

# Mineralogie

pro Univerzitu třetího věku VŠB-TUO, HGF

## 1. Krystalografie

# Základní pojmy v mineralogii

Mineralogie je věda zabývající se všestranným studiem minerálů (nerostů). V obecné rovině je za minerál pokládán prvek nebo chemická sloučenina, která je za normálních podmínek krystalická a která vznikla jako produkt geologických procesů. Tato definice zahrnuje naprostou většinu látek, které jsou všeobecně za minerály považovány. Existují ovšem některé výjimky, které tuto formulaci porušují, přesto jsou ale za minerály tradičně pokládány. Za minerály považujeme mimo jiné:

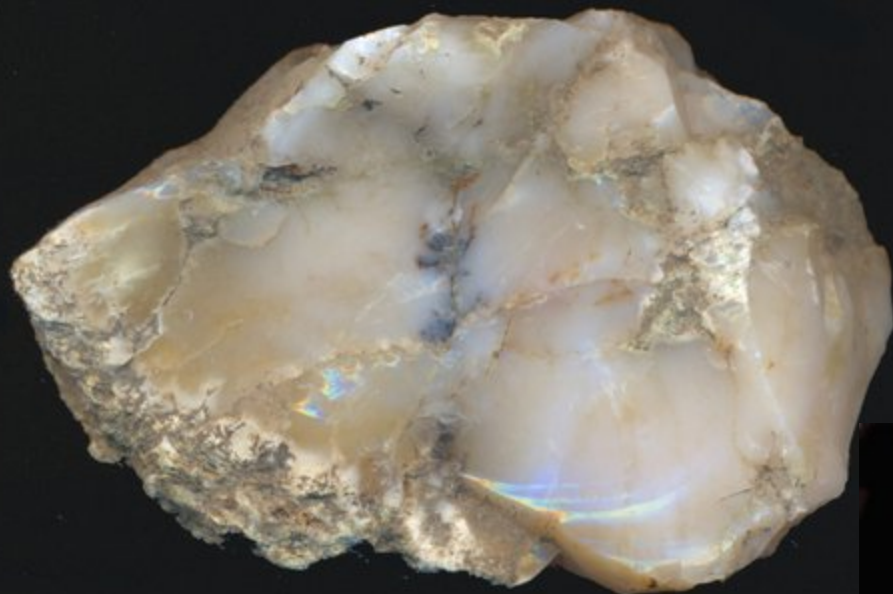
- rtuť (která je za normálních podmínek kapalná),
- některé amorfní látky (např. opál),
- látky obdobné pozemským minerálům, ale pocházející z jiných kosmických těles (Měsíc, Mars, meteority),
- biogenní materiály, pokud se na jejich formování podílely geologické procesy (např. minerály guana).

# Základní pojmy v mineralogii



Kapky rtuťi v křemen-sideritové žilovině s drobně zrnitým cinabaritem. Štola Zimné, Rudňany, Slovensko. Velikost kapek 7 a 3 mm. Sbírka J. Mazucha, foto J. Jirásek 2006.

# Základní pojmy v mineralogii



# Základní pojmy v mineralogii

Naopak za minerály nepovažujeme:

- vodu v kapalném stavu (led je obvykle řazen mezi minerály), atmosférické plyny atd.,
- ropu a nekrystalické bitumenní látky (např. uhlí),
- antropogenní (člověkem vytvořené) materiály,
- geologickými procesy modifikované antropogenní materiály,
- látky vzniklé zásahem člověka do přírody (např. produkty hoření uhelných hald),
- biogenní materiály, pokud nejsou modifikovány geologickými procesy (žlučové kameny, schránky měkkýšů apod.),
- směsi minerálů (horniny).

Horniny jsou obvykle mechanické směsi různých minerálů (např. žuly se skládají z křemene, živců a slíd a dalších minerálů). Výjimkou jsou monominerální horniny, jež jsou tvořeny jen jedním minerálem (např. mramor se skládá pouze ze zrn kalcitu).

# Základní pojmy v mineralogii

**Minerál je homogenní přírodní fáze s přesně definovatelným chemickým složením (ne vždy stálým) a s vysoce uspořádanou stavbou částic (atomů, ionů, molekul). Většinou vzniká v anorganických procesech.**

- Pod pojmem přírodní fáze se obvykle míní substance vzniklá přírodním procesem. Látky připravené v laboratoři se označují jako syntetické. Antropogenní látky, které vznikly působením člověka, a jsou strukturně i chemicky identické s minerály je třeba označovat jako jejich *syntetické ekvivalenty*.
- Homogenitou fáze máme na mysli, že látka má stejné fyzikální a chemické vlastnosti v kterékoliv své části. Definovatelné chemické složení znamená, že můžeme chemismus minerálu vyjádřit určitým vzorcem, např. křemen jako  $\text{SiO}_2$ . Některé minerály však mají složení proměnlivé, jako třeba dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , u kterého je poměr Ca a Mg kolísavý.
- Uspořádaná stavba atomů v minerálu odpovídá geometricky definovatelné struktuře. Minerály jsou látky krystalické.

# Základní pojmy v mineralogii

## Minerální druh

Aby bylo možno orientovat se ve velkém množství minerálů, je třeba definovat minerální druh (specii), který se nějak liší od ostatních druhů. Aniž bychom se zde zabývali detaily, můžeme říci, že **minerální druh** je vymezen:

- a) specifickým chemickým složením nebo:
- b) specifickým uspořádáním stavebních částic (specifickou strukturou) nebo:
- c) specifickým složením i strukturou (současně).

Minerály, které mají obdobnou strukturu, avšak odlišné chemické složení, označujeme jako **izotypní** (např. [rutil](#) – [kasiterit](#)). Má-li dva nebo více minerálů totožné chemické složení, ale různou strukturu, hovoříme o **polymorfních modifikacích** (např. [rutil](#) – [brookit](#) – [anatas](#)).

V současné době je známo a v mineralogické literatuře popsáno bezmála 4000 různých minerálních druhů, přičemž každoročně je objeveno několik desítek (cca 30 – 50) nových, dosud neznámých. Z tohoto počtu se ovšem jen asi 300 minerálů vyskytuje častěji, ostatní jsou vzácné nebo velmi vzácné. Skutečně běžně se v přírodě vyskytuje jen několik málo desítek minerálů.

# Základní pojmy v mineralogii

## Mineralogie a krystalografie

Jaký je vztah mezi pojmy krystalografie a mineralogie? Krystal vzniklý geologickými procesy je minerál. Většina minerálů jsou krystaly (existují však i minerály amorfní). Naopak člověk dnes umí vypěstovat krystaly uměle, a to jak krystaly analogické minerálům, tak krystaly, které v přírodě nalezeny nebyly. Mineralogie a krystalografie se tedy částečně, ne však zcela překrývají. Oba obory se dále dělí na následující disciplíny:

Mineralogie:

**mineralogie všeobecná** (mineralogická krystalografie) – viz níže Krystalografie,

**mineralogie speciální** (systematická) studuje jednotlivé minerální druhy,

**mineralogie genetická** studuje vznik a výskyt minerálů v přírodě,

**mineralogie užitá** (technická) využívá mineralogických poznatků v průmyslu, při vyhledávání, těžbě a úpravě nerostných surovin. Obor zabývající se drahými kameny se nazývá **gemologie**.



