  je totožná se 4-četnou rotační osou, na kterou je kolmá horizontální rovina symetrie. Kombinace těchto prvků symetrie vyvozuje existenci  $2 + 2$  vertikálních rovin symetrie, jejichž průnik s horizontální rovinou dává vzniknout  $2 + 2$  dvojčetným rotačním osám. Dvě osy odpovídají krystalografickým osám  $a_1, a_2$  a druhé dvě mezosní s nimi svírají úhel  $45^\circ$ .

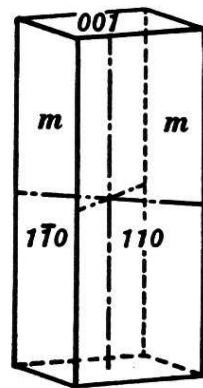


## Oddělení ditetragonálně dipyramidální ( $4/m\ 2/m\ 2/m$ )

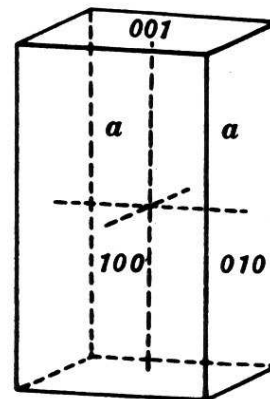
Bazální pinakoid  $\{001\}$  je složen ze dvou paralelních ploch, kolmých k 4-četné ose, tj. rovnoběžných s horizontální rovinou zrcadlení.

Tetragonální prizma  $\{110\}$ ,  $\{100\}$ . Prizma  $\{110\}$  se označuje jako **prvořadé** (protoprizma) a jeho plochy jsou kolmé na 2-četné osy v třetím krystalograficky významném směru. Prizma  $\{100\}$  se označuje jako **druhořadé** (deuteroprizma) a jeho plochy jsou kolmé na 2-četné osy ve druhém krystalograficky významném směru.

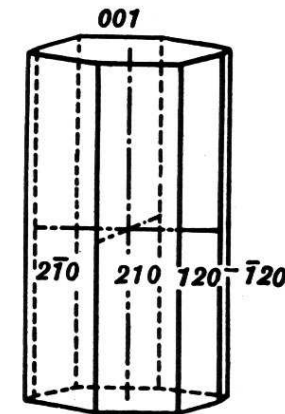
Ditetragonální prizma  $\{hk0\}$  se skládá z osmi pravoúhlých vertikálních ploch, které svírají střídavě ostřejší a tupější úhly.



Prism  $\{110\}$  and pinacoid  $\{001\}$ .



Prism  $\{010\}$  and pinacoid  $\{001\}$ .

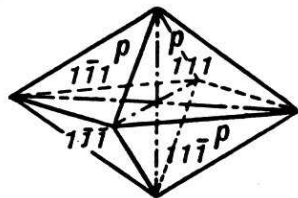


Prism  $\{120\}$  and pinacoid  $\{001\}$ .

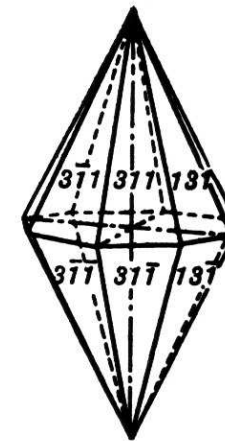
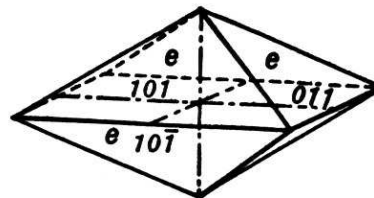
## Oddělení ditetragonálně dipyramidální ( $4/m\ 2/m\ 2/m$ )

Tetragonální dipyramida  $\{hhl\}$ ,  $\{h0l\}$ . Tento tvar se skládá z osmi stejnocenných trojúhelníkových ploch. V případě **prvořadé** tetragonální dipyramidy (protodipyramidy)  $\{hhl\}$  vytínají plochy úseky na všech třech osách (pokud jsou to úseky jednotkové, jde o tvar  $\{111\}$ ). **Druhořadá** tetragonální dipyramida (deuteropyramida)  $\{h0l\}$  je tvar, jehož plochy vytínají úseky na jedné vertikální a jedné horizontální ose. Jednodušeji vyjádřeno - protodipyramida je postavena k pozorovateli rohem, zatímco deuteropyramida pasnou hranou.

Ditetragonální dipyramida  $\{hkl\}$  je obecný tvar složen z 16 trojúhelníkovitých ploch, které vytínají úseky na všech osách, přičemž na pasných osách je vytnuta různá délka .



Tetragonal Dipyramids

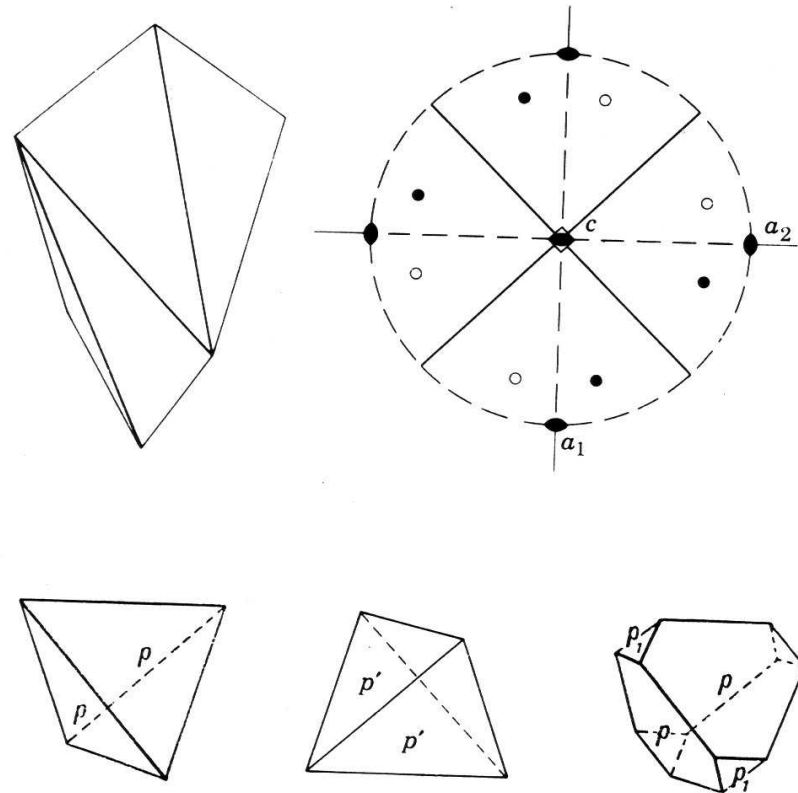


# Oddělení tetragonálně skalenoedrické - $\bar{4}2m$

Osa 4-četná inverzní odpovídá vertikální ose  $z$ , a dvojčetné osy odpovídají pasným osám. Roviny symetrie svírají s pasnými osami úhel  $45^\circ$  a protínají se ve vertikále.

tetragonální disfenoid - rozlišujeme disfenoid kladný  $\{hhl\}$  a záporný  $\{h-hl\}$ . Oba se skládají ze čtyř ploch - rovnoramenných trojúhelníků, které protínají všechny tři osy; obě horizontální ve stejných úsecích.

tetragonální skalenoedr - tento poměrně málo častý tvar se vyskytuje většinou ve spojkách a skládá se z osmi trojúhelníkových ploch. Můžeme rozlišit skalenoedr kladný  $\{hkl\}$  (vyjdeme-li z pravého předního kvadrantu) nebo záporný  $\{h-kl\}$ .

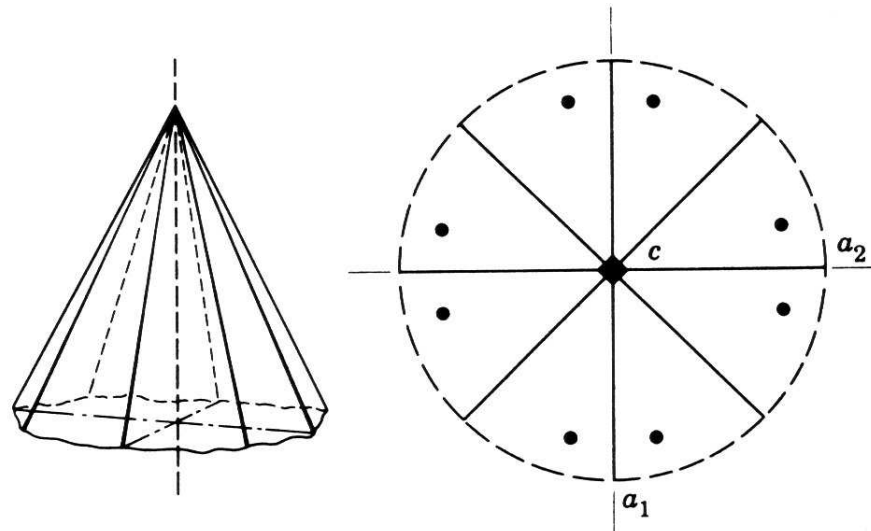




# Oddělení ditetragonálně pyramidální (4mm)

Vertikále odpovídá 4-četná rotační osa (polární), ve které se protínají čtyři roviny symetrie.

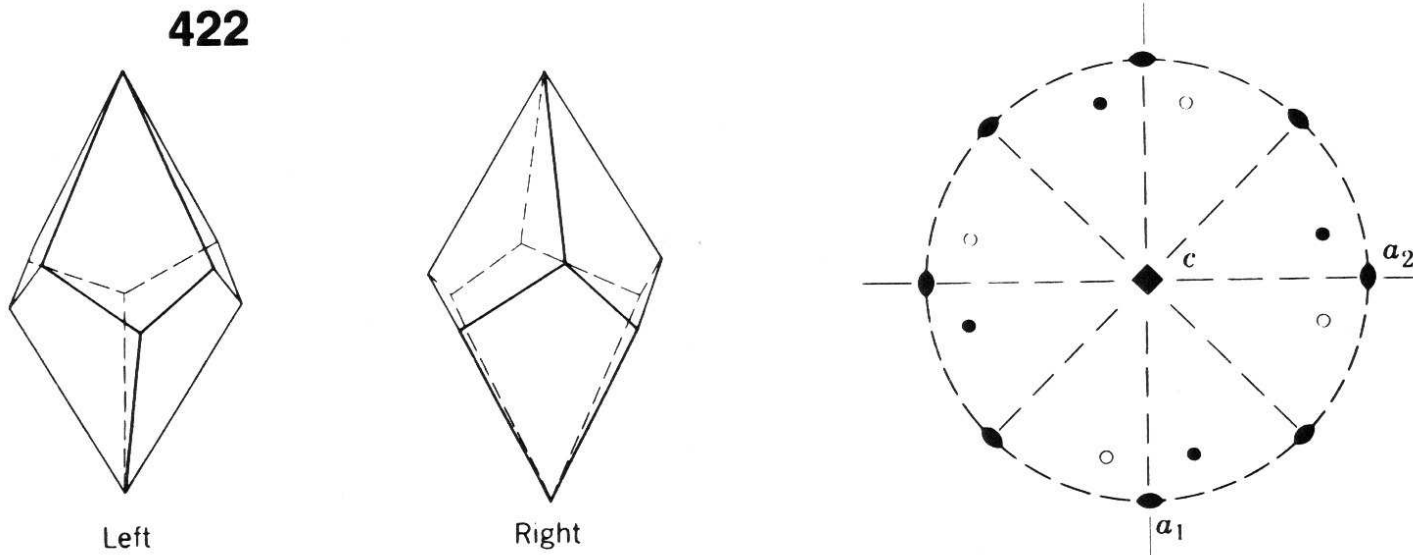
Chybějící horizontální (pasná) rovina symetrie způsobuje existenci různých tvarů v horní a spodní části krystalu. Přítomny mohou být pedia  $\{001\}$  nebo  $\{00-1\}$ . Dále mohou být přítomny tetragonální pyramidy horní -  $\{hhl\}$ ,  $\{h0l\}$ , nebo dolní -  $\{hh-l\}$ ,  $\{h0-l\}$ . Ditetragonální pyramida  $\{hkl\}$  je tvar horní a  $\{hk-l\}$  tvar dolní. Setkat se můžeme také s tetragonálním a ditetragonálním prizmatem.



# Oddělení tetragonálně trapezodrické (422)

Vertikální osa odpovídá ose 4-četné a na ni jsou kolmé čtyři 2-četné osy. Roviny symetrie a střed symetrie chybí.

Typickým tvarem je tetragonální trapezodér, který má osm ploch. Jedná se o enantiomorfní tvar - pravý  $\{hkl\}$  a levý  $\{h-k_l\}$ .

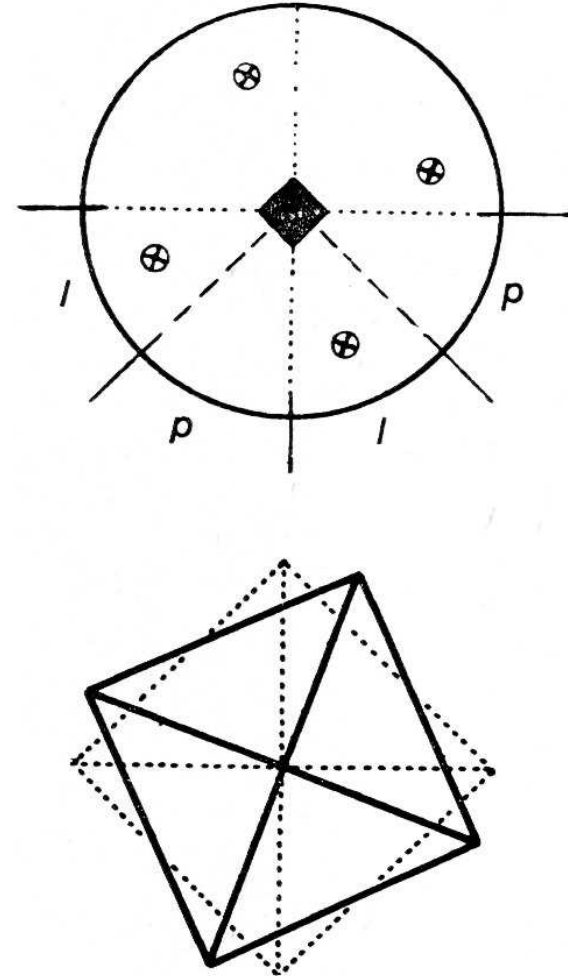


# Oddělení tetragonálně dipyramidální (4/m)

Přítomné prvky symetrie jsou 4-četná rotační osa a na ni kolmá rovina souměrnosti.

