

1. Optické vlastnosti látek – obecná část

1.1. Charakter světla

Vlastnosti světla lze popisovat z hlediska vlnové nebo korpuskulární teorie. Pro vysvětlení optických vlastností látek je lépe vyjít z vlnové teorie, kdy si světlo můžeme představit jako část elektromagnetického spektra, která se pohybuje po přímé linii příčným vlnovým pohybem.

Jako vlnová délka (λ) tohoto pohybu se označuje vzdálenost mezi následnými vrcholy vln, amplituda je výchylka na obě strany od rovnovážné polohy, frekvence je počet prošlých vln za jednu vteřinu. Rychlost světelné vlny lze potom vyjádřit jako její frekvenci násobenou vlnovou délkou.

Viditelné světlo zaujímá v celém elektromagnetickém spektru jen malou část. Vlnová délka určuje barvu světla a kolísá od asi 700 nm (červené světlo) po asi 400 nm (fialové světlo). Bílé světlo je složeno ze všech vlnových délek udaného rozpětí. Světlo s jednou vlnovou délkou se označuje jako monochromatické.

1.2. Lom světla a odraz světla

Lom a odraz světla nastává na rozhraní opticky různých prostředí. Při přechodu z jednoho optického prostředí do druhého dochází ke změně rychlosti světla. V *opticky hustším* prostředí (lomivějším) se šíří světlo pomaleji než v prostředí *opticky řidším*. Dopadá-li světlo z řidšího prostředí (např. vzduch) na opticky hustší prostředí (např. sklo) dochází k odrazu (reflexe) jeho části a část světla prochází (refrakce – lom světla). Principy chování těchto paprsků se řídí podle toho, zda přechází paprsek z prostředí opticky hustšího do řidšího nebo naopak, takže následně rozlišujeme lom od kolmice a lom ke kolmici.

1.2.1. Lom ke kolmici

Lom ke kolmici nastává v případě, že světlo prochází z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího. Obecně platný Snelliův zákon

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{konst.} \quad (1.1)$$

je definován pro různé dvojice prostředí (i = úhel dopadu, r = úhel lomu, obrázek 1). Konstanta se zpravidla uvádí větší než 1, tj. pro přechod z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího ($i > r$). Pokud je jedním z prostředí vzduch, resp. vakuum je tato konstanta označována jako *index světelného lomu* označovaný symbolem n . Potom platí

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad (1.2)$$

Pro rychlost paprsků v jednotlivých prostředích lze psát vztah

$$\frac{V}{v} = n, \quad (1.3)$$

kde V je rychlost paprsku ve vzduchu a v rychlost paprsku ve srovnávaném prostředí. Za předpokladu, že rychlost světla ve vzduchu je jedna, můžeme pro index lomu napsat:

$$n = \frac{1}{v} \quad (1.4)$$

Kombinací rovnic (1.2) a (1.3) dostaneme vztah

$$\frac{V}{v} = \frac{\sin i}{\sin r} = n. \quad (1.5)$$

Z toho plyne, že čím větší je rychlost paprsku v prostředí, tím menší je index lomu tohoto prostředí. Podobně lze říci, že čím menší je úhel lomu v daném prostředí, tím větší je jeho index lomu. Velikost úhlu lomu závisí i na vlnové délce (λ) použitého světla. Čím kratší je vlnová délka monochromatického světla, tím menší je úhel lomu. Jednotlivá monochromatická světla mají při stejném úhlu dopadu různé úhly lomu r a tím i různé hodnoty indexu lomu. Proto se v tabulkách vztahují indexy lomu jednotlivých látek na žluté, natriové světlo ($589 \mu\text{m}$).

Jak bylo již uvedeno, rychlost světla je rovna frekvenci násobené vlnovou délkou. Při konstantní frekvenci bude rychlost šíření světla záviset pouze na vlnové délce. Červené světlo (větší vlnová délka) bude mít vždy vyšší rychlost než světlo fialové a díky reciprokému vztahu mezi rychlostí a indexem lomu (1.4), je index lomu pro červené světlo menší než pro fialové. Každá látka tak má různé indexy lomu pro světla s různou vlnovou délkou. Tento jev se označuje jako disperze.

1.2.2. Lom od kolmice.

Při průchodu paprsku z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího dochází k lomu jen po určitý (mezní) úhel dopadu (obrázek 2). Při dosažení právě tohoto mezního úhlu je velikost úhlu lomu $r = 90^\circ$. Je-li mezní úhel překročen dochází na rozhraní k úplnému odrazu (totální reflexi). Paprsek dopadající i paprsek odražený leží v jedné rovině. Pokud je opticky řidším prostředím vzduch nebo vakuum, pak platí rovnice:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} \quad (1.6)$$

Pokud je $r = 90^\circ$, vztah (1.6) se zjednoduší na tvar:

$$\sin \rho = \frac{1}{n} \quad (1.7)$$

kde ρ je mezní úhel. Tak lze vypočítat mezní úhel pro látku s daným n . Pokud ani jedno z prostředí není vzduch nebo vakuum, platí obecnější tvar rovnice:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.8)$$

(n_1 je index lomu opticky řidšího a n_2 je index lomu opticky hustšího).

1.3. Polarizace světla

Jako obyčejné (nepolarizované) světlo se označují paprsky, které kmitají ve všech možných rovinách proložených směrem jejich dráhy. Při studiu minerálů a hornin se používá světlo, které kmitá pouze v jedné rovině - světlo *lineárně polarizované*. K polarizaci světla může docházet několika způsoby.

1.3.1. Polarizace odrazem

Nejjednodušší způsob je případ, kdy je světlo odražené na hladké nekovové ploše částečně polarizováno. Dopadající nepolarizované světlo leží v polarizační rovině, která je kolmá na rovinu odrazu. Rovina kmitu polarizovaného paprsku je kolmá k rovině polarizační. Stupeň polarizace závisí na úhlu dopadu a indexu lomu reflektujícího povrchu. Nejlepší polarizace je dosaženo, pokud je mezi odraženým a prošlým paprskem úhel kolem 90° .