# Základní pojmy v mineralogii

## Mineralogie a krystalografie

Jaký je vztah mezi pojmy krystalografie a mineralogie? Krystal vzniklý geologickými procesy je minerál. Většina minerálů jsou krystaly (existují však i minerály amorfní). Naopak člověk dnes umí vypěstovat krystaly uměle, a to jak krystaly analogické minerálům, tak krystaly, které v přírodě nalezeny nebyly. Mineralogie a krystalografie se tedy částečně, ne však zcela překrývají. Oba obory se dále dělí na následující disciplíny:

Krystalografie:

**krystalografie morfologická** studuje zákonitosti vnějšího tvaru krystalů,

**krystalografie strukturní** se zabývá vnitřní stavbou krystalů,

**krystalografie fyzikální** (krystalofyzika, krystalová fyzika) studuje fyzikální vlastnosti krystalů. Např. optické vlastnosti krystalů (krystaloptika, krystalová optika), mechanické, elektromagnetické vlastnosti atd.,

**krystalografie chemická** (krystalochemie, krystalová chemie) sleduje zákonitosti chemického složení krystalů, podmínky jejich vzniku, vztahy mezi složením a vnitřní stavbou krystalů,

**krystalografie užitá** využívá fyzikální vlastnosti krystalů pro technické účely. Zabývá se rovněž pěstováním syntetických krystalů pro technické využití.

# Rozdělení předmětu mineralogie

## *Všeobecná mineralogie*

- morfologická krystalografie - zabývá se vnějším tvarem krystalů
- strukturní krystalografie - studuje zákonitosti krystalových struktur
- fyzikální krystalografie - zabývá se fyzikálními vlastnostmi minerálů
- krystalová chemie - studuje chemické vztahy a zákonitosti v minerálech
- genetická mineralogie - řeší vznik, výskyt a přeměny minerálů

*Systematická (speciální) mineralogie* - rozděluje jednotlivé minerály do tříd podle chemické a strukturní příbuznosti

*Topografická mineralogie* - zpracovává výskyt nerostů podle nalezišť

*Experimentální mineralogie* - studuje fáze syntetizované v laboratorních podmínkách a sleduje jejich chování za různých teplot a tlaků

*Technická mineralogie* je disciplínou mineralogie aplikovanou na technické hmoty jako např. betony, strusky, elektrárenské popílky a podobné materiály

# Mineralogie a ostatní vědní disciplíny

V mineralogii se využívají poznatky z řady jiných vědních oborů.

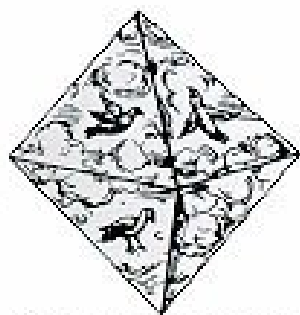
Mezi nejdůležitější patří:

- ✓ matematika (především v krystalografii a optice)
- ✓ fyzika (v oblasti RTG difrakce nebo optice)
- ✓ chemie (hlavně v krystalochemii)

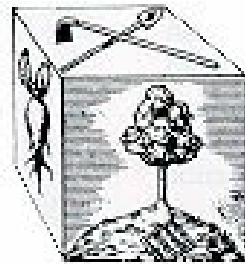
Mineralogie jako geologická věda tvoří základ pro většinu ostatních geologických disciplín, především pro **petrologii** a **geochemii**.

# Krystalografie – historický vývoj

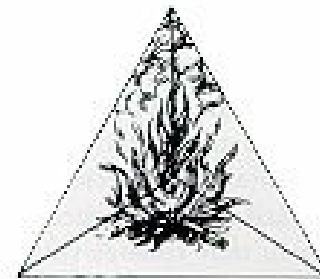
Pravidelná tělesa byla důležitá ve filozofii starých Řeků. Všech pět platónských těles má vzor v některém z běžných minerálů. Pojem krystal pochází ze slova *kristallos*, kterým Řekové označovali kus ledu. V písemné formě je první zmínka v Homérových eposech *Ílias a Odysseia*. Další minerál, který tímto slovem označovali byl oxid křemičitý, který až do konce 17. století nesl označení krystal, v češtině křišťál. Z terminologie Pythagora z Rhégia pochází i symetrie, která označuje základní vlastnost krystalické látky. První písemná zmínka o krystalizaci je v Plíniově knize *Historia naturalis*, kde se píše o krystalizaci mnohých solí.



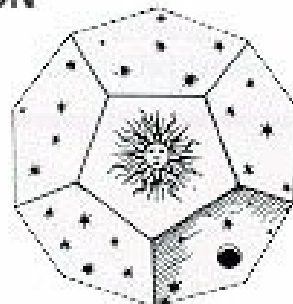
**OCTAHEDRON**  
*Air*



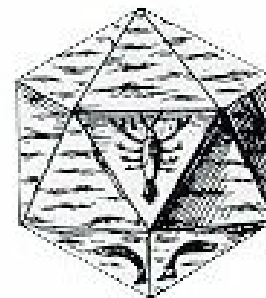
**CUBE**  
*Earth*



**TETRAHEDRON**  
*Fire*



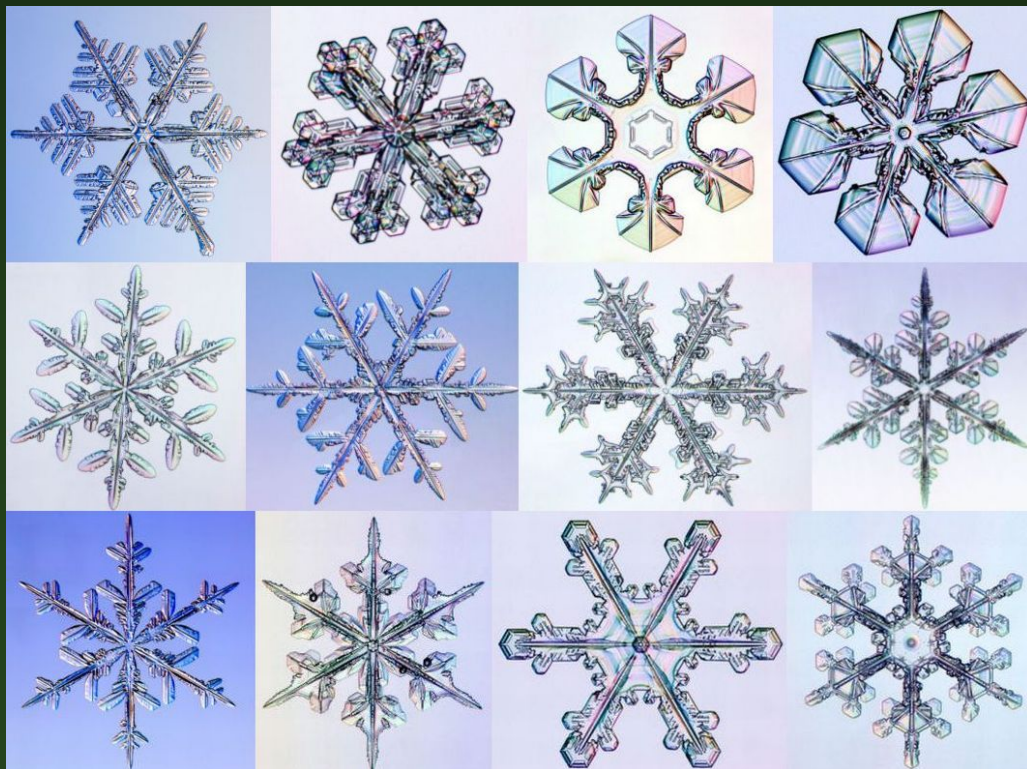
**DODECAHEDRON**  
*the Universe*



**ICOSAHEDRON**  
*Water*

# Krystalografie – historický vývoj

Dlouho si učenci vysvětlovali původ krystalů tak, že vznikají z čisté vody, která tuhne silou božího ohně. Tyto teorie vydržely až do 17. století, kdy začala vznikat věda zabývající se stavbou a růstem krystalů – krystalografie. V této době byly objeveny zákonitosti vzájemné polohy ploch omezujících krystaly a dvojlom světla v islandském vápenci. JOHANES KEPLER v roce 1611 pozoroval krystalické útvary sněhu a předpokládal, že jsou tvořeny elementárními kulovými útvary.



