

## Polarizační mikroskopie

Polarizační mikroskop je zařízení, které slouží ke zviditelnění vzorků, vykazujících dvojlom. K tomuto zviditelnění se využívá skutečnosti, že dvojlomné vzorky obecně produkují elipticky polarizované světlo. Celková struktura zařízení zahrnuje oproti běžnému mikroskopu navíc dva polarizátory, mezi kterými je vzorek umístěn.

Polarizační mikroskop může pracovat s libovolným nastavením zmíněných dvou polarizátorů, které pro přehlednost nesou (po řadě podél cesty světla) označení polarizátor (P) a analyzátor (A), přestože se může jednat o dva identické kusy. Je výhodné nastavit si před vložením polarizátoru do zkřížené polohy: takovou soustavou neprojde žádné světlo. Pokud vložíme vzorek, který není dvojlomný, soustavou stále žádné světlo neprojde. Teprve když vložený vzorek vykazuje dvojlom, mezi polarizátory vznikne světlo z eliptickou polarizací, které analyzátozem obecně nelze potlačit beze zbytku a zorné pole se rozsvítí.

Tímto způsobem se v případě zkřížených polarizátorů polarizační mikroskop vlastně stává detektorem dvojlomu: dokud není vložen dvojlomný materiál, zorné pole zůstává temné.

Předpokládáme dopad přirozeného světla intenzity  $I_0$  na (první) polarizátor. Za ním postupuje vlna s intenzitou  $E_p$ , lineárně polarizovaná ve směru propustnosti polarizátoru.

V dalším kroku toto lineárně polarizované světlo dopadne na dvojlomný vzorek. Budeme předpokládat, že dopad světla na stěnu vzorku je kolmý a že optická osa  $\vec{o}$  vzorku leží v této stěně a svírá se směrem polarizace  $\vec{p}$  dopadajícího světla úhel  $\varphi$ .

Dvojlom materiálu způsobí, že dopadající vlna je rozdělena na dvě části: na paprsek řádný (ordinární), polarizovaný ve směru optické osy vzorku a mimořádný (extraordinární), polarizovaný ve směru na optickou osu vzorku kolmém; jejich amplitudy po řadě označíme  $E_o$  a  $E_e$ . Jejich velikosti určíme kolmým průmětem amplitudy  $E_p$  vlny dopadající na vzorek do příslušných směrů:

$$E_o = E_p \cos \varphi \quad E_e = E_p \sin \varphi.$$

Ve dvojlomném materiálu se každý z paprsků řídí jiným indexem lomu; řádnému paprsku připsáme index lomu  $n_o$ , mimořádnému index lomu  $n_e$ . V důsledku tohoto chování dvojlomného materiálu na konci vzorku tloušťky  $d$  mají oba paprsky různou fázi  $\phi$ , rozdíl mezi nimi má velikost

$$\delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0}(n_o - n_e)d,$$

kde  $\lambda_0$  je vakuová vlnová délka použitého světla. Tím za vzorkem dojde ke vzniku elipticky polarizovaného světla.

Obě dosud zkonstruované vlny dopadají na analyzátor, kde jsou každá zvlášť promítnuty do jeho propustného směru  $\vec{a}$ . Tím vznikají dvě komponenty, které za analyzátozem již mají shodný směr polarizace a mohou se přímo složit. Budeme předpokládat skládání nekoherentní - nejdříve je potřeba určit světelné intenzity jednotlivých vln (jako čtverce jejich amplitud) a teprve ty sečíst. Pro přehlednost označíme jednotlivé složky po průchodu analyzátozem přidáním indexu  $a$ .

