

Mineralogie

pro kombinované studium

1. ročník ,

VŠB-TUO HGF

Ing. Jiří Mališ, Ph.D.

jiri.malis@vsb.cz, tel. 4171, kanc. J441

Cíle předmětu mineralogie

- Předmět seznamuje studenty se základy vědní disciplíny: mineralogie.
- Studenti získají znalosti o krystalické stavbě minerálů, jejich základních vlastnostech, principech klasifikace, genezi a možnostech jejich technického využití.
- Součástí předmětu je výuka praktického určování minerálů na základě makrodiagnostického popisu.
- Cílem je pochopení krystalické stavby minerálů, jejich vlastností, systému klasifikace minerálů, procesů vzniku a vývoje minerálů a metod jejich výzkumu.
- Základní principy studia vlastností a klasifikace minerálů.
- Popsat, objasnit a interpretovat jednotlivé přírodní děje podílející se na vzniku a vývoji minerálů.
- Teoreticky znát základní metody výzkumu minerálů a krystalických látek.
- Ilustrovat získané poznatky na příkladech popisu a využití minerálů.

Osnova předmětu mineralogie

- Morfologická krystalografie, hlavní krystalografické zákony. Souměrnost krystalů jednoduché tvary. Millerovy symboly, stereografická projekce.
- Krystalové soustavy a oddělení.
- Strukturní krystalografie, krystalové mřížky, rentgenografické metody, určování minerálů.
- Chemická krystalografie, stavba atomu, chemické vazby, koordinační čísla a polyedry, význam geometrického a chemického faktoru u různých typů izomorfie. Polymorfie a polytypie.
- Fyzikální krystalografie, makrodiagnostické fyzikální vlastnosti minerálů.
- Optická krystalografie, metody určování optických vlastností, polarizační mikroskop. Vztah strukturní krystalografie a optických vlastností.
- Systematická mineralogie. Princip mineralogického systému (Strunze).
- Popis minerálů v jednotlivých třídách a jejich identifikace:
 - - prvky
 - - sulfidy
 - - halogenidy
 - - oxidy a hydroxidy
 - - karbonáty
 - - sulfáty
 - - fosfáty
 - - silikáty a jejich členění na základě struktury
- Genetická mineralogie. Pochody vedoucí ke vzniku minerálů a hornin v různých genetických podmínkách.
- Magmatický původ minerálů. Diferenciace magmatu.
- Sedimentární a metamorfní původ minerálů.
- Topografie nejvýznamnějších mineralogických lokalit v ČR.

Literatura

Základní literatura:

Raclavská, H.; Matýsek, D.; Machek, P.: Mineralogická krystalografie. Vysoká škola báňská, Ostrava, 2000.

Slavík, F. a kol.: Mineralogie. – Vydav. ACADEMIA, Praha, 1974.

Chvátal M. (2005): Úvod do systematické mineralogie. – Silikátový svaz.

Chvátal, M. (2002): Mineralogie pro 1. ročník – Krystalografie. skriptum UK–PřF, Karolinum, Praha

Zamarský, V. a kol.: Mineralogie systematická I. díl. Vysoká škola báňská, Ostrava, 1981.

Zamarský, V.; Kühn, R.: Mineralogie systematická II. díl, Silikáty. Vysoká škola báňská, Ostrava, 1981.

Doporučená literatura:

Klein C., Hurlbut C. (1993): Manual of Mineralogy. – Wiley.

Gaines R.V. et al. (1997): Dana's New Mineralogy. – Wiley.

Bernard J.H., Hyršl J. (2004): Minerals and their Localities.- Granit.

Doplňující informace:

<http://geologie.vsb.cz/malis/>

Podmínky pro vykonání zkoušky z předmětu mineralogie

- 1 Přihlášení ke zkušebnímu termínu v systému Edison
(<http://edison.vsb.cz>)
- 2 Praktická – poznávací část zkoušky, určení a popis neznámých minerálů. Získání zápočtu (17-33 bodů)
- 3 Teoretická část zkoušky – písemná a ústní

Hodnocení:

51 – 65 bodů dobře

66 – 85 bodů velmi dobře

86 – 100 bodů výborně

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



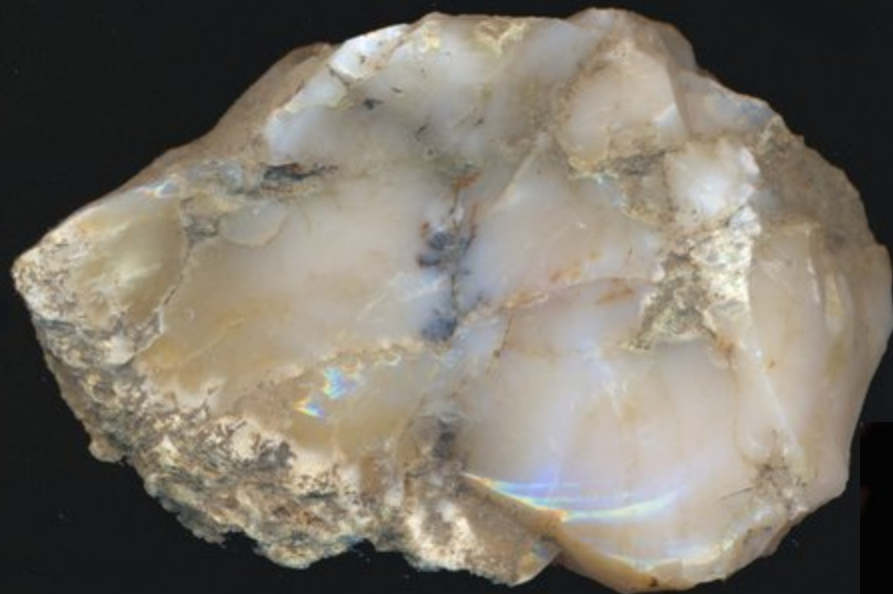
Kapky rtuťi v křemen-sideritové žilovině s drobně zrnitým cinabaritem. Štola Zimné, Rudňany, Slovensko. Velikost kapek 7 a 3 mm. Sbírka J. Mazucha, foto J. Jirásek 2006.

Základní pojmy v mineralogii

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



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 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 amorfni). 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**.

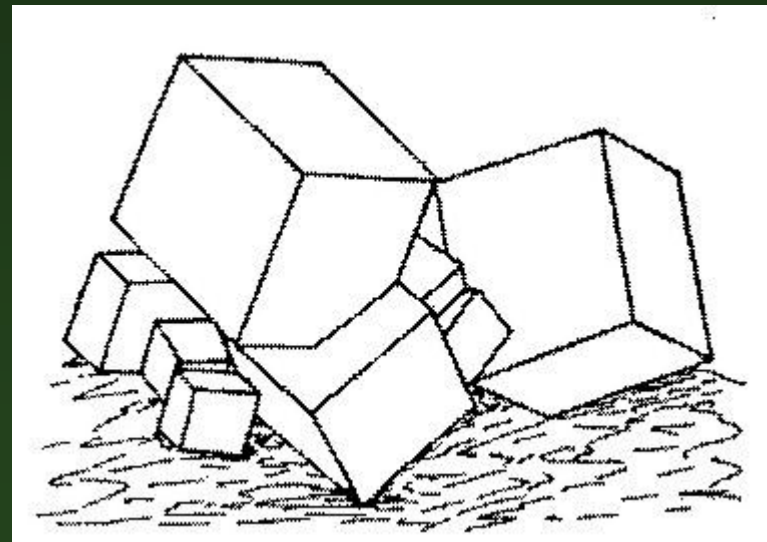
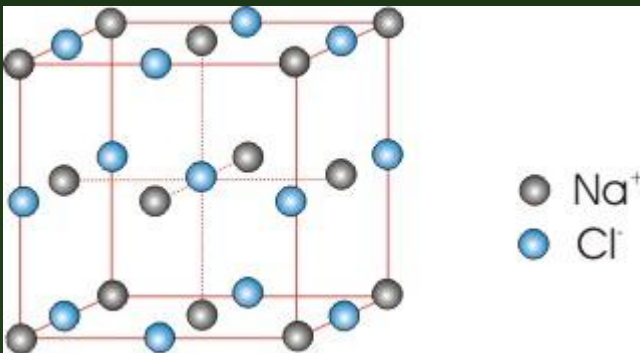
Látky krystalické a amorfní, krystaly

- 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.

Látky krystalické a amorfní, krystaly

Struktura krystalu a krystalová mřížka

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).



Morfologická krystalografie

Souměrnost krystalů

Krystal je pevné těleso se zákonitou vnitřní stavbou, jejímž odrazem je zevní tvar tělesa. Nejmenší stavební částice krystalu jsou v prostoru pravidelně, periodicky uspořádány. Výsledkem této pravidelnosti a periodicity vnitřní stavby (tj. opakování atomů nebo jejich skupin) je i pravidelné a periodické uspořádání vnějších morfologických prvků krystalu (tj. opakování ploch, hran a rohů) neboli souměrnost krystalu. Souměrností tedy rozumíme pravidelné opakování určitého motivu v prostoru. U krystalů pozorujeme souměrnost jak jejich vnitřní stavby, tak jejich vnějšího geometrického tvaru. Na krystalech můžeme pozorovat plochy různého tvaru. Jsou to mnohoúhelníky s různou mírou pravidelnosti. Vedle pravidelných a souměrných ploch se na krystalech vyskytují plochy zcela nesouměrné. Symetrické a (nebo) nesymetrické plochy skládají celé krystalové jedince. Jde o mnohostěny, které rovněž vykazují různou míru pravidelnosti, včetně zcela nepravidelných těles.

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 vlastností 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.

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.

Krystalové mřížky

Vnější omezení krystalů je odrazem jejich pravidelné vnitřní (atomové) stavby.

Charakteristickým rysem **krystalové struktury** je trojrozměrné periodické uspořádání stavebních jednotek krystalu (atomů, iontů, molekul) v prostoru.

Termín **krystalová mřížka** používáme pro představu stejného uspořádání nehmotných bodů, tzv. uzlových bodů.

Operace, jejichž opakováním vzniká z jedné stavební jednotky nebo jednoho motivu celá struktura, se nazývá **translace**. Jde o rovnoběžný posun, který má určitý **směr a délku** (vektor).

Krystalová mřížka (mříž) je abstrakce, která vyjadřuje translační periodicitu rozmístění ekvivalentních bodů v krystalu. Můžeme si ji představit jako výsledek opakovaných translací (posouvání) zvoleného počátku (výchozího bodu) podle tří nekomplanárních mřížkových vektorů

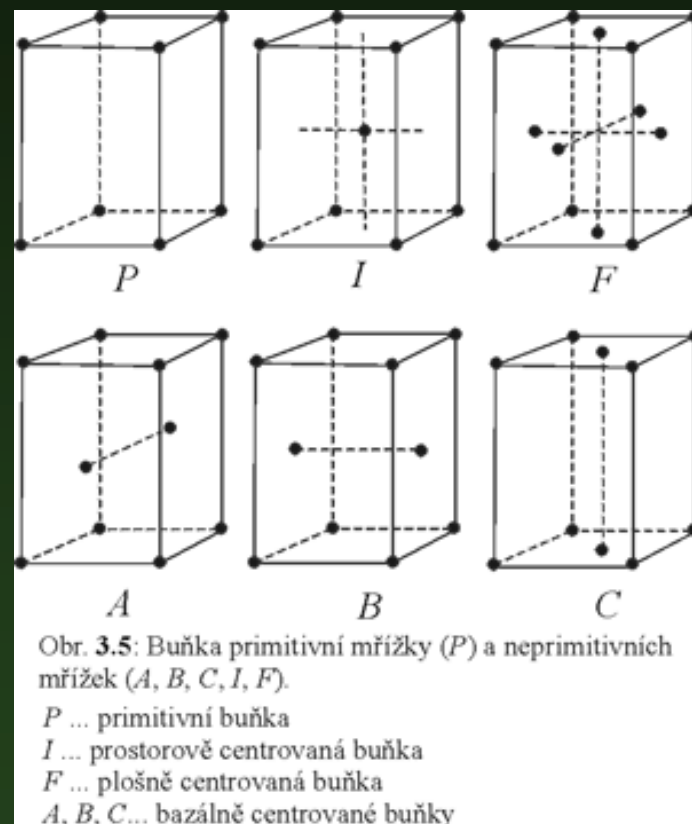
Periodickým opakováním tohoto posunu ve třech nekomplanárních směrech vzniká trojrozměrná krystalová mřížka. Z množství možných translací jsou významné translace ve směru krystalových os, kterým říkáme **základní**.

Délky těchto translací se nazývají **mřížkové parametry** (\underline{a}_0 , \underline{b}_0 , \underline{c}_0) a jsou hranami tzv. **základní buňky** minerálu.

Krystalové mřížky

Buňka je každý uzavřený rovnoběžnostěn, v jehož vrcholech (rozích) se nacházejí mřížkové body. Podle toho, kolik mřížkových bodů připadá na objem jedné buňky, se rozlišují se následující mřížky:

- Mřížky, které mají mřížkové body pouze ve vrcholech buňky, se nazývají **primitivní** (značíme je P , v trigonální soustavě R).
- Mřížky, které mají mřížkové body i mezi vrcholy buňky, se nazývají **centrované** (složené, neprimitivní):
 - mřížky se dvěma mřížkovými body uprostřed protilehlých stran buňky se nazývají **bazálně centrované** (A , B , C),
 - mřížky s mřížkovým bodem v průsečíku tělesových uhlopříček buňky nazýváme **prostorově centrované** (I),
 - mřížky s mřížkovými body uprostřed každé plochy buňky se **nazývají plošně centrované** (F),

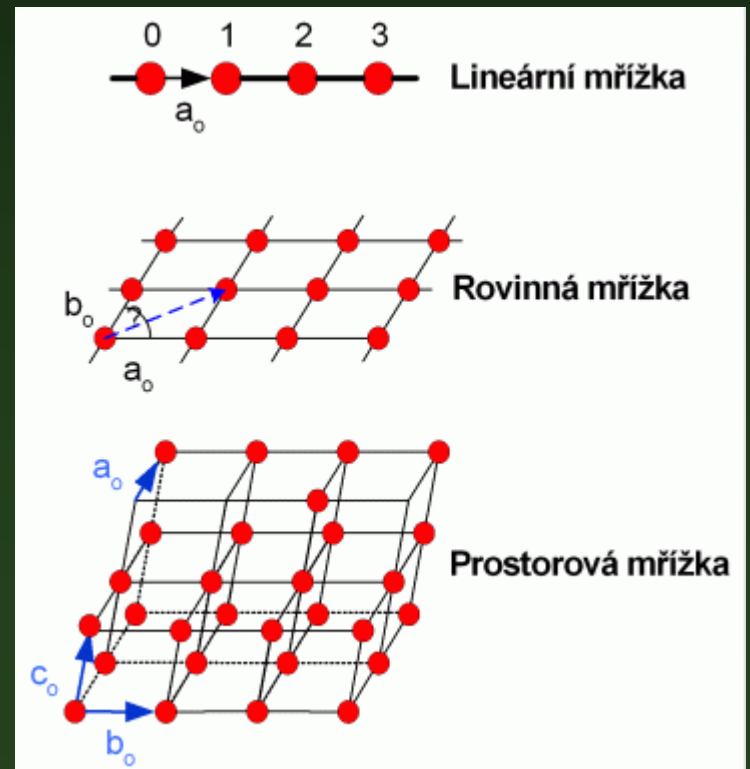


Krystalové mřížky

Za základní buňku se volí v určité struktuře takový hranol, který splňuje tyto podmínky:

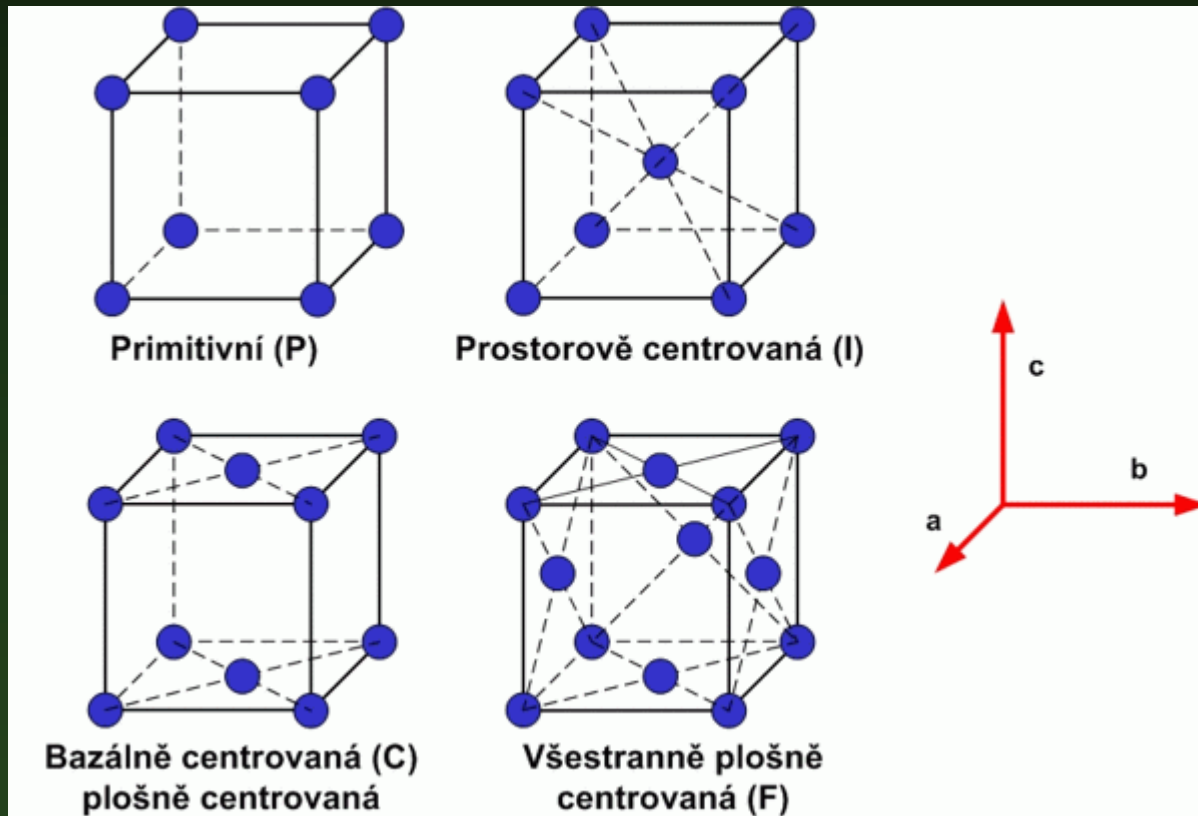
- 1) Maximální (úplnou) souměrnost této struktury
- 2) Počet stejných hran a úhlů mezi nimi musí být maximální
- 3) Počet pravých úhlů musí být maximální
- 4) Při dodržení prvních tří kriterií musí být objem buňky minimální

Translačním posunem stavební jednotky vzniká:
a) řada; b) rovina; c) prostorová mřížka. V
obrázku jsou vyznačeny mřížkové parametry a_0 ,
 b_0 , c_0 .



Krystalové mřížky

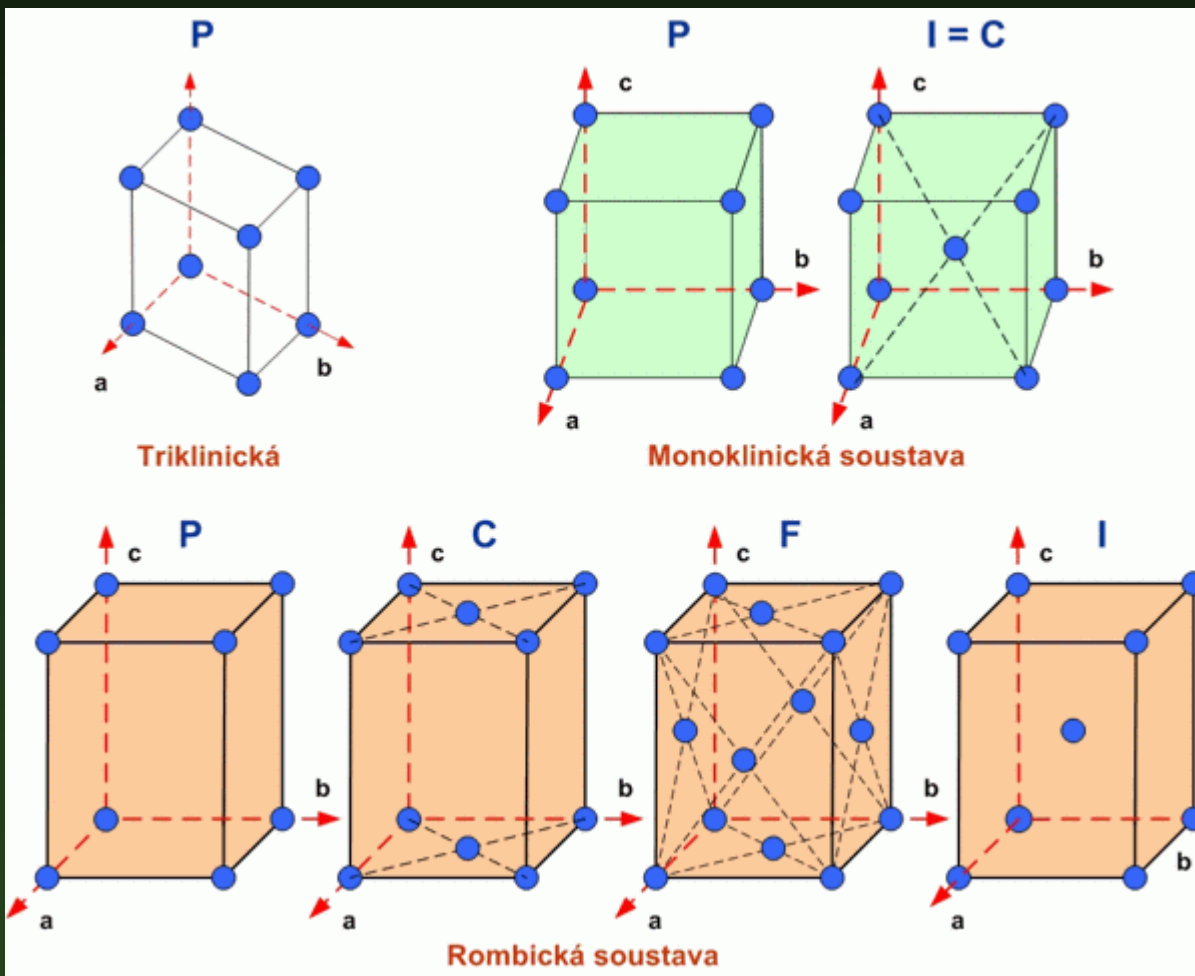
Translace jedné stavební jednotky vedou k souboru totožných identických stavebních jednotek. Translační posuny bodu při nezbytném respektování souměrnosti plnoplochých oddělení odvodil A. Bravais roku 1848, 14 možných druhů prostorových translačních mřížek. Označují se velkými písmeny P, A, B, C, F, I, a R.



- V primitivní (jednoduché buňce) jsou rozmístěny uzlové body pouze ve vrcholech buňky (P)
- V prostorově centrované jsou uzlové body rozmístěny ve vrcholech a ve středu buňky (I)
- V plošně centrované jsou uzlové body ve vrcholech a středech stěn buňky (F)
- V bazálně centrované jsou ve vrcholech a středech protilehlých stěn buňky (C)

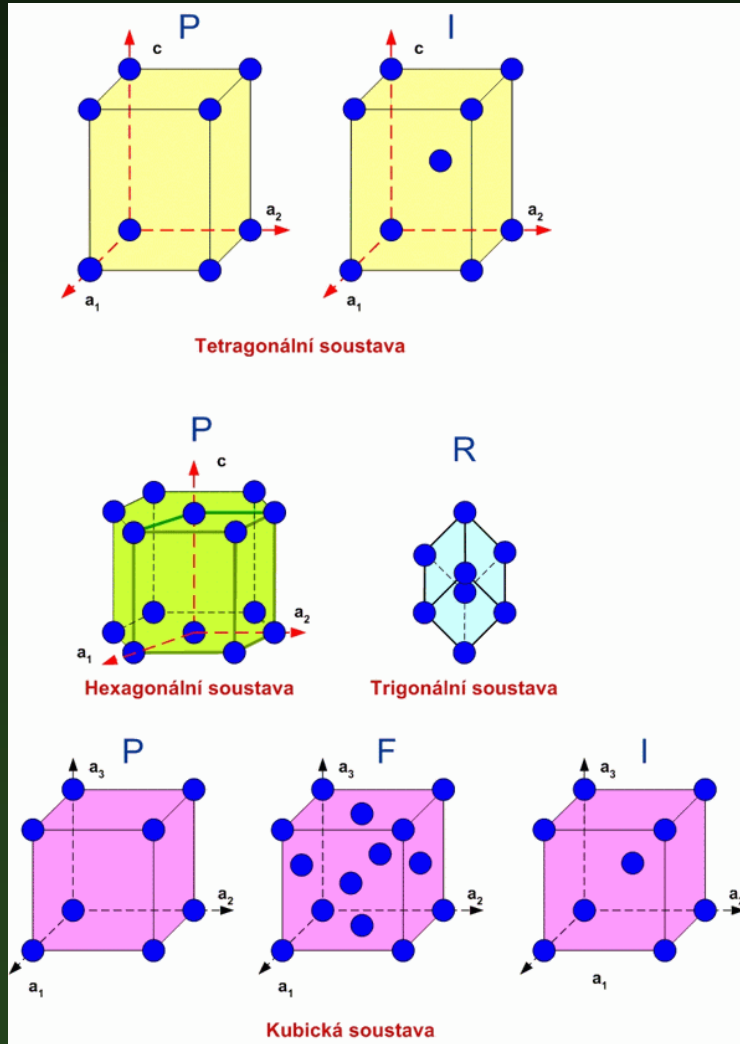
Krystalové mřížky

7 krystalových soustav → 14 typů Bravaisových buněk



Krystalové mřížky

7 krystalových soustav → 14 typů Bravaisových buněk



Chemická krystalografie

Chemické složení minerálů je jedním z faktorů, který určuje jeho vlastností. Vlastnosti minerálů závisí na:

- Chemickém složení
- Geometrickém uspořádání základních stavebních jednotek (atomů, iontů nebo molekul)

Vlastnosti minerálů = f (strukturní uspořádání + chemické složení)

Struktura je dále ovlivňována fyzikálně-chemickými podmínkami (tlakem a teplotou) a chemickým složením prostředí, které určovalo podmínky pro vznik minerálů.

Struktura = f (chemické složení, T, p)

Strukturou rozumíme umístění skutečných stavebních částic (atomů a iontů) v geometrických bodech strukturní mřížky.

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.

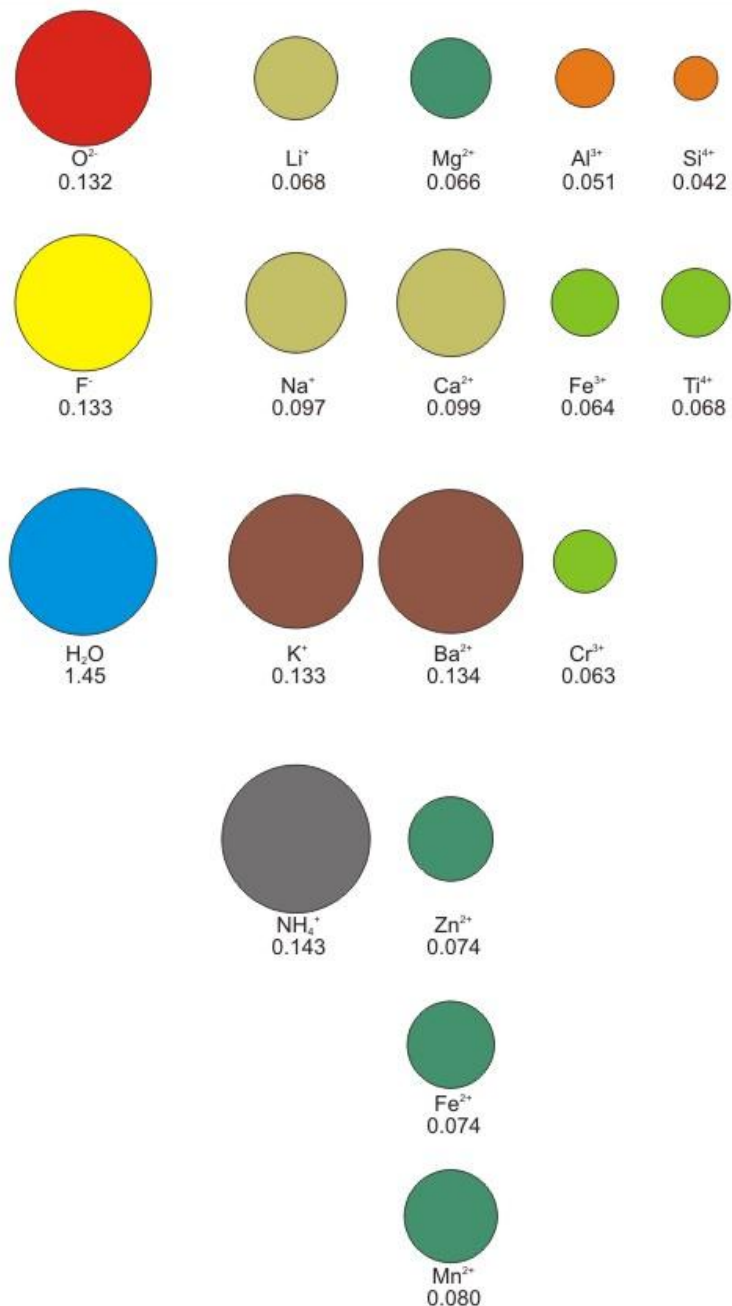
Vlastnosti minerálních fází jsou významné i při migraci chemických prvků ve vodním prostředí, v povrchových a podzemních vodách nebo v půdní vodě. Chemické prvky jsou dále v přírodním prostředí přítomny v roztocích v rovnováze s minerálními fázemi a jejich migrace v roztocích je ovlivňována vlastnostmi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

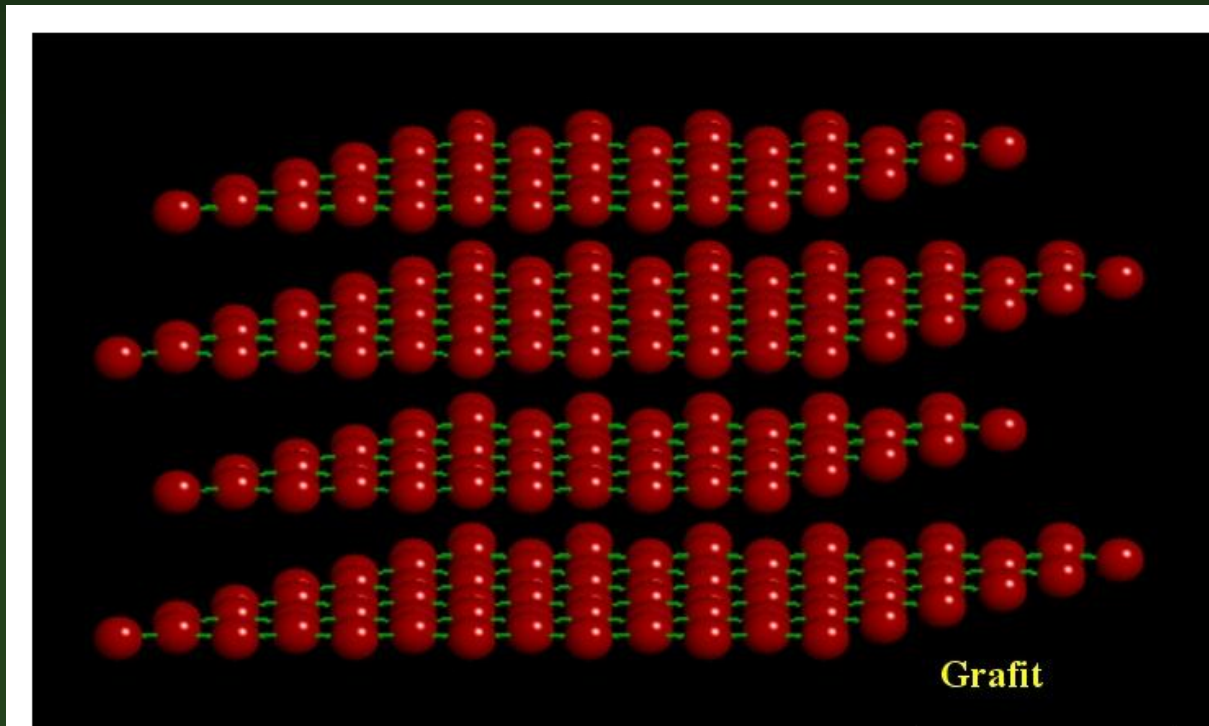
Chemické vazby v krystalech

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 Na^{1+} a anionty 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.