Operacemi souměrnosti se obecná plocha  $\{hkl\}$  zobrazí jako čtyři pyramidální plochy nahoře a čtyři souměrně položené dole. Jelikož je dipyramida okolo vertikály pootočená, označuje se jako dipyramida **třetího řádu**

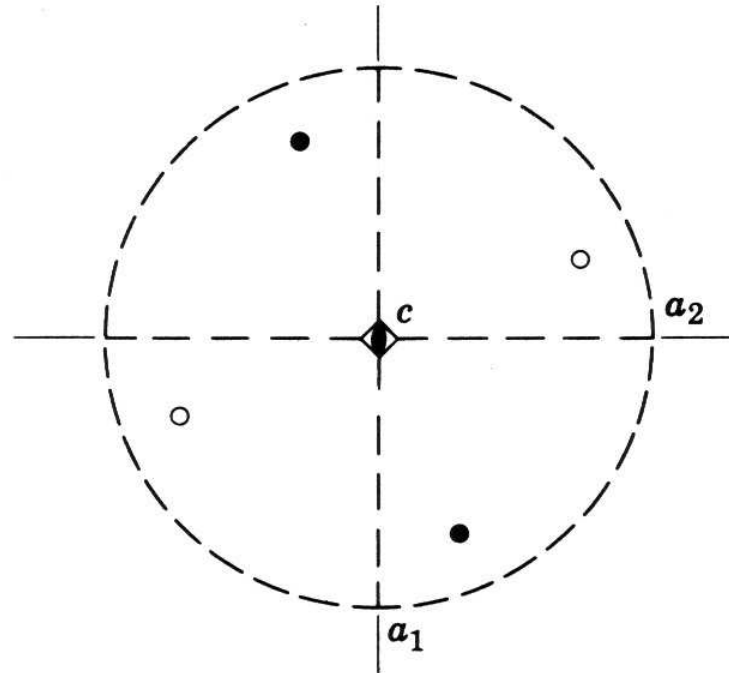
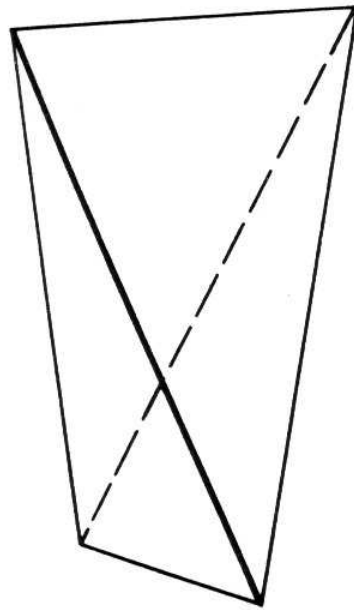
(tritodipyramida) levá  $\{hkl\}$  nebo s výchozí plochou  $\{khl\}$ , kde  $h > k$ , jde o tetragonální tritodipyramidu pravou  $\{khl\}$ . Obdobně se zobrazuje i tritoprizma pravé  $\{kh0\}$  a levé  $\{hk0\}$ . Rozlišení tvarů třetího řádu (tritotvarů) pravých od levých a od tvarů prvořadých a druhořadých je možné pouze na vhodné spojce.



## Oddělení tetragonálně disfenoidické (-4)

Vertikála je totožná s 4-četnou inverzní osou. Další prvky symetrie nejsou přítomny.

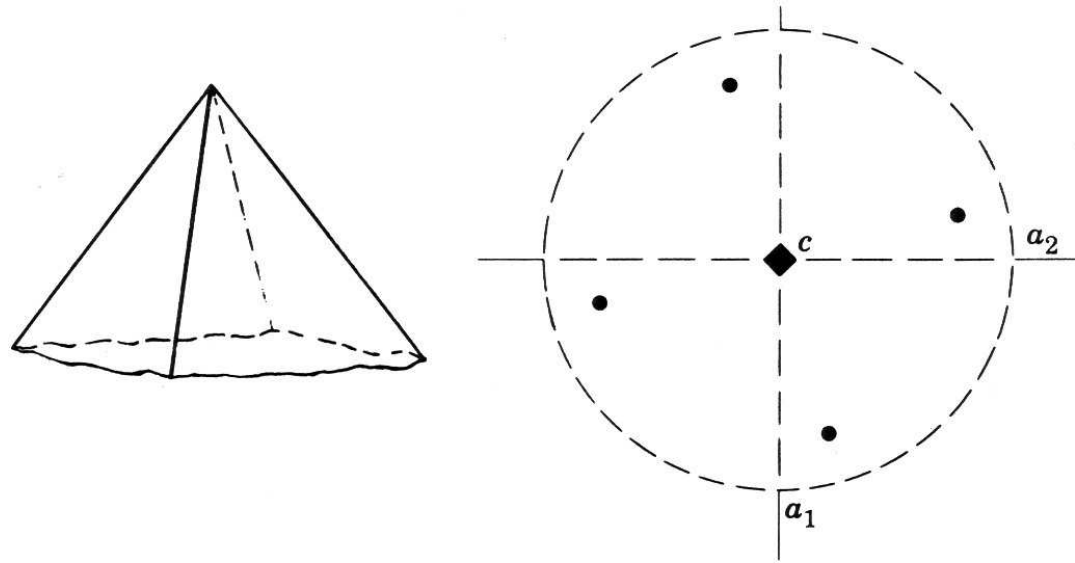
Tetragonální disfenoid je uzavřený tvar, skládající se ze čtyř trojúhelníkových ploch. Výchozí plochou je obecný tvar  $\{hkl\}$ . Přítomen může být i pinakoid nebo tetragonální prizma.



## Oddělení tetragonálně pyramidální (4)

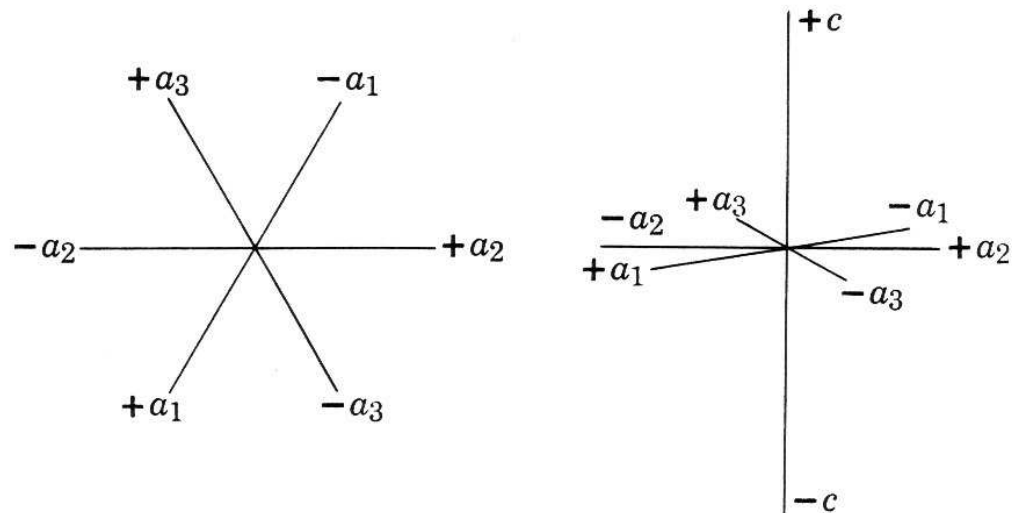
Vertikální osa odpovídá 4-četné rotační ose. Oddělení je hemimorfní.

Obecným tvarem  $\{hkl\}$  je tetragonální pyramida horní, která se liší od tetragonální pyramidy spodní  $\{hk-l\}$  a každá má svoji pravou a levou variantu. Existují zde tedy dva enantiomorfní páry tetragonálních pyramid. Bazální pinakoid se redukuje na dvě pedia - spodní a horní, přítomno může být i prizma. Skutečná symetrie se v tomto oddělení projevuje pouze na spojkách.



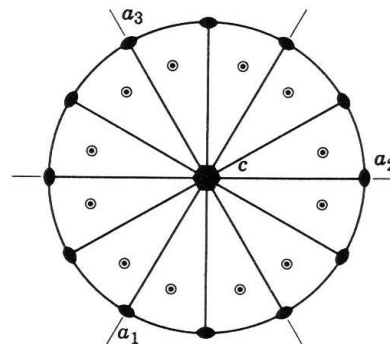
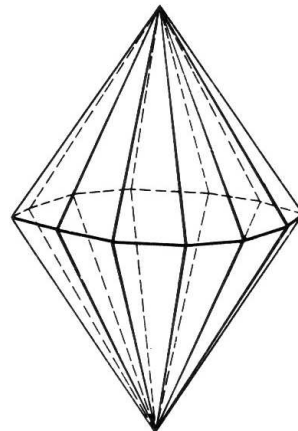
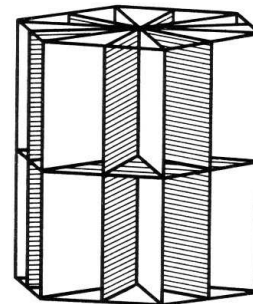
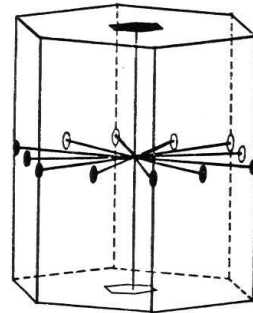
# Hexagonální a trigonální soustava

Tvary hexagonální a trigonální soustavy jsou vztaženy ke čtyřem krystalografickým osám. Tři z nich, označované jako  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , leží v horizontální (pasné) rovině, mají stejnou délku a svírají úhel  $120^\circ$  mezi svými pozitivními konci. Čtvrtá je vertikální osa  $z$ . Indexy ploch musí být čtyřčíselné, obecná forma Bravais - Millerova symbolu je  $(hk-il)$  s  $h > k$ . Třetí číslice v symbolu je sumou prvních dvou, násobená  $-1$ ; jinak vyjádřeno platí:  $h + k + i = 0$ .



## Oddělení dihexagonálně dipyramidální ( $6/m\ 2/m\ 2/m$ )

Vertikální osa je totožná s rotační 6-čtetnou osou, v pasné rovině leží šest 2-četných os - tři souhlasí s krystalografickými osami a tři pólí úhel mezi nimi. Dále je přítomna jedna horizontální rovina symetrie a šest rovin vertikálních.

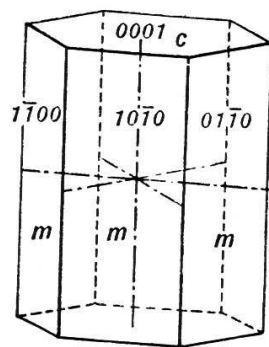


## Oddělení dihexagonálně dipyramidální ( $6/m\ 2/m\ 2/m$ )

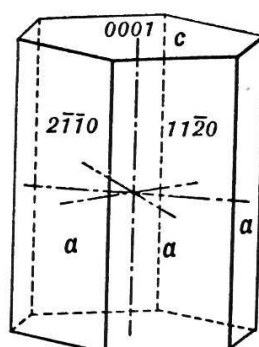
pinakoid  $\{0001\}$  je složen ze dvou rovnoběžných ploch, které jsou kolmé k 6-četné ose a paralelní s horizontální rovinou symetrie.

hexagonální prizma - **prvořadé** (protoprizma)  $\{10\bar{1}0\}$  se skládá ze šesti vertikálních ploch, z nichž každá vytíná dva stejné úseky na horizontálních osách a se třetí je paralelní. Prizma **druhořadé** (deuteroprizma)  $\{11\bar{2}0\}$  se skládá také ze šesti vertikálních ploch, které ale protínají dvě horizontální osy ve stejné délce a třetí osu v délce poloviční. Obě prizmata jsou geometricky ekvivalentní a rozdíl je pouze v jejich orientaci. Vzájemné rozlišení je možné pouze na spojkách.

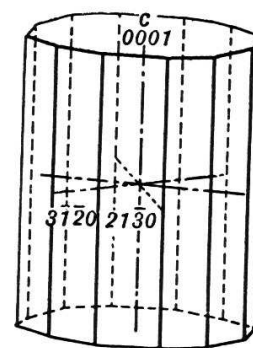
dihexagonální prizma  $\{hk\bar{i}0\}$ . Tento tvar se skládá z dvanácti vertikálních ploch, z nichž každá vytíná na třech pasných osách různé délky.



$\{10\bar{1}0\}$



$\{11\bar{2}0\}$



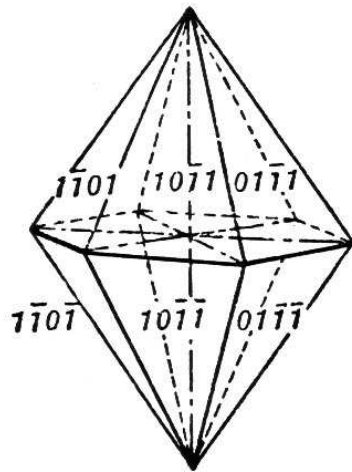
$\{21\bar{3}0\}$



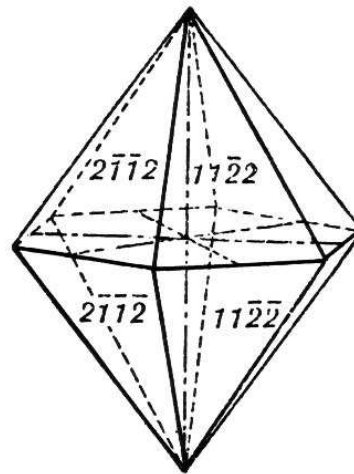
## Oddělení dihexagonálně dipyramidální ( $6/m\ 2/m\ 2/m$ )

hexagonální dipyramida - **prvořadá** (protodipyramida)  $\{h0-hl\}$  je tvořena dvanácti plochami (rovnoramenné trojúhelníky), které protínají dvě horizontální osy a se třetí jsou paralelní. Obecným tvarem je např.  $\{10-11\}$ . Hexagonální dipyramida **druhořadá** (deuterodipyramida)  $\{hh-2hl\}$  je složena ze stejných ploch, ale ty vytínají na dvou pasných osách stejnou vzdálenost a na třetí poloviční. Obecným příkladem je  $\{11-21\}$ .