S využitím pravoúhlých trojúhelníků můžeme napsat

$$E_{ao} = E_o \sin \varphi = E_p \cos \varphi \sin \varphi \quad E_{ae} = E_e \cos \varphi = E_p \sin \varphi \cos \varphi,$$

a pro výslednou intenzitu vystupujícího světla dostáváme

$$I_a = I_{ao} + I_{ae} \approx (E_{ao})^2 + (E_{ae})^2 = 2E_p^2 \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \approx I_p \sin^2(2\varphi),$$

kde  $I_p = E_p^2$ . Z tohoto vzthau je zřejmé, že při otáčení vzorku na podložce bude výstupní intenzita  $I_a$  kolísat od nulové hodnoty až do hodnoty maximální ( $I_p$ ). Protože goniometrická funkce vystupuje ve výsledném vztahu v kvadrátu a ještě je přítomen dvojnásobný argument, na jednu otočku vzorku o 360 stupňů budou připadat čtyři zjasnění a čtyři vyhasnutí výstupního signálu. Tato čtyři zjasnění a vyhasnutí jsou typickým projevem přítomnosti dvojlomu mezi polarizátory. Při vizuálním pozorování v místech zjasnění navíc vzorek samozřejmě může opticky sledovat a v rámci mikroskopie tak na něm rozlišit potřebné detaily.

## Úkoly:

1. Sestavte polarizační mikroskop
2. Najistujte krystal křemene jako vzorek
3. Změřte závislost výstupní intenzity světla v rozsahu otočení vzorku o  $360^\circ$
4. Posuďte, zda získaná závislost odpovídá teoretické předpovědi
5. Proveďte pozorování vzorku lepicí pásky a porovnejte její dvojlomné uspořádání s křemenem.

## Provedení:

Mikroskop Zeiss, který v laboratoři použijeme, je vybaven oběma typy osvětlení: na průchod (žárovka) i na odraz (xenonová výbojka). Metoda světlého pole je realizovatelná za použití obou zdrojů, metoda temného pole a Nomarského kontrast při pozorování ve světle odraženém. Pro všechny metody lze světlo zeslabovat/monochromatizovat použitím výměnných filtrů. Zvětšení mikroskopu se nastavuje pomocí výměnných objektivů.

Stolek se vzorkem je vybaven vodorovným mechanickým posunem ve dvou osách a nezávisle také možností otočení kolem vlastní osy s úhloměrem. Mikroskop je dále vybaven kondenzorem světla na průchod, vybaveným polarizátorem. Zejména tyto dvě poslední vlastnosti využijeme při sestavení polarizačního mikroskopu.

**1.** Nejprve uveďte do provozu samotný mikroskop, v režimu osvětlení na průchod. Protože ve zvoleném kondenzoru již polarizátor je umístěn, stačí do optické cesty před detektor (fotoaparát) umístit analyzátor. Přitom jej natočte tak, aby v nepřítomnosti vzorku procházelo systémem co nejnižší množství světla - vznikne konfigurace se zkříženými polarizátory. Postup sledujte buď přímo vizuálně v okulárech, nebo na připojeném monitoru.

**2.** Na stolek položte krystal křemene tak, aby jeho optická osa probíhala horizontálně, v souladu s teorií zadání úlohy. Vzorek pokládáme do centra otáčení podložního stolku, který sám před umístěním krystalu vycentrujete pomocí kruhové značky. Je-li vzorek dvojlomný, po jeho vložení by se mělo zorné pole rozsvítit. Pro další pozorování nastavte co největší zvětšení objektivu.

**3.** Otáčejte stolkem po deseti stupních a v každé poloze sejměte fotoaparátem pozorovanou scénu. Přitom je důležité, aby fotoaparát byl nastaven ve zcela manuálním režimu - v opačném případě se změny v osvětlení způsobené dvojlomem bude přístroj stále snažit dokorigovat délkou expozice a všechny pořízené snímky budou stejně jasné. Ze stejného důvodu je potřeba deaktivovat blesk fotoaparátu; navíc, vzhledem ke konstrukci spojení fotoaparátu s mikroskopem, světlo blesku vzorek nemůže dosáhnout.

**4.** Jednotlivé získané snímky zpracujte ve vhodném software (Adobe Photoshop, Gimp). Zvolte vždy centrální výřez snímku, ve kterém nechte spočítat histogram - tato charakteristika popisuje rozdělení jasových hodnot ve zvolené oblasti. Pro další použití budeme z každého histogramu odečítat hodnotu jasu, která je ve snímku zastoupena nejčastěji. Takto získané (bezrozměrné) intenzity vyneste do grafu spolu s vypočtenými hodnotami teoretické předpovědi (číslně volte  $I_p$  tak, aby měření i předpověď měly v grafu zhruba stejný rozsah).