Téma 4: Fyzikální vlastnosti minerálů

SLIDE 2: JAK POZNÁVÁME MINERÁLY

Fyzikální vlastnosti minerálů jsou přímým důsledkem jejich chemického složení a krystalové struktury.

Pouze na základě toho, co vidíme a zkušenosti (bez přístrojů): posouzení základních fyzikálních vlastností, posouzení minerální parageneze nebo genetického typu vzorku, dosavadní zkušenosti – to co jsme již viděli.

Pomocí jednoduchých zkoušek můžeme určovat vybrané fyzikální vlastnosti, např. tvrdost, hustota.

Pomocí přístrojových metod je určení zcela exaktní: RTG metody, chemická analýza

SLIDE 3: FORMA VÝSKYTU MINERÁLŮ – KRYSTALY

Minerály se v přírodě vyskytují ve formě jednotlivých **krystalů** nebo **krystalových agregátů**.

S krystaly minerálů se setkáváme mnohem vzácněji a charakterizujeme je pomocí krystalového *habitu* a *typu*. Habitus krystalu určuje jeho celkový tvar a prostorové uspořádání – např. izometrický, sloupcovitý, tabulkovitý. Typus krystalu popisuje převládající krystalový tvar na morfologii krystalu – např. prizmatický, dipyramidální, oktaedrický.

SLIDE 4: FORMA VÝSKYTU MINERÁLŮ – KRYSTALY A KRSTALOVÉ SRŮSTY

Na základě dokonalosti omezení krystalového tělesa minerálu rozlišujeme krystaly:

- **automorfní** (idiomorfní) se všemi krystalovými plochami dokonale vyvinutými
- **hypautomorfní** (hypidiomorfní) s částečně vyvinutými krystalovými plochami
- **xenomorfní** (allotriomorfní) nepravidelné omezení bez vyvinutých krystalových ploch.

Krystaly mohou vytvářet srostlice, prorostlice, polysyntetické nebo cyklické srůsty. Pro některé minerály jsou jejich srůsty naprosto charakteristické.

SLIDE 5: AGREGÁTY MINERÁLŮ I

Paralelní srůst více krystalů na rovném podkladu se označuje jako krystalová drúza, krystaly rostoucí do dutiny se označují jako geoda.

Nejčastější formou výskytu minerálů jsou **krystalické agregáty**. Jedná se o náhodné srůsty velkého množství xenomorfně omezených krystalů, které obvykle beze zbytku vyplňují prostor. Označování a popis agregátů nemusí být zcela jednoznačné, používají se různé názvy a typy charakteristik.

Agregáty zrnité – označení hrubě, středně a jemně zrnitý závisí na velikosti jednotlivých krystalových zrn v agregátu.

SLIDE 6: AGREGÁTY MINERÁLŮ II

agregáty celistvé (masivní) – jednotlivá zrna (krystalky) nejsou viditelná pouhým okem

agregáty stébelnaté – zpravidla soubor sloupcovitých jedinců

agregáty jehlicovité nebo vláknité – jsou tvořeny tenkými jehličkami nebo vlákny minerálu, např. azbesty

SLIDE 7: AGREGÁTY MINERÁLŮ III

agregáty ledvinité – mají typickou morfologii

agregáty radiálně paprsčité – vlákna mají koncentrickou stavbu

agregáty oolitické – složené z drobných kuliček

SLIDE 8: AGREGÁTY MINERÁLŮ IV

agregáty lupenité – typické především pro fylosilikáty

agregáty krápníkovité – tvořící drobné krápníčky nebo jim podobné tvary

agregáty drátkovité nebo plíškovité – jsou typické především pro ryzí kovy

agregáty dendritické – vyskytující se na puklinových plochách

SLIDE 9: ZNAKY KRYSTALOVÝCH PLOCH

Pro určování minerálů mohou mít velký význam další znaky, spojené s vývinem krystalů nebo jejich agregátů. Mezi důležité patří morfologie krystalových ploch. Pro některé minerály, resp. pro jejich krystalové plochy, je charakteristická skulptace nebo rýhování.