# Krystalografie – historický vývoj

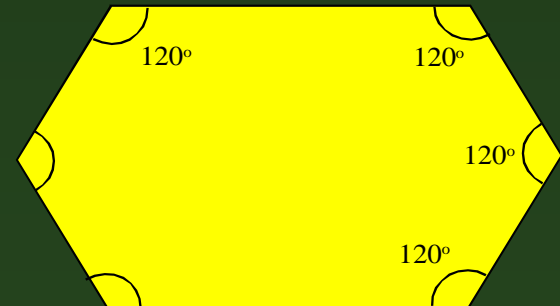
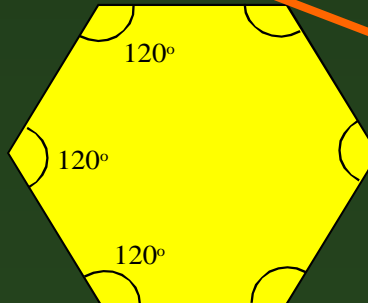
Původně se krystalografie vyvíjela souběžně s mineralogií, v roce 1669 NIELS STENSEN pozoroval horský křišťál (křemen), který měl dobře vyvinuté krystalické plochy. Další vývoj krystalografie přišel s objevem elektrických, optických a mechanických jevů souvisejících s tvarem krystalu. První spis o krystalech se objevil v roce 1772.

**Krystaly  
křemene**

Úhly mezi stejnými  
plochami (plochami se  
stejnými Millerovými  
symboly) jsou na dvou  
různě vyvinutých  
krystalech stejné.

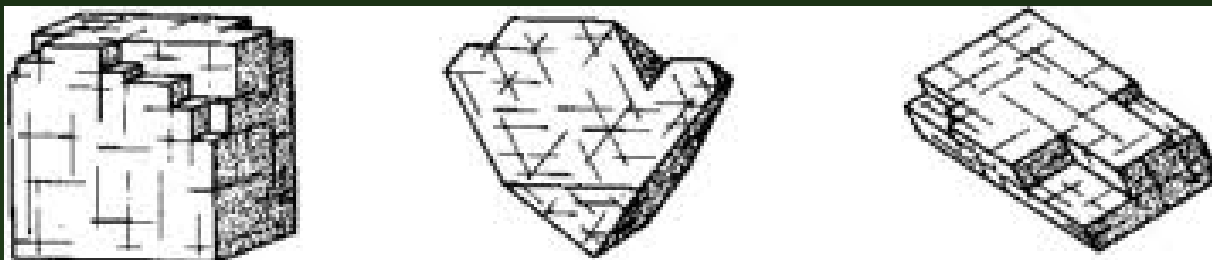


Tzn.: Velikost  
ploch může být  
různá, ale úhly  
zůstávají stejné.



# Krystalografie – historický vývoj

Průběžně se vyvinula představa krystalu jako pravidelného trojrozměrného útvaru, který se v prostoru opakuje. První s touto myšlenkou přišel ROBERT HOOKE v roce 1665, TORNBORN BERGMANN a RENÉ JUST HAÛY v roce 1782 předpokládali, že krystaly jsou tvořeny rovnoběžnostěny, které lze štípat v určitých směrech.



# Krystalografie – struktura krystalů

*Pozn.: Většina vlastností pevných látek souvisí s jejich strukturou. Tyto vlastnosti (elektrické, mechanické, optické a magnetické) se často značně od sebe liší v závislosti na tom, v jaké krystalografické soustavě pevná látka krystalizuje.*

V roce 1850 se francouzský krystalograf A. BRAVAIS zabýval otázkou, kolika různými způsoby lze v prostoru uspořádat atomy (modelované tuhými kuličkami) za podmínky, že okolí každého z nich je stejné. Zjistil, že to lze provést 14 způsoby. Pro každý z nich lze nalézt minimální prostorový útvar, jehož posouváním (translací) v prostoru získáme celý krystal.

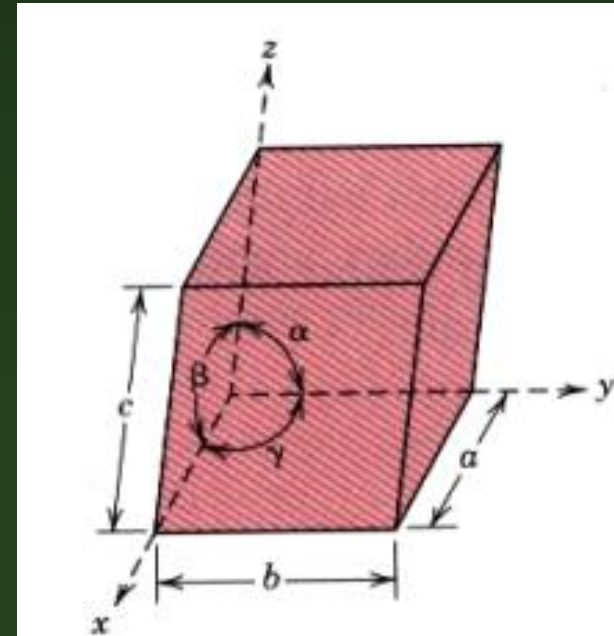


# Krystalografie – struktura krystalů

Takový základní motiv nazýváme elementární buňkou. Elementární buňky se pravidelně řadí v prostoru podle prodloužených hran rovnoběžnostěnu, kterými jsou určeny tři krystalografické osy.

Soustava elementárních buněk pak tvoří tzv. krystalickou mřížku a místa, ve kterých jsou částice umístěny, se nazývají uzly krystalické mřížky. Nejmenší vzdálenost částic v mřížce je řádově  $10^{-10}$  m.

Délka hrany elementární buňky se nazývá mřížková konstanta krystalové mřížky ve směru dané hrany. Jednotlivé rovnoběžnostěny budeme charakterizovat velikostmi jejich stran  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , a protilehlými úhly  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

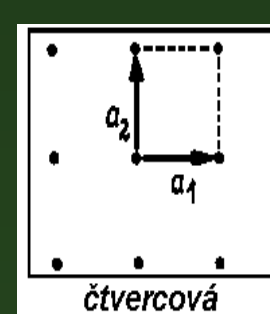
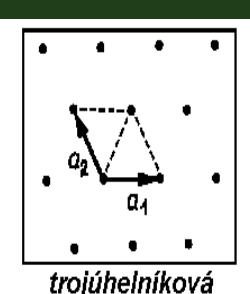
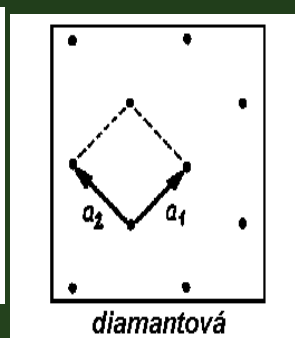
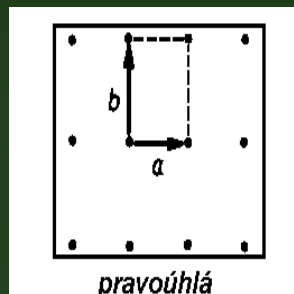
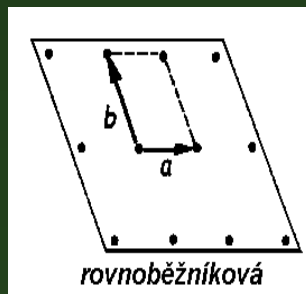
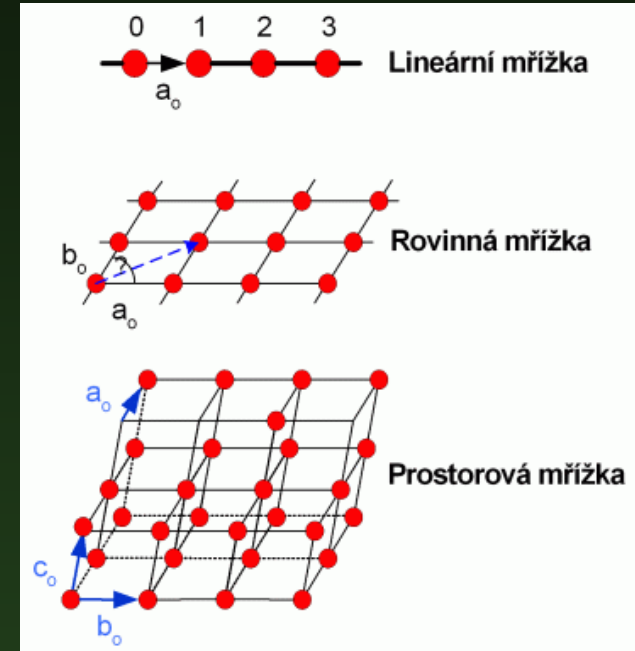