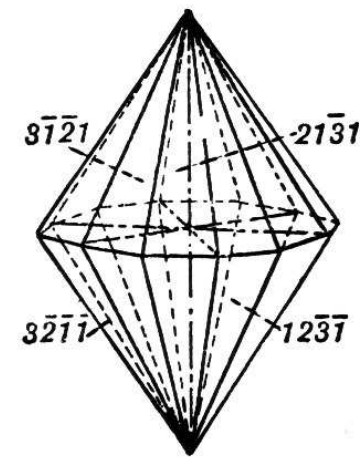
dihexagonální dipyramida  $\{hk-il\}$  je obecný tvar složený z 24 ploch (rovnoramenné trojúhelníky), které vytínají na osách různé délky.



$\{10\bar{1}1\}$



$\{11\bar{2}2\}$

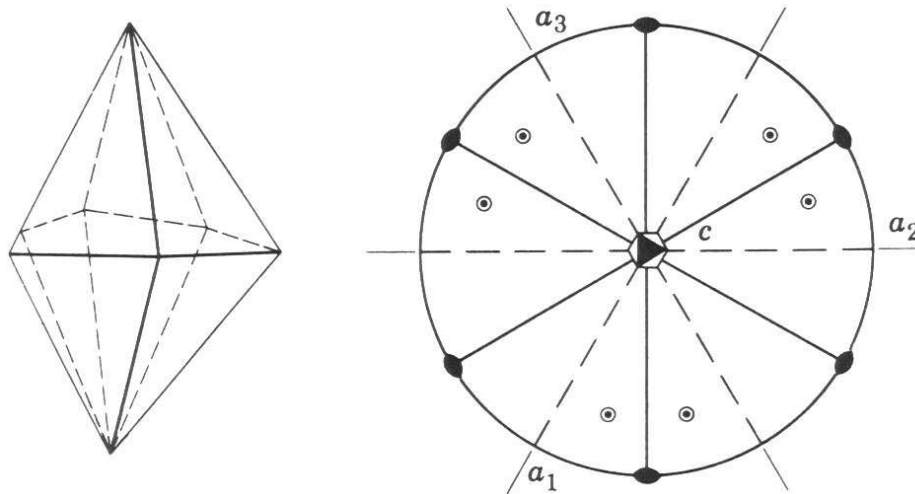


$\{21\bar{3}1\}$

# Oddělení ditrigonálně dipyramidální - $\bar{6}m2$

Osa  $z$  je totožná s 6-četnou inverzní osou (3-četná rotační a kolmá rovina symetrie). Tři roviny souměrnosti se protínají ve vertikální ose a jsou kolmé na tři pasné krystalografické osy. Tři horizontální dvojčetné osy leží v rovinách symetrie.

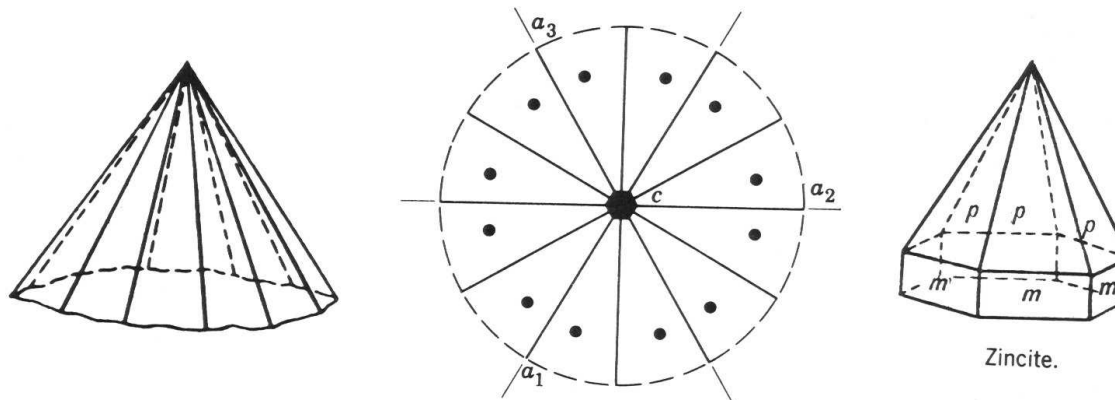
Obecným tvarem v tomto oddělení je ditrigonální dipyramida  $\{hk-il\}$  obsahující 12 ploch - 6 horních a 6 spodních. Dalšími tvary, které mohou být přítomny jsou: pinakoid, trigonální prizma, hexagonální prizma, ditrigonální prizma, trigonální dipyramida a hexagonální dipyramida.



# Oddělení dihexagonálně pyramidální (6mm)

Osa  $z$  odpovídá 6-četné rotační ose, kterou protíná 6 vertikálních rovin symetrie.

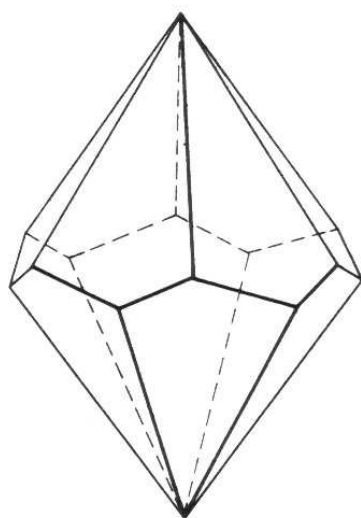
Krystalové tvary se díky chybějící horizontální rovině souměrnosti liší ve spodní a ve vrchní části krystalu - dihexagonální pyramidu rozlišujeme horní  $\{hk-il\}$  a spodní  $\{hk-i-l\}$ . Tvary hexagonálních pyramid rozlišujeme jako vrchní prvořadá  $\{h0-hl\}$ , spodní prvořadá  $\{h0-h-l\}$ , vrchní druhořadá  $\{hh-2hl\}$  a spodní druhořadá  $\{hh-2h-l\}$ . Podobně jako v tetragonální soustavě můžeme jednotlivé tvary rozlišit jedině na vhodných spojkách. Bazální pinakoid se mění na dvě pedia  $\{0001\}$  a  $\{000-1\}$ . Přítomna mohou být dále hexagonální a dihexagonální prizmata.



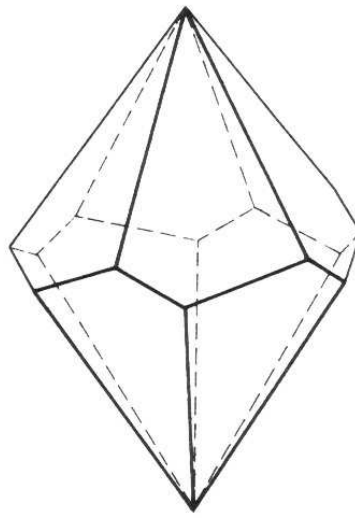
# Oddělení hexagonálně trapezodrické (622)

Osy symetrie jsou uspořádány jako v holoedrickém oddělení, ale chybí roviny a střed symetrie.

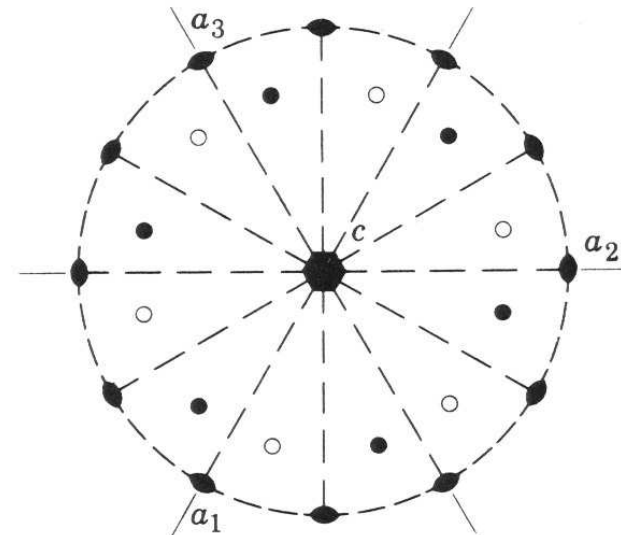
Hexagonální trapezodrický tvar je enantiomorfní tvar - pravý  $\{hk-il\}$  a levý  $\{ih-kl\}$ , každý s 12 trapézovými plochami. Z dalších tvarů může být přítomen pinakoid, hexagonální prizma, dipyramidy a dihexagonální prizma.



Left



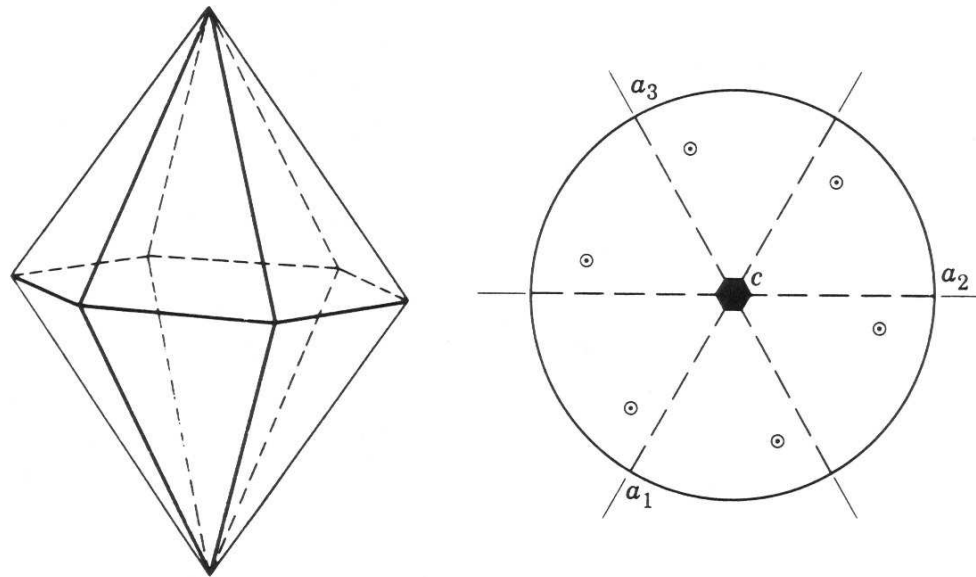
Right



## Oddělení hexagonálně dipyramidální (6/m)

Z prvků symetrie je přítomna pouze 6-četná rotační osa totožná s vertikálou a na ni kolmá rovina symetrie.

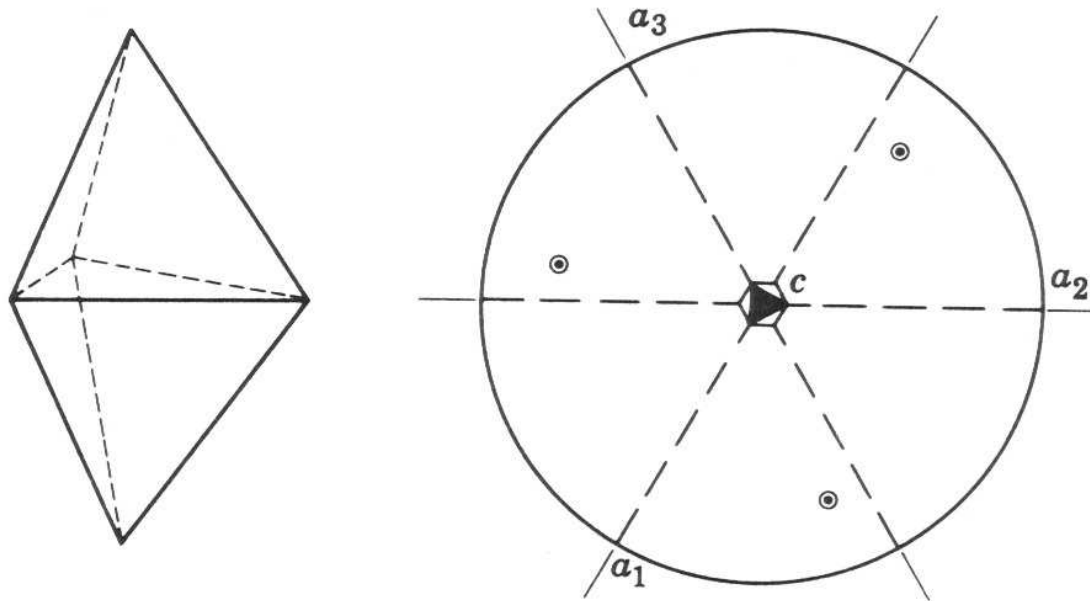
Obecným tvarem tohoto oddělení je hexagonální dipyramida  $\{hk-il\}$  pozitivní a  $\{kh-il\}$  negativní. Třetířadé postavení této dipyramidy (tritodipyramidy) lze rozeznat na vhodných spojkách. Další přítomné tvary mohou být pinakoid a prizma.



# Oddělení trigonálně dipyramidální - $\bar{6}$

Prvkem symetrie je 6-četná inverzní osa, což odpovídá kombinaci 3-četné rotační osy a na ni kolmé roviny symetrie.