1.3.2. Polarizace dvojlomem

Druhým, velmi často používaným způsobem, je polarizace dvojlomem. K dvojlomu dochází v látkách anizotropních (viz. dále) - vstupující paprsek se rozdělí na dva k sobě kolmo polarizované svazky (v izotropních látkách dochází pouze k lomu). Aby vycházelo z látky světlo polarizované v jednom směru, musí se druhý paprsek odstranit. To se provádí buď pomocí tzv. nikolu nebo látky označované jako herapatit. *Herapatit* je látka, která jeden z paprsků zcela absorbuje (používá se k výrobě polarizačních zařízení - polaroidů). *Nikol* se zhotovuje z islandského kalcitu zbroušením jeho štěpného tvaru, následným diagonálním rozříznutím a slepením pomocí kanadského balzámu. Vstupující paprsek se štěpí na paprsek *řádný* (*o*) a *mimořádný* (*e*) - viz. následující kapitola. Jelikož každý z těchto paprsků má v anizotropním minerálu jinou rychlost a tedy i index lomu, je na vrstvičce kanadského balzámu paprsek řádný odražen a absorbován. Paprsek mimořádný vychází díky zbroušení na druhé straně ven jako lineárně polarizované světlo (viz. obrázek)

1.3.3. Polarizace absorpcí

Polarizované paprsky vzniklé v anizotropním krystalu mohou být absorbovány s různou intenzitou. Pokud je jeden svazek téměř zcela absorbován a druhý jen velmi málo, dochází k lineární polarizaci. Příkladem takového krystalu může být turmalínu.

1.4. Rozdělení látek podle optických vlastností

Podle povahy chování paprsku v dané látce rozlišujeme:

- **látky izotropní** - při průchodu světelného paprsku kterýmkoliv směrem nedochází k dvojlomu (např. kubické minerály, amorfní látky)
- **látky anizotropní** – ve kterých při průchodu světelného svazku dochází k dvojlomu a děle se dělí na jednoosé a dvojosé (viz. níže).

1.4.1. Látky (minerály) izotropní.

Jako izotropní se chovají všechny kubické a amorfní látky. Světelný svazek, který do nich vstoupí v kterémkoliv směru, se chová stále stejně - nedochází k dvojlomu.

1.4.2. Látky (minerály) jednoosé.

Do této skupiny patří všechny látky s krystalografickou symetrií tetragonální, hexagonální a trigonální. V těchto látkách existuje jediný směr (směr optické osy), ve kterém nedochází k dvojlomu světelného paprsku. Tento směr je shodný s krystalografickou osou *c*. Pokud světelný paprsek vstupuje do této látky v libovolném jiném směru, dochází k dvojlomu a vznikají dva na sebe kolmo polarizované paprsky šířící se různou rychlostí a mající pro danou látku i různé indexy lomu. Největší rozdíly v rychlostech a indexech lomu obou paprsků jsou ve směru kolmém na optickou osu. Tyto dva paprsky se označují jako řádný (ordinární, označení *o*) a mimořádný (extraordinární, označení *e*). Paprsek řádný se pohybuje krystalem ve všech směrech stejnou rychlostí (chová se jako v izotropním prostředí) a kmitá v bazální rovině, u paprsku mimořádného záleží jeho rychlost na směru, ve kterém původní paprsek do krystalu vstupoval. Rovina kmitu mimořádného paprsku je kolmá na rovinu kmitu paprsku řádného.

Podle rychlostí paprsků rozdělujeme jednoosé minerály do dvou skupin:

- **látky opticky negativní** - rychlost paprsku mimořádného je větší než řádného ($e > o$)
- **látky opticky pozitivní** - rychlost paprsku mimořádného je menší než řádného ($e < o$).

Lepším vyjádřením vztahů mezi oběma paprsky jsou jejich indexy lomu. Pro index lomu paprsku řádného o se používá označení ω , pro index lomu paprsku mimořádného e označení ε . Rychlost paprsku a jeho index lomu jsou v nepřímém poměru a proto platí:

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

Větší index lomu znamená větší lomivost paprsku. Označení pozitivní a negativní souvisí s hodnotou *dvojlomu* (D), který je vyjádřen jako $D = \varepsilon - \omega$. Pro opticky negativní látky je hodnota dvojlomu D záporná.

Pro označování indexů lomu se často používá označení α a γ . Větší index lomu je vždy γ , menší je α . Jednoosé minerály je pak možno charakterizovat:

- **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

Toto značení se přibližuje značení u minerálů dvojosých (viz dále).

Pro grafické vyjádření vztahů mezi rychlostmi jednotlivých paprsků v krystalu se používá tzv. Fresnelova elipsoidu (obrázek). Svislá osa tohoto rotačního elipsoidu vyjadřuje rychlost paprsku mimořádného (e) a vodorovná osa rychlost paprsku řádného (o). Podobně lze charakterizovat i vztahy mezi indexy lomu jednotlivých paprsků pomocí tzv. indikatrix. Tvar indikatrix je shodný s Fresnelovým elipsoidem, ale směry protažení pro pozitivní a negativní látky jsou opačné.

1.4.3. Látky (minerály) dvojosé

Do této skupiny patří látky z krystalografických soustav rombické, monoklinické a triklinické. Existují zde dva směry, ve kterých se světlo šíří, aniž by docházelo k dvojlomu. Tyto směry odpovídají dvěma optickým osám O_1 a O_2 . Optické osy spolu svírají určitý úhel, označovaný jako *úhel optických os* ($2V$) - tento úhel se vyjadřuje v rozsahu $0 - 90^\circ$. Rovina proložená optickými osami se označuje jako *rovině optických os*. Tři hlavní indexy lomu se označují α , β , γ , index β (optická normála) je vždy kolmý k rovině optických os. Zbývající dva indexy lomu α a γ leží v rovině optických os - jeden z nich pólí ostrý úhel optických os a označuje se jako ostrá středná, druhý z nich pólí tupý úhel optických os a označuje se jako tupá středná (vše viz. obrázek). Pokud ostrou střednou tvoří index α , označuje se minerál jako **opticky negativní**. Je-li ostrá středná tvořena indexem γ , je minerál **opticky pozitivní** (obrázek 6). Zde je možné najít určitou spojitost s minerály jednoosými v optickém charakteru. Vyjdeme-li z dvojosého minerálu opticky pozitivního, je jeho ostrá středná tvořena indexem γ . Bude-li se úhel optických os zmenšovat tak, že obě osy splynou v jednu, dostaneme jednoosý minerál s indexem γ ve směru optické osy – tzn. opticky pozitivní (viz. obrázek).

Důležitým údajem je tzv. *maximální dvojlom* D , který se vypočte jako $D = \gamma - \alpha$. Protože oba indexy leží v rovině optických os, mají právě tyto řezy nejvyšší dvojlom, všechny ostatní možné řezy mají dvojlom nižší. Index lomu β není aritmetickým průměrem ostatních dvou indexů lomu. Součet hodnot dvojlomu v řezu kolmém k ostré středné a dvojlomu v řezu kolmém k tupé středné je roven maximálnímu dvojlomu v rovině optických os. Pro opticky pozitivní minerál platí:

Důležitá je u dvojosých látek optická orientace tj. vztah optických směrů ke krystalovým osám. V soustavě

$$(\beta - \alpha) + (\gamma - \beta) = (\gamma - \alpha) \quad (1.9)$$

rombické souhlasí směry α , β , γ se směry krystalových os a , b , c . Ve směru každé krystalové osy může být kterýkoliv optický směr, čili je celkem šest možných kombinací. V **monoklinické** soustavě souhlasí jeden z

optických směrů s krystalovou osou b , ostatní optické směry se od krystalových os a a c více či méně odchyľují. V **triklinické** soustavě žádný z optických směrů nesouhlasí s žádnou krystalovou osou.