# Krystalografie – struktura krystalů

Principiálně existuje jen omezený počet možných krystalových mřížek. Toto omezení je dáno především možnostmi pravidelného řazení základních motivů tak, aby byl zcela vyplněn daný prostor.

Budeme-li uvažovat vyplnění plochy rovinnými mřížkami, existuje pět vzájemně odlišných motivů, které takovou plochu beze zbytku zaplní: kosodélník, obdélník, kosočtverec, čtverec a rovnostranný trojúhelník.

Podobně lze nalézt systematiku zaplnění trojrozměrného prostoru (tedy při vrstvení takových motivů) tak, aby byla zachována příslušná symetrie rovinné mřížky - tzv. **Bravaisovy mřížky**

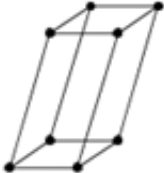
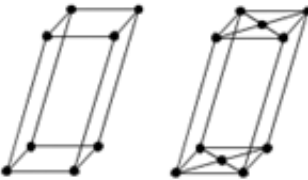
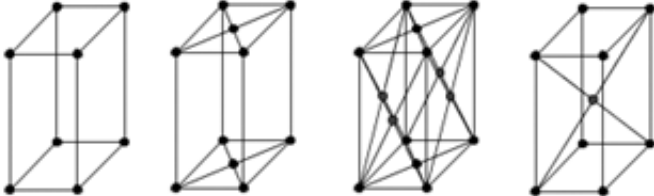
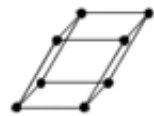
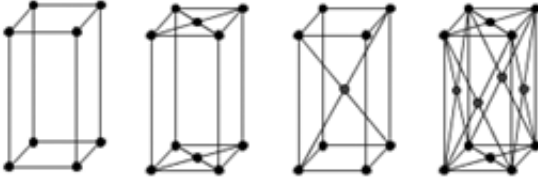

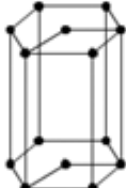


Pro poslední tři mříže platí  $a_1 = a_2$

# Krystalografie – struktura krystalů

Bravaisovy mřížky zachovávají maximální symetrii a minimální vzdálenosti uzlových bodů. Mezi další tvary krystalové mřížky patří plošně a prostorově centrovaná buňka.

Podle vztahu parametrů  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ , resp. podle příslušné symetrie můžeme 14 elementárních buněk sdružit podle CHRISTIANA SAMUELA WEISSE do 7 krystalografických soustav. Různé látky krystalizující ve stejných krystalických soustavách se liší jen velikostí a vzdáleností částic.

Soustava	Primitivní buňka	Charakteristika
trojklonná (triklinická)		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
jednoklonná (monoklinická)		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
kosočtverečná (rombická)		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
čtverečná (tetragonální)		$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
šesterečná (hexagonální)		$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
krychlová (kubická)		$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
klencová (trigonální)		$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$

# Krystalografie – struktura krystalů

Každý krystal popisujeme pomocí vektoru, který má tyto vlastnosti. Má počátek v počátku soustavy souřadnic a končí v jednom z uzlů elementární buňky. Průměty vektoru do jednotlivých os soustavy souřadnic jsou rovny celistvému násobku rozměrů elementární buňky  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Tato tři čísla upravíme společným dělitelem tak, aby byla nejmenší. Získaná tři čísla zapíšeme do hranatých závorek  $[m\ n\ p]$ . Pokud je některé z nich záporné, napíšeme znaménko minus nad toto číslo.

Další charakteristikou krystalu jsou roviny popsané pomocí tzv. Millerových indexů ( $h\ k\ l$ ), které poprvé použili W. Whewell a J. G. Grassmann. Indexy byly pojmenovány podle profesora mineralogie v Cambridge W. H. Millera, který se zasloužil o jejich všeobecné rozšíření. Přitom volba souřadnic je stejná, jako při určování směrů.

# Krystalografie – struktura krystalů

První důkaz o existenci krystalických mřížek přišel až v roce 1912, kdy byla na návrh MAXE VON LAUEHO objevena difrakce rentgenových paprsků na krystalové mřížce, kterou provedli WALTER FRIEDRICH a PAUL KNIPPING.

Otec a syn WILLIAM HENRY BRAGG a WILLIAM LAURENCE BRAGG zjistili, že difrakce je vlastně selektivní obraz na mřížkových rovinách krystalu, a tak byla experimentálně potvrzena představa krystalické mřížky. Metoda se nazývá **rentgenová strukturní analýza** a dají se s její pomocí stanovit struktury sloučenin anorganických, organických i biologických, pokud jsou ve formě krystalického vzorku o rozměrech alespoň 0,1 mm.

# Krystalografie – pojmy, definice

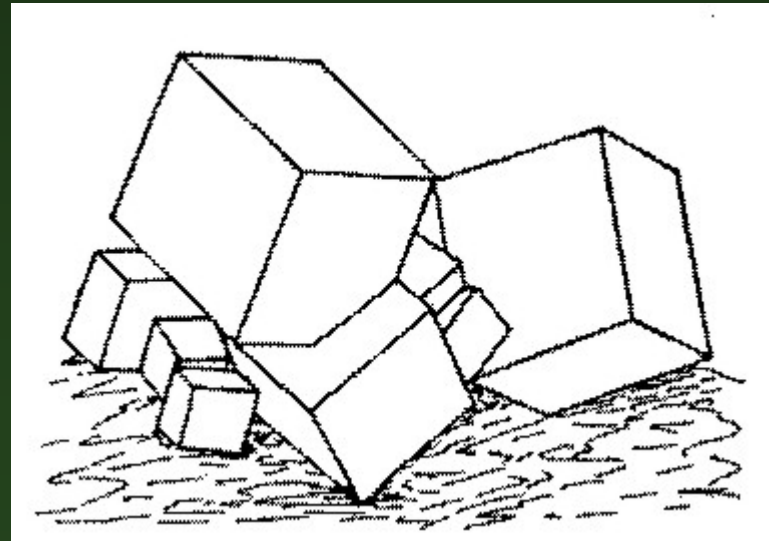
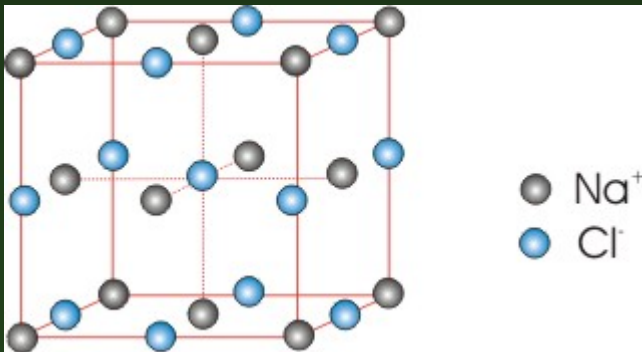
## Látky krystalické a amorfní, krystaly