Příkladem může být vodorovné rýhování na prizmatických plochách křemene, podélné rýhování na plochách vertikálního pásma turmalínu nebo typická skulptace na plíšcích zlata.

SLIDE 10: MECHANICKÉ VLASTNOSTI MINERÁLŮ

Vlastnosti jako je štěpnost, dělitelnost a lom jsou odezvou minerálů na působení vnějších sil. Největší podíl na těchto silách má tlak, který může způsobit smykovou deformaci. Míra této deformace je definována nejen velikostí tlaku, ale závisí i na teplotě a mechanických vlastnostech minerálu. Míra postižení krystalické látky je různá – od elastické deformace, přes plastickou deformaci až ke vzniku lomové linie.

Pevnost minerálů přímo závisí na vazebných mechanismech a přítomnosti (resp. nepřítomnosti) defektů ve struktuře. Rozhodující pro výslednou reakci krystalické látky na působení vnějších sil je typ chemických vazeb.

Pokud minerál obsahuje **strukturní defekty** podél určité roviny nebo v určitém směru, bude mít tendenci se v těchto směrech snadněji deformovat. Totéž platí i pro směr kolmý na nejslabší vazby ve struktuře.

Příkladem mohou být vrstevnaté minerály, ve kterých jsou vrstvy mezi sebou vázány mnohem slaběji a je tím jasně dán směr snadné deformace (např. grafit, slídy).

SLIDE 11: ŠTĚPNOST MINERÁLŮ

Štěpnost je vlastnost minerálu lámat se paralelně s určitou rovinou atomů, kterou lze charakterizovat Millerovými indexy.

Štěpnost je úzce svázána s anizotropií vazebných sil, směr štěpnosti je závislý na nejslabších vazbách ve struktuře minerálu. Tyto vazby mají zároveň největší vazebnou délku a umožňují tak vzniku systému štěpnosti kolmo na toto oslabení. Minerály s výrazně **heterodesmickými strukturami** mají štěpnost paralelní se strukturními rovinami, které jsou hustě obsazeny atomy a mezi sebou jsou vázány slabými van der Waalsovými silami nebo vodíkovou vazbou.

SLIDE 12: POSUZOVÁNÍ ŠTĚPNOSTI MINERÁLŮ

Pokud chceme štěpnost definovat, musíme udat její kvalitu a krystalografický směr. Směr štěpnosti udáváme buď Millerovým indexem, např. (100), (111), (110), (001) nebo opisem např. kubická, oktaedrická, prizmatická nebo pinakoidální štěpnost. Kvalitu štěpnosti určujeme subjektivně a posuzujeme množství, délku a zřetelnost štěpných trhlin na povrchu minerálu. Nejčastěji se kvalita štěpnosti vyjadřuje těmito termíny:

- velmi dokonalá
- dokonalá
- dobrá

- nedokonalá
- velmi nedokonalá
- chybějící

SLIDE 13: DĚLITELNOST

Pokud se minerál láme podél jiných typů strukturních oslabení, jedná se o **dělitelnost**. Tato oslabení vznikají zejména v důsledku tlaku, dvojčatění nebo procesů exsoluce. Jelikož jsou směry dělitelnosti paralelní s krystalografickými rovinami, velmi se podobají štěpnosti a těžko se odlišují.

SLIDE 14: LOM MINERÁLŮ

V některých krystalech je pevnost vazeb ve všech směrech přibližně stejná, neexistuje zde směr méně pevných vazeb (**homodesmické struktury**). Působíme-li na takové krystaly dostatečně velkou silou tak, abychom překročili mez plastické deformace, vzniknou lomné plochy, které nesledují žádný krystalografický směr.

Podle vzhledu lomné plochy můžeme rozlišit např. následující typy lomu:

- lom lasturnatý - hladký, zahnutý lom ve tvaru lastury
- lom vláknitý nebo třískovitý
- lom hákovitý - rozeklaný lom s ostrými hranami
- lom nerovný nebo nepravidelný - tvořen je drsnými a nepravidelnými plochami

SLIDE 15: TVRDOST MINERÁLŮ

Tvrdost vyjadřuje míru odolnosti povrchu minerálu vůči pronikání cizího předmětu (značí se H nebo T).