1.5. Polarizační mikroskop

1.5.1. Popis součástí mikroskopu

Pomocí polarizačního mikroskopu lze určovat optické vlastnosti látek (minerálů). Základem mikroskopu je stativ nebo podstavec, ve kterém je zpravidla zabudován transformátor a světelný zdroj. Ve spodní části je tlačítko pro zapínání a vypínání a potenciometr, který reguluje intenzitu světla. V horní části je na stativ připevněn tubus na jehož horním konci je okulárová čočka a na spodním objektivová čočka. Kombinace zvětšení objektivu a okuláru (jejich součin) udává výsledné zvětšení mikroskopu. Na objektivové čočce vzniká jasný a ostrý obraz, který se objektivem pouze zvětšuje (včetně vad při nekvalitním objektivu). Pro běžné mineralogické práce se používá objektivů s malým zvětšením (zpravidla 2x), středním zvětšením (zpravidla 10x) a velkým zvětšením (zpravidla 50x). Objektivové čočky bývají umístěny na otočném držáku, takže jejich výměna je velice snadná. Charakteristiky čoček jsou vyryty na jejich plášti a zpravidla udávají pracovní vzdálenost a šířku apertury. Každou objektivovou čočku je možno centrovat (umístit do středu světelného svazku) pomocí centračních šroubů. Okulárové čočky mají zpravidla zvětšení 5x – 10x a zobrazují nitkový kříž, který udává směry kmitů analyzátoru a polarizátoru (někdy je v okuláru vyryta mikrometrická škála pro určování velikosti objektů). Přibližně ve středu stativu je umístěn posuvný otáčivý pracovní stolek, na který se ukládají preparáty a na jehož obvodu je vyznačena úhlová stupnice.

Pod pracovním stolcem (tj. mezi stolcem a zdrojem světla) je umístěna kondenzorová část, kterou tvoří: kondenzorová čočka, aperturní clona a polarizátor. Kondenzorová čočka se při běžné práci a běžném zvětšení nepoužívá, do svazku se zasunuje pouze při pozorování při velkém zvětšení nebo v silně sbíhavém světle (konoskopická pozorování). Pro optimální obraz je třeba, aby byla ve středu světelného svazku a proto je často vybavena centračními šrouby. Clona pod kondenzorovou čočkou umožňuje regulaci hloubky ostrosti a intenzitu osvětlení pozorovaného objektu. Posledním zařízením této části mikroskopu je polarizátor, který obyčejné světlo ze zdroje mění na světlo lineárně polarizované a to v předozadní rovině mikroskopu. Tuto část nelze zpravidla vyjmout, s polarizátorem lze pouze otáčet.

Mezi objektivem a okulárem jsou odspodu umístěny tyto části: otvor pro zasunutí kompenzátorů (viz. dále), analyzátor a Bertrandova čočka. Otvor pro kompenzátor (křemenný klín, sádrovcová destička, vysvětleno dále) svírá s rovinou předozadní 45°. Při běžném pozorování je na otvoru nasazen kryt. Analyzátor je stejné zařízení jako polarizátor, ale propouští pouze světlo polarizované v rovině pravolevé. Má dvě polohy – pracovní, kdy je zasunutý do dráhy světelného svazku, nebo je z této dráhy vyjmut. Pokud jsou v dráze paprsku oba nikoly (polarizátor i analyzátor), do okuláru neprojde žádný světelný svazek, pokud pozorovaný objekt není anizotropní. Nad analyzátozem je umístěna zasunovatelná Bertrandova čočka, která se užívá pouze při pozorování konoskopických obrázků (viz. dále).

1.5.2. Základní operace s polarizačním mikroskopem

Aby bylo možno provádět pozorování, je třeba znát základní techniky, které nám umožní získat kvalitní obraz studovaného objektu.

- **Práce s objektivy.** Výměna objektivu je u moderních mikroskopů snadná a rychlá záležitost, protože jsou umístěny na otočném bubnu. Správná poloha objektivu je indikována silnějším odporem při snaze otáčet bubnem. Pro kvalitní pozorování je třeba zajistit centraci objektivu, tj. umístit objektiv do svislé osy mikroskopu

tak, že pozorovaný objekt je během otáčení stolku stále ve středu nitkového kříže. Pokud při otáčení se objekt vychyluje ze středu je třeba provést centraci objektivu následujícími kroky:

1. Malé zrno umístíme do středu nitkového kříže.
 2. Otáčením stolku dostaneme zrno po kruhové trajektorii za středu nitkového kříže do polohy od středu nejvzdálenější.
 3. Pomocí centračních šroubů objektivu posuneme zrno po průměru kružnice do poloviční vzdálenosti směrem ke středu.
 4. Pohybem preparátu umístíme zrno opět do středu nitkového kříže a opakujeme body 2 – 4 do doby, kdy se při otáčením stolkem zrno nevychyluje ze středu tzn. objektiv je zcentrován.
- **Centrace kondenzorové čočky.** Správná poloha kondenzorové čočky je nutný předpoklad pro kvalitní zobrazení objektu při větším zvětšení. Centraci provedeme následujícím způsobem:
 1. Aperturní clonu maximálně uzavřeme.
 2. Zasuňme kondenzorovou čočku do světelného svazku.
 3. Kondenzorem posunujeme nahoru a dolů tak, abychom zaostřili pozorovaný objekt.
 4. Pokud je osvětlené pole vymezené clonou mimo střed celého zorného pole, je třeba provést centraci kondenzorové čočky pomocí justačních šroubů tak, aby osvětlená část byla ve středu nitkového kříže.
 5. Vysuneme kondenzorovou čočku a opět otevřeme aperturní clonu pro normální pozorování.
 - **Výměna okulárové čočky.** Tato výměna se provádí pouhým vysunutím původní čočky a zasunutím čočky požadované.

1.6. Vlastnosti minerálů při pozorování v jednom nikolu.

Minerály pozorujeme v lineárně polarizovaném světle, zasunut je pouze polarizátor, zatímco analyzátor je vyjmut z dráhy světelného svazku. Tímto způsobem můžeme u minerálů pozorovat barvu, pleochroismus, tvar, štěpnost, uzavřeniny, reliéf a Beckeho linku.