- Pevné látky jsou charakterizovány omezeným pohybem základních stavebních částic (atomů, iontů, molekul) kolem rovnovážných poloh. Podle uspořádání těchto poloh v prostoru můžeme pevné látky rozdělit do dvou skupin: na látky krystalické a látky amorfní (beztvaré).
- Rovnovážné polohy stavebních částic **krystalických látek** jsou v prostoru rozmístěny pravidelně, v pravidelné prostorové síti či mříži. Takovému tělesu, tedy pevnému tělesu s trojrozměrně periodickým uspořádáním základních stavebních částic (atomů, iontů, molekul), říkáme **krystal**.
- Konkrétní způsob rozmístění základních stavebních částic v krystalu se nazývá **krystalová struktura**.
- Prostorové rozložení stavebních částic **amorfních látek** je neperiodické, nepravidelné. Z tohoto hlediska se pevné amorfní látky podobají kapalinám. Mezi amorfní látky patří např. skla.
- Zde je třeba zdůraznit skutečnost, že krystal je definován na základě periodicity struktury, ne na základě vnějšího omezení. Krystaly tedy nejsou jen ona dokonalá, hladkými plochami omezená tělesa známá z muzeí, ale i jejich úlomky, valounky, nepravidelně omezená zrna atd.

# Krystalografie – pojmy, definice

## Látky krystalické a amorfní, krystaly

**Strukturou krystalu** rozumíme způsob rozmístění základních stavebních částic (atomů, iontů či molekul) v prostoru. Geometrickým vyjádřením periodicity struktury krystalu je **krystalová mřížka**. Je to v podstatě prostorové (trojrozměrné) “lešení”, jehož každá buňka obsahuje stejnou skupinu stavebních částic. V krystalu se tyto buňky periodicky opakují ve všech směrech ve vzájemně rovnoběžné poloze a lze je vzájemně převádět pouhou translací (posunutím).





# Krystalografie – pojmy, definice

## Strukturní krystalografie

Strukturní krystalografie se zabývá studiem struktury, tedy trojrozměrně periodického uspořádání stavebních částic krystalů. Vedle toho si všímá i poruch ideální struktury a jejich vlivu na vlastnosti reálných krystalů. Význam tohoto oboru spočívá právě v úzké souvislosti mezi strukturou látek a jejich fyzikálními vlastnostmi. V materiálovém inženýrství nebo v biotechnologiích se využívá souvislostí mezi strukturou a vlastnostmi krystalů k vývoji látek s žádanými vlastnostmi. Strukturní úvahy jsou rovněž základem při tvorbě teoretických modelů vysvětlujících chování látek. Na strukturně-chemickém základě je založen i moderní mineralogický systém.

# Krystalografie – pojmy, definice

## Strukturní krystalografie

### Krystalová struktura

**Krystal** je pevné těleso s trojrozměrně periodickým rozmístěním základních stavebních částic (atomů, iontů, molekul). **Strukturou krystalu** rozumíme konkrétní způsob rozmístění základních stavebních částic. Trojrozměrně periodická struktura je základní vlastností všech krystalů, od níž se odvíjejí všechny ostatní vlastnosti morfologické, fyzikální i chemické. **Ideální krystal** je nekonečný a jeho struktura je zcela pravidelná, bez poruch. Krystal konečných rozměrů se zcela dokonalou strukturou bývá označován jako dokonalý krystal. **Reálný krystal** je konečný a vykazuje více či méně četné geometrické i chemické odchylky od ideálního krystalu. K reálným krystalům náleží všechny skutečně existující krystaly, ideální a dokonalý krystal slouží jako modely pro výklad morfologie, struktury i některých fyzikálně-chemických vlastností reálných krystalů.

Těleso tvořené jediným krystalem nebo kompaktním agregátem několika krystalů přibližně stejné orientace se nazývá **monokrystal**. Kompaktní agregát několika krystalů s výrazně odlišnou orientací se nazývá polykrystal. Polykrystalická látka je kompaktní nebo nekompaktní agregát většího počtu krystalů.

# Chemická krystalografie

Vlastnosti minerálních fází, které ovlivňují podstatným způsobem geochemickou migraci chemických prvků, jsou určovány zákonitou vnitřní stavbou – krystalovou strukturou.

Fyzikální a chemické vlastnosti minerálních fází se projevují v závislosti na geochemických podmínkách prostředí (vnějších faktorech migrace). Chování minerálních fází a tím i chemických prvků, které je vytvářejí, určují vlastnosti minerálů: rozpustnost, tvrdost, štěpnost, specifická hmotnost, habitus krystalů, odolnost vůči zvětrávání – oxidaci, hydrolýze, hydrataci, odolnost při transportu ve vodní tocích a další.

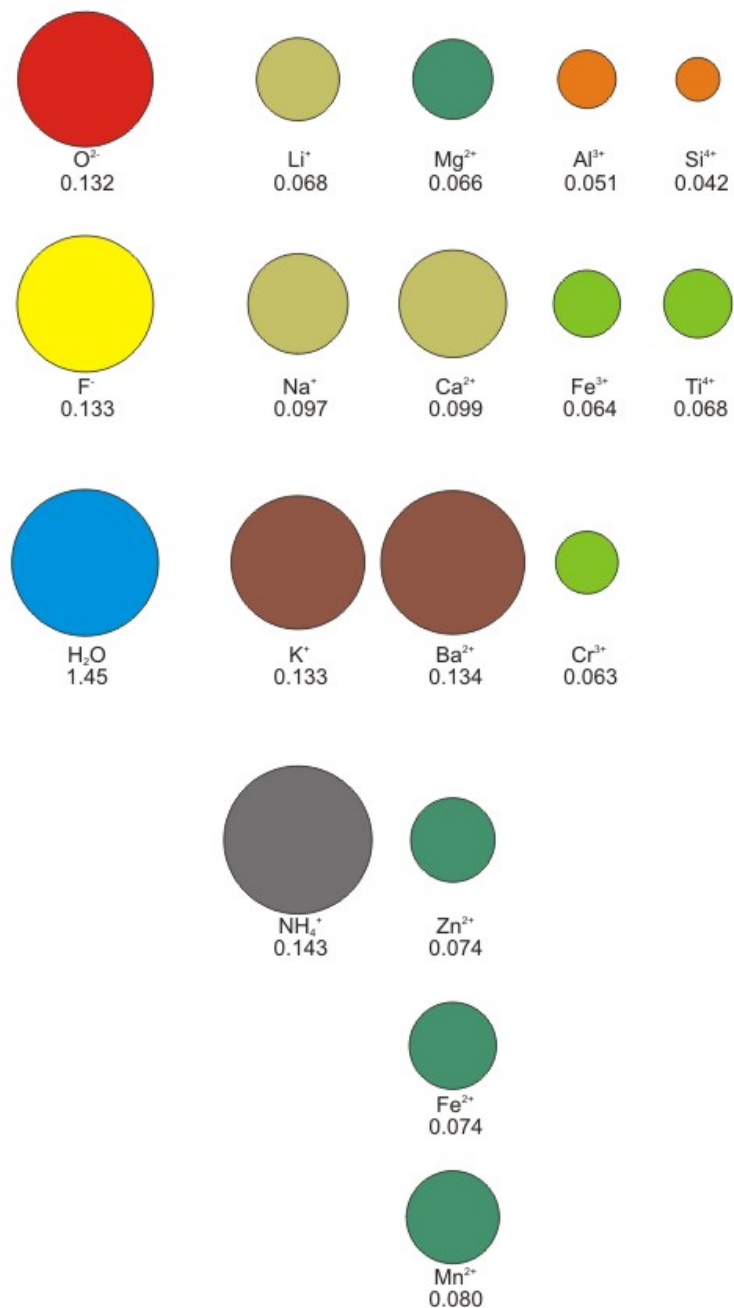
Vlastnosti minerálních fází jsou významné i při migraci chemických prvků ve vodním prostředí, v povrchových a podzemních vodách nebo v půdní vodě. Chemické prvky jsou dále v přírodním prostředí přítomny v roztocích v rovnováze s minerálními fázemi a jejich migrace v roztocích je ovlivňována vlastnostmi těchto minerálních fází.