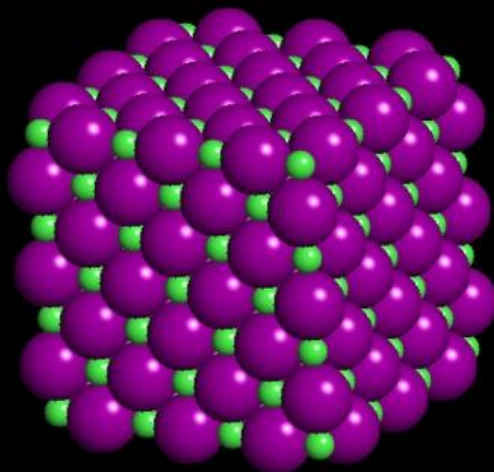
Chemické vazby v krystalech

Rozlišujeme 4 typy krystalů:

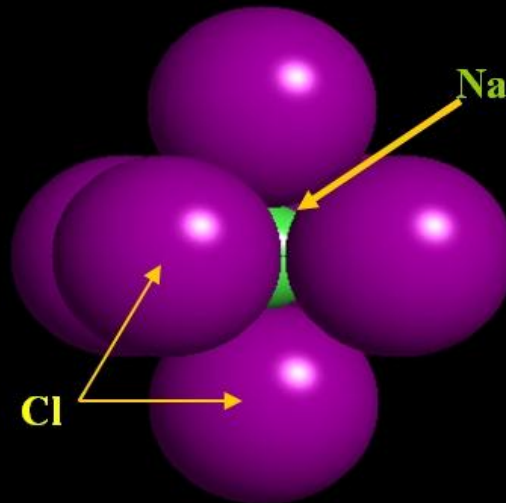
Molekulové krystaly, iontové krystaly, atomové (kovalentní) krystaly, kovové krystaly

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).



Halit



Chemické vazby v krystalech

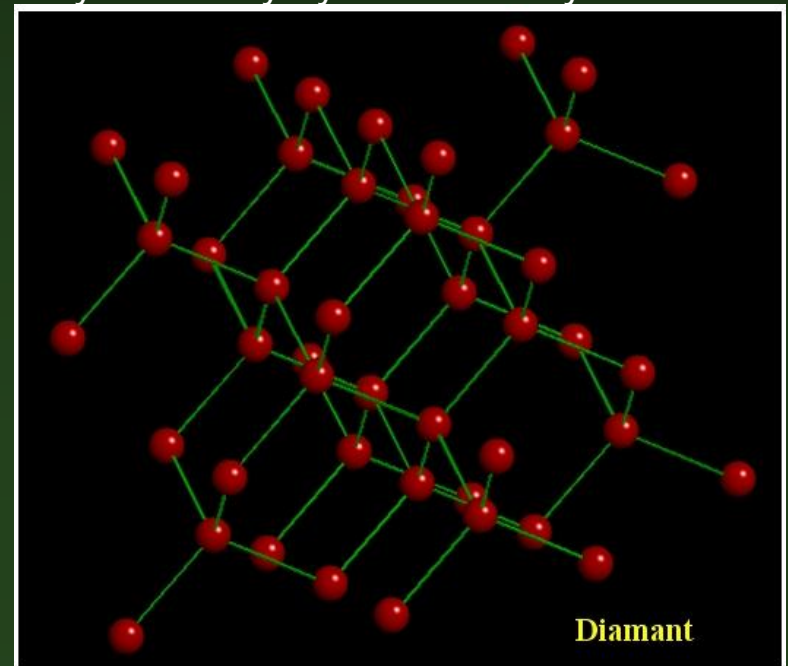
Rozlišujeme 4 typy krystalů:

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

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°C) a v pevném skupenství jsou velmi tvrdé. Atomové krystaly jsou v obvykle používaných rozpouštědlech nerozpustné a nevedou elektrický proud.



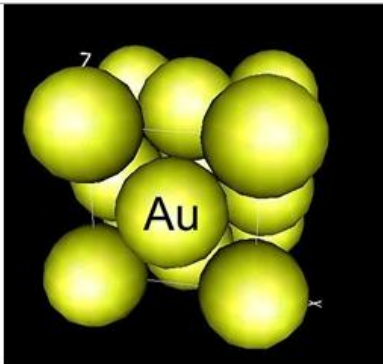
Chemické vazby v krystalech

Rozlišujeme 4 typy krystalů:

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

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: Mg_2SiO_4 – Forsterit a Fe_2SiO_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 ³) | Koordinace |
|----------------------------------|--------------|--------------|--|--|
| C | Diamant | Kubická | 3,51 | C ^{IV} |
| | Grafit | Hexagonální | 2,25 | C ^{III} |
| ZnS | Sfalerit | Kubická | 4,09 | Zn ^{IV} |
| | Wurtzit | Hexagonální | 4,00 | Zn ^{IV} |
| FeS ₂ | Pyrit | Kubická | 4,90-5,20 | Fe ^{VI} |
| | Markazit | Rombická | 4,85-4,90 | Fe ^{VI} |
| SiO ₂ | Stišovit | Tetragonální | 4,28 | Si ^{VI} |
| | Coesit | Monoklinická | 3,01 | Si ^{IV} |
| | Křemen | Trigonální | 2,65 | Si ^{IV} |
| | Cristobalitt | Kubická | 2,35 | Si ^{IV} |
| | Tridymit | Hexagonální | 2,25 | Si ^{IV} |
| TiO ₂ | Rutil | Tetragonální | 4,23 | Ti ^{VI} |
| | Brookit | Rombická | 4,14 | Ti ^{VI} |
| | Anatas | Tetragonální | 3,8-4,00 | Ti ^{VI} |
| CaCO ₃ | Aragonit | Rombická | 2,94 | C ^{III} , Ca ^{IX} |
| | Kalcit | Trigonální | 2,72 | C ^{III} , Ca ^{VI} |
| Al ₂ SiO ₅ | Kyanit | Triklinická | 3,60 | Al ^{VI} , Al ^{VI} , Si ^{IV} |
| | Sillimanit | Rombická | 3,25 | Al ^{VI} , Al ^{IV} , Si ^{IV} |
| | Andaluzit | Rombická | 3,15 | Al ^{VI} , Al ^V , Si ^{IV} |

Polymorfie

Polymorfní modifikace SiO_2

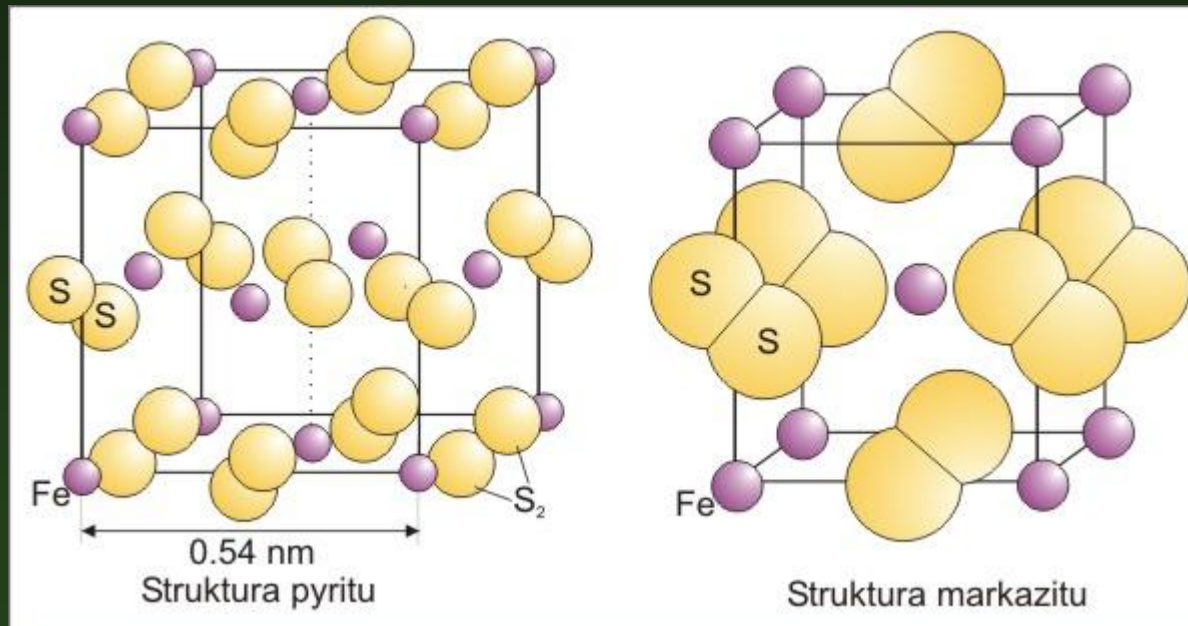
Významná je polymorfie SiO_2 , který vytváří jako hlavní polymorfní modifikace nízkoteplotní křemen (do 573°C) a vysokoteplotní křemen, ale i řadu dalších polymorfních modifikací vznikajících za vysokých teplot (tridymit a cristobalit) a za vysokých tlaků. Každá z hlavních modifikací SiO_2 má ještě dvě 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

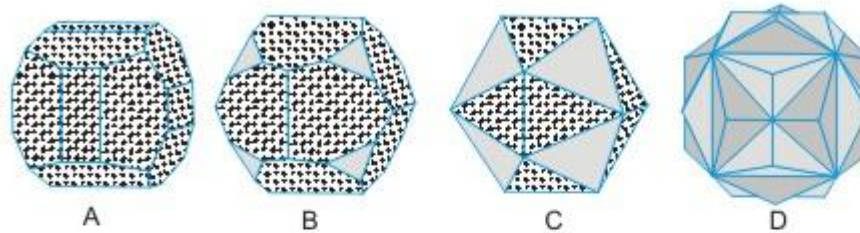
Struktury polymorfních modifikací FeS_2 – kubického pyritu a rombického markazitu jsou na dalším obrázku.



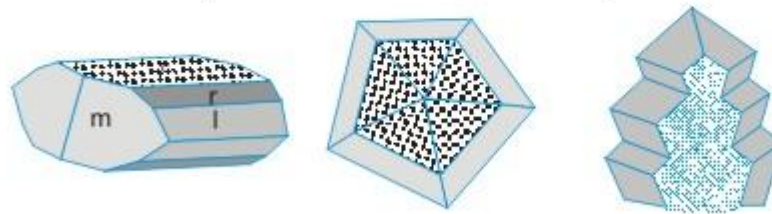
Polymorfie

Pyrit - markazit

Struktury polymorfních modifikací 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 - prorošlice + 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 MoS_2 (molybdenitu), ZnS (sfalerit, wurtzit), jílových minerálů a slíd (muskovit 1M, 2M, 3T apod.).

Optická krystalografie

Optická krystalografie studuje vlastnosti krystalů ve viditelné oblasti světla (400 – 800 nm) a pro jejich vysvětlení vychází z elektromagnetické vlnové teorie světla. V procházejícím světle lze studovat minerály, které jsou alespoň ve velmi tenkých řezech (řádově 0,0X mm), tzv. výbrusech (standardní tloušťka výbrusu je 0.03 mm) nebo jemném prášku (práškové preparáty) průhledné, přičemž větší úlomky téhož minerálu mohou být neprůhledné (např. pyroxeny). Studium v odraženém světle v tzv. nábrusech je praktikováno u minerálů opakních, neprůhledných v tenkých řetězech (např. galenit, pyrit). Převážná část minerálů v zemské kůře patří do první skupiny, a proto jsou optické vlastnosti minerálů v procházejícím světle nejdůležitějšími v mineralogické a petrografické diagnostické praxi.

Optická krystalografie

Příprava preparátů pro pozorování

Výbrusy jsou připravovány uřezáním destičky o tloušťce několika mm diamantovou pilou. Destička je nalepena na podložní sklíčko a zbrušena na požadovanou tloušťku (0.03 mm). Tento tenký řez je překryt tenkým krycím sklíčkem. Pro lepení se používá přírodní pryskyřice - kanadský balzám nebo syntetické látky podobných vlastností. Kombinovaná řezačka (levá část) a bruska (pravá část) Discoplan firmy Struers pro přípravu výbrusů je na obrázku.



Optická krystalografie

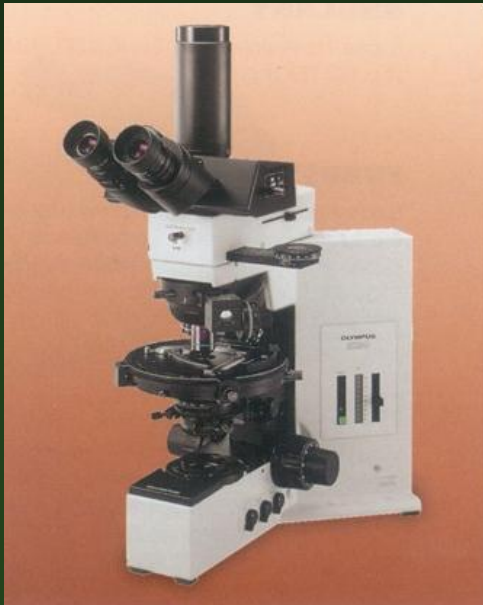
Příklady výbrusů



Optická krystalografie

Polarizační mikroskop

Převážná část optických vlastností minerálů, které charakterizují minerál a slouží k jeho určení, je studována polarizačním mikroskopem. Ten se odlišuje od biologického mikroskopu zařízenými pro polarizaci světla. Těmi rozumíme součástky, které jsou schopny vytvářet z obyčejného světla světlo polarizované.