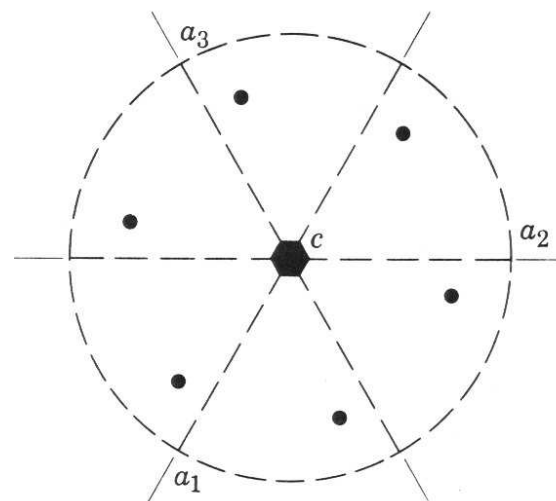
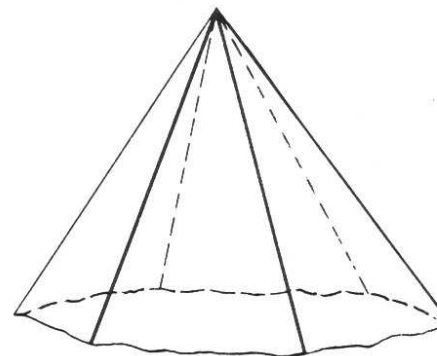
Obecným tvarem je trigonální dipyramida, která je tvořena šesti plochami - tři horní a tři dolní. Symetrie tohoto oddělení nedovoluje hexagonální tvary, proto se vyskytuje pouze trigonální prizma, trigonální dipyramidy a pinakoid.



## Oddělení hexagonálně pyramidální (6)

Vertikální osa odpovídá 6-četné polární rotační ose, jiné prvky symetrie nejsou přítomny.

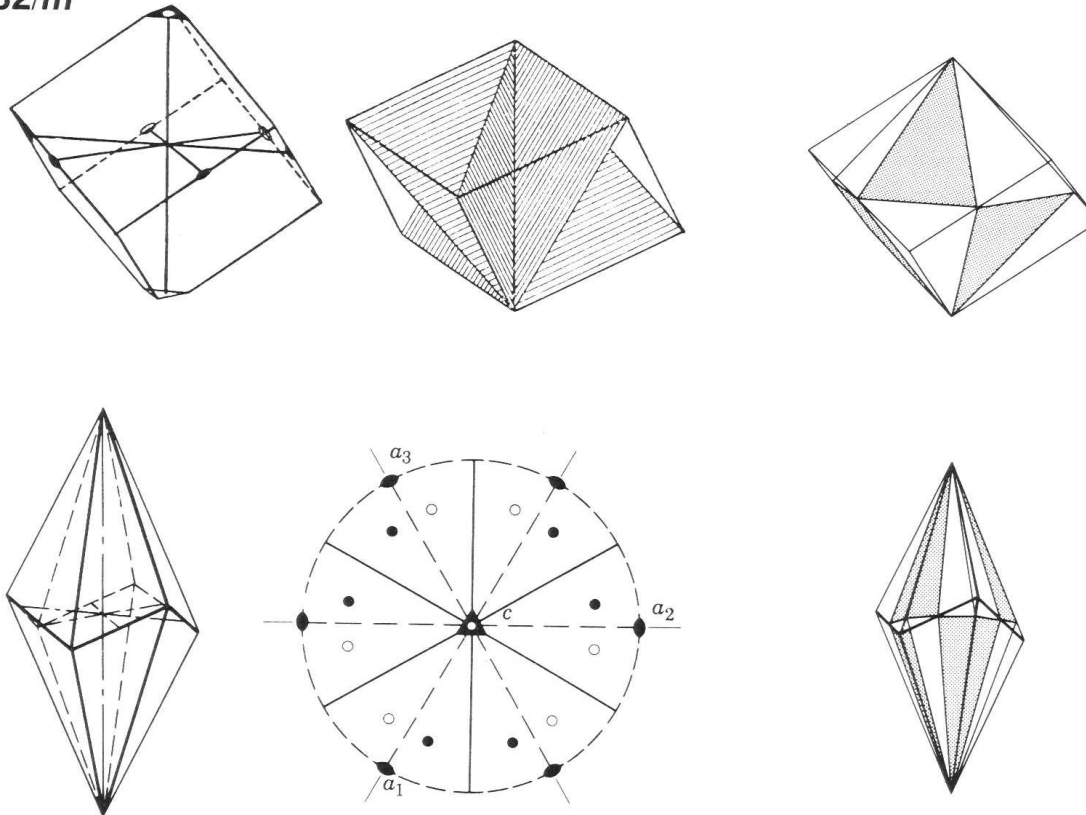
Všechny hexagonální tritopyramidy jsou různocenné nezávislé tvary : pravá horní {hk-il}, pravá dolní {hk-i-l}, levá horní {i-k-hl} a levá dolní {i-k-h-l}. Dále mohou být přítomny pediony a hexagonální prizmata.



# Oddělení ditrigonálně skalenoedrické - $\bar{3}2/m$

Ose  $z$  odpovídá 3-četná inverzní osa (kombinace 3-četné rotační osy a středu symetrie), tři 2-četné osy odpovídají třem pasným osám. Tři vertikální roviny symetrie v meziosních směrech jsou kolmé na 2-četné osy.

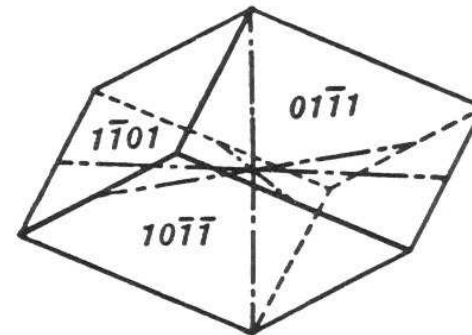
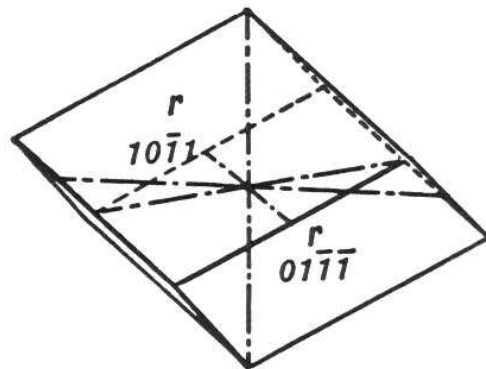
$\bar{3}2/m$





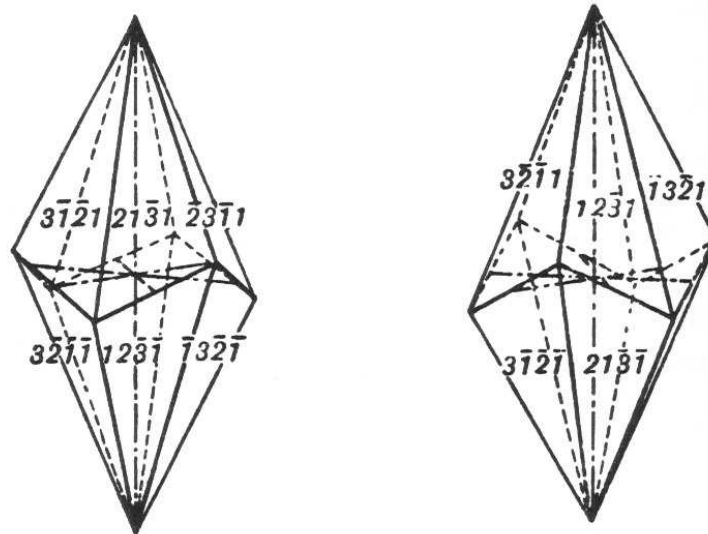
## Oddělení ditrigonálně skalenoedrické ( $-32/m$ )

romboedr (klenec) pozitivní  $\{h0-hl\}$  (horní plochou k pozorovateli) a negativní  $\{0h-hl\}$  (horní hranou k pozorovateli). Tvar se skládá ze šesti ploch kosočtvercového tvaru, které se stýkají v polárních hranách a klikatě běžících pasných hranách. Odvození můžeme provést od hexagonální dipyramidy střídavým vynecháváním horních a dolních ploch. Romboedr si můžeme představit také jako krychli, stlačenou ve směru 3-četné osy.



## Oddělení ditrigonálně skalenoedrické ( $-32/m$ )

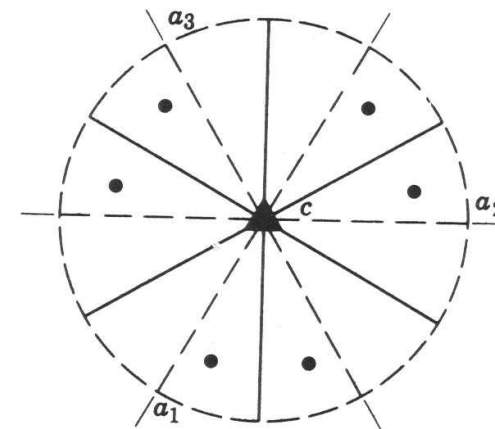
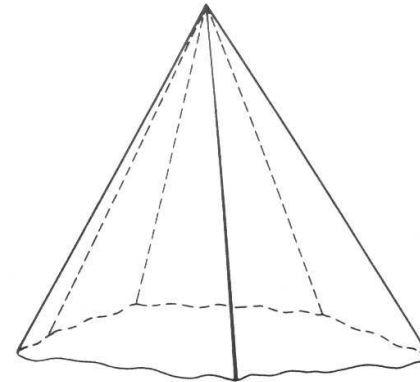
ditrigonální skalenoedr pozitivní  $\{hk-il\}$  a negativní  $\{kh-il\}$ . Tvar se skládá z 12 ploch (skaleničských trojúhelníků), kdy polární hrany jsou střídavě delší a kratší. Průběh pasných hran je klikatý tzn., že plochy stýkající se v jedné hraně neleží nad sebou, ale jsou vůči rovníkové rovině stočeny kolem 2-četné osy střídavě vpravo a vlevo. Pozitivní skalenoedr (výchozí plocha v kladném horním oktantu) má proti pozorovateli nahoře vpředu hranu delší a tupější, negativní skalenoedr má proti pozorovateli hranu kratší a ostřejší. Běžným skalenoedrem (např. u kalcitu) je  $\{21-31\}$ .



## Oddělení ditrigonálně pyramidální ( $3m$ )

S vertikálou souhlasí 3-četná osa rotační, ve které se protínají tři vertikální roviny souměrnosti, které jsou kolmé na krystalografické osy.

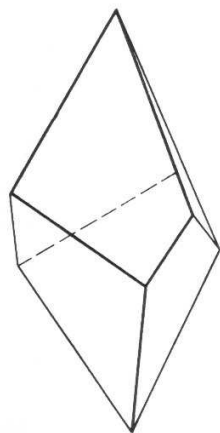
Plochy na vrchní části krystalu patří jinému tvaru než ve spodní části krystalu, protože chybí horizontální rovina souměrnosti a dvojčetné osy. Existují zde čtyři ditrigonální pyramidy s indexy  $\{hk-il\}$ ,  $\{kh-il\}$ ,  $\{hk-i-l\}$  a  $\{kh-i-l\}$ . Prvořadě hexagonální prizma se zobrazí jako dvě různocenná trigonální prizmata. Dále mohou být přítomny čtyři trigonální pyramidy  $\{h0-hl\}$ ,  $\{0h-hl\}$ ,  $\{0h-h-l\}$  a  $\{h0-h-l\}$ , ditrigonální prizmata a pédia.



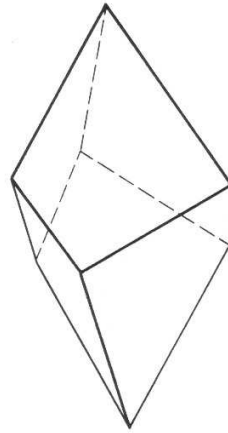
## Oddělení trigonálně trapezodrické (32)

S osou  $z$  je totožná 3-četná rotační osa a na ni jsou kolmé tři 2-četné osy ve směru krystalografických os.

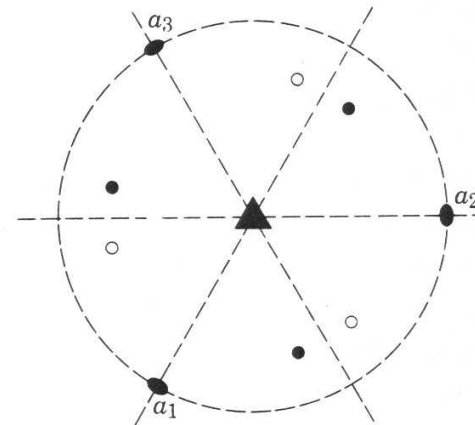
Existují čtyři trigonální trapezodry, které se skládají ze šesti ploch (asymetrické různoběžníky - trapezy), které se sbíhají v klikatě běžících pasných hranách. Rozlišujeme tyto trapezodry - pravý kladný  $\{hk-il\}$ , levý kladný  $\{i-k-hl\}$ , záporný pravý  $\{-ki-hl\}$  a záporný levý  $\{kh-il\}$ . Z dalších tvarů mohou být přítomny: pinakoid, trigonální prizma, hexagonální prizma, ditrigonální prizma a romboedr.



Left



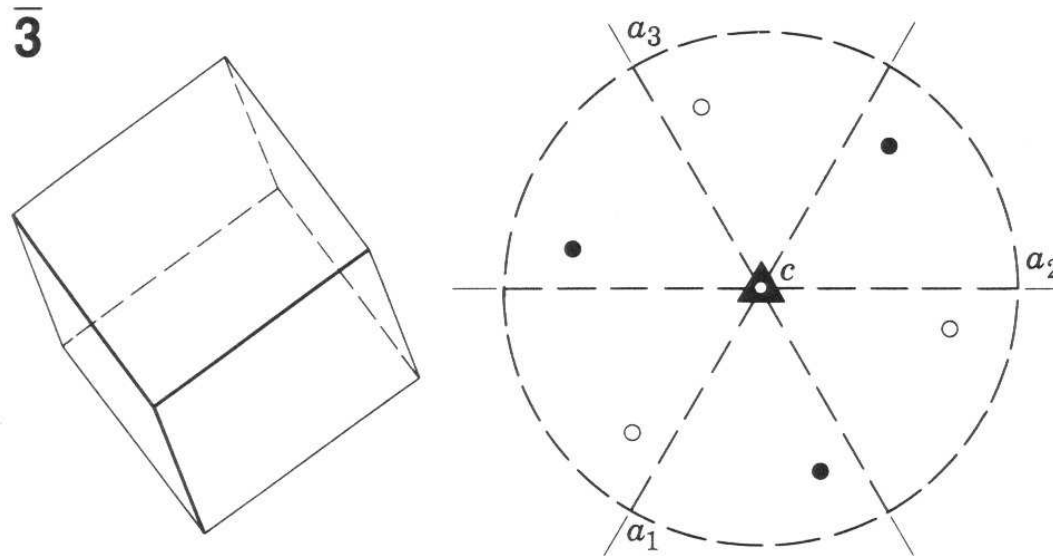
Right



## Oddělení romboedrické - $\bar{3}$

Vertikální osa je totožná s 3-četnou osou inverzní tj. kombinace 3-četné rotační a středu symetrie.