1.6.1. Barva a pleochroismus

Látky ve výbruse jsou buď bezbarvé nebo vykazují barvy o různé intenzitě. Látky bezbarvé absorbují procházející světlo velmi málo a všechny vlnové délky viditelného spektra přibližně stejně. Látky vykazující barevnost v polarizovaném světle absorbují různým způsobem některé vlnové délky (barvy) spektra a výsledná barva je pak složena z těch monochromatických světél, která pohlcena nebyla. Barva je pro látky v polarizovaném světle velmi často důležitým diagnostickým znakem (např. slídy, amfiboly) a může být i odrazem variability chemického složení (zonální barevnost u granátů nebo amfibolů). Barva látek (absorpce světla) je u anizotropních minerálů závislá na krystalovém směru. Existence různých odstínů a intenzit barev při různé orientaci krystalu jsou zahrnovány do obecného pojmu *pleochroismus*. Tento jev je opět v mnoha případech velmi důležitý při identifikaci látek. Intenzita tohoto efektu klesá s klesající tloušťkou preparátu. Typ pleochroismu závisí na optických vlastnostech látky:

- *Izotropní barevné látky* mají při otáčením stolkem stále stejnou barvu, jsou jednobarevné, nepleochroické. Příkladem je granát.
- U *jednoosých barevných* látek je jiná absorpce ve směru ε a jiná ve směru ω . Objevují se tak dvě charakteristické barvy v polohách po 90° . Tento jev se označuje jako dichroismus. Maximální rozdíly v pleochroických barvách jsou v řezech maximálního dvojlomu tj. rovnoběžně s optickou osou. Řezy rovnoběžné s (001) pleochroismus nejví. Příkladem jednoosého pleochroického minerálu je turmalín.

- *Dvojosé látky* mají různou absorpci světla podle tří základních optických směrů. Lze je tedy označovat jako trichroické (typický příklad je amfibol). Některé z nich mohou mít absorpci ve dvou směrech téměř stejnou, takže jsou prakticky dichroické (např. biotit). Řezy kolmé k libovolné optické ose pleochroismus nejeví.

1.6.2. Tvar a stavba

Omezení a tvar látky mohou být důležitým diagnostickým znakem. Podle tvaru průřezu rozlišujeme omezení *automorfní* (dokonalé omezení krystalovými plochami), *hypautomorfní* (částečné omezení krystalovými plochami) a *xenomorfni* (nepravidelné omezení). Tvar zrna může vypovídat i o krystalové soustavě látky – kubické látky mají zpravidla izometrické omezení čtvercové nebo trojúhelníkovité, látky jednoosé mají často sloupcovitý vývin a řezy kolmo k optické ose mají průřezy typické pro danou soustavu (např. pravidelný šestiúhelník v hexagonální soustavě) a látky dvojosé bývají často tabulkovité nebo prizmatické. Některé výviny a stavby krystalových zrn jsou velmi nápadné a pro řadu látek charakteristické: Můžeme jmenovat např. kostrovitý vývin, vznikající v důsledku rychlého růstu, vláknitá stavba charakteristická pro některé amfiboly nebo chrysotil, sférolitická stavba zrna s radiálně paprscitým uspořádáním vláknitých krystalků nebo kolomorfní stavba zrna.

1.6.3. Velikost zrn

Velikost zrna nebývá zpravidla významným diagnostickým znakem, ale např. u sedimentárních hornin je tato informace nezbytná pro klasifikaci horniny. K měření se používá mikrometrický okulár, který má vyrytou škálu po 100 dílcích. Pro stanovení velikosti musíme stanovit, jakému zlomku milimetru odpovídá jeden dílek (pro objektivu s různým zvětšením je to různé). K tomu se používá mikrometr, což je vlastně podložní sklíčko s vyrytou škálou o délce dva milimetry s dělením na setiny milimetru. Poměřením ocejchované škály se škálou okuláru zjistíme potřebný přepočít pro absolutní stanovení velikosti zrn.

1.6.4. Uzavřeniny

Uzavřeniny jsou běžným jevem, ale na významu nabývají jen u některých minerálů. Příkladem mohou být izometricky uspořádané uzavřeniny v leucitu, zirkony s pleochroickými dvůrkami ve slídách nebo shlukování pigmentu v krystalograficky odlišných místech (chiastolit, přesýpátková struktura augitu).

1.6.5. Štěpnost

Štěpnost je jedním z nejdůležitějších diagnostických znaků. Jedná se o poruchy, které vznikají podél definovaných krystalografických rovin. Štěpnost minerálů definujeme jejím směrem (zpravidla vyznačujeme Millerovými indexy) a kvalitou. Kvalita štěpnosti se běžně rozděluje do šesti skupin:

1. velmi dokonalá štěpnost – husté a výrazné paralelní štěpné trhliny (slídy, chlority)
2. dokonalá štěpnost – štěpné trhliny nejsou již tak výrazné a nejsou dokonale paralelní (amfiboly)
3. dobrá štěpnost – štěpné trhliny jsou řídkší a zpravidla jsou velmi často přerušované (pyroxeny)
4. nedokonalá štěpnost – velmi řídké a neostře přerušované trhliny (olivín)
5. špatná štěpnost – štěpné a nahodilé trhliny se jen velmi těžko od sebe odlišují, průběh štěpných trhlín je nepravidelný a těžko se definuje (granát)
6. zcela chybějící štěpnost – přítomny jsou pouze nahodilé trhliny (křemen)

Důležitým vodítkem při určování látek je i počet štěpných systémů a jejich vzájemný vztah. Příkladem může být rozlišování amfibolů (dva systémy štěpnosti svírají úhel přibližně 120°) a pyroxenů (dva systémy štěpnosti svírají úhel přibližně 90°).

1.6.6. Reliéf

Reliéf je projevem rozdílných indexů lomu dvou sousedících zrn různých látek. Pokud má látka vyšší, resp. nižší index lomu než okolní látka, je její reliéf vůči okolí pozitivní (vystupující), resp. negativní (propadající). Má-li látka a její okolí velmi blízké indexy lomu, reliéf nepozorujeme.

1.6.7. Beckeho linka

Beckeho linka je jev, který se používá pro určení optického prostředí s vyšším resp. nižším indexem lomu na hranici zrn dvou látek. Pozorování se provádí se sníženým kondenzorem bez kondenzorové čočky a za použití clonky. Tím vzniká úzký světelný kužel, který je pro toto pozorování nutný. Na rozhraní dvou různě lomivých látek (minerálů) se při jemném rozostření objeví tzv. *Beckeho linka*. Platí pravidlo, že při zvedání tubu (snížování stolku) vstupuje Beckeho linka do prostředí opticky hustšího (s větším indexem lomu). To je dáno faktem, že se světelné paprsky v látce lámou ke kolmici a světlo se koncentruje na okraji opticky hustšího prostředí. Tato koncentrace světelných paprsků se pak v okuláru jeví jako Beckeho linka. Tohoto jevu se využívá při měření indexu lomu imersní metodou (viz. dále).