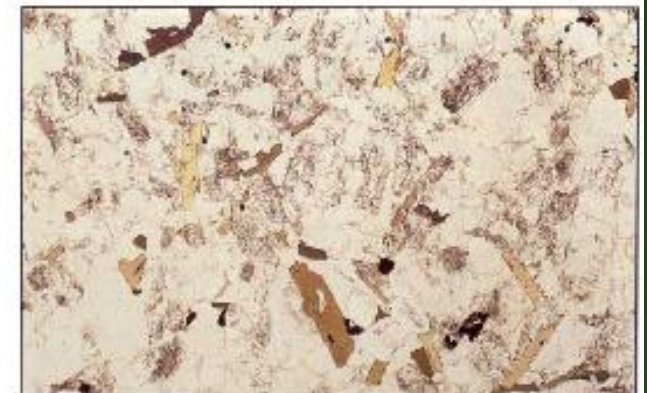


Optická krystalografie

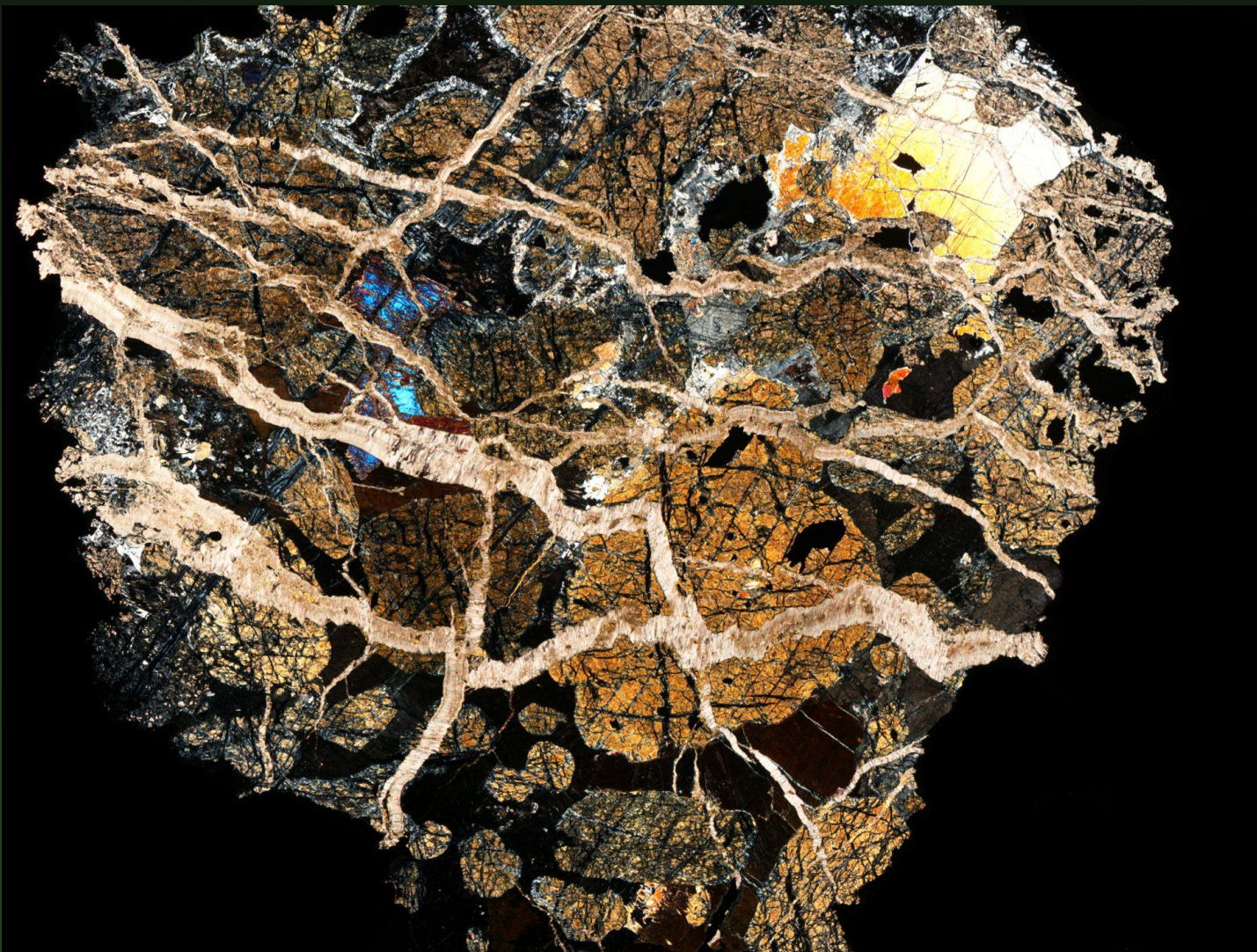


Vzorek žuly pozorovaný při zkřížených nikolech

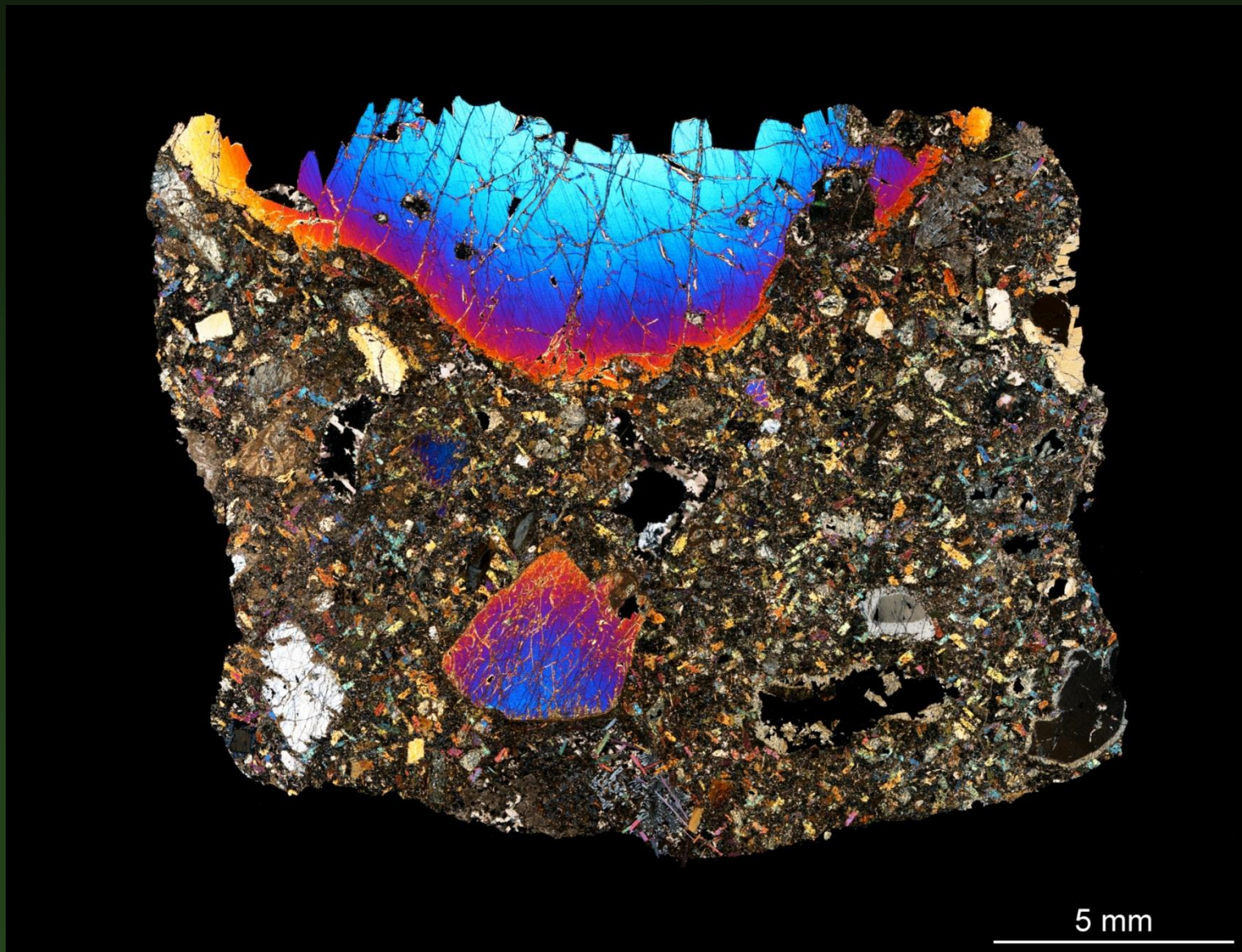
Vzorek žuly pozorovaný při rovnoběžných nikolech



Optická krystalografie



Optická krystalografie



Optická krystalografie

Optická krystalografie studuje vlastnosti krystalů ve viditelné oblasti světla (400 – 800 nm) a pro jejich vysvětlení vychází z elektromagnetické vlnové teorie světla. V procházejícím světle lze studovat minerály, které jsou alespoň ve velmi tenkých řezech (řádově 0,0X mm), tzv. výbrusech nebo jemném prášku (práškové preparáty) průhledné, přičemž větší úlomky téhož minerálu mohou být neprůhledné (např. pyroxeny). Studium v odraženém světle v tzv. nábrusech je praktikováno u minerálů opakních, neprůhledných v tenkých řetězech (např. galenit, pyrit).

Lom a dvojlom světla

Po dopadu světelného paprsku ze vzduchu na minerál mohou v obecném případě nastat dva jevy:

- ⇒ **Lom světla** je charakteristický pro látky **opticky izotropní** (krychlové a amorfní)
- ⇒ **Dvojlom světla** - látky **opticky anizotropní** (kromě soustavy krychlové).

Úhel dopadu a lomu světelného paprsku měříme ke kolmici dopadu. Při přechodu světla z prostředí opticky řidšího (vzduchu) do opticky hustšího (minerál) nastává lom ke kolmici, při obráceném chodu světla lom od kolmice.

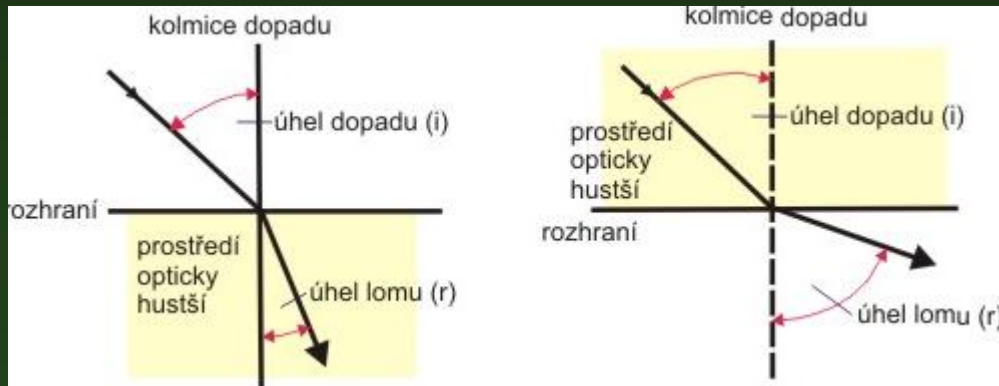
Optická krystalografie

Index lomu

Lom i dvojlom světla lze charakterizovat tzv. **indexy lomu**, které jsou významnými optickými parametry každého minerálu. Indexem lomu (n) rozumíme poměr rychlostí paprsku ve vzduchu a v minerálu, který se

$$n = v_1 / v_2 = \sin \alpha / \sin \beta$$

rovná poměru sinů úhlu dopadu a lomu. Rychlost a směr paprsků se rozumí ve směru vlnové normály, rychlost světla ve vzduchu je jen nepatrně menší než rychlost světla ve vakuu.



Optická krystalografie

Index lomu

Pro měření indexů lomu se nejčastěji používá metoda imerzní. **Imerzní metoda** je založena na ztotožnění indexu lomu minerálu s indexem lomu imerzní kapaliny. Při mikroskopickém pozorování minerálu v kapce imerzního oleje pozorujeme při **malém rozostření zdvihnutím mikroskopického tubu** při okraji minerálu světelný proužek, který se nazývá **Beckeho linka**. **Beckeho linka při rozostření zvednutím tubu vstupuje do prostředí opticky hustšího, tzn. do prostředí o vyšším indexu lomu.**

Rozdělení látek podle optických vlastností

Podle lomu a dvojlomu světla dělíme látky na opticky izotropní a anizotropní.

U anizotropních minerálů však dvojlom nenastává ve všech případech. I v nich existují směry, ve kterých dochází **pouze k lomu** světelných paprsků jako je tomu u minerálů izotropních. U části anizotropních minerálů je takový směr jeden, u ostatních dva. Běžně se označují jako **optické osy** (směry izotropie). Jednu optickou osu mají minerály ze soustavy tetragonální, trigonální a hexagonální. Optická osa u nich souhlasí se směrem krystalografické osy c . Protože mají jednu optickou osu, označujeme je jako **minerály jednoosé**. Ostatní anizotropní minerály, tj. ze soustavy romboické, jednoklonné a trojklonné mají **dvě optické osy** a proto je označujeme jako **minerály dvojosé**.

Optické vlastnosti minerálů jednoosých - jednoosé minerály byly charakterizovány tak, že v nich existuje jeden směr (optická osa), ve kterém nedochází k dvojlomu, ale pouze k lomu, tento je souhlasný se směrem krystalografické o osy c .

Ve směrech odchýlených od optické osy dochází k dvojlomu. Vznikají dva k sobě kolmo polarizované paprsky, šířící se krystalem různou rychlostí. Největší rozdíl v rychlostech obou paprsků je tehdy, když původní paprsek vstupuje do krystalu ve směru kolmém k optické ose.

Paprsek, který se šíří krystalem ve všech směrech konstantní rychlostí nazýváme jako paprsek řádný (ordinární – o), paprsek u něhož rychlost šíření závisí na směru je pak nazýván jako paprsek mimořádný (extraordinární – e).

Podle toho dělíme jednoosé minerály na opticky negativní a opticky pozitivní, přičemž platí:

| | | | |
|-------|---------|----------------------------|---|
| je-li | $e > o$ | minerály opticky negativní | - |
| | $e < o$ | minerály opticky pozitivní | + |

Fyzikální vlastnosti minerálů

Minerály jako fyzikální látky mají různé vlastnosti, např. barvu, tvrdost, lesk, hustotu, elektrickou vodivost aj. Všechny tyto vlastnosti, podobně jako vnější geometrický tvar jsou projevem vnitřní stavby – krystalové struktury a chemického složení.

Fyzikální vlastnosti významné pro rychlé určení minerálů

- Barva
- Barva vrypu
- Lesk
- Štěpnost
- Tvrdost
- Hustota
- Magnetizmus
- Luminiscence

Barva

Většina mechanismů, které produkují barvu minerálů jsou výsledkem vzájemného působení (interakce) vlnění světla s elektrony látky, takže barva je viditelným vyjádřením některých specifických strukturních vlastností hmoty. Hlavní faktory, které se podílejí na vzniku barvy můžeme klasifikovat následovně:

- hlavní prvky, tvořící chemickou sloučeninu
- přítomnost nečistot ve stopovém množství
- výskyt defektů krystalové struktury
- přítomnost jemných laminárních rozhraní způsobujících interferenci světla
- mechanické příměsi jemně rozptýlené v hostitelském minerálu

V podstatě každá barva závisí na absorpci určitých vlnových délek polychromatického bílého světla, ve kterém nerost pozorujeme. Část světla je absorbována, část se odráží a část prochází minerálem. Podle poměru odraženého, absorbovaného a procházejícího světla rozlišujeme minerály:

- průhledné, průsvitné,
- průsvitné jen na hranách
- neprůsvitné, opakní.

Barevné minerály

Podle toho, které vlnové délky jsou absorbovány, dostává minerál v procházejícím i odraženém světle určitý barevný odstín. Rozeznáváme podle příčin vyvolávajících tuto absorbanci dvě skupiny minerálů:

Minerály barevné (idiochromatické)

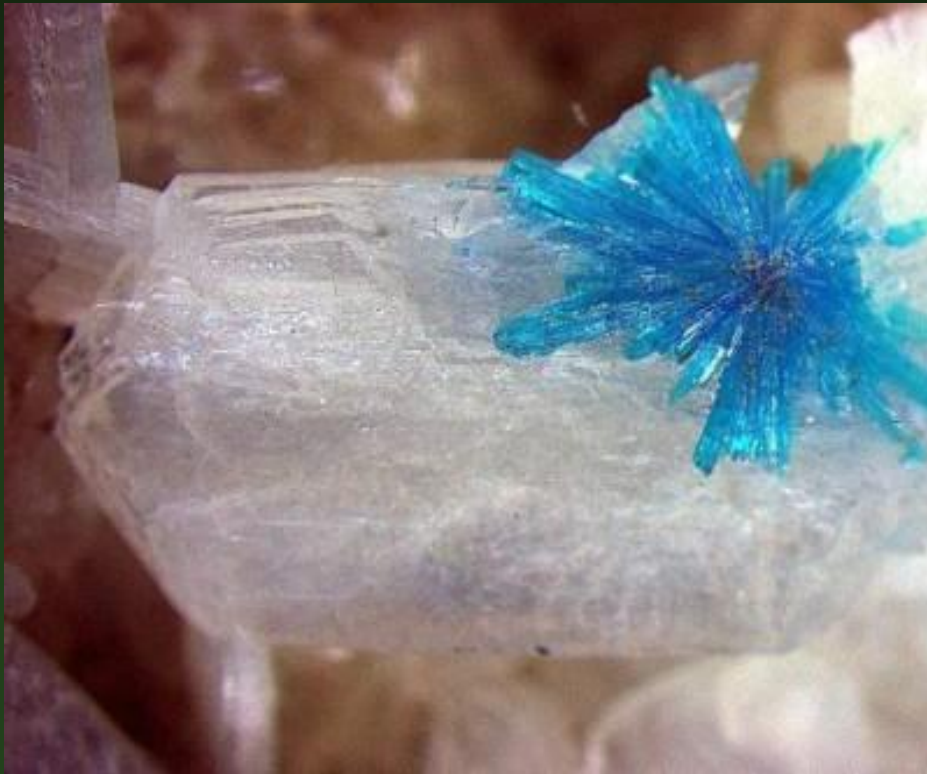
Barva je podstatnou vlastností, způsobenou přítomností barevných iontů (prvků) ve sloučenině tvořící minerál (chromofory), nebo určitým typem krystalové mřížky. Důležitými chromofory jsou např. Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu.

