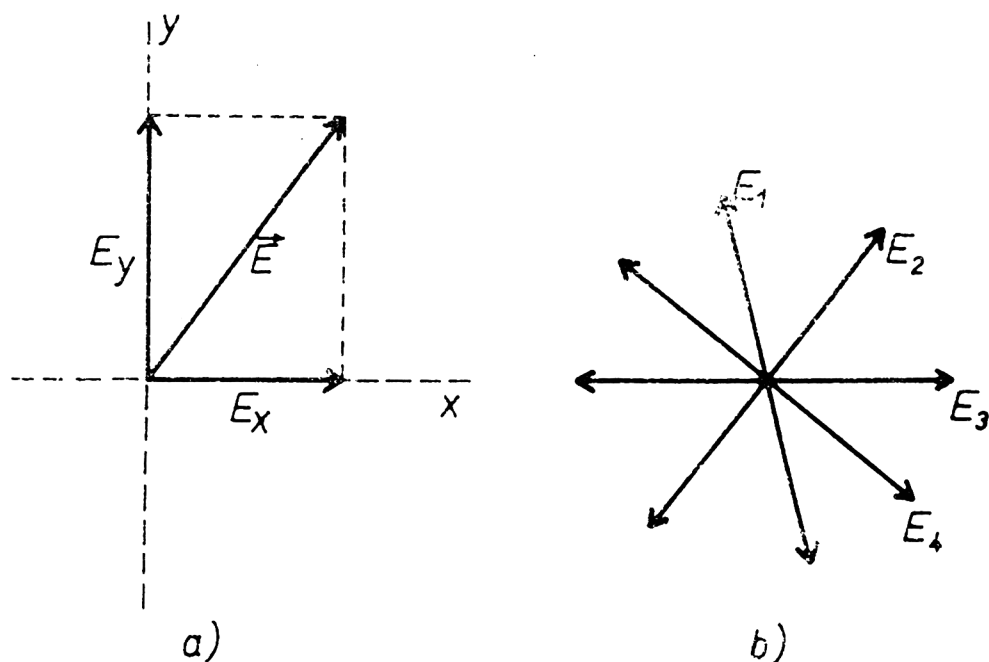


24. POLARIZACE SVĚTLA

Světlo je příčné vlnění elektromagnetického pole. Veličiny, jejichž periodické změny umožňují zavést pojem světelné vlny, mají vektorový charakter. Pro popis světelných jevů je plně postačující, zkouáme-li chování periodicky proměnného vektoru elektrického pole \vec{E} . Tento vektor je vždy kolmý ke směru šíření paprsku, procházejícího uvažovaným bodem prostoru. Je-li směr vektoru \vec{E} ve všech bodech paprsku během času stálý, říkáme, že světlo je lineárně polarizované. Rovina, v níž se kmity dějí, se nazývá kmitová rovina.



Obr.24.1: K výkladu jevu polarizace světla.

Je vhodné rozložit vektor elektrického pole \vec{E} do dvou navzájem kolmých směrů a vyjádřit ho ve složkách E_x a E_y (obr.24.1.a), kde směr šířícího se paprsku je kolmý k nákrešně. Jsou-li složky E_x a E_y stále ve fázi, příp. mají-li stálý fázový rozdíl $\delta = \pi$ dostáváme lineárně polarizované kmity. Je-li $\delta = \pi/2$ opisuje koncový bod vektoru \vec{E} kružnici; v obecném případě, kdy $0 < \delta < \pi/2$ jde o elipticky polarizované kmity.

Světlo vyzařované jedním atomem je lineárně polarizované. V daný okamžik se však šíří v daném směru energie vyzařované velkým počtem zářičů (atomů), přičemž orientace vektoru \vec{E} nemá žádný preferovaný směr (obr.24.1.b). Proto vektor \vec{E} , i když zůstává stále kolmý na směr paprsku, vykazuje libovolné orientace; takové vlastnosti má přirozené (nepolarizované) světlo. Tento soubor paprsků, z nichž každý je polarizován v podstatě v jiném směru, si lze představit jako superposici dvou lineárně polarizovaných paprsků, jejichž kmitosměry jsou navzájem kolmé a nemají konstantní rozdíl fází.

Z běžných světelných zdrojů dostáváme přirozené světlo, které je částečně polarizované. Lze si je představit složeno ze dvou částí; části polarizované (intenzita I_p) a nepolarizované (I_n). Stupeň polarizace V částečně polarizovaného světla se definuje

$$V = \frac{I_p}{I_p + I_n} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} . \quad (1)$$