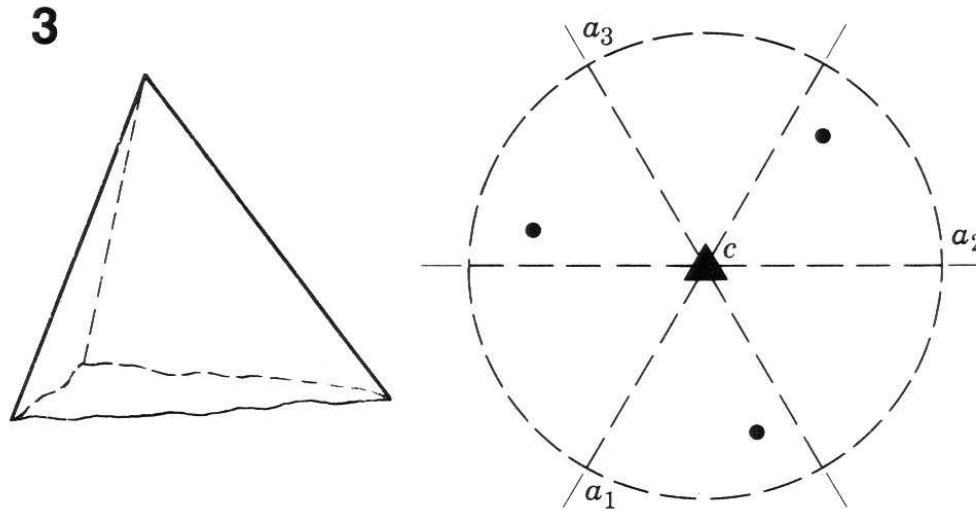
Plocha v obecné poloze se zobrazí jako romboedr, přítomno může být hexagonální prizma a bazální pinakoid.



## Oddělení trigonálně pyramidální (3)

Jediným prvkem symetrie je 3-četná osa ve směru vertikály.

Obecným tvarem je trigonální pyramida  $\{hk-il\}$ . V kombinaci s ní se můžou vyskytovat pédia a trigonální prizmata.



# Kubická soustava

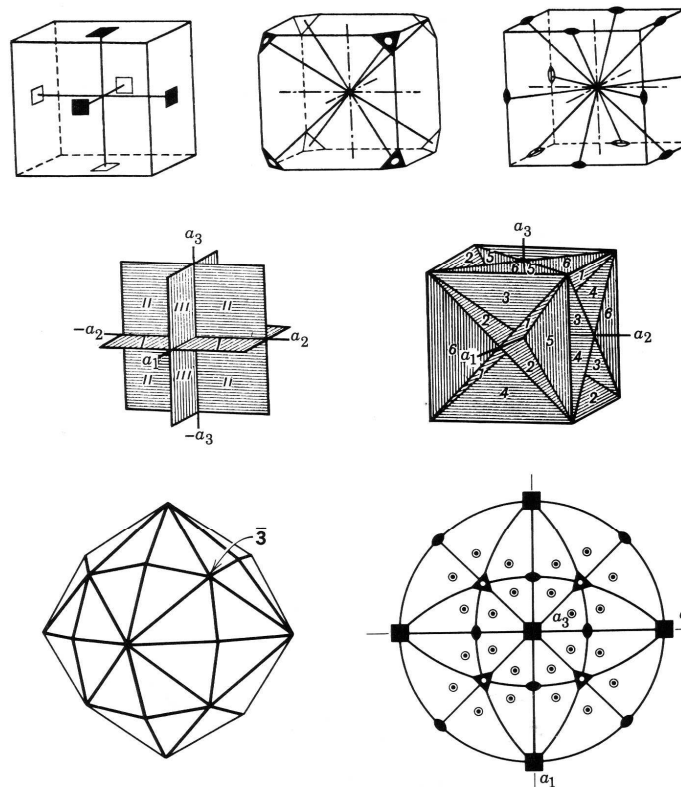
Tvary kubické soustavy se vztahují ke třem navzájem kolmým osám stejné délky. Pouze formálně se tyto stejnocenné osy označují  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ . V Hermann - Mauguinově značení je první symbol vztažen ke směru krystalografických os tzn., že jsou přítomny tři 4-četné osy rotační nebo inverzní, nebo tři 2-četné osy. Druhý symbol odpovídá směru čtyř diagonálních os trojčetné symetrie mezi rohy krychle (směr tělesové úhlopříčky krychle). Třetí symbol odpovídá prvku symetrie ve směru protilehlých hran krychle (celkem šest směrů).

Při označování tvarů se vybírá symbol, kde jsou  $h$ ,  $k$ ,  $l$  kladné (pokud je to možné).

**V kubické soustavě mohou existovat pouze uzavřené tvary, které se nevyskytují v jiných soustavách a naopak, tvary z jiných soustav (ač uzavřené) se nemohou vyskytovat v odděleních kubické soustavy.**

# Oddělení hexaoktaedrické ( $4/m \bar{3} 2/m$ )

Krystalovým osám odpovídají tři 4-četné rotační osy na něž jsou kolmé tři osní roviny souměrnosti. V diagonálních směrech leží čtyři 3-četné inverzní osy symetrie. Šest 2-četných rotačních os pólí úhly mezi krystalografickými osami a k nim je kolmých šest diagonálních rovin souměrnosti. Přítomen je i střed symetrie. Toto oddělení má nejvyšší počet prvků symetrie, lze je označit jako nejvýše symetrické.

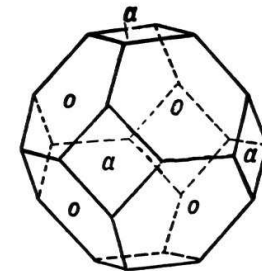
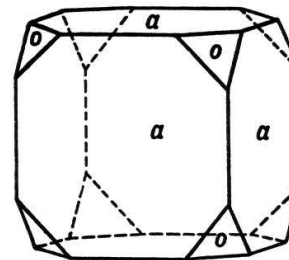
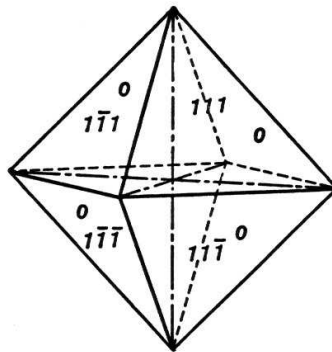
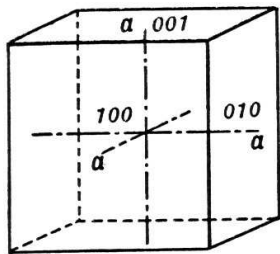




# Oddělení hexaoktaedrické ( $4/m \bar{3} 2/m$ )

Hexaedr (krychle)  $\{100\}$  je tvar se šesti čtvercovými plochami, které navzájem svírají úhel  $90^\circ$ . Každá plocha protíná jednu krystalografickou osu, s dalšími dvěmi je rovnoběžná.

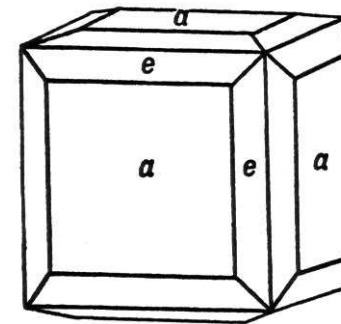
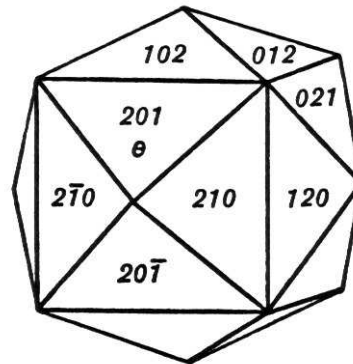
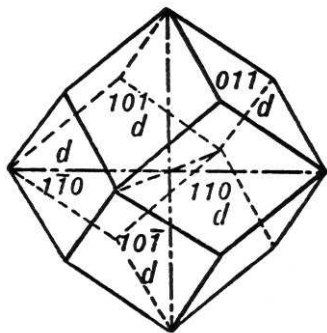
Oktaedr  $\{111\}$  je složen z osmi ploch (rovnostředných trojúhelníků), kdy každá z nich protíná všechny krystalografické osy ve stejných úsecích. Ve spojkách s krychlí utíná oktaedr symetricky její rohy.



## Oddělení hexaoktaedrické ( $4/m \bar{3} 2/m$ )

rombický dodekaedr (dvanáctistěn kosočtverečný)  $\{110\}$  má 12 kosočtvercových ploch, která vytínají na dvou osách stejné úseky a s třetí osou jsou rovnoběžné. Na spojkách s krychlí nebo oktaedrem utínají plochy dodekaedru hrany krychle i oktaedru.

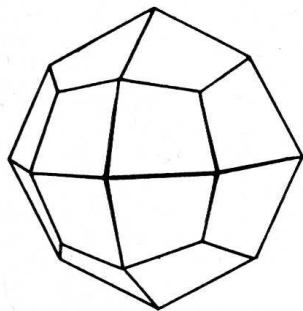
tetrahexaedr (čtyřadvacetistěn krychlový)  $\{hk0\}$  se skládá z 24 rovnostranných trojúhelníků. Každá plocha vytíná dvě osy v různém poměru a s třetí je rovnoběžná. řečeno jinak, nad každou plochou krychle je „tetragonální pyramida“ vyšší nebo nižší, podle poměru h:k.



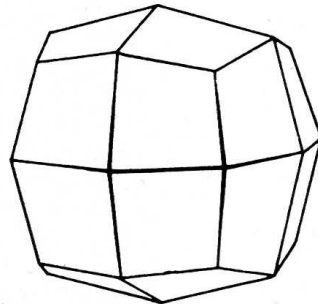
## Oddělení hexaoktaedrické ( $4/m \bar{3} 2/m$ )

tetragon trioktaedr (čtyřadvacetistěn deltoidev)  $\{hll\}$  má 24 ploch, kdy každá protíná jednu osu jednotkově a další dvě ve stejném násobku té první. Nejobecnějším tvarem je  $\{211\}$ .

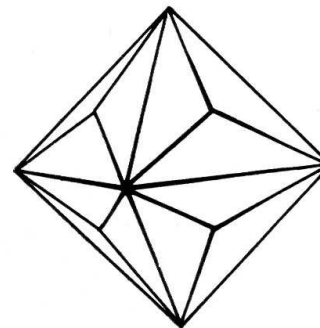
trigon trioktaedr (čtyřadvacetistěn trojúhelníkový)  $\{hhl\}$  má 24 trojúhelníkovitých ploch, kdy každá vytíná dvě osy jednotkově a na třetí libovolný násobek. Různé tvary mají různý sklon ploch, nejběžnější je  $\{221\}$ .



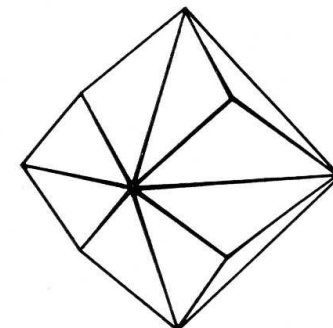
**$\{211\}$**



**$\{411\}$**



**$\{221\}$**

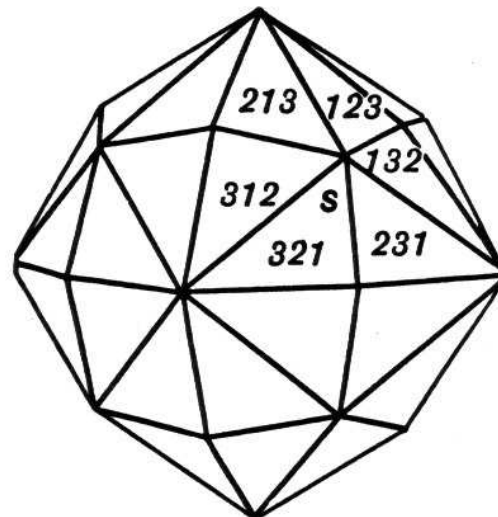


**$\{441\}$**

## Oddělení hexaoktaedrické ( $4/m \bar{3} 2/m$ )

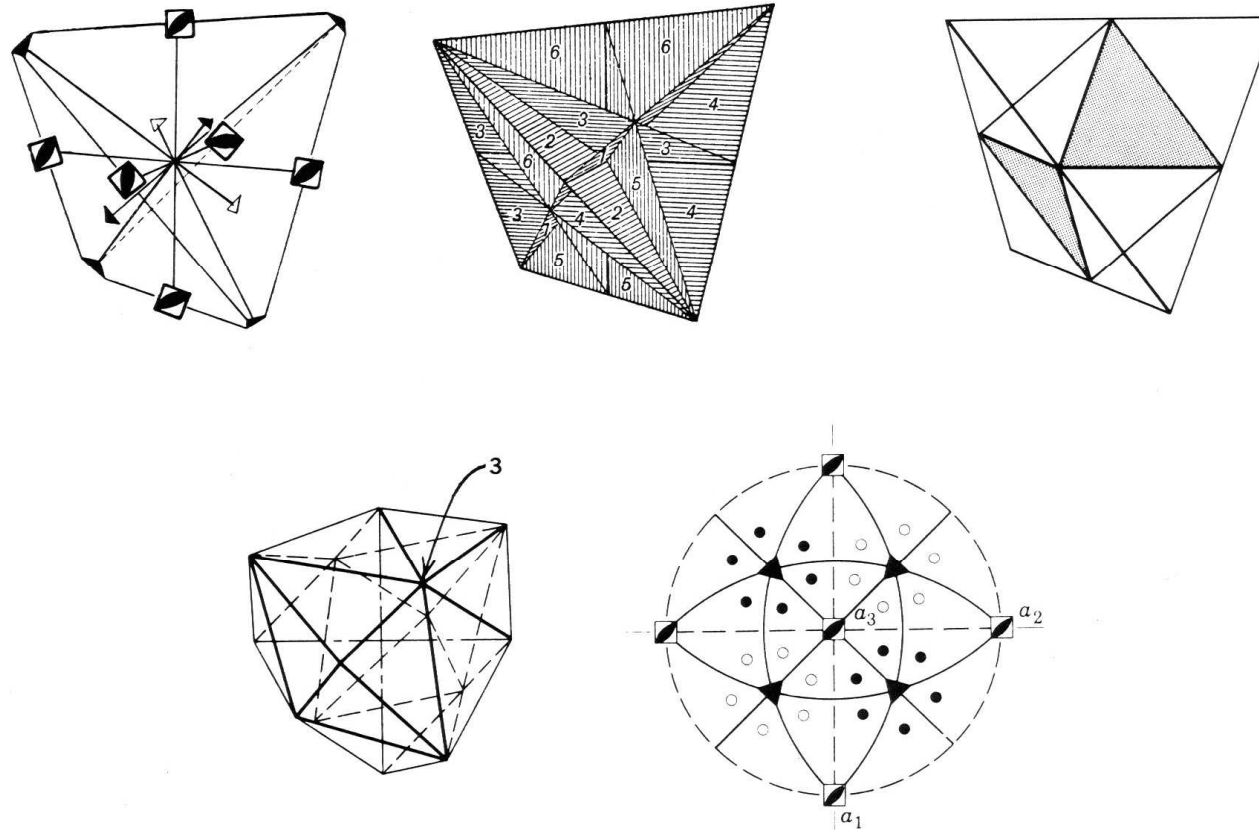
Hexaoktaedr (osmačtyřicetistěn)  $\{hkl\}$ . Tento obecný tvar je tvořen 48 trojúhelníkovými plochami, které vytínají všechny tři osy v různých délkách. Obecným tvarem je  $\{321\}$ .