Fe^{3+} - barva červenohnědá, Fe^{2+} barva zelená

Ti^{3+} - barva fialová, Co – červená, Ni - zelená, Cu - zelená a modrá, Cr - zelená

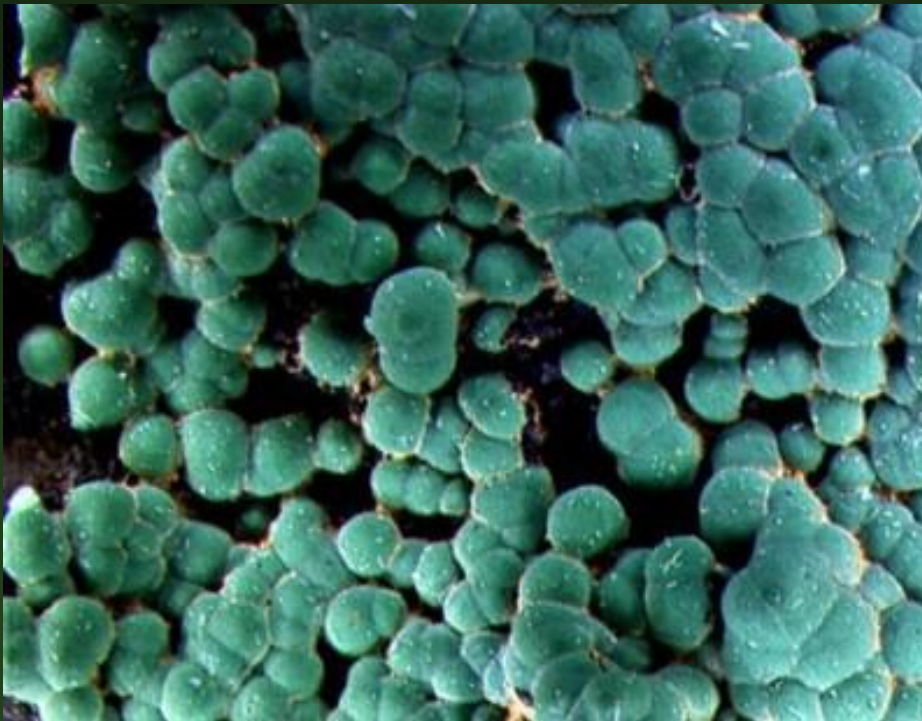
U izomorfních směsí tvořených složkou barevnou a bezbarvou se podle poměru složek mění intenzita barvy (chlority, olivín apod.).

Barevné minerály



Cavansit (V – způsobuje modrou barvu)

Barevné minerály



Malachit – zelenou barvu způsobuje Cu

Barevné minerály

U izomorfních směsí tvořených složkou barevnou a bezbarvou se podle poměru složek mění intenzita barvy (chlority, olivín apod.).



Sfalerit – Fe izomorfně zastupuje Zn. Barva se mění (tmavne) s rostoucím podílem Fe.

Zbarvené minerály

Minerály zbarvené (allochromatické)

Barva není podstatnou vlastností. Jejich barevnost způsobují barvicí příměsi (mnohdy minerální), deformace strukturní mřížky apod. Zbarvení může být u jednoho minerálu různé. Zbarvení je nejčastěji rozptýlené (dilutní) tak, že ani při použití největšího zvětšení v mikroskopu nepozorujeme přítomnost barvicí látky. Například křemen může být čirý (křišťál), žlutý (citrín), fialový (ametyst), růžový (růženin), hnědý (záhněda), černý (morion).

Někdy naopak lze snadno mikroskopicky rozeznat částičky cizí hmoty (pigmentu) v hostitelském minerálu. Například červenohnědé zbarvení křemene je způsobeno jemnými částicemi hematitu apod. Zbarvení nebývá vždy vlastností stálou. Mění se často zahřáním na vysoké teploty, ozářením apod. Diamant např. při ozařování hnědne, ametyst po vypálení žloutne.

Zbarvené minerály



Příklad různě zbarvených krystalů fluoritu.

Barva vrypu

Barva vrypu minerálů u některých minerálů reprezentuje významnou diagnostickou vlastnost (např. rozlišení magnetitu – vryp černý a chromitu – vryp žlutý).

Barvou vrypu rozumíme barvu jemného prášku minerálu, který nejčastěji obdržíme otěrem o drsný neglazovaný porcelán. Barevné nerosty mívají často stejný vryp jako jejich barva nebo o něco světlejší. Někdy se však barva vrypu od barvy nerostu liší, zvláště u nerostů kovového vzhledu. Např. žlutý chalkopyrit má vryp černý, šedý galenit černý apod.

Zbarvené minerály mají většinou vryp bílý nebo našedlý i při poměrně intenzivním zbarvení (odrůdy křemene, bronzit).

Lesk

Část světla dopadajícího na minerál se vždy odráží. Intenzita tohoto odrazu závisí jednak na výšce lomu a na koeficientu světelné absorpce (optické vlastnosti), jednak na agregátním stavu nerostu a povaze odrážejícího povrchu.

Velmi intenzivní lesk mají minerály o vysokém světelném lomu a vysokém koeficientu absorpce. Jsou-li zcela opakní mají lesk **kovový – kovový vid** (galenit, antimonit, pyrit aj.), jsou-li poloprůsvitné mají vid (lesk) – **polokovový** (wolframit, ilmenit, chromit aj.). Nerosty průsvitné a průhledné při vysokém světelném lomu nebo minerály až neprůhledné při nízkém světelném lomu mají vid (lesk) **nekovový** (křemen, kalcit, granát apod.).

Lesk

Nekovový lesk dále dělíme:

Diamantový - při vysokém světelném lomu a průhlednosti (diamant, sfalerit), s ubývající průhledností se mění v lesk polokovový.

Skelný - při středním a nízkém světelném lomu a dobré průhlednosti (křemen, živec apod.).

Perleťový u nerostů s dokonalou štěpností, kdy na štěpných trhlinách vznikají jevy interference a totálního odrazu světla (slídy, sádrovec, mastek aj.).

Mastný - připomínající lesk vosku (síra).

Matný na lomných plochách nerostů s nižším světelným lomem. Jemnozrnné agregáty mívají pro svůj drsný povrch rovněž lesk matný nebo jsou bez lesku. Zcela matné bývají velmi jemnozrnné agregáty, které jsou jako zemité (bauxit, kaolinit aj.).

Hedvábný - je typický pro vláknité agregáty (chryzotil, amfibolitové azbesty apod.)

Štěpnost

Je definována jako krystalograficky orientované minimum soudržnosti. Rovnoběžně ke krystalograficky daným rovinám dochází k odlučnosti s rovnými plochami. Tam, kde štěpnost chybí, vznikají při překročení meze pevnosti nerovné plochy lomné. Plochami štěpnosti bývají zpravidla krystalové roviny s nejjednoduššími symboly.

Štěpnost u krystalů bývá různě intenzivně vyvinutá, což se projevuje kvalitou štěpných ploch. Proto se stupeň štěpnosti vyjadřuje kvalitativně:

⇒ velmi dokonalá štěpnost (slídy, sádrovec)

⇒ dokonalá štěpnost (amfiboly)

⇒ dobrá štěpnost (pyroxeny)

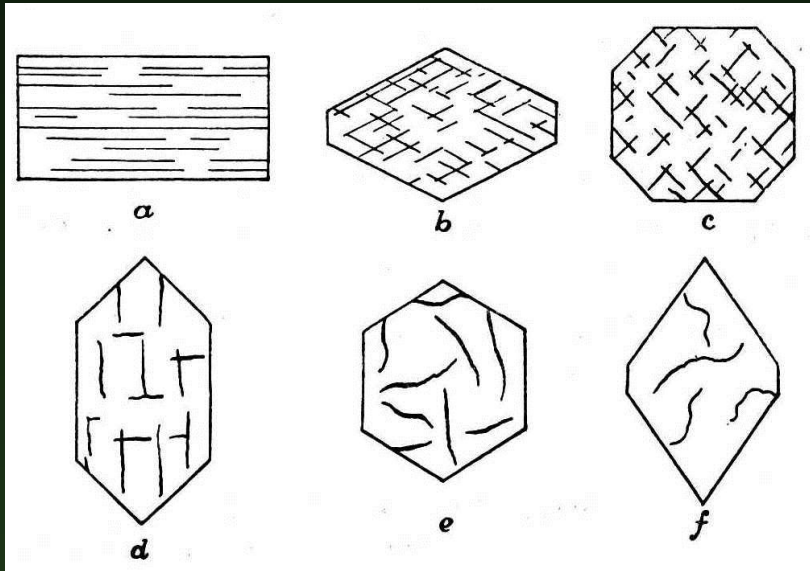
⇒ nedokonalá štěpnost (beryl, olivín)

⇒ špatná štěpnost (granáty)

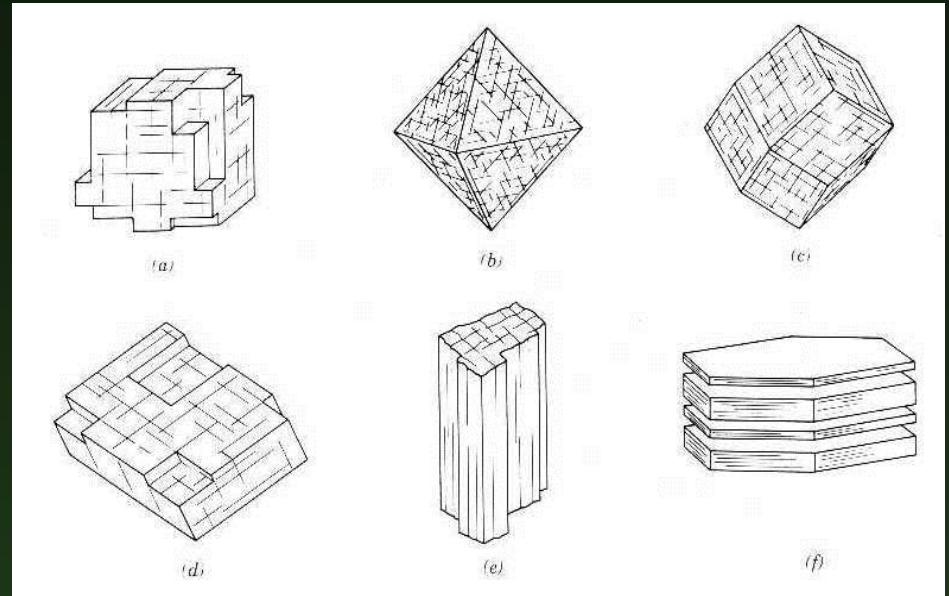
⇒ neštěpné minerály – lomné (křemen)

Štěpných směrů může být u jednoho krystalu vyvinuto několik s různým stupněm štěpnosti. Jako příklad může posloužit štěpnost skupiny živců.

Štěpnost



Různá kvalita štěpnosti: a) velmi dokonalá, b) dokonalá, c) dobrá, d) nedokonalá, e) špatná, f) chybějící



Příklady označení různých ploch štěpnosti podle jejich tvaru:

a) kubická, b) oktaedrická, c) dodekaedrická, d) klencová, e) prizmatická, f) pinakoidální

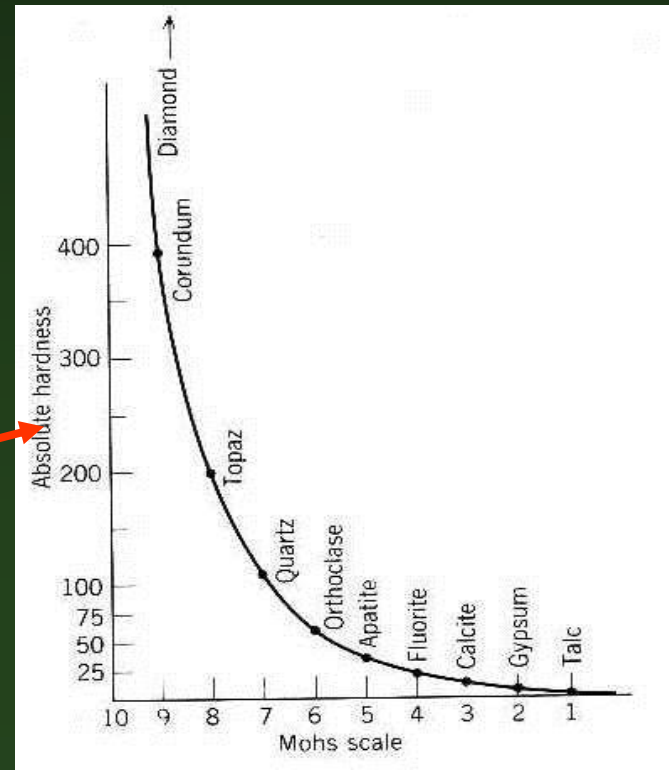
Tvrdość

Tvrdośćí rozumíme odpor kladený minerálem proti vnikání cizího tělesa bez vzniku lomu. Mírou pevností je velikost odporu, který je nutné překonat, aby vznikl lom, tj. úplné oddělení části zkoumaného tělesa.

Pro praktické účely v mineralogii využíváme stanovování poměrné tvrdosti, kdy tvrdost zkoumaného minerálu vztahujeme k srovnávací stupnici tvrdosti, jejíž čísla jsou pouze pořadová a neurčují velikost konstanty tvrdosti. Všeobecně užívaná stupnice Mohsova zahrnuje deset stupňů tvrdosti v pořadí od nejměkčího minerálu po nejtvrďší:

- | | |
|------------|-------------|
| 1. Mastek | 6. Ortoklas |
| 2. Sádovec | 7. Křemen |
| 3. Kalcit | 8. Topaz |
| 4. Fluorit | 9. Korund |
| 5. Apatit | 10. Diamant |

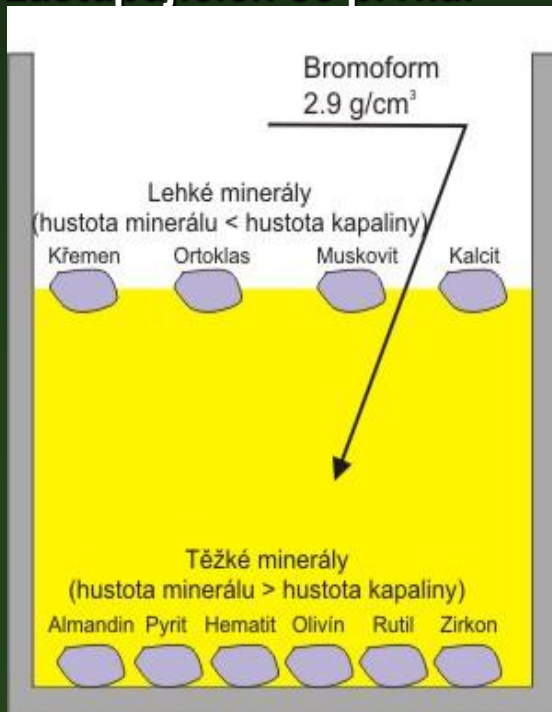
Vztah Mohsovy stupnice k hodnotám absolutní tvrdosti



Hustota

Hustota minerálu je definována jako číslo, udávající kolikrát je určitý jeho objem těžší než stejný objem chemicky čisté (destilované) vody při +4 °C, tj. při teplotě, při níž má voda minimální objem.

Hustota obecně vzrůstá u minerálů s obsahem prvků o vysoké atomové hmotnosti, zvláště těžkých kovů, jako olovo, rtuť, stříbro apod. Klesá s obsahem vody. U polymorfních modifikací bývá různá. Nerosty, jež se vyskytují v přírodě v chemickém složení konstantním, jako křemen, diamant, mají i hustotu stálou, kdežto u izomorfních směsí se hustota mění podle kvantitativního poměru zastupujících se prvků.



Příklad separace minerálů v kapalině podle jejich rozdílné hustoty. Kapalinou je bromoform s hustotou 2,9 g.cm⁻³. Těžší minerály (s vyšší hustotou) klesnou na dno, lehčí plavou na hladině.

Magnetismus

Ve většině jemných látek se v magnetickém poli indukuje magnetický moment M (v jednotce objemu). Zpravidla platí, že zmagnetování je úměrné intenzitě magnetického pole H

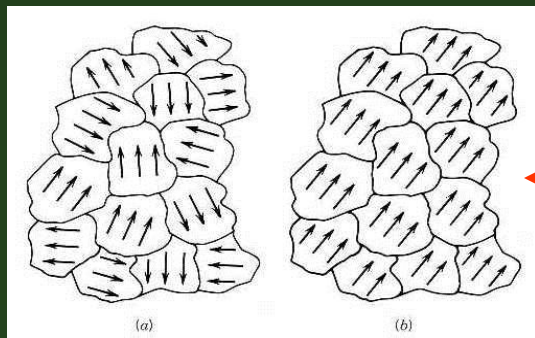
podíl $M/H = \kappa$ nazýváme magnetická susceptibilita.

Podle ní dělíme pevné látky na diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické.

Diamagnetické mají κ malé a záporné a jsou v magnetickém poli slabě odpuzovány. Z minerálů k nim patří např. měď, stříbro, zlato, halit, křemen aj.