Při vyhodnocování tvrdosti sledujeme reakci krystalové struktury na působící tlak bez vzniku poruch. V kovových krystalech je výsledkem (vzhledem k jejich plasticitě) rýha. Křehké materiály s kovalentní a iontovou vazbou mohou na test tvrdosti reagovat vznikem **mikroporuch**.

Hodnoty tvrdosti se odvíjí především od způsobu strukturního uspořádání stavebních částic v krystalové mřížce a na typech chemických vazeb. Obecně lze říci, že **hodnoty tvrdosti stoupají** jsou-li ve struktuře zastoupeny ionty s vyššími valencemi, vyššími koordinačními čísly a struktura vykazuje vysokou hustotou směstnání stavebních částic. Vyšší tvrdost také zpravidla vykazují minerály s převahou kovalentních vazeb ve struktuře.

Hodnoty tvrdosti snižuje především přítomnost hydroxylových skupin a molekul vody ve struktuře.

SLIDE 16: RELATIVNÍ TVRDOST MINERÁLŮ

Absolutní tvrdost minerálů (mikrotvrdost) lze měřit kvantitativními technikami a lze sestavit i **absolutní škálu tvrdosti**.

Relativní stupeň tvrdosti je založen na srovnávání, zda minerál rýpe do jiného, nebo zda odolává rýpání např. nožem nebo drátem. Rakouský mineralog F. Mohs v roce 1824 sestavil relativní stupnici tvrdosti a jako etalony použil některé minerály.

1. mastek
2. sádrovec
3. kalcit
4. fluorit
5. apatit
6. ortoklas
7. křemen
8. topaz
9. korund
10. diamant

Při určování relativní tvrdosti používáme čerstvý lom. Starší plocha bývá částečně postižena přeměnami a produkty přeměn mají zpravidla menší tvrdost. Při každé zkoušce rýpání minerálem A do minerálu B zkusíme tento postup obrátit. Ostré hrany minerálu jsou zpravidla o málo tvrdší než jeho plochy. Při určování relativní tvrdosti můžeme použít některé pomůcky:

- rýpeme-li do minerálu nehtem má tvrdost nižší než 2
- nožem lze rýpat do minerálů s tvrdostí max. 5
- tvrdost běžného okenního skla je asi 5,5
- ocelovým drátem rýpneme do minerálu s max. tvrdostí 6,5.

SLIDE 17: SOUDRŽNOST MINERÁLŮ

Soudržnost je fyzikální vlastnost, vyjadřující odolnost minerálu vůči lámání, trhání, ohýbání a drcení. Pro její vyjádření používáme následující termíny:

Křehký – minerál se velmi snadno poruší a rozpráškuje. Tato soudržnost je charakteristická pro krystaly s převážně iontovou vazbou.

Kujný – minerál lze kovat do tenkých lístečků.

Řezatelný – minerál lze krájet nožem.

Tažný – minerál lze vytáhnout do formy drátu. Kujnost, řezatelnost a tažnost jsou typické pro minerály s kovovou vazbou.

Ohebný – pokud minerál ohýbáme a nevrátí se do původního stavu ani po odeznění působících sil. Např. vrstvy chloritu a mastku mají tuto vlastnost díky skluzu ve strukturních vrstvách hydroxylových skupin.

Pružný – minerál se po deformaci opět vrátí do své původní pozice. Příkladem mohou být slídy, kde je pružnost (elasticita) způsobena iontovými vazbami mezi K^+ iontem a Si-Al tetraedrickými vrstvami.

SLIDE 18: BARVA MINERÁLŮ

Barva minerálu je jedním z prvních určovacích znaků, které vidíme. Její vnímání může být za určitých okolností problematické, takže exaktní reprodukovatelné posouzení barvy pouhým okem pozorovatele je velice obtížné. Průměrný člověk je schopen rozlišit kolem jednoho milionu barev.