## Iontový poloměr

Významnou roli ve struktuře hraje atomový nebo iontový poloměr.

Vývoj poznání iontových poloměrů úzce souvisí s historií geochemie. První tabulku empirických hodnot iontových poloměrů publikoval v roce 1926 jeden ze zakladatelů geochemie V.M.Goldschmidt. V roce 1927 publikoval L.Pauling hodnoty vypočítané na základě vlnové mechaniky.

Velikost iontových poloměrů je vyjadřována v nanometrech (nm). Například ve struktuře halitu má sodík poloměr 0.098 nm, chlor 0.18 nm a vzdálenost Na-Cl je 0.231 nm.



Iontové poloměry některých významných kationtů a aniontů. Údaje jsou v nm podle Ahrense (1959).

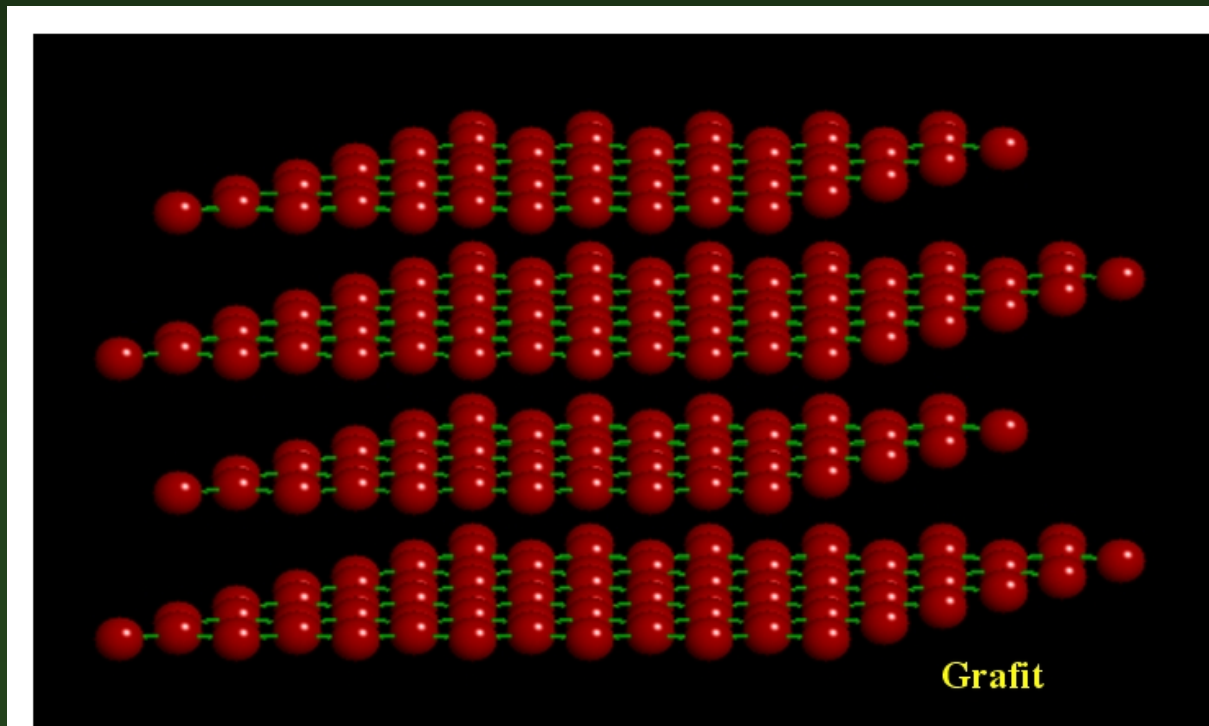
## Chemické vazby v krystalech

Rozlišujeme 4 typy krystalů:

Molekulové krystaly, iontové krystaly, atomové (kovalentní) krystaly, kovové krystaly

**1. Molekulové krystaly** = jsou tvořeny molekulami, které jsou navzájem soudržné působením slabých van der Waalsových sil.

- V minerálech se vyskytují ojediněle
- Vyskytují se hlavně u organických sloučenin
- Snadno se rozkládají



## Chemické vazby v krystalech

Rozlišujeme 4 typy krystalů:

Molekulové krystaly, iontové krystaly, atomové (kovalentní) krystaly, kovové krystaly

### 2. Iontové krystaly

Základní buňka iontových krystalů je složena z pravidelně uspořádaných iontů.

Každý ion v krystalu je obklopen co největším počtem iontů opačně nabitých.

Každý ion v krystalu přitahuje všechny okolní kationy a naopak. Při iontové

vazbě dochází k předání elektronů jedním atomem atomu druhému, takže vzniká pár **kation** (dárce elektronů) – **anion** (příjemce elektronů). Příkladem může být

NaCl halit s kationty  $\text{Na}^{1+}$  a anionty  $\text{Cl}^{1-}$ . Iontové struktury jsou tvořeny

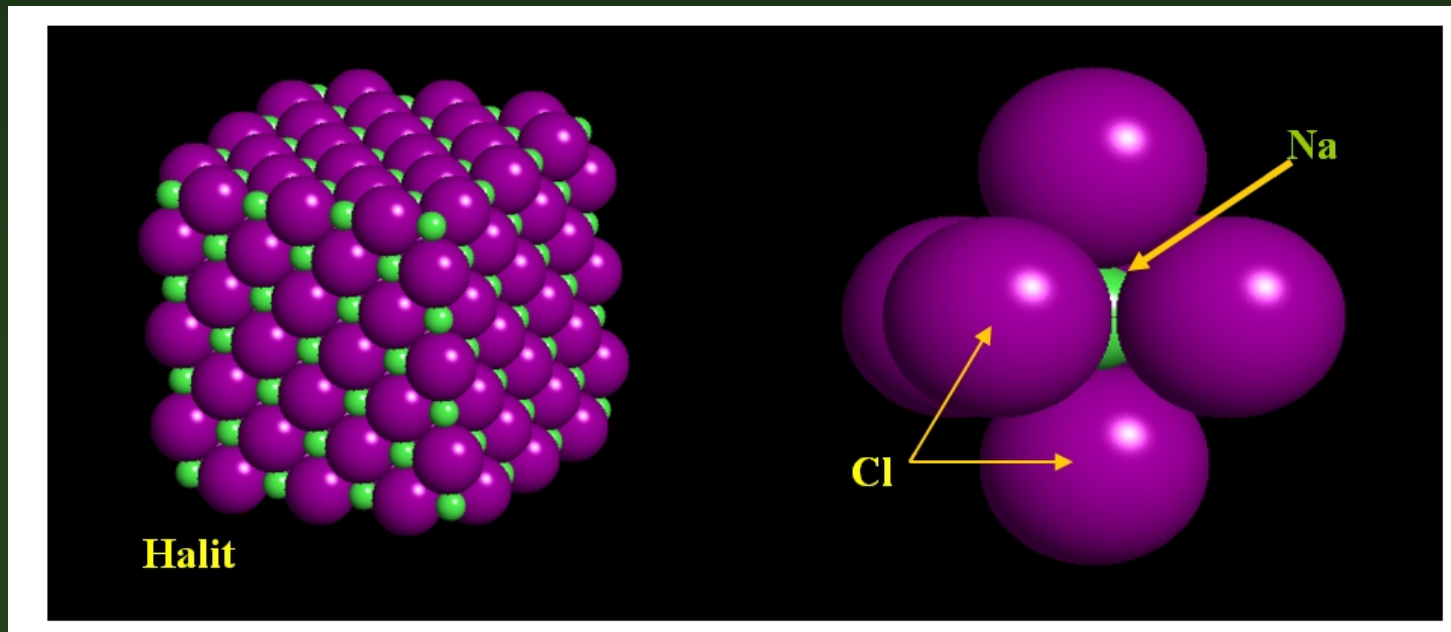
dotýkajícími se zhruba kulovitými útvary iontů. V krystalu chloridu sodného

proto neexistují jednotlivé molekuly. Uspořádání iontů v základní buňce závisí

na poměru velikosti anionu a kationu, a je možné je odvodit ze zjednodušeného předpokladu, že se ionty chovají jako koule, které se navzájem dotýkají.