Paramagnetické látky mají κ malé, ale kladné a jsou silným magnetem slabě přitahovány jako např. platina, siderit, rutil, olivín, turmalín beryl aj.

Feromagnetické látky mají velké a kladné κ , jsou póly magnetů silně přitahovány a jejich zmagnetování trvá i po odstranění vnějšího magnetického pole. Výrazně feromagnetické minerály jsou: železo, kobalt, nikl, magnetit, maghemit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 - \gamma$), pyrrhotin.



Domény feromagnetické látky
a) před vložením do
magnetického pole, b) po
vložením do magnetického
pole.

Luminiscence

Některé fluority, jeví jinou barvu v prostupujícím, jinou v odraženém světle.

Nejvýznačnější jsou v tomto směru krystaly zeleně průhledné s temně modrou až fialovou barvou ve světle odraženém. Tento jev známý také u organických látek se nazývá podle fluoritu fluorescencí.

Některé minerály obsahující radioaktivní prvky, sfalerity, fluority apod. fosforeskují ve tmě po ozáření přímým slunečním světlem, nebo záhřátý v baničce, nebo ozářeny světlem ultrafialovým, paprsky katodovými, rentgenovými apod. tj. světélkují různými barvami, mnohdy velmi efektními. Rovněž nárazem, třením nebo štípáním lze u některých minerálů vyvolat světélkování, které je viditelné pouze ve tmě. Všechny tyto jevy shrnujeme pod názvem luminiscence. U různých odrůd jednoho a téhož minerálu jsou tyto úkazy velmi různé a závislé na cizích příměsích. Tyto tzv. aktivační atomy zastupují normální atom (ion) v mřížce nebo jsou vtěsnány mezi atomy. Nejznámější tzv. „krystalové fosfory“ jsou ZnS a CdS, aktivované Mn, Cu, Ag nebo vzácnými zeminami.

Přirozený vývin krystalových tvarů

Jedním z nejnápadnějších znaků krystalů je jejich krystalový tvar. Všude tam, kde krystaly mohou volně růst a volně se vyvíjet do dokonalého tvaru (automorfně), tvoří pravidelná tělesa s jasně patrnou symetrií. Z hlediska morfologického omezení jsou krystaly různých látek velmi rozmanité. Tvar krystalu je jedním z projevů anizotropie. Anizotropní krystal je v jednotlivých směrech různě vyvinut. Tvar krystalu nezávisí na velikosti jednotlivých ploch krystalu a na jejich vzájemném poměru. Celkový vzhled krystalu (čili habitus) popisuje velikostní poměry ploch. Některé krystaly jsou protáhlé (jednorozměrné), jiné jsou plošně protáhlé (dvojrozměrné), nebo izometrické (stejnorozměrné). Celkový vzhled krystalů charakterizuje habitus a typus.

Habitus – reprezentuje celkový vzhled krystalů bez ohledu na to, který krystalový tvar jej podmiňuje. Habitus určuje počet směrů, ve kterých je krystal vyvinut, a tím i podobu krystalů. Rozlišujeme habitus:

Izometrický (stejnorozměrný)

Dvojrozměrný (destičkovitý, tabulkovitý, lupínkovitý, šupinkovitý, lístkovitý atd.)

Jednorozměrný (jehličkovitý, sloupcovitý, vřetenovitý, vláknitý atd.).

Přirozený vývin krystalových tvarů



Přirozený vývin krystalových tvarů



Přirozený vývin krystalových tvarů



Přirozený vývin krystalových tvarů

Krystalový tvar

Tvar krystalů vznikajících v přírodě závisí nejen na vnitřní struktuře, ale také na fyzikálně-chemických podmínkách prostředí, kde krystaly vznikají. Odrazem těchto vztahů je pak různý vývin krystalových tvarů:

Monokrystaly

Zákonité srůsty

Krystalové agregáty

Pseudomorfózy

Přirozený vývin krystalových tvarů

Monokrystal

Krystalový jedinec s jednotnou vnitřní stavbou a jakýmkoliv omezením = monokrystal.



Přirozený vývin krystalových tvarů

Zákonité krystalové srůsty

Krystaly téhož nerostu bývají často společně srostlé. Srůsty mohou být náhodné a bez jakékoliv pravidelnosti vzájemných poloh (krystalické agregáty). Zákonité srůsty jsou projevem krystalové symetrie, mohou se vyskytovat ve všech sedmi krystalových soustavách. Za srůsty zákonité = dvojčatné považujeme opakovaně se vyskytující srůsty krystalů téže látky, které jsou navzájem spojeny společným prvkem souměrnosti. Krystaly dvojčatně srostlé mají společnou buď jednu rovinu nebo osu. Oba jedinci rovnoměrně vyvinutého dvojčete mají stejnou velikost a stejné krystalové tvary. Dva nebo více krystalových jedinců může zákonitě srůst a vytvářet tzv. „dvojčata“, „trojčata“ apod.

Přirozený vývin krystalových tvarů

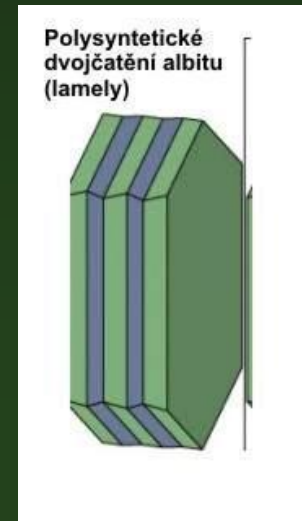
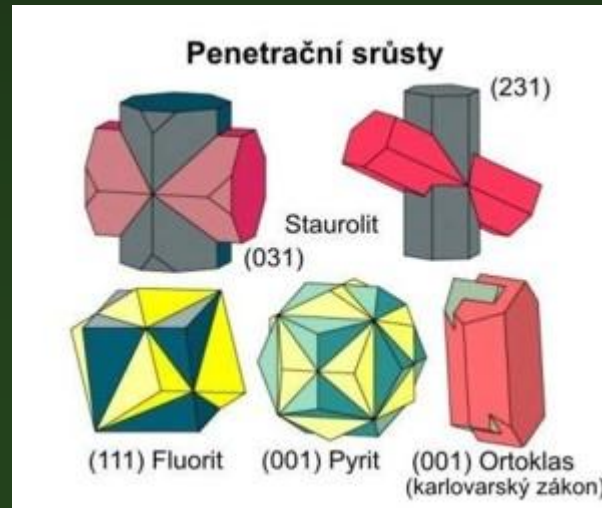
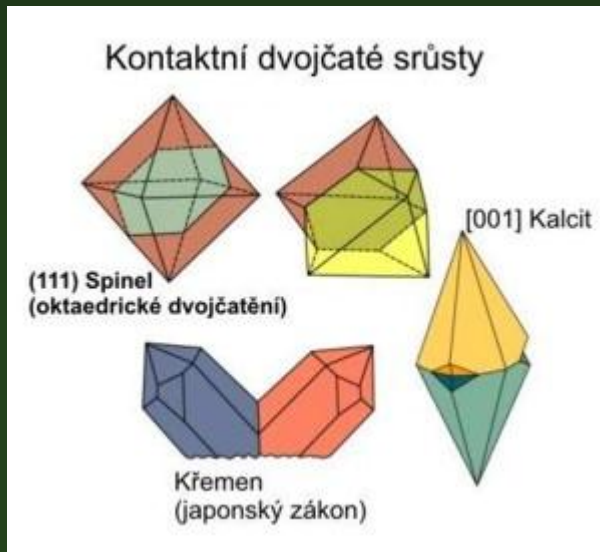
Zákonité krystalové srůsty

Z hlediska vzájemné pozice srůstajících krystalových jedinců rozeznáváme zákonité srůsty:

kontaktní - dvojčata, která srůstají ve dvojčatné rovině (sádrovec), jedinci srůstají plochou

penetrační - krystaly vzájemně prorůstají, hraničí v nerovných plochách (ortoklas)

polysyntetická - srostlice jsou vytvořeny větším počtem krystalových jedinců



Přirozený vývin krystalových tvarů

Zákonité krystalové srůsty

U penetračních srůstů (prorůstání) oba jedinci hraničí jeden oproti druhému nerovnými plochami, jako příklad lze uvést dvojčatný srůst K-živce podle karlovarského zákona. Dvojčatně mohou srůstat buď jen dva, nebo i větší počet jedinců, to je příklad polysyntetického srůstání (albit), kdy srůstající jedinci jsou vyvinuti v podobě velmi tenkých až mikroskopických lamel a je jich vždy větší počet - krystalová individua jsou spolu ob jedno rovnoběžná.



Penetrační srůst ortoklasu podle karlovarského zákona

Přirozený vývin krystalových tvarů

Krystalové agregáty

Krystaly mohou rozvíjet svou vlastní idiomorfni (automorfni) podobu jen v případech, kdy jim v růstu nic nebrání. Nejčastěji k tomu dochází v dutinách a puklinách hornin. Pokud si však krystaly v růstu navzájem brání vznikají agregáty. Nejrozšířenější formou srůstání krystalů jsou agregátní srůsty krystalů, u nichž krystaly srůstají zcela náhodně bez zákonité orientace. Jestliže větší počet krystalů narůstá vedle sebe jedním koncem na podložku (např. stěny tektonických puklin) a na druhém konci jsou krystaly ukončeny krystalovými plochami hovoříme o drůze.



Přirozený vývin krystalových tvarů

Krystalové agregáty

Má-li podložka tvar kulovité dutiny, mluvíme o geodě.



Roste-li velké množství krystalových zárodků blízko sebe, vznikají krystalové agregáty, které pak specifikujeme podle velikostí, tvaru krystalů a jejich vlastností.

Přirozený vývin krystalových tvarů

Krystalové agregáty

Rozlišujeme agregáty:

Zrnité - podle velikosti zrn je dále dělíme na: hrubozrnné, středně zrnité, jemnozrnné, mikrokystalické.

Zemité - jsou tvořeny krystaly bez lesku, agregát má malou soudržnost. Zemité agregáty vytváří jíly, limonit, práškové sekundární minerály (malachit, azurit).

Stébelnatý - (vláknitý) agregát. Je tvořen krystaly stébelnatého až vláknitého habitu. Radiálně paprscité agregáty mohou vznikat jako ploché (na puklinách) nebo sférické agregáty ve volných prostorách (například v dutinách).

Přirozený vývin krystalových tvarů

Pseudomorfozy

Pseudomorfozami nazýváme takové krystalové tvary, u nichž neodpovídá vnitřní stavba vnějšímu tvaru, ať již z hlediska chemického složení, kdy např. vnější tvar odpovídá pyritu (kubická soustava), hmota krystalů je však limonit nebo z hlediska krystalové symetrie, kdy chemické složení zůstalo stejné a nastala pouze strukturní přeměna, jejímž výsledkem je jiná krystalová modifikace. V tomto případě hovoříme o paramorfóze. Ve všech podobných případech je krystalový tvar starší a odpovídá původnímu minerálu, který byl zastoupen minerálem novým, mladším. Ten zpravidla vyplňuje jen prostor původního minerálu, a tím přebírá jeho krystalový tvar.

Přirozený vývin krystalových tvarů

Pseudomorfózy

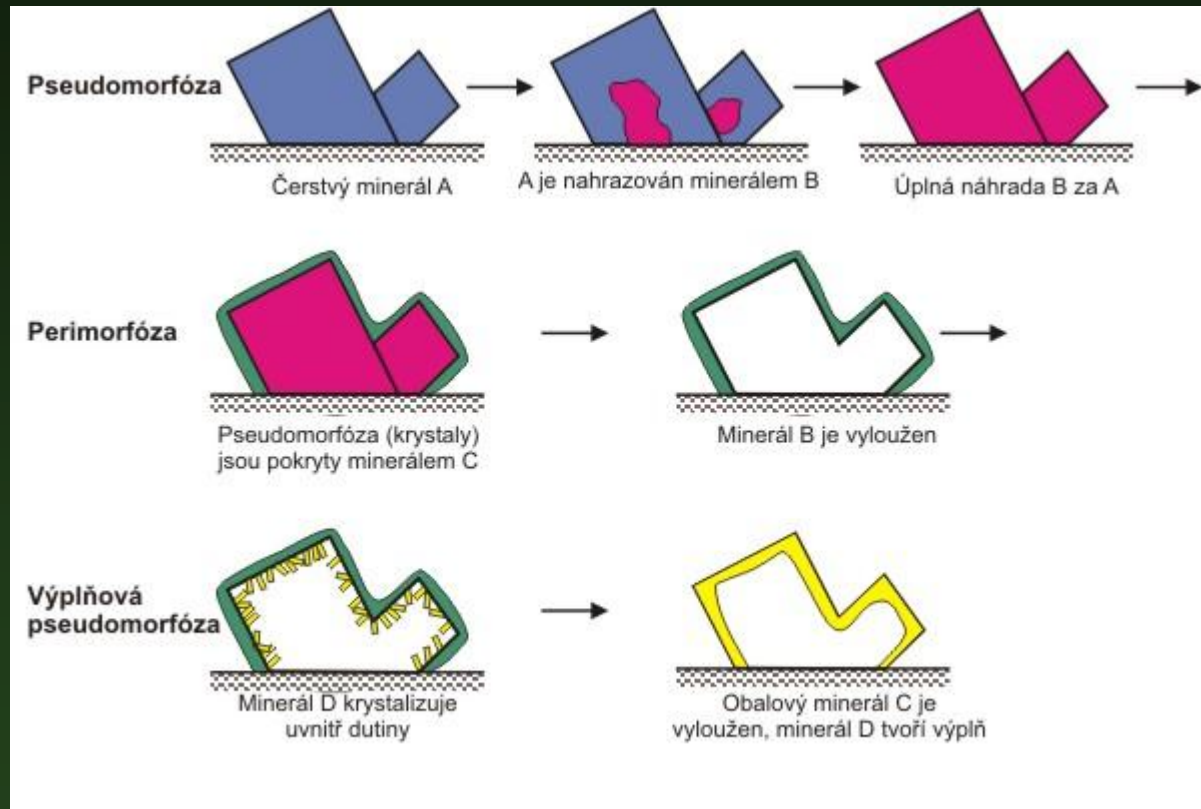


Schéma vzniku různých druhů pseudomorfóz

Vývoj se může v kterémkoliv okamžiku vývoje zastavit.

Častá je i možnost pokrytí původního minerálu A vrstvou minerálu C bez vyluhování (perimorfózy s obsahem primárního minerálu v centru)

RTG metody studia minerálů

Analytických metod zkoumajících minerály je celá řada. Zde budou uvedeny pouze nejdůležitější z nich, na jejichž základě můžeme stanovit strukturní nebo chemické vlastnosti minerálů.

Metody studia minerálů

Metody RTG difrakce

Metody studia minerálů založené na základě jejich struktury. Difrakční metody studia krystalických materiálů definují způsob vazby prvků v krystalové struktuře.

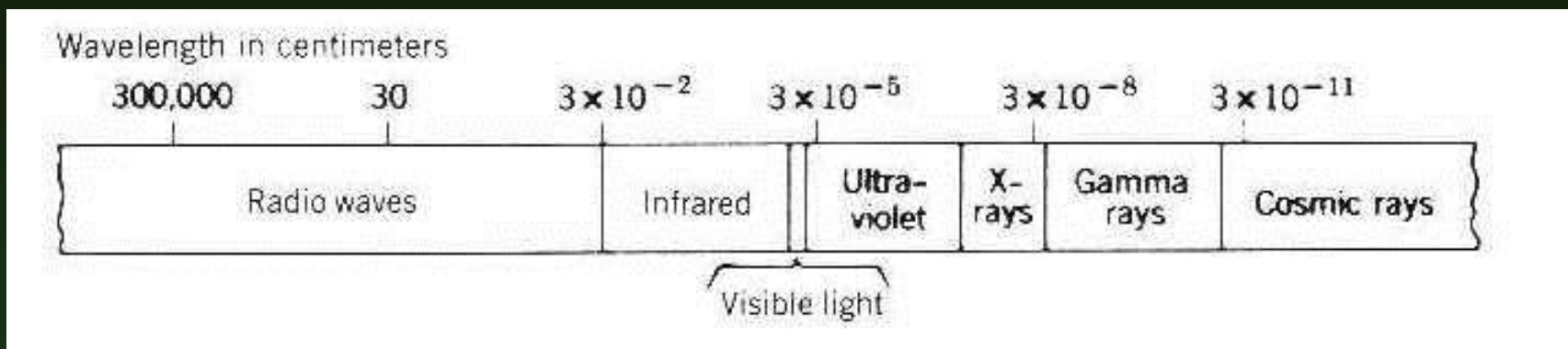
Principy:

Difrakce

Difrakční analýza je metoda, založená na ohybu (difrakci) a následné interferenci vhodného záření na prostorové mřížce krystalické fáze.