1.6.8. Povrch

Určitý význam při optickém určování látek může mít kvalita jejich povrchu, která je vidět v polarizovaném světle. Drsnost a “svraštění” povrchu je lépe vidět v případě, že jsou velké rozdíly v indexech lomu zrna a jeho okolí.

1.7. Vlastnosti minerálů ve zkřížených nikolech

Při pozorování ve zkřížených nikolech je spolu s polarizátorem zasunut i analyzátor. Roviny kmitu obou nikolů jsou navzájem kolmé – polarizátor propouští světlo polarizované v rovině předozadní a analyzátor propouští světlo kmitající v rovině pravolevé. Při tomto pozorování lze rozlišovat izotropní a anizotropní minerály, sledovat zhášení, stanovovat výši dvojlomu, určovat charakter minerálu a ráz délky.

1.7.1. Zhášení

Stanovením způsobu zhášení lze určovanou látku blíže definovat z hlediska krystalové soustavy. Pokud je v zorném poli mikroskopu *izotropní* látka, polarizované světlo prochází libovolným řezem beze změny a je na analyzátoru zrušeno, takže při otáčení stolkem je zrno této látky stále tmavé (černé) – nejeví zhášení. To je typickým znakem izotropních látek (látky krystalující v kubické soustavě nebo látky amofní).

U *anizotropních* minerálů jsou v ploše obecného řezu dva směry, kterými paprsek prochází beze změn, takže při otáčení stolkem o 360° se každý tento směr ocitne v uvedené orientaci dvakrát. Tyto čtyři polohy se vyznačují tím, že jeden z optických směrů (u jednoosých minerálů ω nebo ε , u dvojosých minerálů α , β nebo γ) je rovnoběžný s rovinou kmitu polarizátoru a v této speciální poloze dojde k vyhasnutí zrna, tj. průřez ztmavne (jinými slovy předozadně polarizované světlo projde zrnem beze změn a na pravolevě orientovaném analyzátoru je zrušeno a k oku pozorovatele se již nedostane – je vidět tmavé pole). Rozlišujeme tři druhy zhášení:

- *Zhášení rovnoběžné (přímé)* (obrázek) nastává, když minerál zháší tehdy, jsou-li jeho štěpné trhliny nebo omezení orientovány rovnoběžně s rovinou kmitu polarizátoru nebo kolmo k ní.
- *Zhášení šikmé* (obrázek) je případ, kdy poloha zhášení je vzhledem ke krystalovému omezení nebo štěpným trhlinám orientována šikmo. V tomto případě je důležitou veličinou tzv. *úhel zhášení* φ , tj. odchylka polohy zhášení od roviny polarizátoru. Maximální úhel zhášení měříme vždy vzhledem k určité krystalografické ose

(např. α/c) a je pro řadu minerálů důležitou určovací veličinou (úhel zhášení je vždy menší než 45° , jinak bychom měřili úhel doplňkový).

- *Zhášení symetrické (souměrné)* se objevuje v případě, že směr kmitu paprsku pŕlí úhel mezi dvěma morfologickými fenomény (např. štěpnost) a řez preparátu je na ně kolmý.

Rovnoběžné zhášení vykazují všechny látky, u kterých jednotlivé optické směry souhlasí se směry krystalografickými tzn. patří do soustavy hexagonální, trigonální, tetragonální nebo rombické. U soustavy monoklinické zhášejí rovnoběžně pouze řezy v pásmu (100) : (001), ostatní řezy a látky triklinické zhášejí šikmo.

V případech, kdy je potřeba najít přesnou polohu zhášení, je možno zvláště u látek s nízkým dvojlomem použít kompenzační sádrovcovou destičku (viz dále). Když je zrno ve správné poloze zhášení, neovlivňuje procházející svazek a je vidět interferenční barva sádrovcové destičky.

1.7.2. Interferenční barvy

Vychýlíme-li minerál ve zkřížených nikolech z polohy zhášení, můžeme pozorovat interferenční (polarizační) barvy. Nejcharakterističtější jsou při otočení minerálu z polohy zhášení o 45° . Nejjasnější jsou interferenční barvy u látek bezbarvých, u barevných látek mohou být tyto barvy částečně ovlivněny jejich vlastní barvou.

Jak bylo již výše zmíněno, můžeme světelný paprsek definovat jeho směrem, vlnovou délkou, amplitudou světelné vlny a frekvencí. Rychlost takového svazku, který prochází izotropní látkou, je ve všech směrech stejná, pouze rychlost průchodu se mění v závislosti na indexu lomu látky. V anizotropních látkách prochází světelný svazek v různých směrech různou rychlostí (kromě směru rovnoběžného s optickou osou). Světelný svazek je rozštěpen na dvě kolmo polarizované vlny, které mají různý index lomu a tedy i různou rychlost. Tento jev se označuje jako *dvojlom*. Maximální rozdíl mezi indexy lomu obou paprsků se označuje jako maximální dvojlom (u jednoosých látek je to řez kolmý na optickou osu a u dvojosých je to řez v rovině optických os).

Elektromagnetické vlny (tedy i světelné) se stejným směrem a rychlostí se mohou navzájem skládat nebo odečítat – tyto interakce se označují jako *interference*. Pokud jsou interferující vlny ve fázi (jsou navzájem posunuty o celočíselný násobek vlnové délky), dochází při jejich skládání k zesílení amplitudy. Při fázovém posunu dvou vln o libovolný násobek poloviny vlnové délky, dojde při interferenci k vzájemnému vyrušení. Při zcela obecném fázovém posunu interferujících vln je amplituda výsledné vlny dána součtem amplitud skládajících se vln v daném bodě.

Polarizované světlo vycházející z polarizátoru mikroskopu při průchodu anizotropním preparátem je rozloženo podle výše uvedených zásad na dvě kolmo orientované složky s různými rychlostmi (indexy lomu). Tyto navzájem zpožděné paprsky dopadají na analyzátor ale jelikož jejich roviny kmitu nesouhlasí s rovinou kmitu analyzátoru nemohou projít nerušeně – rozkládají se opět na dvě složky z nichž jedna je k rovině kmitu analyzátoru kolmá a druhá je s ní rovnoběžná. Kolmo kmitající paprsky se zruší, rovnoběžné projdou. Konečná interferenční barva je pak výsledkem interference vzájemně různě zpožděných svazků. Interferenční barvy se rozdělují podle Newtonovy barevné škály do řádů. Nízké interferenční barvy jsou barvy I. řádu [podle stoupajícího zpoždění černá (0 nm), šedomodrá (158 nm), bílá (259 nm), žlutá (332 nm), červená (536 nm)]. Jako střední se označují barvy II. a III. řádu a vysoké interferenční barvy jsou IV. a vyššího řádu. Od II. řádu se barvy pravidelně opakují - podle stoupajícího zpoždění fialová (citlivá fialová I), modrá, zelená, žlutá a červená. Nutno poznamenat, že výška interferenční barvy závisí i na tloušťce preparátu (čím silnější preparát, tím větší vzájemné zpoždění paprsků) a souvisí s tím i výška dvojlomu ($\gamma - \alpha$).