Barva minerálu je výsledek skládání elektromagnetického vlnění v oblasti přibližně mezi 380 a 700 nm. Při kontaktu bílého světla s povrchem průhledného nebo průsvitného minerálu může docházet k řadě jevů.

Dopadající světlo může být zčásti odraženo a částečně vstupuje do minerálu. Světlo procházející dále minerálem může být rozptýleno nebo absorbováno, absorbované světlo může být vyzářeno ve formě fluorescenčního záření. Světlo, které prochází minerálem, označujeme jako **procházející** nebo prošlé světlo. Ve většině případů je dominující složkou světlo **odražené**. K rozptylu světla v minerálu dochází na **rozptylových centrech**. Množství absorbovaného světla je závislé na intenzitě dopadajícího světla a absorpčním koeficientu daného minerálu.

Výsledná barva minerálů je zpravidla kombinací několika jevů, které se u jednotlivých minerálů uplatňují různou měrou.

SLIDE 19: INTENZITA BARVY MINERÁLŮ

Dříve než posuzujeme vlastní barvu minerálu, můžeme si všimnout, jak intenzivní zbarvení minerál vykazuje při běžné intenzitě dopadajícího bílého světla:

- ✓ **bezbarvé** – nevykazují žádnou barvu, často jsou průhledné
- ✓ **zbarvené** – barva je méně nebo více sytá, na malém úlomku ji však už nevnímáme
- ✓ **barevné** – minerál má typickou sytou barvu bez ohledu na velikost úlomku, většinou je takový minerál neprůhledný nebo opakní

SLIDE 20: VZNIK BARVY PŘI ODRAZU SVĚTLA

Světlo, které dopadá na povrch minerál je různou měrou odraženo v závislosti na úhlu dopadajícího paprsku, míře polarizace a indexu lomu minerálu. Pro hodnocení změn intenzity odraženého světla se používá veličena **odrazivost**.

Při dopadu světla na povrch minerálu se část světla odrazí přímo na povrchu a část se odráží na strukturních rovinách těsně pod povrchem. Tyto paprsky musí část své dráhy projít minerálem s indexem světelného lomu *n* a tím dojde ke změně jejich rychlosti a následnému zpoždění vůči paprskům odrážejících se přímo na povrchu minerálu. Odražené a vzájemně zpožděné paprsky spolu **interferují** a tato interference může mít za následek zeslabení nebo zesílení odrazivosti.

Pro světla různých vlnových délek (tj. různých barev) vznikají v minerálu s určitým indexem světelného lomu různá zpoždění. Výsledkem je, že intenzity některých vlnových délek jsou zesíleny a jiné zeslabeny. Výsledná barva odraženého světla, kterou bude vnímat i pozorovatel, je určena vzájemnou interferencí všech těchto zúčastněných složek.

SLIDE 21: VZNIK BARVY MINERÁLU PŘI ROZPTYLU SVĚTLA

K rozptylu světla dochází na rozptylových centrech minerálu a části paprsku jsou rozptylovány do různých směrů s nižší intenzitou. Typickým příkladem může být rozptyl světla částicemi prachu a kouře v atmosféře.

Je zřejmé, že míra rozptylu dopadajícího světla závisí především na počtu rozptylových center, na poměru velikosti rozptylujících částic a vlnové délky světla, poměru indexů světelného lomu rozptylující částice a okolního prostředí a konečně i tvaru rozptylujících částic.

Vznik barev při rozptylu světla je spjat s interferencí rozptýlených paprsků. Významnou roli zde hraje i polarizace světla, kdy světelný paprsek rozptýlený kolmo ke směru dopadu původního svazku je polarizován až z 85 %. U minerálů nemají barvy vzniklé v souvislosti s rozptylem světla příliš velký význam.

SLIDE 22: PŘECHODY V KRYSTALOVÉM POLI

Atom nebo iont, který absorbuje určitou energii, se posunuje ze svého základního energetického stavu na vyšší úroveň a naopak atom nebo iont, který emituje energii, se dostává na nižší energetickou úroveň.