Difrakcí se v optice nazývá jev, pozorovaný při šíření záření vlnového charakteru v prostředí s ostře ohraničenými nehomogenitami. Jedná se vlastně o ohyb záření na hranách překážek a pronikání záření i do oblasti geometrického stínu. Odkloněné paprsky mohou navzájem či s paprsky neodkloněnými interferovat.

Rozsah vlnových délek elektromagnetického spektra



RTG záření má vlnovou délku v oblasti od $100 \cdot 10^{-10}$ m do $0,02 \cdot 10^{-10}$ m

(starší označení hodnoty 10^{-10} je angström Å)

Vzdálenosti atomů v krystalech jsou řádově stejné jako vlnová délka RTG záření. Při dopadu záření na krystal proto dochází k ohybovým a interferenčním jevům, které jsou měřitelné.

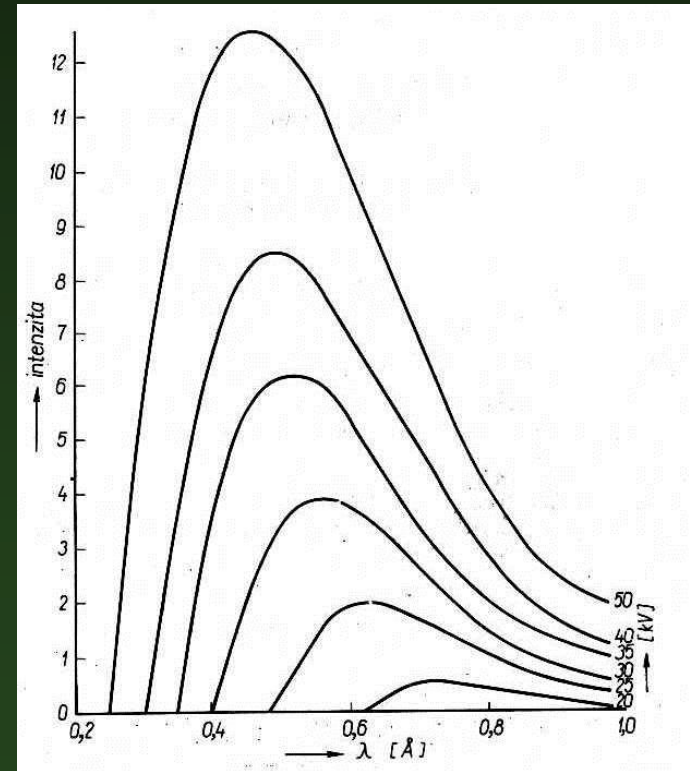
Důkaz pravidelné vnitřní stavby krystalů pomocí RTG záření provedl Max Laue v roce 1912.

Vznik RTG záření

Spojité (polychromatické) záření

- obsahuje různé vlnové délky

Spojité záření wolframu při různých hodnotách napětí na RTG lampě.

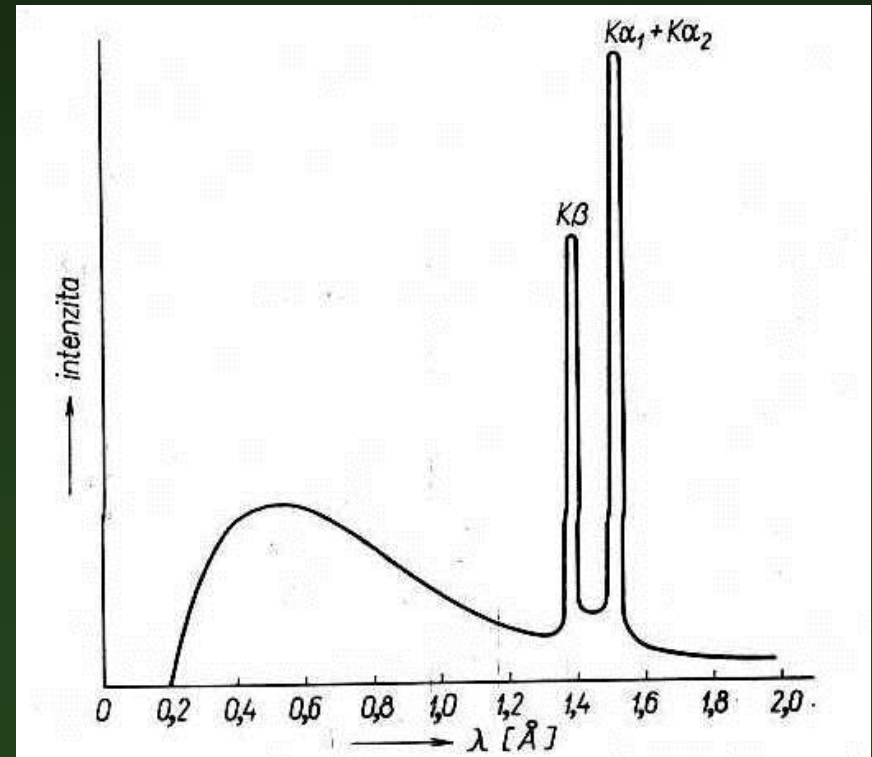


Vznik RTG záření

Charakteristické (monochromatické) záření

- má přesně definovanou vlnovou délku

- Charakteristické záření RTG lampy s Cu antikatodou.



Vznik RTG záření

- Standardní RTG lampa pro práškové difraktometry
 - Vlnová délka charakteristického záření závisí na složení antikatody.
 - Nejčastěji Cu, Co, Fe, W.



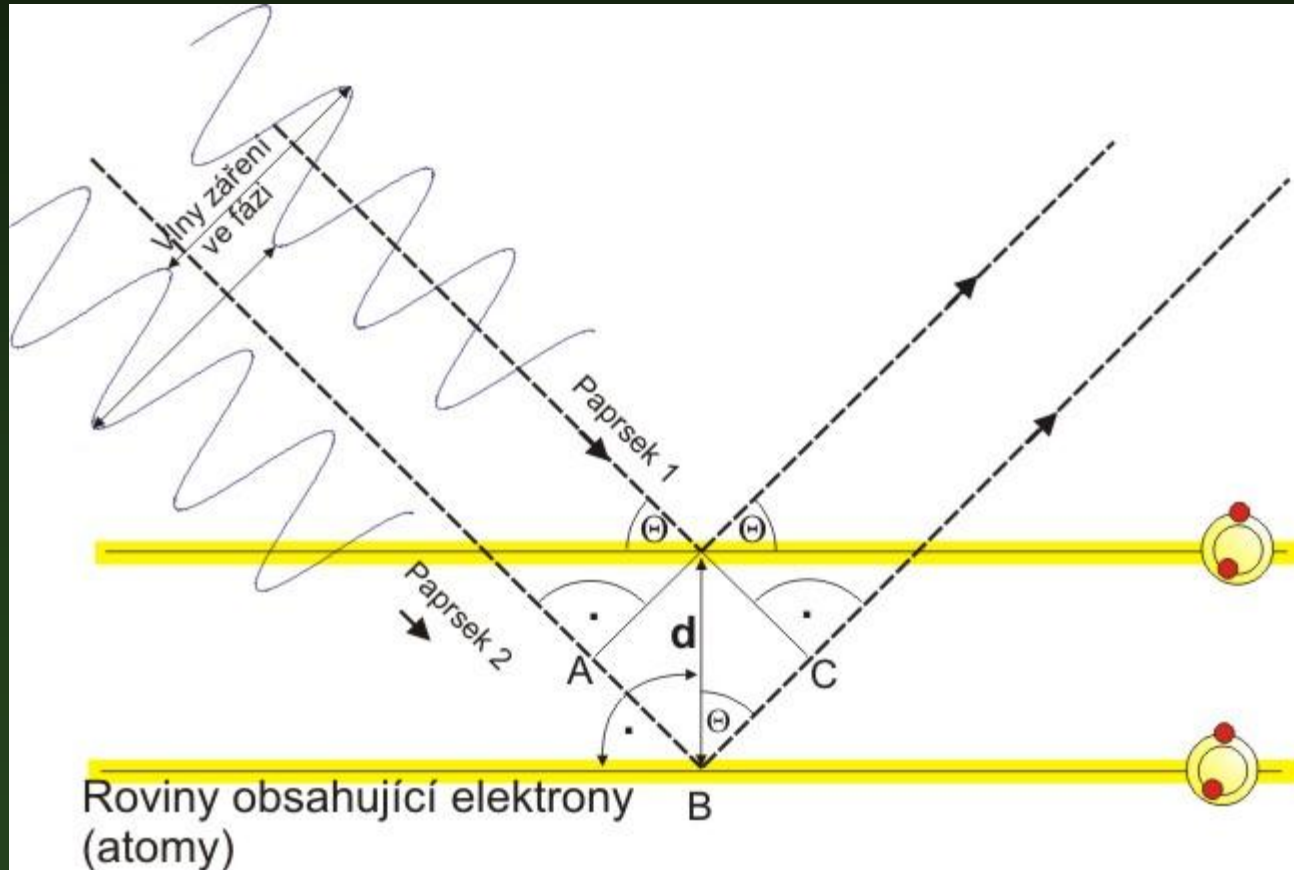
Difrakce záření na krystalech

- Při dopadu RTG záření na krystal začnou elektrony v jeho dráze kmitat na stejné frekvenci, jako má dopadající svazek. Vibracemi se část energie RTG svazku pohltí a vzniká nový zdroj emitující energii se stejnou frekvencí a vlnovou délkou. Obecně je tento jev destruktivní, ale existují speciální případy (záleží na směru dopadu RTG svazku do dané struktury), kdy dojde k difrakci RTG svazku.
- Aby nastalo zesílení difraktovaného záření, musí být splněny určité geometrické podmínky mezi svazkem dopadajícího RTG záření a orientací strukturních řad a rovin v krystalové struktuře. Tyto podmínky jsou jednoduchou formou vyjádřeny Braggovou rovnicí, kdy difrakční jev je pojat jako odraz záření na semitransparentních strukturních rovinách.

Braggova rovnice

Představme si sérii strukturálních rovin hkl vzdálených od sebe o hodnoty d_{hkl} . Na strukturální roviny dopadá svazek paprsků pod úhlem θ . Na tomto souboru rovin dochází k odrazu primárního svazku záření rovněž pod úhlem θ , přitom vzniká mezi paprskem 1 a 2 fázové zpoždění a jeho hodnota odpovídající AB , BC se dá vyjádřit na základě podobnosti trojúhelníků pomocí hodnot d a θ :

$$AB+BC = 2 d \cdot \sin \theta$$



Interferenční podmínka (Braggova rovnice):

Aby oba paprsky byly ve fázi pak platí

fázové spoždění paprsku 2 = $AB + BC = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$

Braggova rovnice

K zesílení intenzity difraktovaného záření dojde jen v případě, že fázové zpoždění AB+BC interferujících paprsků je rovno celému násobku vlnové délky. Tato podmínka je pak vyjádřena Braggovou rovnicí:

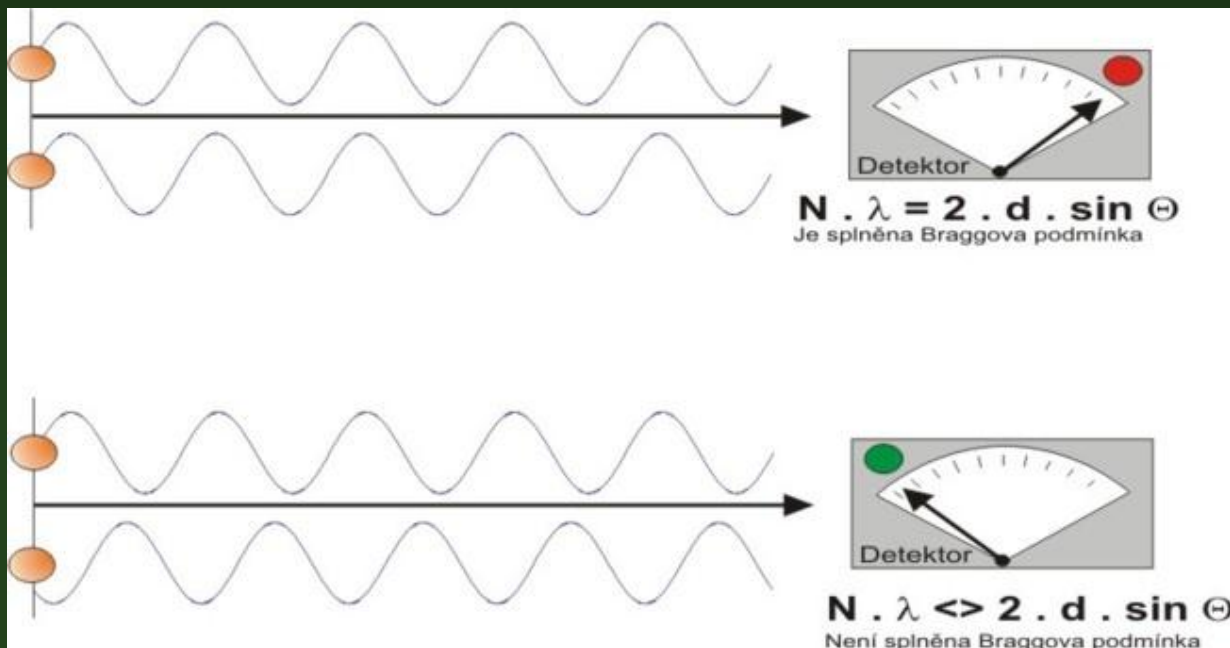
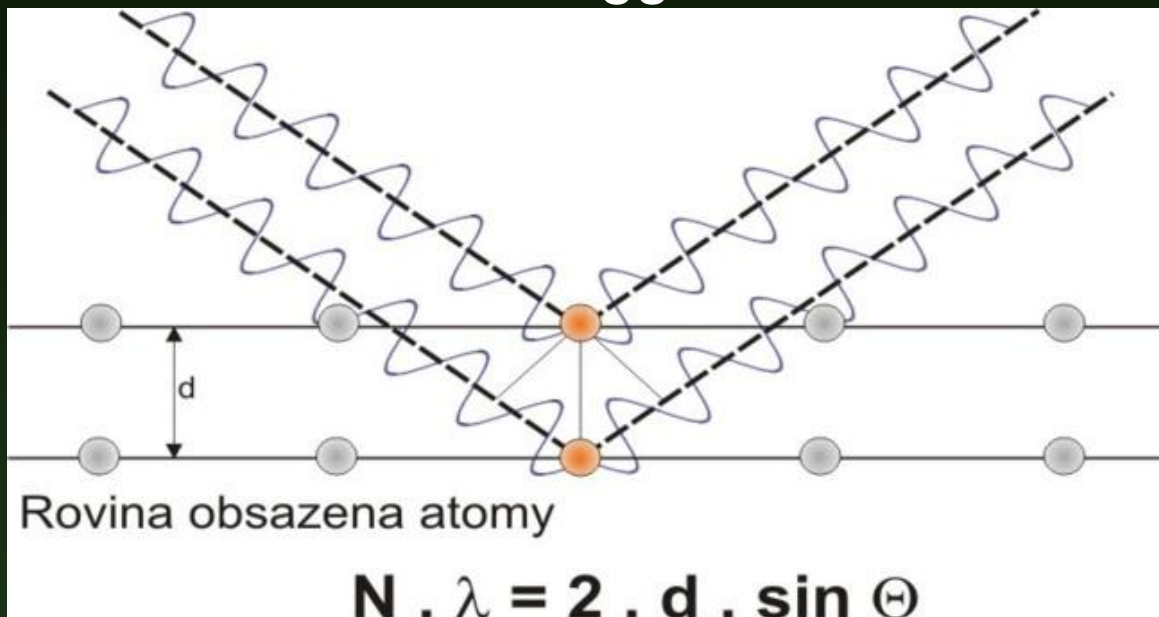
$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

celé číslo

délka vlny

Braggova rovnice je splněna pro daný krystal jen při určitých hodnotách úhlu dopadu θ a vlnové délky λ . Splnění této podmínky dosáhneme jen tehdy, zajistíme-li proměnnost hodnoty θ nebo λ během rentgenometrické analýzy.