Tzv. *anomální interferenční barvy* některých látek jsou způsobeny disperzí světla, což je vlastně změna dvojlomu v závislosti na vlnové délce záření. Celkem mohou nastat tři případy:

1. interferenční barvy jsou vyšší než odpovídá dané vlnové délce – příkladem může být epidot
2. interferenční barvy jsou nižší než odpovídá dané vlnové délce – příkladem mohou být některé chlority
3. interferenční barvy se zcela vymykají běžné barevné škále – příkladem jsou některé chlority

Výše interferenčních barev se stanovuje pomocí tzv. kompenzátorů (viz. dále). Nejběžnější z nich je sádrovcová destička, křemenný klín a slídová destička.

1.7.3. Kompenzační destičky (kompenzátoři)

Pro objasnění dalších jevů, které lze pozorovat ve zkřížených nikolech, je potřeba se zmínit o principu tzv. kompenzačních destiček. Nejvíce používaná je sádrovcová destička, která má zpoždění 560 μm , což odpovídá červeně fialové barvě v druhém řádu Newtonovy škály. Další je slídová destička (“čtvrtundulační”), jejíž zpoždění je 150 μm (šedá barva) tj. jedna čtvrtina vlnové délky natriového světla. Posledním kompenzátořem je křemenný klín, tedy destička zhotovená z křemene, jejíž mocnost v jednom směru vzrůstá.

Optická orientace všech destiček je shodná – po délce mají menší index lomu, napříč mají větší index lomu.

1.7.4. Charakter zóny (ráz délky)

Tato důležitá identifikační vlastnost může být sledována pouze u minerálů protažených podle některé krystalové osy kdy určujeme, zda je podél protažení orientován menší nebo větší index lomu. *Má-li průřez zrnem po délce větší index lomu, je jeho charakter zóny (ráz délky) pozitivní (Chz+)*, je-li po délce menší index lomu, je charakter zóny negativní (Chz-).

K určení nejlépe použijeme sádrovcovou destičku, která má ve směru delší hrany menší index lomu a ve směru kratší strany větší index lomu. Sloupcovitý minerál natočíme protažením ve směru SZ – JV (směr zasouvání kompenzátoři) a zasuneme sádrovcovou destičku. Pokud je orientace indexů lomu kompenzační destičky a látky shodná (tj. u destičky i látky jde vyšší, resp. nižší index lomu stejným směrem) interferenční barvy se skládají směrem k vyšším řádům (zpravidla modré nebo zelenožluté barvy). Je-li orientace vyšších, resp. nižších indexů lomu látka a kompenzační destičky navzájem opačná, interferenční barvy klesnou k nižšímu řádu (zpravidla šedá nebo žlutá barva).

1.7.5. Optický charakter látek

Optický charakter látky je velmi důležitá veličina, která může velkou měrou přispět při určení minerálu. V tabulkách se označuje symbolem Chm+ nebo Chm-. Optický charakter minerálu určujeme pomocí tzv. konoskopického obrázku. Postup při přípravě mikroskopu pro toto pozorování je následující:

- nejprve najdeme vhodný řez zrnem studované látky (viz dále)
- použijeme silnější objektiv (nejčastější 50x zvětšující a dobře zaostříme)
- přesvědčíme se, že objektiv je dobře zcentrovaný a kondenzor pod stolem v poloze zcela nahoře
- pro pozorování konoskopického obrázku zkřížíme nikoly a zasuneme Bertrandovu čočku, popř. u mikroskopů kde není, můžeme pozorovat konoskopický obrázek po vyjmutí okuláru (obraz je menší ale ostřejší)

Konoskopický obrázek je různý pro jednoosé a dvojosé látky a postup při stanovení charakteru minerálu se také liší.

Jednoosé látky. Pro přípravu konoskopického obrázku jednoosých minerálů jsou nevhodnější řezy kolmé na optickou osu (odpovídá krystalografické ose c). Tyto řezy se snadno poznají při zkřížených nikolech, protože zůstávají při otáčení stolem stále tmavé.

Světelné paprsky procházející zrnem pod různými úhly. Uprostřed zorného pole jdou paprsky ve směru optické osy a jsou na preparát téměř kolmé. Čím dále od středu tím více šikmo paprsky dopadají a tím větší mají hodnotu

dvojlomu (dráha průchodu paprsku materiálem je delší a vzájemné zpoždění se zvětšuje). Interferenční barvy jsou pak uspořádány soustředně a směrem od středu stoupají. Soustředné kružnice s konstantním dvojlomem se označují jako izochromáty. Vzdálenost mezi izochromátami je dána výškou dvojlomu resp. tloušťkou řezu – čím větší dvojlom nebo silnější preparát, tím hustší je uspořádání izochromát. Kromě soustředných izochromát se v konoskopickém obrázku jednoosých látek objevuje černý kříž, jehož směry ramen souhlasí s rovinami kmitu nikolů. Ramena kříže se směrem od středu rozšiřují. Na rozdíl od dvojosých látek se tento kříž při otáčení stolkem nemění.

Pro určení optického charakteru látky používáme kompenzačních destiček. Použijeme-li sádrovcovou destičku, objeví se po jejím zasunutí do výřezu v tubu v zorném poli modré a žluté skvrny. Ramena černého kříže nám rozdělují zorné pole na kvadranty a podle umístění jednotlivých barevných skvrn v kvadrantech provedeme stanovení optického charakteru minerálu. Jsou-li modré skvrny v I. a III. kvadrantu (žluté jsou ve II. a IV. kvadrantu) je optický charakter látky pozitivní (+). Při opačném uspořádání barevných skvrn (modré skvrny ve II. a IV. kvadrantu) je optický charakter látky negativní (-). V tomto případě se často uvádí zjednodušené pravidlo: Spojnice modrých skvrn dává se směrem zasouvání sádrovcové destičky znaménko pro charakter minerálu (pro pozitivní minerál se tyto linie kříží). Vznik modrých a žlutých skvrn je spojen s dvojlomem šikmo dopadajících paprsků v jednotlivých kvadrantech. Tyto paprsky se rozkládají na dva, kdy u opticky pozitivních minerálů kmitá svazek s indexem lomu γ' ve směru poloměru kruhového zorného pole a svazek α ve směru tečném. V tomto případě souhlasí optické směry s optickými směry na sádrovcové destičce v I. a III. kvadrantu a zde barvy stoupnou (výsledné modré skvrny). Naopak v II. a IV. kvadrantu optické směry procházejících svazků a sádrovcové destičky nesouhlasí a barvy klesají (výsledné žluté skvrny).