Pro identifikaci tvarů je v tomto oddělení nutné nejdříve určit směr krystalografických os (4-četné osy). Po provedení orientace krystalu v souřadném systému lze snadno identifikovat plochy krychle, oktaedru a dodekaedru, protože vytínají jednu, dvě nebo tři osy v jednotkových vzdálenostech.



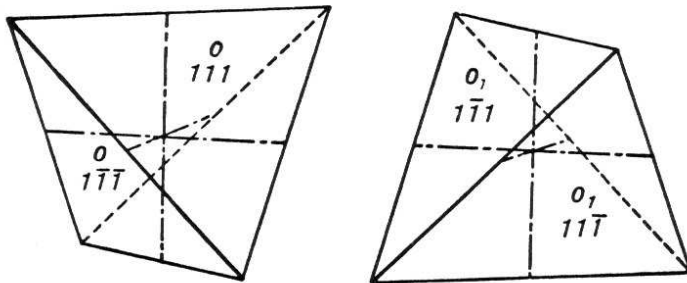
# Oddělení hexatetraedrické - $\bar{4}3m$

Tři krystalografické osy odpovídají třem osám 4-čtým inverzním. Čtyři osy diagonální jsou totožné s 3-čtými osami a zároveň je přítomno šest diagonálních rovin symetrie.

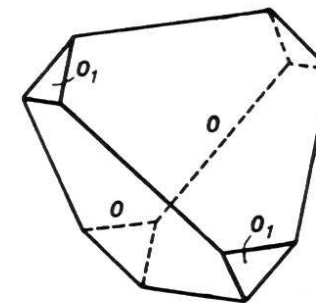


## Oddělení hexatetraedrické - $\bar{4}3m$ )

tetraedr pozitivní  $\{111\}$ , negativní  $\{1\bar{1}\bar{1}\}$ . Tvar je složen ze 4 rovnostranných trojúhelníků, z nichž každý vytíná na všech krystalových osách stejné úseky. Tvar lze odvodit z oktaedru střídavým vynecháváním horních a dolních ploch. Pozitivní a negativní tetraedr jsou geometricky ekvivalentní tvary a lze je rozeznat jen na spojkách. V případě, že jsou na stejném krystalu oba tvary vyvinuty rovnoměrně, nerozlišíme je od oktaedru, pouze v případě kdy se liší kvalita ploch obou tvarů (lepty, rýhování, lesk).



Tetrahedrons  
Positive  $\{111\}$  and negative  $\{1\bar{1}\bar{1}\}$ .



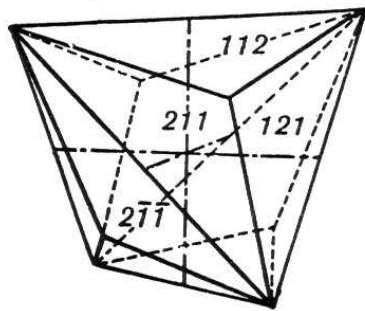
Combination (+) and (-).

## Oddělení hexatetraedrické - $\bar{4}3m$ )

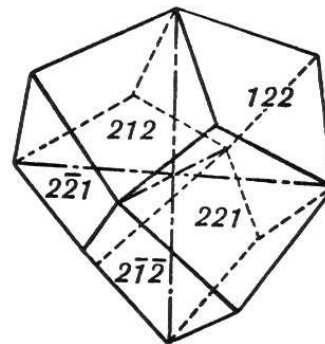
trigon tritetraedr pozitivní  $\{hkk\}$ , negativní  $\{h-kk\}$ . Obě dvanáctiploché formy do sebe přecházejí pootočením o  $90^\circ$ .

tetragon tritetraedr pozitivní  $\{hhl\}$ , negativní  $\{h-hl\}$ . Jde o dvanáctiploché tvar, kde se místo jedné plochy tetraedru vyskytují 4 čtyřúhelníkové plochy.

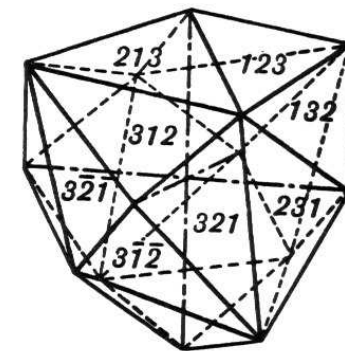
hexatetraedr pozitivní  $\{hkl\}$ , negativní  $\{h-kl\}$ . Tvar má 24 ploch a můžeme si ho představit jako tetraedr, jehož plocha byla nahrazena šesti jinými.



Tristetrahedron.  
(trigon-tritetrahedron)  $\{hhl\}$ .



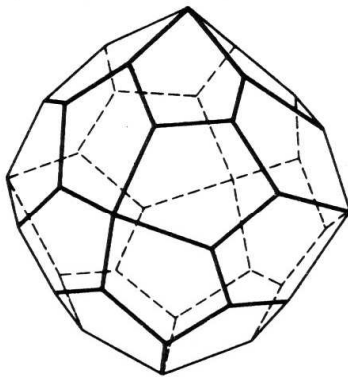
Deltoid dodecahedron  
(tetragon-tritetrahedron)  $\{hll\}$ .



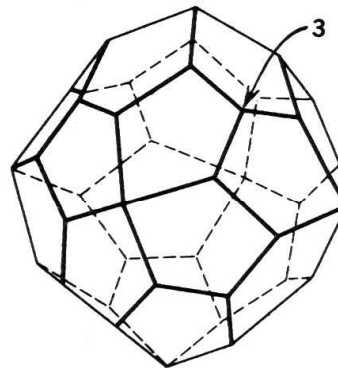
Positive hextetrahedron  
(hexatetrahedron)  $\{hkl\}$ .

# Oddělení pentagon - trioktaedrické (432)

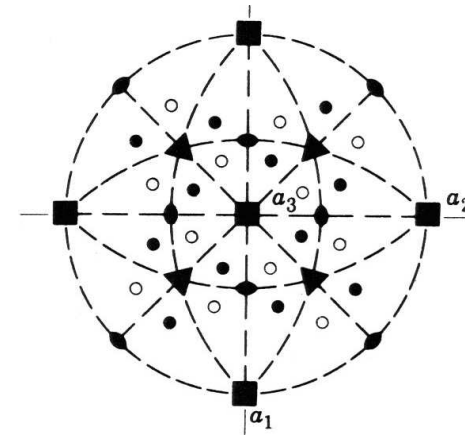
V tomto oddělení najdeme nejúplnější možnou kombinaci os symetrie bez přítomnosti rovin a středu symetrie. Z obecné plochy vzniká pravý {hkl} nebo levý {khl} enantiomorfní pentagon - trioktaedr (čtyřicetistěn pětiúhelníkový).



Left



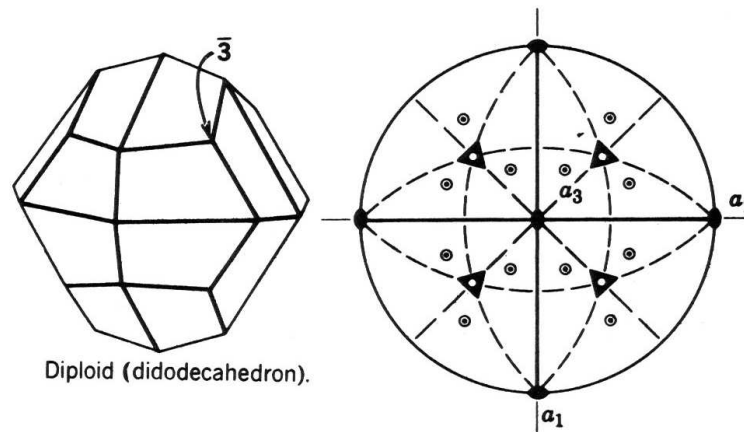
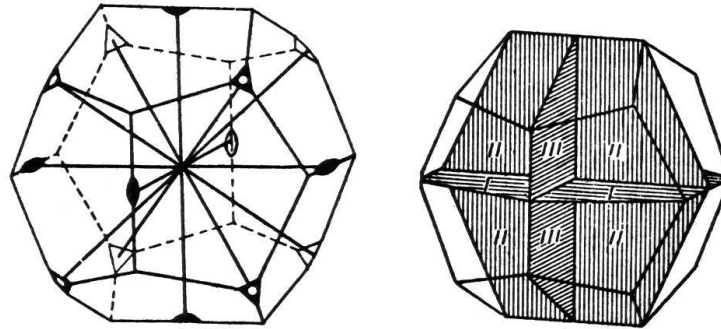
Right





# Oddělení didokaedrické ( $2/m \bar{3}$ )

Tři krystalografické osy odpovídají 2-četným osám rotace a na ně jsou kolmé tři osní roviny, které jsou i rovinami symetrie. Ve směru tělesových úhlopříček krychle leží čtyři 3-četné inverzní osy.

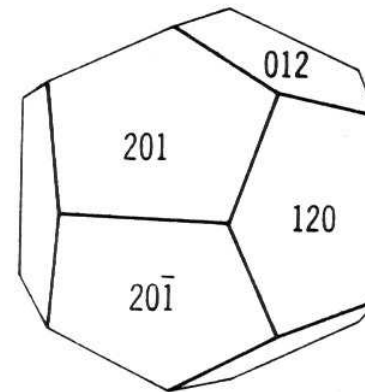
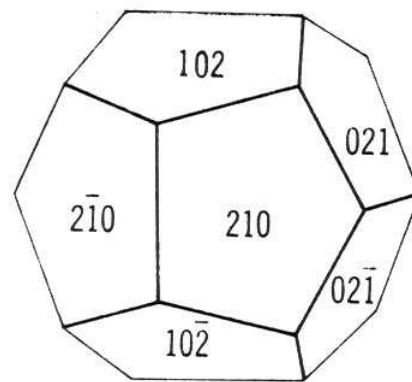


Diploid (didodecahedron).

## Oddělení didokaedrické ( $2/m \bar{3}$ )

pentagon - dodekaedr  $\{hk0\}$  pozitivní,  $\{kh0\}$  negativní. Tvar se skládá z 12 pětiúhelníkových ploch, kdy každá plocha protíná jednu osu v jednotkové vzdálenosti, druhou osu v násobku jednotkové vzdálenosti a s třetí osou je rovnoběžná. Pozitivní tvar převedeme do negativního otočením o  $90^\circ$ . Nejběžnějším tvarem je  $\{210\}$ .

didokaedr pozitivní  $\{hkl\}$ , negativní  $\{khl\}$ . Vznikne z obecně orientované plochy a má 24 ploch, které odpovídají polovině ploch na hexaoktaedru. Tvar si lze představit i jako dvě plochy nad plochou pentagon - dodekaedru.



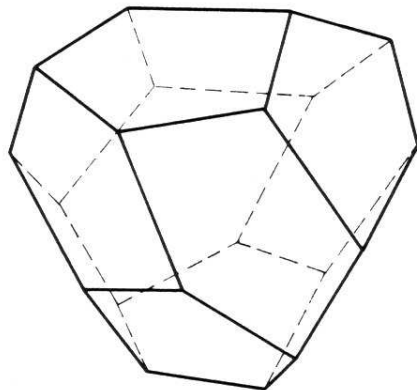
## Oddělení didokaedrické ( $2/m \bar{3}$ )

Vedle předcházejících tvarů se můžeme na spojkách tohoto oddělení setkat i s krychlí, dodekaedrem, oktaedrem, tetragon - trioktaedrem a trigon - trioktaedrem. Na některých krystalech jsou tyto tvary tak dobře vyvinuty, že je nerozeznáme od tvarů oddělení  $4/m-32/m$ . Obvykle ale vykazují plochy těchto tvarů např. rýhování nebo leptové znaky, což prozrazuje nižší symetrii.

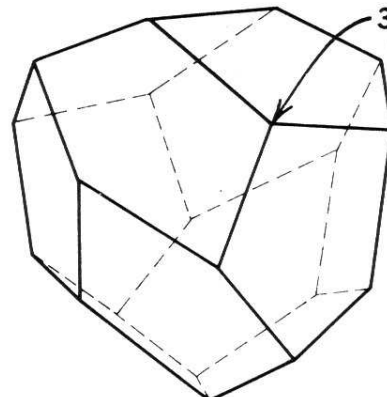
## Oddělení pentagon - tritetraedrické (23)

Krystalografickým osám odpovídají 2-četné rotační osy a čtyři diagonální směry jsou totožné s 3-četnými rotačními osami.