Braggova rovnice



Monokrystalové RTG metody

- pro měření monokrystalu. Záření se používá spojité i charakteristické. Pomocí těchto metod lze u minerálů určovat jejich struktury.

- **Laueho metoda** - svazek bílého (polychromatického) záření, získaný obvykle z wolframové anody, dopadá na nehybný monokrystal. Proměnnou veličinou je v tomto případě vlnová délka použitého záření, která zaujímá určitý vlnový obor.

- **metoda otáčeného krystalu** – monokrystal se otáčí ve svazku monochromatických rentgenových paprsků. Otáčením se uvádějí postupně různé strukturní roviny do reflexní polohy. Proměnnou veličinou je úhel θ .

Monokrystalové RTG metody

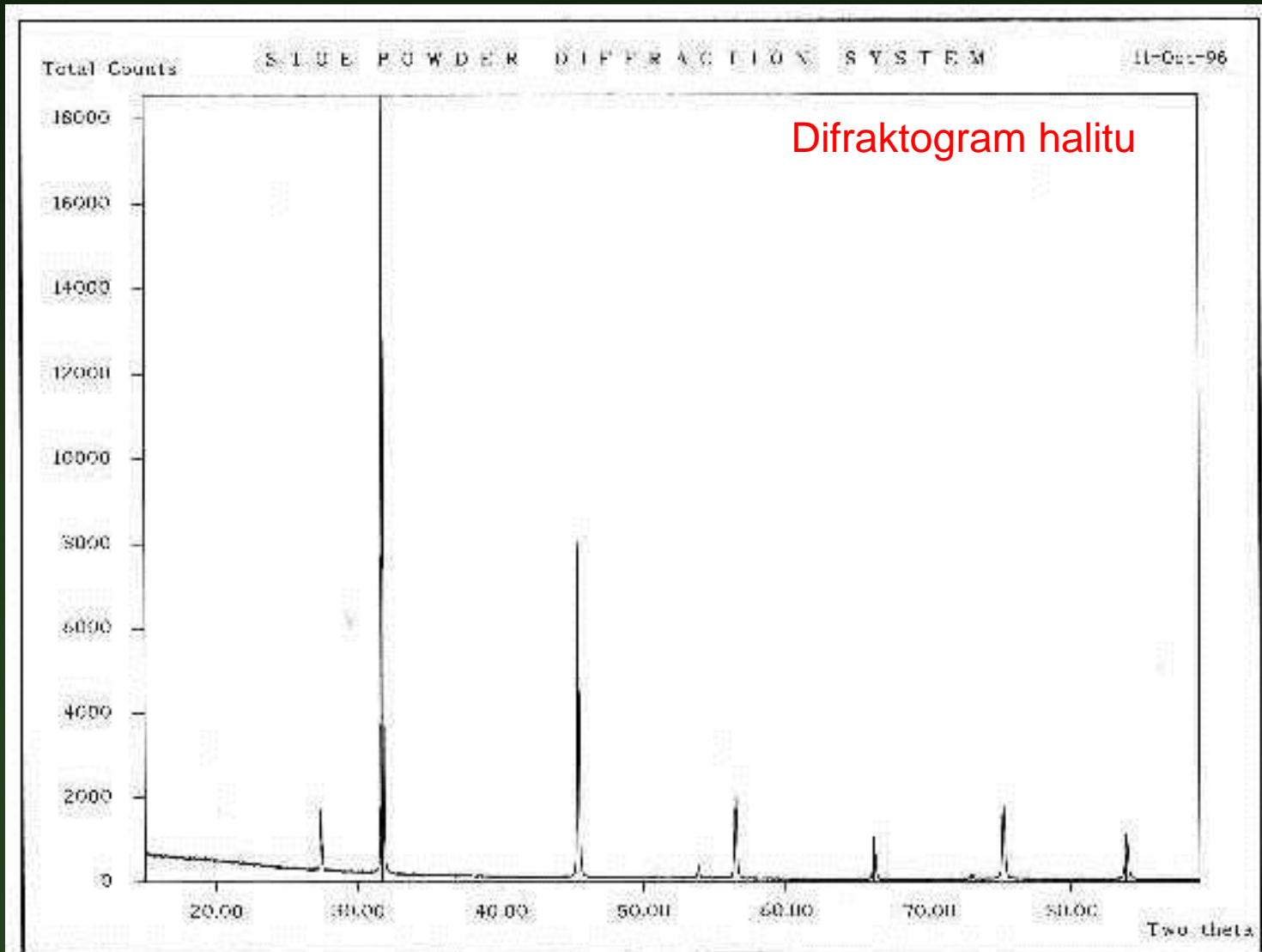
Nevýhody

- potřeba monokrystalu (tj. úlomku o velikosti 0,x mm)
- minerály se často vyskytují v agregátech menších než 0,0x mm
- větší krystaly mívají nepravidelné omezení které ztěžuje krystalografickou orientaci
- krystaly bývají zdvojitěné

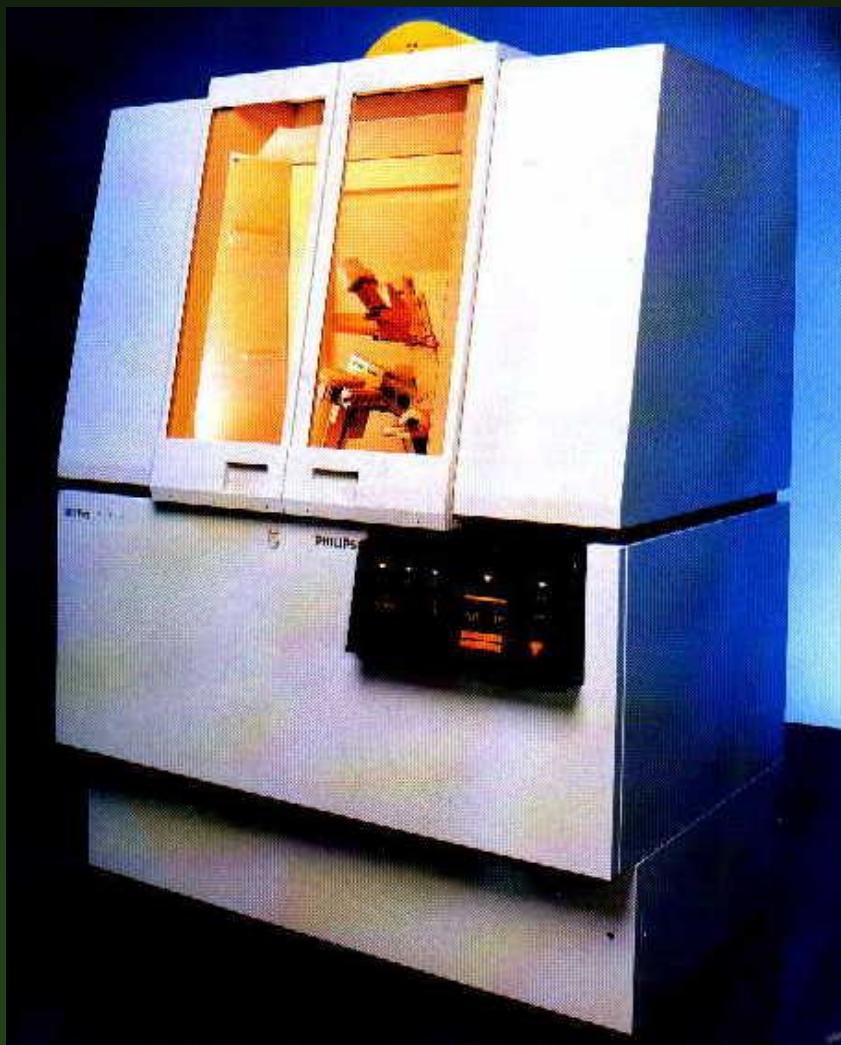
Práškové metody

- nejběžnější metody
- proměnnou veličinou je úhel θ , neboť rozpráškovaný krystalický materiál se umístí v monochromatickém svazku a mezi obrovským počtem částic zcela náhodně orientovaných se pro každou z možných reflektujících rovin vždy najde určitý počet částic prášku s patřičnou orientací. Mimo to se pravděpodobnost splnění Braggovy podmínky zvětšuje otáčením práškového preparátu.
- z práškového difrakčního záznamu lze identifikovat minerál (srovnáním s mezinárodními standardy)
- můžeme vypočítat mřížkové parametry minerálu

Práškové metody



Práškové metody



Automatický difraktometr Phillips
MPD

Metody chemické analýzy

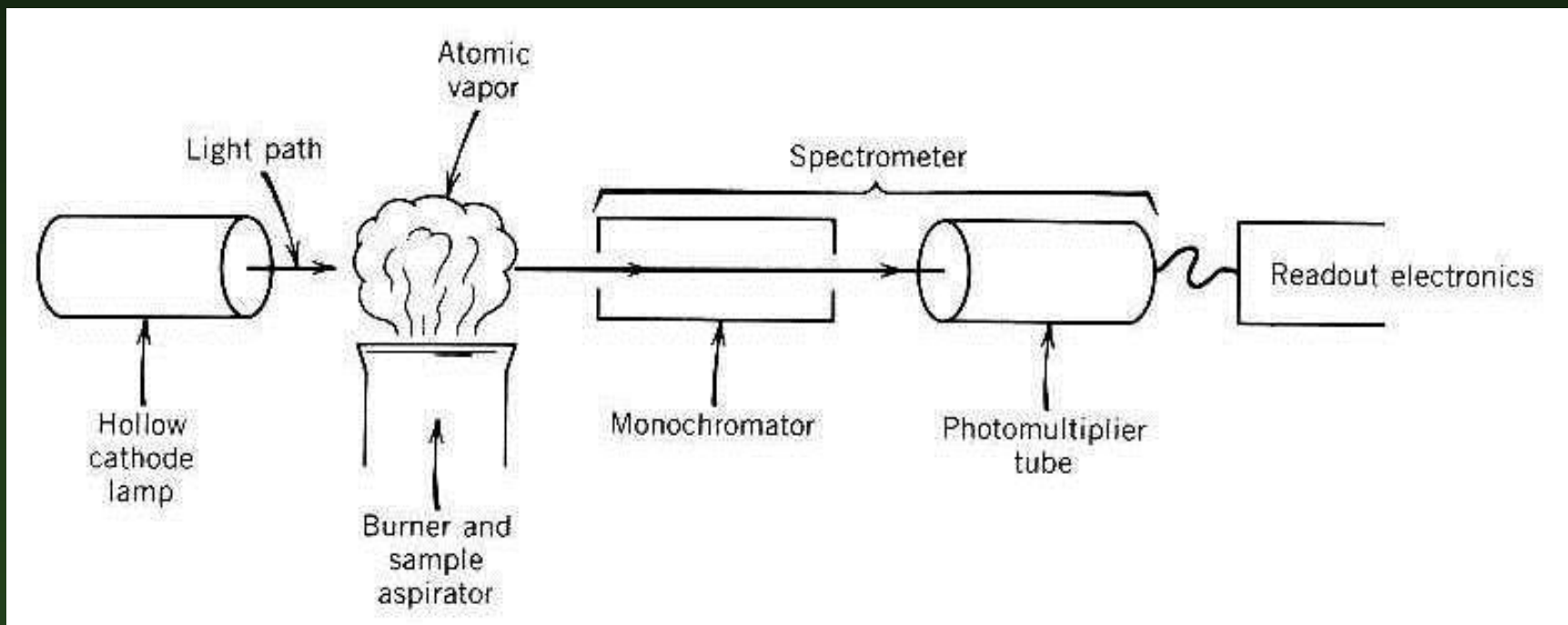
- řada metod umožňujících stanovovat chemické složení minerálů
- mají různou citlivost stanovení

Klasická chemická analýza na "mokrě cestě"

Jedná se o nejstarší klasický postup, kdy jemně napráškovaný vzorek je pomocí kyselin rozpuštěn a převeden do roztoku. Procentuelní zastoupení jednotlivých prvků je pak stanovováno podle nejrůznějších postupů - titračně, vážkově. Pro běžné prvky (silikátová analýza) je přesnost stanovení těmito metodami zpravidla postačující.

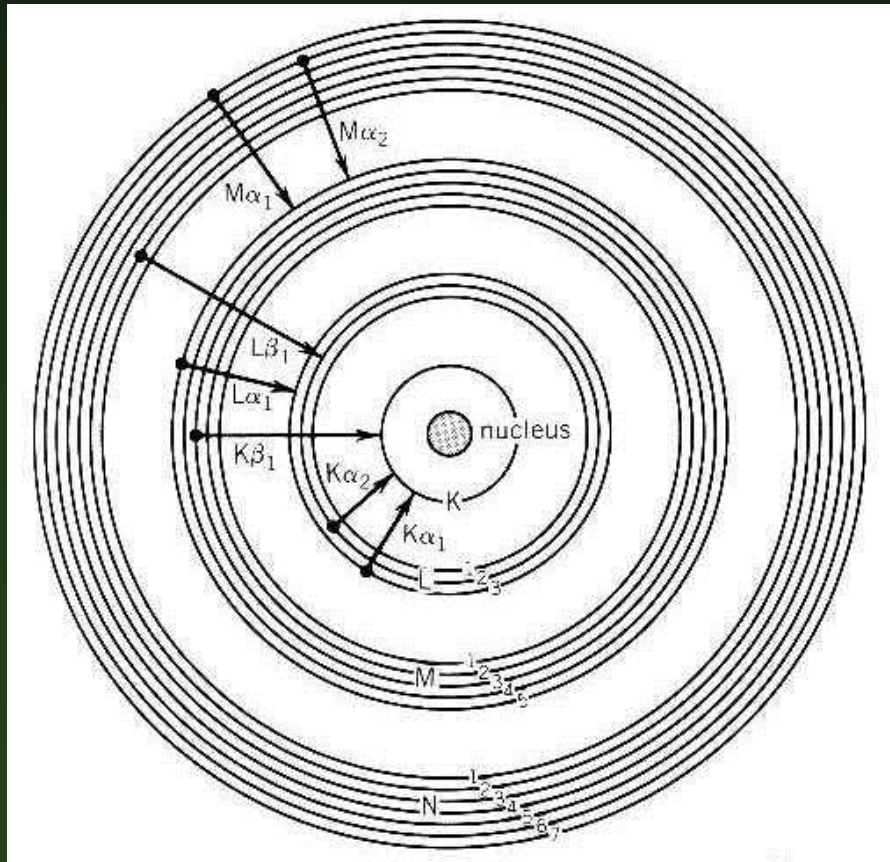
Metody chemické analýzy

Atomová absorpční spektroskopie (AAS)



Metody chemické analýzy

RTG fluorescenční analýza



Schema vzniku
charakteristického spektra
přechodem elektronů z
vyšších energetických hladin
na nižší

- metoda umožňuje stanovení převážné většiny prvků s citlivostí v ppb

Metody chemické analýzy

Elektronová mikroskopie a mikroanalýza

Běžný rastrovací elektronový mikroskop umožňuje sledování objektů při zvětšení až několika desítek tisíc, speciální transmisní mikroskopy s vysokým rozlišením umožňují sledovat objekty velikosti atomů.

Sledování objektu se provádí pomocí wolframového vlákna, které emituje elektrony a ty po urychlení a fokusaci dopadají na vzorek a způsobují řadu jevů, z nichž jsou nejdůležitější tyto:

- emise zpětně odražených elektronů (BEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz objektu s ohledem na jeho molekulovou hmotnost v každém bodě
- vznik sekundárních elektronů (SEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz s ohledem na reliéf vzorku
- RTG spektrum, které dává informace o složení materiálu a princip je podobný jak byl popsán u RTG fluorescenční analýzy

Výhodou této metody je možnost provedení chemické analýzy z bodu o velikosti 1 μ m s citlivostí srovnatelnou s jinými metodami jako je RTG fluorescence.

Metody chemické analýzy

Elektronová mikroskopie a mikroanalýza

- emise zpětně odražených elektronů (BEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz objektu s ohledem na jeho molekulovou hmotnost v každém bodě
- vznik sekundárních elektronů (SEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz s ohledem na reliéf vzorku
- RTG spektrum, které dává informace o složení materiálu a princip je podobný jak byl popsán u RTG fluorescenční analýzy

Výhodou této metody je možnost provedení chemické analýzy z bodu o velikosti 1 μ m s citlivostí srovnatelnou s jinými metodami jako je RTG fluorescence.

Děkuji za pozornost