V případě energií, které odpovídají vlnovým délkám **viditelného světla**, probíhá tato interakce mezi fotonem a elektrony atomu nebo iontu. K interakci mezi světelným fotonem a elektronem může dojít jen za určitých podmínek. Nejdůležitější podmínkou je, aby foton měl takovou energii, která posune elektron v rámci jeho definovaných (kvantovaných) energetických hladin.

K energetickému posunu elektronů dochází u prvků, které mají částečně zaplněné 3d orbitaly (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni a Cu), nebo při jejichž excitaci elektrony do d-orbitalů vstupují. Pokud je takový atom nebo iont vázán ve struktuře, energie některých d-orbitalů vzroste, díky odpudivým silám k elektronům okolních atomů a iontů. Energie elektronů v sousedním vázaném iontu je odlišná a vznikne „rozpolcení" krystalového pole. Elektrony s vyšší energií přecházejí na nižší hladiny a emitují fotony v oblasti **viditelného světla**.

Vliv na výslednou barvu má oxidační stupeň daného prvku (určuje počet valenčních elektronů v 3d orbitalu) a také jeho geometrie ve struktuře (typ koordinace).

Jako příklad můžeme uvést **rubín**, který je varietou korundu s malým obsahem Cr^{+3}. Absorbovaná energie z dopadajícího světla způsobí excitaci iontů z hladiny E_0 na hladiny E_2 a E_3. Tento přechod absorbuje převážně zelené a fialové barvy a výsledné emitované barvy pak mají převážně červený odstín. Příkladem závislosti výsledné barvy na koordinaci iontu a celkové geometrii jsou **malachit a azurit**. V obou minerálech je „barevným" prvkem měď, která je ale v různých strukturních pozicích, proto je výsledná barva malachitu zelená a azuritu modrá.

SLIDE 23: PŘECHODY V MOLEKULOVÝCH ORBITALECH

Při vzniku chemických vazeb mezi atomy dochází k překrytí atomových orbitalů a vzniku molekulových orbitalů. Elektrony v molekulových orbitalech mohou přecházet mezi energetickými hladinami při jejich redistribuci, ke které dochází např. při změně valence atomu. Podmínkou je stejná geometrie pro oba zúčastněné atomy, což je případ, kdy se ve struktuře minerálu zastupuje Fe^{+2} a Fe^{+3}.

Výsledný energetický stav po elektronové redistribuci musí být odlišný od původního – potom může dojít k emisi fotonu ve viditelné oblasti. Změna náboje nemusí probíhat pouze mezi dvěma ionty stejného prvku. Podobný princip je při výměně např. $Fe^{+2} + Ti^{+4} = Fe^{+3} + Ti^{+3}$ a dokonce může jít o výměnu mezi kationtem a aniontem. Příkladem aplikace tohoto principu může být modrá barva akvamarínu a cordieritu (změna valence Fe) nebo safíru a kyanitu (změna Fe^{+2} a Ti^{+4}).

SLIDE 24: BAREVNÁ CENTRA

Barva minerálů může být způsobena strukturními defekty. Přebytečný elektron se může ve struktuře dostat do meziatomových poloh jako intersticiální „nečistota“, která vytváří tzv. **barevné centrum**. Stejný efekt vyvolá i vakantní pozice po chybějícím elektronu.

Příkladem barevného minerálu, kde lze barvu vysvětlit tímto principem, je fluorit. V jeho struktuře chybí ve strukturní pozici aniont fluoru, který je nahrazen **intersticiálním elektronem**. Ten zde funguje jako barevné centrum. Elektron není vázán na atomové jádro, ale elektrickým polem okolních iontů. Pohyb elektronů po takových pozicích způsobuje barevnost a optickou fluorescenci.

SLIDE 25: DALŠÍ PŘÍČINY BAREVNOSTI MINERÁLŮ

Původní barva minerálu způsobená kombinací výše uvedených jevů je často překryta barvou pigmentu. **Pigment** tvoří heterogenní inkluze v minerálu, nejčastěji jsou to velmi jemné částice hematitu nebo chloritu. V závislosti na množství pigmentu jsou minerály zbarveny hematitem zpravidla do žlutých, okrových, červených, nebo hnědých odstínů. Chlorit způsobuje zbarvení převážně zelených odstínů.