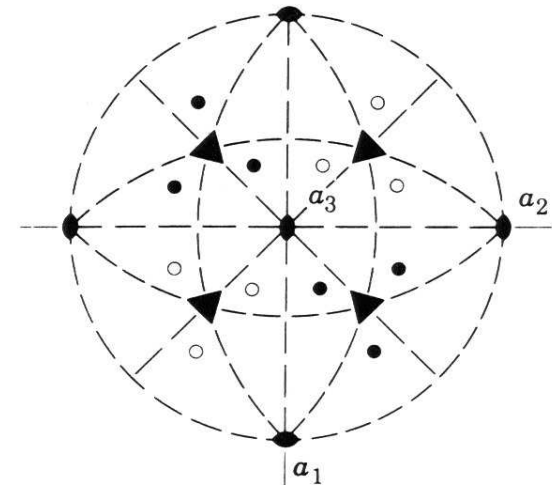
Obecný tvar  $\{hkl\}$  pentagon - tritetraedr je omezen dvanácti shodnými nepravidelnými trojúhelníky a může být pravý kladný  $\{khl\}$ , levý kladný  $\{hkl\}$ , pravý záporný  $\{h-k-l\}$  a levý záporný  $\{k-h-l\}$ . Z dalších tvarů může být přítomen hexaedr, dodekaedr, pentagon - dodekaedr, tetraedr nebo tetragon - tritetraedr.



Left



Right



# Kubická soustava

V kubické soustavě jsou všechny tvary uzavřené. V přehledu je uvedeno několik úhlů ploch, které mohou být nápomocny při pojmenovávání tvarů:

- krychle (100) - krychle (010) =  $90^\circ$
- oktaedr (111) - oktaedr (-111) =  $70^\circ 32'$
- dodekaedr (011) - dodekaedr (101) =  $60^\circ$
- krychle (100) - oktaedr (111) =  $54^\circ 44'$
- krychle (100) - dodekaedr (110) =  $45^\circ$
- oktaedr (111) - dodekaedr (110) =  $35^\circ 16'$

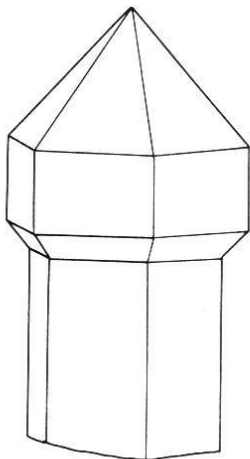
# Krystalové srůsty

Doposud jsme se věnovali popisu dokonalých (automorfních, euhedrálních) krystalů, které jsou však v přírodě relativně vzácné. Většina minerálů se vyskytuje ve formě náhodných zrnových agregátů, většinou jako součást hornin. Tato zrna jsou obecně xenomorfní (nepravidelně omezená), ale jejich vnitřní stavba je krystalická.

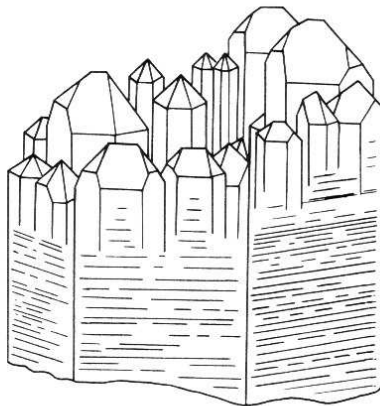
Relativně běžné jsou ale i srůsty dobře vyvinutých krystalů nebo nepravidelných zrn, které nejsou náhodné. Je to např. paralelní srůst shodných krystalických látek nebo prorůstání dvou krystalických látek různého složení (epitaxie). Pokud srůstají individua podle jistých pravidel (prvků symetrie), označujeme to jako **dvojčatění** nebo **dvojčatné krystaly**.

# Paralelní srůsty

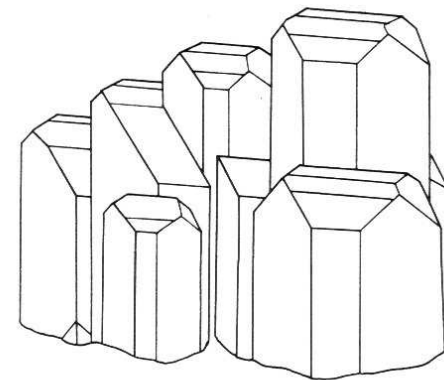
Paralelní srůst je agregát identických krystalů, jejichž krystalografické osy a plochy jsou paralelní. Takové agregáty (i když reprezentovány několika jedinci) označujeme stále jako monokrystaly (vzhledem k jejich struktuře). Srůsty tohoto typu jsou velmi pravděpodobné, protože na úrovni atomů je celková potenciální energie uspořádání atomů ve struktuře nižší než u náhodných srůstů.



Quartz



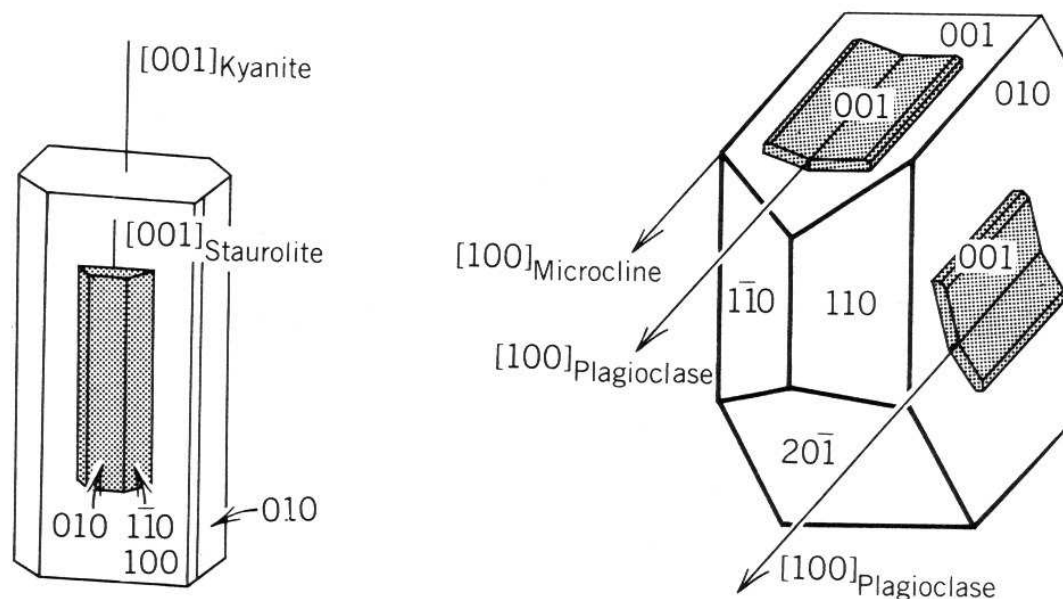
Quartz



Barite

# Epitaxie

Pokud podle určitého pravidla srůstají dvě krystalické látky odlišného složení, mluvíme o epitaxi. U takových dvou krystalů jsou složení a struktura sice rozdílné, ale najdou se strukturní roviny, které jsou si na úrovni atomové stavby podobné. Příkladem může být srůst staurolitu podle plochy (010) s kyanitem podle plochy (100) nebo prorůstání plagioklasu podle (001) s mikroklinem podle (001) nebo (010) - tyto tři roviny mají dobrou shodu ve vnitřní stavbě.





# Dvojčatění

Dvojče je symetrický srůst dvou nebo více krystalů stejné látky. Tato krystalograficky definovaná prorůstání se označují jako dvojčatné krystaly. Individua jsou souměrná vzhledem k prvku symetrie, který na jednotlivých krystalech chybí. Tento nový prvek symetrie - **dvojčatný prvek** (pozor ne dvojčetný!!!) převádí individuum do dvojčatné pozice. Dvojčatné operace, které převádí krystal, mohou být:

- zrcadlení v dvojčatné rovině
- rotace kolem krystalového směru o  $180^\circ$  - dvojčatná osa
- inverze vůči bodu - dvojčatný střed

Dvojčatění je definováno dvojčatným zákonem, který krystalograficky definuje bod, osu nebo rovinu. Rovina se označuje Millerovým indexem a směr osy podobně jako symbol zóny.

Povrch, kde se individua spojují označujeme jako kontaktní nebo dotykový povrch, resp. kontaktní plocha. Je-li dvojčatný zákon definován dvojčatnou rovinou, je tato rovina vždy paralelní s některou možnou krystalovou plochou, ale nikdy s rovinou symetrie. Dvojčatná osa je osa zóny nebo směr kolmý na mřížkovou rovinu. Např. jí může být 3-četná rotační osa, kolem níž otočíme o  $180^\circ$ .

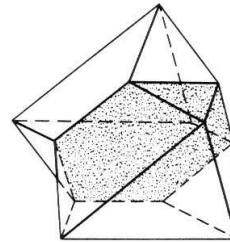
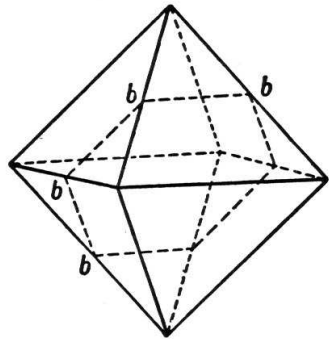
# Dvojčatění

Dvojčatné krystaly jsou obvykle rozdělovány na kontaktní dvojčata (dotyková) a penetrační dvojčata (prorostlice). Kontaktní dvojčata se srůstají v dvojčatné rovině (mají pravidelný dotykový povrch), penetrační dvojčata jsou definována zpravidla směrem dvojčatné osy - jejich srůstová plocha je nepravidelná.

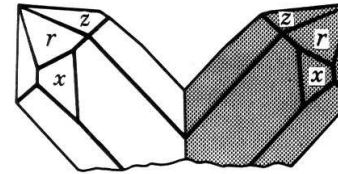
Vícenásobné dvojčatění vzniká, pokud několikrát aplikujeme stejný dvojčatný zákon. Jsou-li všechny srůstové plochy rovnoběžné, vzniká polysyntetické dvojčatění, pokud jsou srůstové plochy různoběžné, vzniká cyklické dvojčatění.

# Kontaktní a penetrační dvojčata

## Contact Twins

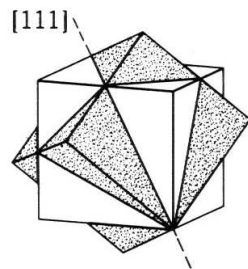


Spinel

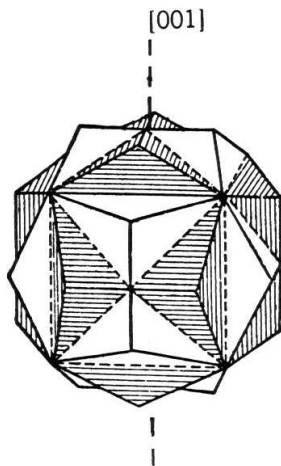


Quartz

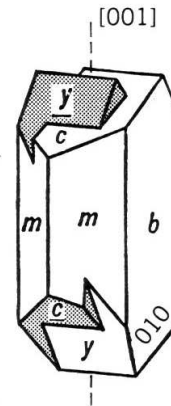
## Penetration Twins



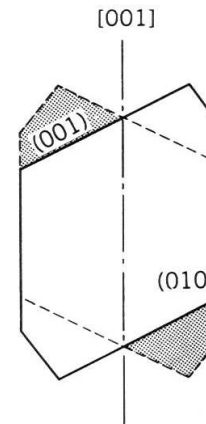
Fluorite



Pyrite

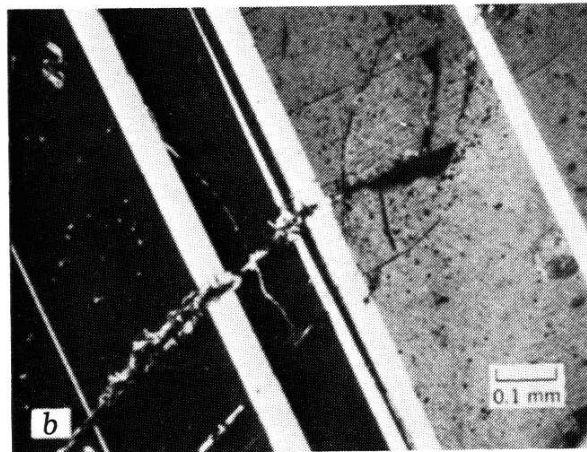
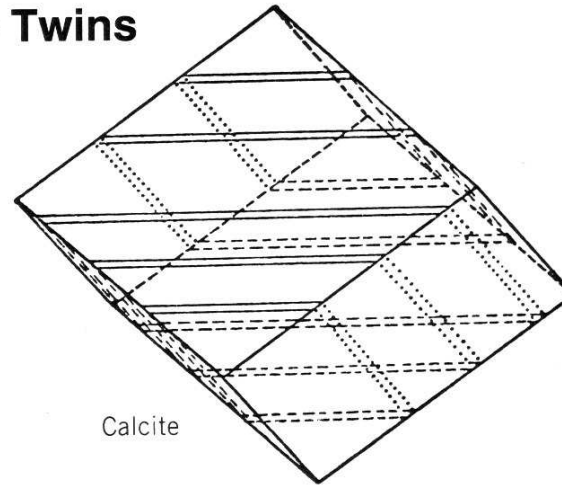
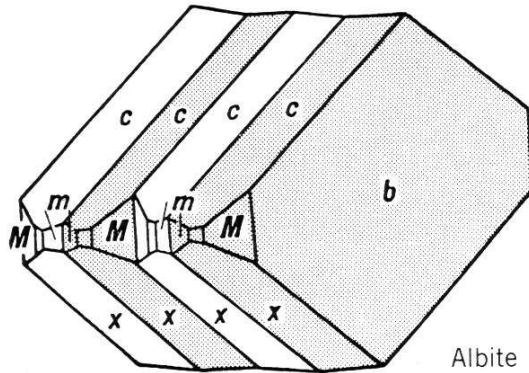


Orthoclase

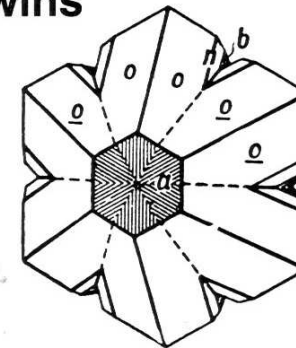
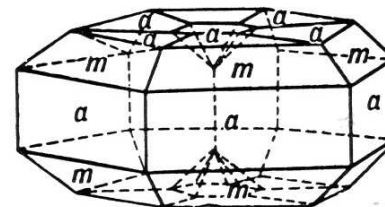


# Cyklická a polysyntetická dvojčata

## Polysynthetic Twins



## Cyclic Twins



# Pseudomorfózy

Takto se označuje jev, kdy vnější tvar minerálu neodpovídá jeho chemickému složení. Vzniká zpravidla nahrazením původního minerálu jiným minerálem, který zaujme krystalový tvar předchozího. Příkladem může být nahrazení kubického krystalu pyritu limonitem. Mezi pseudomorfózami se někdy vyčleňují různé typy, např. perimorfóza (obalová pseudomorfóza), zoomorfóza (nahrazení živočišné fosilie) apod.