U minerálů s vysokými interferenčními barvami je stanovení pomocí sádrovcové destičky obtížné, protože se jen těžko dá rozpoznat, v kterých kvadrantech barva stoupla a kde klesla. Proto je možné použít ke stanovení optického charakteru látky křemenného klínu. Při zasouvání křemenného klínu se uplatňuje stále jeho silnější část a v zorném poli se v protilehlých kvadrantech čtvrtkroužky sbíhají směrem ke středu nebo naopak. Zde platí pravidlo, že směr sbíhání udává se směrem zasouvání kompenzátoru znaménko pro charakter minerálu. Řečeno jinak, sbíhají-li se čtvrtkroužky v I. a III. kvadrantu je charakter minerálu pozitivní. Toto stanovení ale vyžaduje řezy co možná nejvíce kolmé k optické ose.

Poslední možností je použití slídivé destičky. Po jejím zasunutí se objeví ve dvou protilehlých kvadrantech černé skvrny, které vlastně odpovídají žlutým skvrnám u destičky sádrovcové. Jsou-li tyto skvrny v II. a IV. kvadrantu, má látka optický charakter pozitivní.

Dvojosých látek. Vyhledání řezu vhodného pro konoskopický obrázek je u dvojosých látek mnohem obtížnější. Ideální řez je kolmý k ostré střední a ten se od ostatních řezů liší dvojlomem, který je v tomto řezu relativně nízký (uplatňují se v něm optické směry α , β nebo β , γ). Samotný konoskopický obrázek vypadá tak, že souhlasí-li optické směry s orientací nikolů, objeví se černý kříž, jehož ramena jsou v jednom směru (podle optické normály) široká a kolmo úzká. Na úzkém rameni jsou výchozy optických os. Pootočíme-li výbrusem o 45° , kříž se rozestoupí na dvě ramena hyperboly. Na vrcholech obou křivek jsou výchozy optických os - čím jsou obě křivky od sebe vzdálenější, tím je větší úhel optických os, v některých případech ($2V > 90^\circ$) obě hyperboly zmizí ze zorného pole (v rovině řezu vychází tupá středná). Ramena hyperbol se směrem od výchozů optických os rozšiřují. Isochromáty zde nejsou kruhové, ale tvoří jakési "vrstevnice" kolem dvou středů (výchozů optických os). Interferenční barvy se zvyšují směrem od optických os. Hustota izochromát závisí na dvojlomu a mocnosti preparátu.

Pro určení optického charakteru stočíme výbrus tak, aby spojnice výchozů optických os souhlasila se směrem zasouvání kompenzační destičky. Zasneme-li sádrovcovou destičku, objeví se opět modré a žluté skvrny, podobně

jako u jednoosých minerálů. Zde platí pravidlo: jsou-li modré skvrny na vnitřní (vypuklé) straně ramen hyperbol, je minerál opticky pozitivní. Jsou-li modré skvrny na vnější (vyduté) straně ramen hyperbol, je minerál opticky negativní. Toto barevné rozložení je dáno různou optickou orientací na obou stranách hyperbol. Zatímco na jedné straně interferenční barva stoupá, na druhé naopak klesá. Při použití křemenného klínu je pravidlo podobné jako u jednoosých látek: směr sbíhání interferenčních “kroužků” dává se směrem zasouvání kompenzátoru znaménko charakteru minerálu; jinými slovy, sbíhají-li se interferenční “kroužky” v I. a III. kvadrantu je optický charakter látky pozitivní. Také u slídové destičky je princip shodný s jednoosými minerály tj. černé skvrny odpovídají žluté barvě při použití destičky sádrovcové tzn., že jsou-li černé skvrny na vnitřní straně hyperbol je optický charakter látky pozitivní. Pokud je spojnice výchozů optických os kolmá ke směru zasouvání kompenzačních destiček, je opačné poloha barevných skvrn vůči předcházející variantě, tj. u sádrovcové destičky jsou pro opticky pozitivní látku modré skvrny na vnitřní straně hyperboly. U látek s malým úhlem optických os můžeme určovat optický charakter z polohy, kdy je zobrazen kříž a to stejným postupem jako u jednoosých minerálů.

1.7.6. Úhel optických os

Úhel optických os je úhel, který mezi sebou svírají optické osy dvojosé látky. Jedná se vždy o úhel do 90°. Jeho znalost je dobrým diagnostickým znakem, ale často jeho velikost kolísá se složením nebo je závislá na tlakovém postížení. K jeho měření se používá konometr nebo se měří přímo z konoskopického obrázku v polarizačním mikroskopu (viz. dále).

1.8. Některé další postupy při optickém studiu látek

1.8.1. Měření indexu lomu (imersní metoda)

Touto metodou lze stanovit index lomu látky s přesností až na tři desetinná místa. Příprava mikroskopu je popsána v části o Beckeho lince. Preparát přepravíme tak, že na podložní sklíčko s prohloubením položíme zrnka studované látky. Přidáme kapku imersní tekutiny s definovaným indexem lomu (viz dále) a podle dříve uvedeného návodu sledujeme pomocí Beckeho linky relativní index lomu. Má-li sledovaná látka vyšší index lomu než tekutina, přimícháme tekutinu s vyšším indexem lomu a naopak (čím je Beckeho linka výraznější, tím jsou rozdíly v indexech lomu větší). Tento postup opakujeme tak dlouho, dokud Beckeho linka nezmizí tzn., že indexy lomu látky a imersní kapaliny jsou stejné. Namíchanou imersní tekutinu pak přeneseme na refraktometr a změříme její index lomu a tím dostaneme i index lomu studované fáze.

Imersní tekutiny jsou látky s přesně definovaným indexem lomu při dané teplotě. Je třeba je přechovávat v lahvičkách se zábrusem na teplotně stálém a suchém místě. Při používání je třeba zabránit jejich kontaminaci, aby nedošlo ke změně jejich indexu lomu. Některé používané imersní kapaliny a jejich index lomu při 15°C jsou uvedeny v následujícím přehledu:

voda	$n = 1,333$
chloroform	$n = 1,450$
ricinový olej	$n = 1,490$
cedrový olej	$n = 1,510$
anýzový olej	$n = 1,560$
monojodbenzen	$n = 1,620$
metylenjodid	$n = 1,740$

Při měření indexu lomu je třeba si uvědomit orientaci zrna. U jednoosých látek je nejlépe měřit řez podle (001), protože v tomto řezu je pouze index ω . Pokud stanovíme optický charakter látky, můžeme i obecný řez orientovat,

protože víme, který z obou indexů je větší resp. menší. Skutečný index ε můžeme měřit pouze v řezech rovnoběžných s optickou osou (řezy s maximálním dvojlomem). Měřený index (větší či menší) musí být rovnoběžný s rovinou kmitu polarizátoru tzn., že zrno musíme otočit do polohy zhášení. Směr většího a menšího indexu lomu zjistíme pomocí vhodné kompenzační destičky.