SLIDE 26: BARVA VRYPU

Jako barva vrypu se posuzuje barva jemného prášku minerálu, který za sebou zanechá otíráním (rýpáním) na neglazurované porcelánové destičce. Barva vrypu může být důležitou pomůckou při určování minerálu. **Barva minerálu a barva jeho vrypu se nemusí shodovat.** Např. barva vrypu hematitu je vždy červenohnědá, ačkoliv je hematit makroskopicky často černý.

SLIDE 27: LESK MINERÁLŮ I

Lesk je vlastnost povrchu minerálu, která vyjadřuje jeho chování v odraženém světle. Rozhodujícím kritériem je převažující typ vazby v minerálu. V minerálech s převahou kovové vazby je rozdíl v energii mezi základním a excitovaným stavem elektronu malý, vzhledem k energii v iontových nebo kovalentních sloučeninách. Dopadající světlo je zpravidla zcela pohlceno (opakní minerály), ale jeho podstatná část je reemitována ve viditelné oblasti. Výsledkem je lesk povrchu minerál, který označujeme jako **kovový**.

SLIDE 28: LESK MINERÁLŮ II

U minerálů průhledných nebo průsvitných převažují vazby iontové nebo kovalentní, část světla minerálem prochází a pouze určitá část je pohlcena a ještě menší část reemitována ve viditelné oblasti. Obecně se lesk ploch takových minerálů označuje jako **nekovový**. Množství reemitovaného světla může být u různých minerálů rozdílné a tak se nekovový lesk dále dělí na:

- **diamantový** – silný lesk minerálů zpravidla s indexem světelného lomu větším než 1,9
- **skelný** – odpovídá lesku skla, je typický pro většinu minerálů
- **mastný** – připomíná lesk mastného papíru
- **perleťový** – zpravidla se objevuje na plochách dokonalé štěpnosti
- **hedvábný** – je typický pro vláknité agregáty

SLIDE 29: OPTICKÉ VLASTNOSTI MINERÁLŮ – LOM SVĚTLA

Optické vlastnosti minerálů se určují podle způsobu, jak se chová světlo vstupující do minerálu a které jím prochází. Mohou nastat dva případy:

1. světlo vstupuje do minerálu, prochází jím a na opačné straně opět vystupuje v původní kvalitě (má nižší intenzitu díky absorpci). Vstupuje-li kolmo k povrchu minerálu, prochází, vstupuje-li šikmo, dochází k lomu ke kolmici nebo od kolmice. V minerálu má paprsek obecně nižší rychlost než ve vzduchu.
2. světlo vstupuje do minerálu a rozpadá se na paprsek řádný a mimořádný, oba jsou lineárně polarizované, roviny jejich kmitu jsou navzájem kolmé.

Lom ke kolmici nastává v případě, že světlo prochází z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího. Pokud je jedním z prostředí vzduch je tato konstanta označována jako **index světelného lomu** a značí se symbolem *n*.

Potom platí: **sin i / sin r = n**

Při průchodu paprsku z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího dochází k lomu jen po určitý úhel dopadu. Při dosažení tohoto **mezního úhlu** je velikost úhlu lomu $r = 90°$. Je-li **mezní úhel** překročen, dochází na rozhraní k úplnému odrazu (totální reflexi).

sin i / sin r = n_1 / n_2

n_1 je index lomu prostředí opticky řidšího a n_2 je index lomu prostředí opticky hustšího.

SLIDE 30: ROZDĚLENÍ MINERÁLŮ PODLE OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ

Podle povahy chování paprsku v dané látce rozlišujeme:

- **látky izotropní** - při průchodu krystalem izotropní látky v libovolném směru nedochází k dvojlomu světelného paprsku (jsou to všechny látky s kubickou symetrií a látky amorfní)
- **látky anizotropní** - při průchodu světelného paprsku anizotropním krystalem dochází k jeho dvojlomu. V každé anizotropní látce existuje jeden nebo dva směry, ve kterých se procházející paprsek chová jako v látkách izotropních. Rozlišujeme potom anizotropní látky jednoosé a dvojosé.