## 2. Iontové krystaly

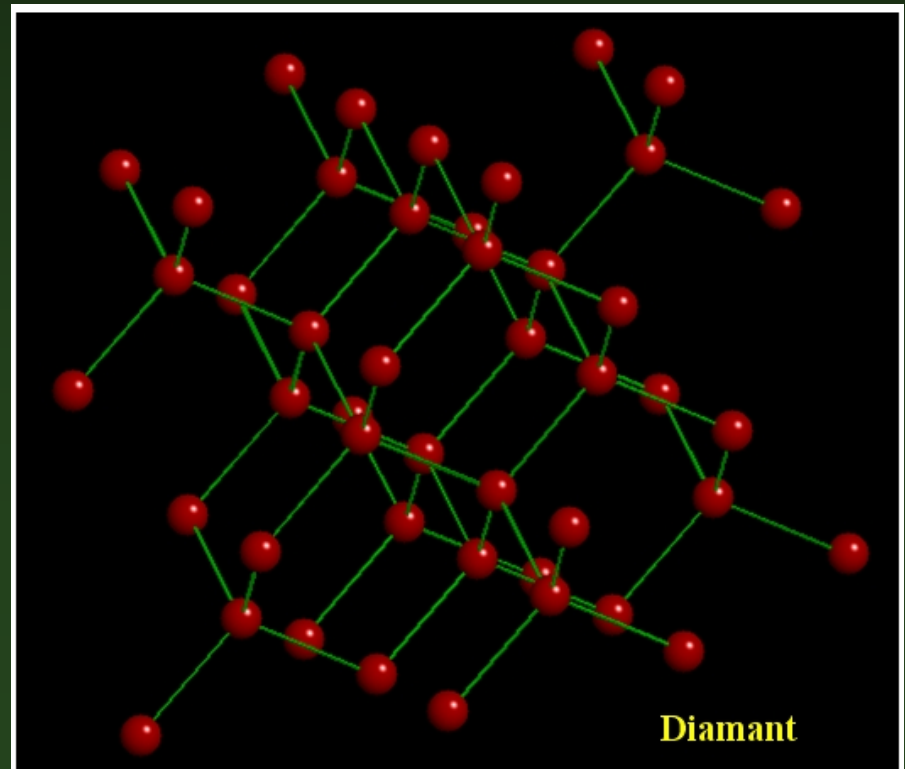
V pevném skupenství jsou tyto látky elektricky nevodivé, ale jejich roztoky a taveniny elektrický proud vedou. Elektrickou vodivost umožňují volně pohyblivé ionty. Dalším důsledkem vnitřní stavby iontových látek je jejich křehkost. Jakmile dojde k takovému posunu iontových vrstev, že se k sobě přiblíží stejně nabitě ionty, uplatní se mezi nimi odpuzování. Iontové látky se většinou rozpouštějí v rozpouštědlech složených z polárních molekul (tj. v polárních rozpouštědlech, např. ve vodě).



### 3. Kovalentní krystaly

Krystalové struktury jsou v tomto případě tvořeny kovalentně vázanými atomy. U kovalentní vazby jde u nerostů o sdílení dvou valenčních elektronů sousedními atomy ve struktuře. Elektrony jsou společné oběma atomům. Příkladem takové struktury je diamant. Každý atom uhlíku je spojen kovalentní vazbou se čtyřmi dalšími uhlíkovými atomy. Na stavbě atomových krystalů se může podílet i několik prvků. V krystalu křemene je např. každý atom křemíku spojen se čtyřmi atomy kyslíku a každý atom kyslíku se dvěma atomy křemíku.

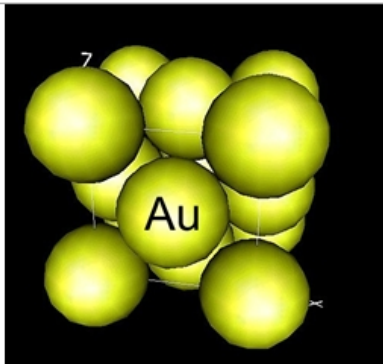
Tyto látky mají velmi vysokou teplotu tání (většinou nad  $1000^{\circ}\text{C}$ ) a v pevném skupenství jsou velmi tvrdé. Atomové krystaly jsou v obvykle používaných rozpouštědlech nerozpustné a nevedou elektrický proud.





## 4 . Kovové krystaly

Ve vazbě kovové se kolem kationtů kovu volně pohybují valenční elektrony, které jsou společné všem stavebním jednotkám struktury a tvoří tzv. elektronový plyn. Pohyblivé elektrony jsou příčinou výborné elektrické a tepelné vodivosti kovů. Se vzrůstající teplotou se důsledkem tepelných kmitů atomů tato pohyblivost zmenšuje a obráceně s poklesem teploty zvyšuje. Příkladem jsou struktury kovů.



Kubická struktura zlata s nejtěsnějším uspořádáním kulových stavebních částic – atomů.

## Izomorfie

Termín izomorfie byl poprvé použit v roce 1819 pro označení jevu, kdy různé látky vytvářejí krystaly stejného tvaru.

Dnes tímto termínem označujeme **zastupování iontů ve struktuře**.

Zastupovat se mohou chemicky příbuzné ionty, které mají blízkou velikost iontových poloměrů. Při nahrazování iontů se stejným oxidačním číslem je zachována rovnováha, při zastupování iontů s různým oxidačním číslem musí být náboje vykompenzovány jinými ionty ve struktuře.

Zastupovat ve struktuře se mohou **hlavní** složky.

Ty se zastupují ve vzorci v závorce, odděleny čárkou. Jako příklad je uvedena izomorfní řada (série) olivínu:

**Olivín** -  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

**Krajní členy** (složky) izomorfní řady:  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  – Forsterit a  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  - Fayalit

Olivín při krystalizaci z magmatu tvoří krystaly s určitým zastoupením forsteritové a fayalitové složky podle složení magmatu a teploty krystalizace.

## Polymorfie

Polymorfie je jevem, kdy chemická sloučenina vytváří dvě nebo více minerálních fází s rozdílnou strukturou, které se označují jako polymorfní modifikace.

Při vzniku polymorfních modifikací sehrává důležitou úlohu **teplota a tlak**. Z termodynamického hlediska se polymorfní modifikace vyznačují různým obsahem volné energie. Modifikace s nejmenším obsahem volné energie označujeme jako **stálé, stabilní**, ostatní jsou za podmínek existujících na zemském povrchu nestálé, nestabilní. Nestabilní modifikace se mění samovolně nebo po dodání určité energie na modifikace stabilní. Doba trvání přeměny může být u samovolných přeměn velmi dlouhá a u těžce sloučeniny různě dlouhá.