U dvojosých minerálů je situace mnohem složitější, protože k úplné charakterizaci potřebujeme tři indexy lomu. Řezy v rovině optických os vykazují nejvyšší dvojlom a lze na nich změřit indexy α a γ . V řezech kolmých k ostré středné (poznáme podle konoskopického obrázku) můžeme měřit index β a v závislosti na optickém charakteru látky pak α nebo γ .

1.8.2. Práce s kompenzátory

Jak již bylo uvedeno, nejpoužívanějšími kompenzátory je sádrovcová a slídová destička a křemenný klín. Položíme-li při zkřížených nikolech sádrovcovou destičku na stolek, nebo ji zasuneme do výřezu, zpoždění polarizovaných paprsků je 560 nm, což odpovídá fialové barvě ze začátku II. řádu, provedeme-li totéž se slídovou destičkou je zpoždění paprsků 150 nm, což odpovídá světle šedé barvě I. řádu. Při pozvolném zasouvání křemenného klínu můžeme pozorovat, jak se spolu se zvětšující tloušťkou postupně zvyšují interferenční barvy od I. až po IV. řád.

Pojem *skládání barev* je možno prakticky ukázat na kombinaci sádrovcové a slídové destičky. Sádrovcovou destičku položíme na stolek mikroskopu ve směru, kterým zasuneme do tubu slídovou destičku. Obě mají stejnou optickou orientaci a v zorném poli můžeme vidět modrou barvu II. řádu která odpovídá součtu zpoždění obou destiček (560 nm + 150 nm = 710 nm), barva stoupne. Otočíme-li sádrovcovou destičkou na stolku o 90°, jsou obě destičky navzájem v nesouhlasné optické orientaci a jejich zpoždění se odčítají, barva klesne – objeví se žlutá barva I. řádu (410 nm).

Položíme-li křížem přes sebe dvě stejné destičky (proti směru γ jedné destičky je směr α druhé destičky), dojde k tzv. *kompenzaci*. Vzájemné zpoždění paprsků vzniklé na první destičce se vyrovná na destičce druhé – výsledkem je tmavé zorné pole. Polohy kompenzace má velký význam při určování výše interferenčních barev pomocí křemenného klínu.

Zrno minerálu nejdříve zorientujeme z hlediska vyššího a nižšího indexu lomu. Potom jej natočíme tak, aby jeho indexy lomu byly se směry indexů lomu zasouvaného křemenného klínu v nesouhlasné poloze. Pozvolna budeme zasouvat křemenný klín a interferenční barvy budou postupně klesat, až bude zrno zcela tmavé – dostane se do polohy kompenzace. Vyjmeme-li nyní vzorek, uvidíme interferenční barvu, kterou zrno původně mělo. Křemenný klín budeme zvolna vytahovat a zároveň sledujeme, kolikrát přejdeme přes citlivou fialovou – tím stanovíme, jakého řádu uvedená barva byla a v Newtonově škále si při známé tloušťce preparátu zjistíme zpoždění.

1.8.3. Měření tloušťky preparátu

Při některých měřeních je třeba znát tloušťku preparátu. Tu můžeme stanovit jedním z následujících postupů:

1. Najdeme v preparátu látku se známým dvojlomem ve vhodném řezu. Nejlepší je křemen v řezu rovnoběžném s optickou osou ($D = 0,009$). Výpočet provedeme podle rovnice

$$t = \frac{R}{D} \quad 1.10$$

kde t je tloušťka preparátu, D je dvojlom a R je fázové zpoždění. V tomto případě můžeme R stanovit podle výše interferenčních barev pomocí kompenzačních destiček.

2. Přímým měřením pomocí mikrometrické stupnice tubu (tzv. de Schonova metoda), kdy při velkém zvětšení zaostříme na horní plochu objektu a odečteme hodnotu na mikrometrickém šroubu a následně přeostříme na

dolní plochu objektu a znovu odečteme hodnotu na stupnici mikrometrického šroubu. Rozdíl těchto údajů násobený středním indexem lomu měřené látky dává výslednou hodnotu její tloušťky.

1.8.4. Měření úhlu optických os

Pro přesná měření se používá Fjodorovova univerzálního stolku. Tato metoda je ale metodicky poměrně náročná a proto je v některých případech snadnější aplikovat stanovení úhlu $2V$ pomocí škály mikrometrického okuláru. Měříme vzdálenost vrcholů ramen hyperbol (výchozů optických os) v diagonální poloze. Z této vzdálenosti ($2D$) lze za určitých předpokladů vypočítat úhle $2V$. Jelikož v mikroskopu vždy pozorujeme zdánlivý úhel optických os ($2E$), který je vždy větší než skutečný, tak i vzdálenost $2D$ neodpovídá skutečné vzdálenosti výchozů optických os. Důvodem je lom od kolmice při přechodu světelných paprsků z látky do vzduchu.

Ze změřené vzdálenosti D musíme vypočítat zdánlivý úhel E za pomoci Mallardovy konstanty. Tu stanovíme pomocí látky pro kterou byl konometrem přesně stanoven zdánlivý úhel $2E$ (např. bazální lupínek muskovitu). Stanovení je třeba provést několikrát, aby hodnota konstanty byla přesná – pro daný mikroskop je pak platná jednou provždy. Výpočet je proveden podle vzorce:

$$K_M = \frac{D}{\sin E} \quad 1.11$$

U studované látky měříme také vzdálenost $2D$ a podle vzorce (1.11) můžeme při znalosti Mallardovy konstanty vypočítat $\sin E$. K výpočtu skutečného úhlu V , potřebujeme znát ještě index lomu β :

Stanovení úhlu $2V$ lze provést také podle diagramu (obrázek). Vychází se z rovnice:

$$\sin V = \frac{\sin E}{\beta} \quad 1.12$$

$$d = \frac{n \sin V}{A} \quad 1.13$$

kde $d = 2D / 2r$, n je střední index lomu zkoumané látky a A je numerická apertura použitého objektivu. $2D$ je vzdálenost výchozů optických os a $2r$ je průměr celého konoskopického obrázku (obrázek).

1.8.5. Disperze úhlu optických os

Jelikož úhel optických os závisí i na vlnové délce světla, je u některých dvojosých látek $2V$ pro červenou barvu větší než pro fialovou nebo naopak. Ohbí ramen hyperbol konoskopického obrázku v diagonální poloze je vroubeno z jedné strany fialovým lemlem a z druhé červeným lemlem. Je-li červené světlo na vnitřní vypuklé straně hyperboly označuje se disperze $\rho > \nu$ ($\check{c} > f$) v opačném případě je značení $\nu > \rho$ ($f > \check{c}$).