SLIDE 31: JEDOOSÉ ANIZOTROPNÍ MINERÁLY

Mezi **jednoosé anizotropní látky** patří všechny minerály s krystalografickou symetrií tetragonální, hexagonální a trigonální. V těchto minerálech existuje jediný směr podél optické osy, ve kterém nedochází k dvojlomu světelného paprsku. Směr optické osy je totožný s krystalografickou osou *z*. Pokud světelný paprsek vstupuje do jednoosého minerálu v libovolném jiném směru, dochází k dvojlomu a vznikají dva na sebe kolmo polarizované paprsky.

Vzájemně kolmo polarizované paprsky se označují jako **řádný – ordinární** (označení jeho rychlosti je *o*) a **mimořádný – extraordinární** (označení jeho rychlosti je *e*).

Pro index světelného lomu paprsku řádného se používá označení ω, pro index světelného lomu paprsku mimořádného označení ε.

Označení opticky pozitivní a negativní souvisí s hodnotou **dvojlomu** (D). Ten je definován jako rozdíl indexů lomu: $D = \varepsilon - \omega$

látky opticky negativní mají $e > o$ a $\varepsilon < \omega$

látky opticky pozitivní mají $e < o$ a $\varepsilon > \omega$

látky opticky negativní - $\omega = \gamma$, $\varepsilon = \alpha$, ve směru optické osy je α

látky opticky pozitivní - $\omega = \alpha$, $\varepsilon = \gamma$, ve směru optické osy je γ

SLIDE 32: DVOJOSÉ ANIZOTROPNÍ MINERÁLY

Mezi dvojosé anizotropní minerály patří všechny se symetrií rombickou, monoklinickou a triklinickou.

Existují zde dva směry, ve kterých se světelný paprsek šíří, aniž by docházelo k jeho dvojlomu. Tyto směry odpovídají dvěma optickým osám, značeným O_1 a O_2. Optické osy spolu svírají úhel, který se označuje jako **úhel optických os** (*2V*). Rovina proložená optickými osami se označuje jako **rovina optických os**.

Tři hlavní indexy světelného lomu se označují α, β, γ, index β (optická normála) je vždy kolmý k rovině optických os.

Pokud ostrou střednou tvoří index α, označuje se minerál jako **opticky negativní**. Je-li ostrá středná tvořena indexem γ, je minerál **opticky pozitivní**. Důležitou charakteristikou dvojosých minerálů údajem je tzv. **maximální dvojlom** D.

Je definován jako rozdíl: $D = \gamma - \alpha$

SLIDE 33: STUDIUM OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ MINERÁLŮ

Základní popis polarizačního mikroskopu a základní určované optické vlastnosti.

SLIDE 34: HUSTOTA MINERÁLŮ

Podle fyzikální definice je hustota rovna poměru hmotnosti minerálu a jeho objemu (jednotky $g.cm^{-3}$).

Hustota krystalické látky závisí na dvou faktorech:

- na typu atomů, které se uplatňují ve struktuře
- na typu uspořádání těchto atomů

Máme-li izostrukturní látky, ve kterých je uspořádání částic totožné, má vyšší hustotu látka obsahující atomy s vyšší atomovou hmotností. Při plynulé změně chemického složení v rámci izomorfní řady dochází i k plynulé změně hustoty. Z polymorfních modifikací (např. grafit a diamant) má vyšší hustotu ta, jejíž struktura je v prostoru směstnána těsněji.

SLIDE 35: MĚŘENÍ HUSTOTY MINERÁLŮ

Při určování hustoty někdy vystačíme pouze s relativním srovnáním. Máme-li např. křemen (s hustotou 2,65 g/cm^3) a baryt (4,5 g/cm^3) je jejich vzájemné rozlišení snadné, aniž bychom přibližně stejně objemné vzorky museli vidět. **Průměrná hustota** běžných minerálů se pohybuje mezi 2,6 - 2,9 g/cm^3.