## Polymorfie

Vzorec	Minerál	Symetrie	Specifická hmotnost (g/cm <sup>3</sup> )	Koordinace
C	Diamant	Kubická	3,51	C <sup>IV</sup>
	Grafit	Hexagonální	2,25	C <sup>III</sup>
ZnS	Sfalerit	Kubická	4,09	Zn <sup>IV</sup>
	Wurtzit	Hexagonální	4,00	Zn <sup>IV</sup>
FeS <sub>2</sub>	Pyrit	Kubická	4,90-5,20	Fe <sup>VI</sup>
	Markazit	Rombická	4,85-4,90	Fe <sup>VI</sup>
SiO <sub>2</sub>	Stišovit	Tetragonální	4,28	Si <sup>VI</sup>
	Coesit	Monoklinická	3,01	Si <sup>IV</sup>
	Křemen	Trigonální	2,65	Si <sup>IV</sup>
	Cristobalitt	Kubická	2,35	Si <sup>IV</sup>
	Tridymit	Hexagonální	2,25	Si <sup>IV</sup>
TiO <sub>2</sub>	Rutil	Tetragonální	4,23	Ti <sup>VI</sup>
	Brookit	Rombická	4,14	Ti <sup>VI</sup>
	Anatas	Tetragonální	3,8-4,00	Ti <sup>VI</sup>
CaCO <sub>3</sub>	Aragonit	Rombická	2,94	C <sup>III</sup> , Ca <sup>IX</sup>
	Kalcit	Trigonální	2,72	C <sup>III</sup> , Ca <sup>VI</sup>
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	Kyanit	Triklinická	3,60	Al <sup>VI</sup> , Al <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>
	Sillimanit	Rombická	3,25	Al <sup>VI</sup> , Al <sup>IV</sup> , Si <sup>IV</sup>
	Andaluzit	Rombická	3,15	Al <sup>VI</sup> , Al <sup>V</sup> , Si <sup>IV</sup>

## Polymorfie

### Polymorfní modifikace SiO<sub>2</sub>

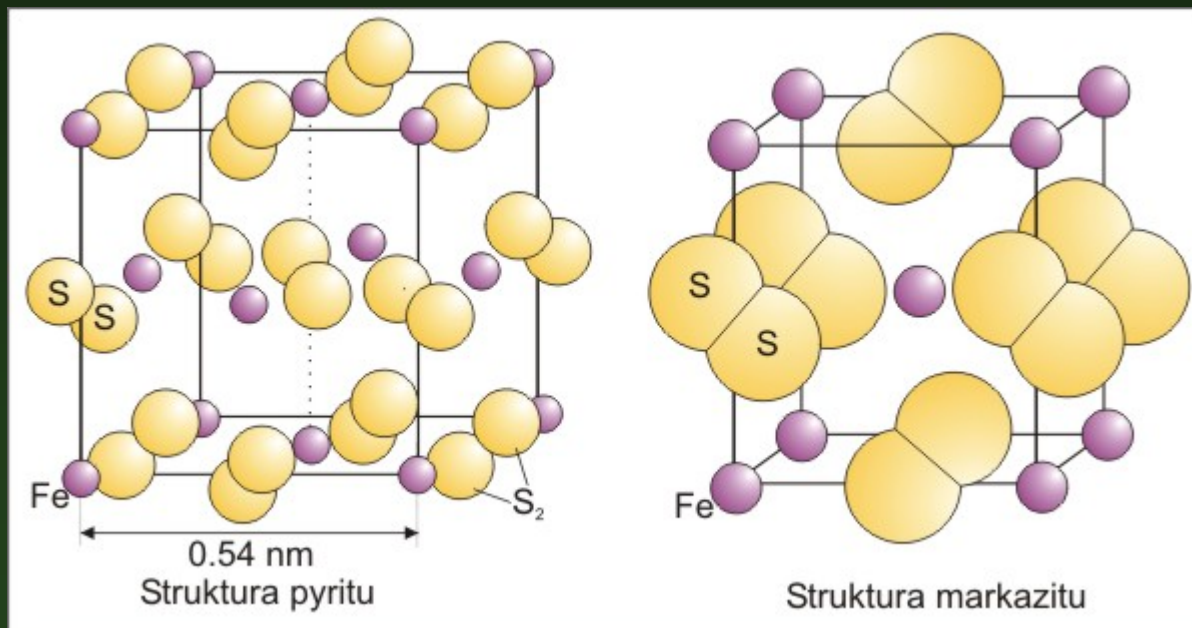
Významná je polymorfie SiO<sub>2</sub>, který vytváří jako hlavní polymorfní modifikace nízkoteplotní křemen (do 573°C) a vysokoteplotní křemen, ale i řadu dalších polymorfních modifikací vznikajících za vysokých teplot (tridymit a cristobalit) a za vysokých tlaků. Každá z hlavních modifikací SiO<sub>2</sub> má ještě dvě polymorfní formy: α nižší (stabilní za obyčejných teplot) a β vyšší (stabilní za vyšších teplot). Charakter struktury polymorfních modifikací α, β je uveden v tabulce:

Modifikace α	Modifikace β	
Křemen	trigonální	hexagonální
Tridymit	monoklinický	hexagonální
Cristobalit	tetragonální	kubický

## Polymorfie

### Pyrit - markazit

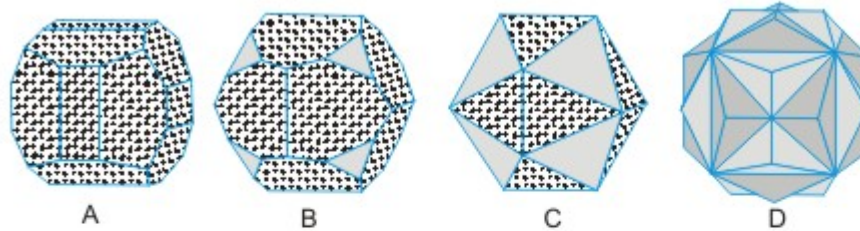
Struktury polymorfních modifikací  $\text{FeS}_2$  – kubického pyritu a rombického markazitu jsou na dalším obrázku.



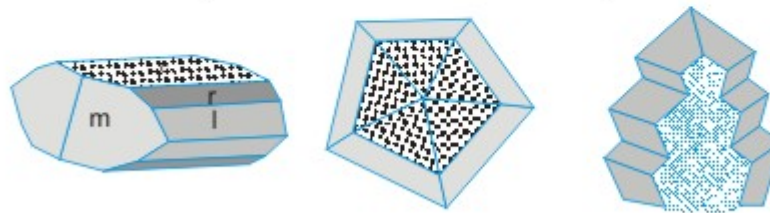
# Polymorfie

## Pyrit - markazit

Struktury polymorfních modifikací  $\text{FeS}_2$  – kubického pyritu a rombického markazitu jsou na dalším obrázku.



Pyrit, spojky s typickým rýhováním podle kombinací hrany krychle (100) a pentagondodekaedru (210), A - (210), (111), C - táž spojka obou tvarů v rovnováze se poněkud blíží krystalograficky nemožnému pravidelnému dvacetistěnu, D - proroštlice + a - (210) podle (110)



Markazit, c (001), m (110), l (011) r(014). Cyklická a kopinatá srostlice podle (110)

## Polymorfie

V případě **polytypie** jde v podstatě o polymorfii vrstevnatých struktur, která spočívá v různých způsobech změny pozice jedné nebo i více stejnocenných vrstev stavebních jednotek nad sebou. Opakování pozice první vrstvy nastává po dvou, třech, čtyřech, ale také až po několika stech vrstvách. Tím se odpovídajícím způsobem **zvyšuje i periodita identity** ve směru kolmém na vrstvy.

Polytypy se zpravidla označují jedním názvem nerostu. Číslicí se udává počet vrstev v periodě a následným velkým písmenem symbol soustavy (T-triklinická, M-monoklinická, R-rombická, H-hexagonální, C-kubická apod.). Polytypie je velmi rozšířeným jevem u nerostů s vrstevnatými strukturami. Tak např. jsou známy polytypy  $\text{MoS}_2$  (molybdenitu), ZnS (sfalerit, wurtzit), jílových minerálů a slíd (muskovit 1M, 2M, 3T apod.).



**Děkuji za pozornost**