# Polymorfie

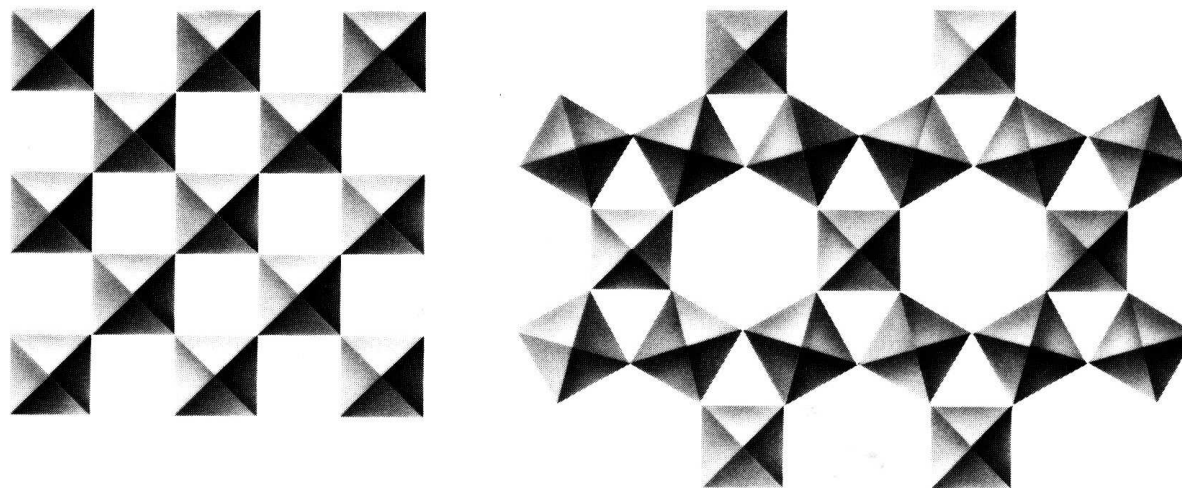
Pokud chemická látka (minerál) krystalizuje ve více typech struktur (v závislosti na teplotě a tlaku), označuje se tento jev jako polymorfie. Jednotlivé strukturní typy této látky se označují jako polymorfní modifikace nebo polymorfy. Jednotlivé polymorfní modifikace se zpravidla označují  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  atd., přičemž  $\alpha$  označuje polymorf stabilní při nejnižších teplotách. Polymorfie chemických prvků se označuje jako *alotropie*.

Důvody, proč jedna látka krystaluje ve více typech struktur, jsou dány vnitřní energií jednotlivých struktur. Vnitřní energie se zvyšuje v důsledku růstu teploty a má za následek vyšší frekvenci teplotních vibrací atomů. Podobný efekt může vyvolat i zvyšování tlaku, kdy dochází ke změně hustoty uspořádání částic ve struktuře. Dají se vyčlenit tři typy polymorfních reakcí: rekonstruktivní (ireversibilní), reversibilní a uspořádané-neuspořádané přechody.

# Rekonstruktivní polymorfní přeměna (ireversibilní)

Dochází k rozsáhlému přeuspořádání struktury na jiný typ, přičemž dochází k destrukci vazeb a vzniku jiných, popř. se mění celé stavební jednotky. Celá přeměna vyžaduje značné množství energie, probíhá zpravidla zvolna a je nevratná.

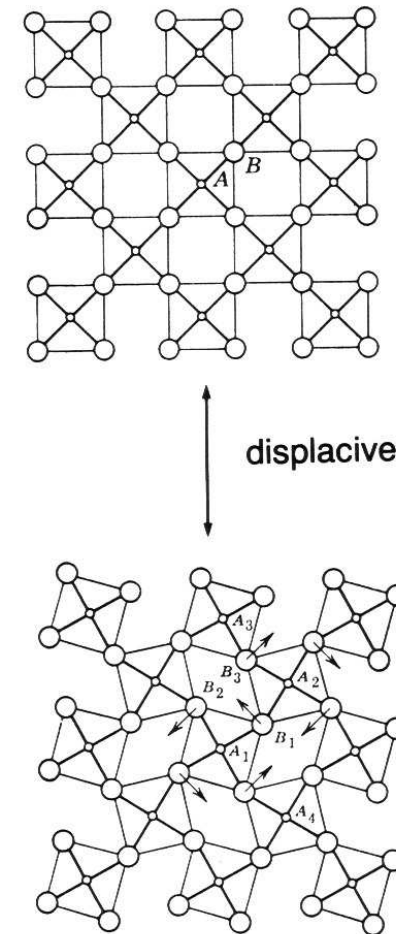
Příkladem může být přeměna vysokoteplotních modifikací  $\text{SiO}_2$  na nízký křemen nebo přeměny v andalusit - sillimanit - kyanit. Jelikož přeměna proběhne pouze při vysoké aktivační energii, vysokoteplotní modifikace zůstávají často v metastabilním stavu (při nízkých teplotách) desítky miliónů let (např. ve výlevných horninách).



# Reversibilní polymorfní přeměna

Při této polymorfní reakci dochází pouze k nepatrným posunům některých stavebních částic v rámci struktury - mění se vazebné úhly, případně meziatomové vzdálenosti. Potřebná aktivační energie je malá, nedochází k destrukci vazeb.

Příkladem takové reakce je přeměna vyššího křemene na nižší při 573°C. Dojde pouze k posunům tetraedrů  $\text{SiO}_4$  tak, že prostorová grupa vyššího křemene  $\text{P6}_222$  se mění na prostorovou grupu  $\text{P3}_221$ .





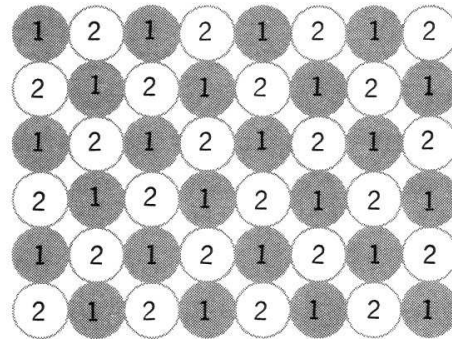
## Kontinuální přechody (order-disorder)

Pod tímto ne zcela výstižným názvem se skrývají polymorfní přeměny, které nemají fixní přechodový bod, ale probíhají kontinuálně. Celý princip je založen na faktu, že absolutně dokonalé uspořádání částic existuje pouze při teplotě absolutní nuly ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ). Postupným růstem teploty dochází k růstu neuspořádanosti až vznikne stav totálního chaosu. Na příkladu minerálů můžeme vidět tuto situaci následovně: těsně pod bodem tání mají stavební částice fáze tendenci opustit své pozice ve struktuře a se snižující se teplotou u nich tato schopnost klesá a celá struktura se určitým způsobem uspořádává. Jako příklad můžeme uvést vysokoteplotní modifikaci K-živce sanidin, která je vysoce neuspořádaná z hlediska rozmístění  $\text{Al}^{+3}$  ve struktuře. Nízkoteplotní mikroklin, kde  $\text{Al}^{+3}$  obsazuje pouze jeden typ tetraedru, se ze stejného pohledu jeví jako vysoce uspořádaný (důsledkem je jeho nižší symetrie).

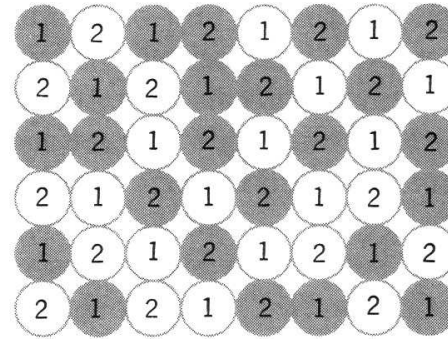
# Kontinuální přechody (order-disorder)



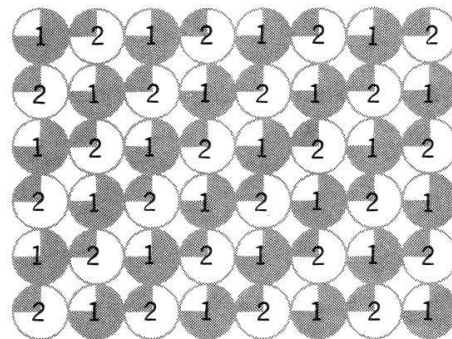
1 and 2 refer to  
specific structural sites



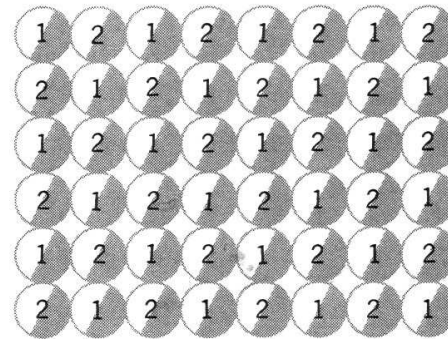
Perfect order  
(I)



Partial order  
(II)



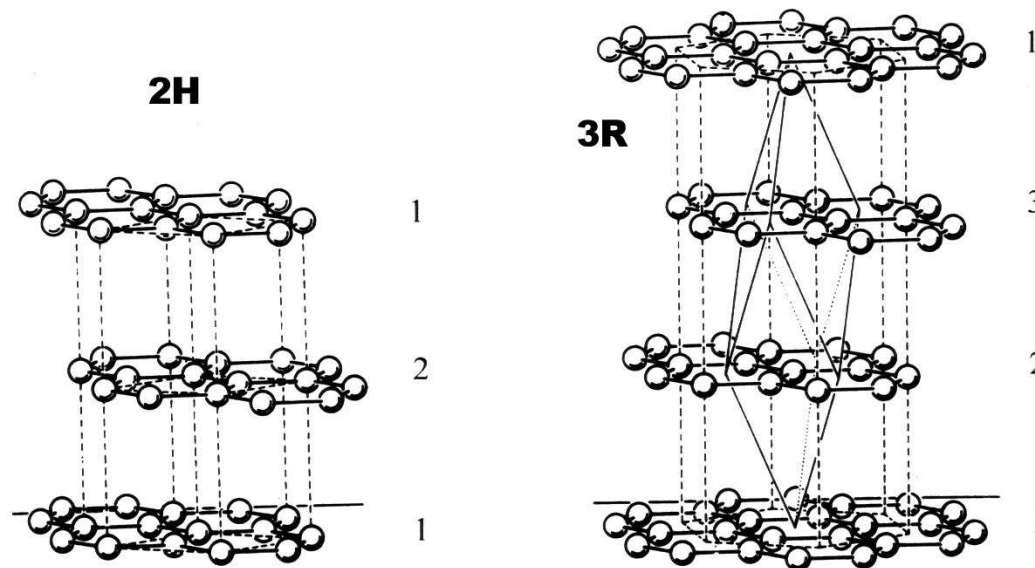
Partial order =  
(partial disorder)  
(III)



Total disorder  
(IV)

# Polytypie

Jedná se o speciální případ polymorfie, kdy se jednotlivé polytypy liší pouze v kladu zcela identických dvojrozměrných vrstev. V základní buňce se mění jediný parametr, zpravidla  $c$ . Značení jednotlivých polytypů se provádí číslicí a písmenem. Číslice označuje kolikátá vrstva po výchozí je v identické poloze a písmeno je symbolem symetrie. Např. u polytypu 4H je každá čtvrtá vrstva v identické pozici a symetrie je hexagonální. Příkladem polytypních látek je např. grafit, wurtzit nebo jílové minerály.



# Izomorfie

Jedná se o schopnost látek různého složení vytvářet stejné krystalové tvary, resp. jejich vnitřní stavba patří ke stejnému strukturnímu typu - jsou *izostrukturní*. Atomy jednotlivých látek zaujímají shodné strukturní pozice, ale jejich velikost se může diametrálně lišit. Příkladem může být strukturní typ NaCl, ve kterém krystalují další látky: KCl, PbS, MgO, MnS a další. RTG difrakční záznam vykazuje u takových látek analogické difrakční linie, které mají ale jinou polohu a intenzitu.

# Metamiktní stav minerálů

Minerál označovaný jako metamiktní je původně krystalická fáze, jejíž struktura byla narušena v důsledku rozpadu radioaktivních prvků (zpravidla obsažených v minerálu samém). Rozpad struktury je způsoben jejím bombardováním alfa částicemi, které se uvolňují z uranu nebo thoria. Tento rozpad může vést až k totálnímu rozkladu struktury (amorfizace) a rozpadu radioaktivních prvků na dceřiné produkty, které mají jiné atomové poloměry popř. valence. Stupeň destrukce struktury lze studovat pomocí RTG difrakce a HRTEM.

Celý proces se projevuje i na fyzikálních vlastnostech minerálu. Mezi nejdůležitější změny patří:

- expanze základní buňky krystalové mřížky struktury
- amorfizace minerálu (patrná opticky i RTG analýzou)
- změna lesku, barvy a tvrdosti minerálu

Nejčastěji bývají tímto procesem postiženy zirkon, monazit, xenotim a thorit.

# Metamiktní stav minerálů