Pro přesné stanovení hustoty minerálů se používají speciální metody, z nichž k nejstarším patří **piknometrická metoda**. Pro stanovení hustoty se požívá hrubého prášku nebo drobných

zrn minerálu. Nutnou pomůckou je piknometr, což je vlastně speciálně upravená skleněná baňka s uzávěrem.

Hustotu lze také vypočítat ze známé struktury minerálu a jeho chemického složení.

SLIDE 36: LUMINISCENCE MINERÁLŮ

Luminiscence je schopnost minerálu emitovat světlo ve viditelné oblasti po předchozím obdržení určitého kvanta energie. Jev vzniká ve vnějších elektronových hladinách.

Minerály, které vykazují luminiscenci během ozařování UV, RTG nebo katodovým zářením, se označují jako **fluorescentní**. Pokud luminiscenční jevy pokračují i po ukončení ozařování, označujeme jev jako **fosforescenci**.

Fluorescence může být důležitým diagnostickým znakem nejen pro určování minerálů, ale i pro indikaci chemického složení. Např. modrá fluorescence fluoritu indikuje přítomnost organických sloučenin nebo vzácných zemin, jasně modrá fluorescence scheelitu je přičítána substituci Mo za W.

Termoluminiscence je analogický jev, který ale k aktivaci vyžaduje ohřev minerálu. Vykazují ji např. kalcit, apatit nebo skapolit. **Triboluminiscence** jej jev, který vzniká při mechanickém rozrušování minerálu. Příkladem takových minerálů jsou fluorit, sfalerit nebo lepidolit.

SLIDE 37. ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI MINERÁLŮ

Elektrické vlastnosti minerálů se odvíjí od jejich elektrické vodivosti, kterou v krystalech mohou způsobovat pohybující se elektrony, ionty nebo místa s chybějícími elektrony. Podle hodnoty elektrické vodivosti obvykle dělíme krystaly na **vodiče**, **polovodiče** a **izolanty** (dielektrika).

Elektrické vlastnosti minerálů závisí především na typu vazeb ve struktuře, ale v některých případech hraje významnou roli i teplota a tlak. Minerály s převahou kovové vazby jsou dobrými vodiči, minerály s převahou iontových nebo kovalentních vazeb jsou nevodiče. Některé izolanty a polovodiče mohou za vysokých teplot a tlaků získat vodivost kovů. Kromě kubických minerálů je elektrická vodivost vektorovou veličinou a závisí na krystalografickém směru.

SLIDE 38: MAGNETICKÉ VLASTNOSTI MINERÁLŮ

Magnetické vlastnosti závisí na uspořádání elektronů ve struktuře atomového obalu a to především na párovém obsazení orbitalů elektrony s opačným spinem.

Minerály, v jejichž atomech jsou všechny orbitaly párově obsazeny elektrony s opačným spinem, označujeme jako **diamagnetické**.

V důsledku přítomnosti nepárových elektronů může vzniknout **magnetický moment**. Nejvíce nespárovaných elektronů v d-orbitalech mají Cr, Mn, Fe a Co. Pokud při vstupu těchto prvků do struktur minerálů dojde k náhodnému uspořádání magnetických dipólů, vznikne látka **paramagnetická**. Takový minerál má tendenci se uspořádat vzhledem k vnějšímu magnetickému poli a vzniká magnetický dipól, který ale zmizí po odstranění tohoto pole.

Minerály **ferromagnetické** mají magnetický dipól uspořádaný, což je dosaženo překrýváním orbitalů sousedních atomů. Ve struktuře existují paramagnetické domény s jednotným magnetickým dipólem, ale tyto domény jsou vůči sobě orientovány náhodně. Při vložení do magnetického pole se domény uspořádají a minerál se stává magnetickým, ale po odstranění magnetického pole si svoje uspořádání zachovávají a chovají se jako permanentní magnet.

U **ferrimagnetických** minerálů jsou momenty iontových spinů antiparalelní, ale jejich velikost je různá, takže některé domény fungují jako permanentní magnet. Takové chování vykazuje např. magnetit, ilmenit nebo pyrhotin.