Pravá strana uvedeného vztahu se vztahuje k případu, kdy chceme stanovit stupeň polarizace polaroidu, máme-li k dispozici druhý polaroid stejné kvality. Při průchodu světla prvním polaroidem dostaneme polarizované světlo intenzity $I_p^{(1)}$ a nepolarizované světlo $I_n^{(1)}$ (index nahoře označuje polaroid). Jsou-li kmitové roviny obou polaroidů rovnoběžné, pak druhým polaroidem projde intenzita

$$I_{\max} = I_p^{(1)} + I_n^{(1)}/2 + I_n^{(2)} ,$$

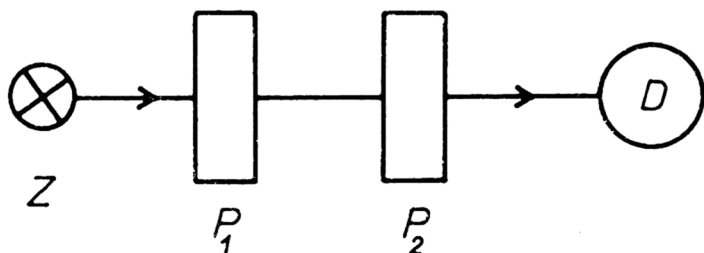
jsou-li kmitové roviny kolmé, projde intenzita

$$I_{\min} = I_n^{(1)}/2 + I_n^{(2)} .$$

Pravou stranu vztahu (1) dostaneme dosazením za $I_p^{(1)}$ a $I_n^{(1)}$ z předchozích dvou rovnic za předpokladu, že složka $I_n^{(2)}$ je zanedbatelně malá. Ze vztahu (1) vyplývá, že $0 \leq V \leq 1$ přičemž $V = 1$ pro dokonale polarizované světlo a $V = 0$ pro nepolarizované světlo.

Z částečně polarizovaného světla lze získat dokonale polarizované světlo pouze ideálními polarizátory t.j. odrazem světla na dielektrickém zrcadle při Brewsterově úhlu dopadu /1/. Použití dvojtlomu pro lineární polarizaci /2/ již není zcela ideální a zvyšuje pouze stupeň polarizace dopadajícího světla. Jako polarizátory se často užívají polarizační filtry (jodchinin sulfát rozptýlený v celulozidě) příp. různé úpravy hranolů z opticky anisotropních průzračných látek /3/.

Vlastnosti polarizátorů si můžeme ukázat na dvojici polarizačních filtrů. Polarizační schopnost P polaroidu je rovna veličině V světla, které z polaroidu vystupuje, předpokládáme-li, že dopadající světlo je nepolarizované. Hlavní propustnosti T_1 a T_2 polaroidu jsou čísla charakterizující největší a nejmenší propustnost polaroidu vzhledem k intenzitě dopadajícího lineárně polarizovaného světla I_0 , tedy $T_1 = \max(I/I_0)$ a $T_2 = \min(I/I_0)$. Osou polaroidu se nazývá směr v jeho rovině, který splývá s kmitosměrem dopadajícího lineárně polarizovaného světla, je-li propustnost maximální.



V praxi zpravidla pracujeme s dvojicí polaroidů a zavádí se proto obdobné parametry, které charakterizují tuto dvojici jako celek.

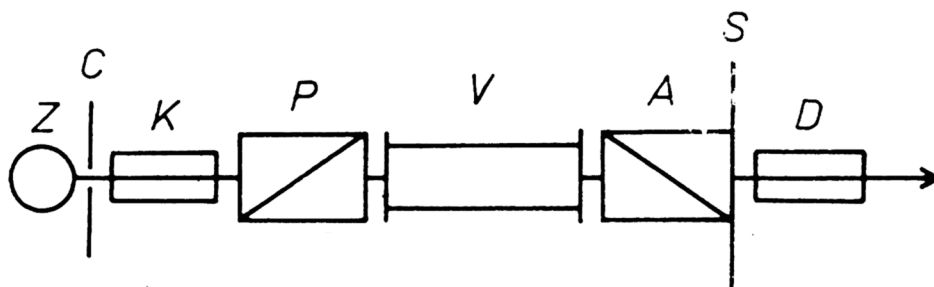
Obr.24.2: Schema zařízení ke studiu funkce polaroidů.

polaroidu a kmitosměru dokonale lineárně polarizovaného světla vyjadřuje Malusův zákon /1/

$$I(\varphi) = I_0 \cos^2 \varphi \quad , \quad (2)$$

kde φ je shora uvedený úhel. Ověření tohoto zákona spolu se stanovením polarizační schopnosti polaroidu lze jednoduše provést na zařízení dle obr.24.2. Ze světelného zdroje (Z) vychází přirozené světlo a dopadá na polaroid P_1 jehož charakte-

ristiky chceme stanovit. Za ním je umístěn otočný polaroid P_2 o němž předpokládáme, že je dokonalý t.zn., že $T_1 = 1$ a $T_2 = 0$. Za tímto polaroidem je umístěno detekční zařízení (D) schopné detekovat intenzitu světla prošlého uvažovanou soustavou. Na polaroid P_1 dopadá prakticky nepolarizované světlo. Po průchodu P_1 se částečně polarizuje a podle předešlého lze jeho stupeň polarizace položit roven polarizační schopnosti polaroidu P_1 . K výpočtu této veličiny dle vztahu (1) potřebujeme znát hodnoty I_{\max} a I_{\min} , které zjistíme z průběhu funkce $I(\varphi) = f(\varphi)$, kde φ je úhel os obou polaroidů. Tento úhel je stejný, jako úhel který svírá kmitová rovina lineárně polarizovaného světla vystupujícího z P_1 s osou dokonalého polaroidu P_2 . Podle Malusova zákona (2) je tato funkce typu $\cos^2 \varphi$ a z jejich extrémních hodnot lze stanovit stupeň polarizace světla vycházejícího z P_1 a tím také jeho polarizační schopnost.



Obr.24.3: Princip uspořádání polarimetru.

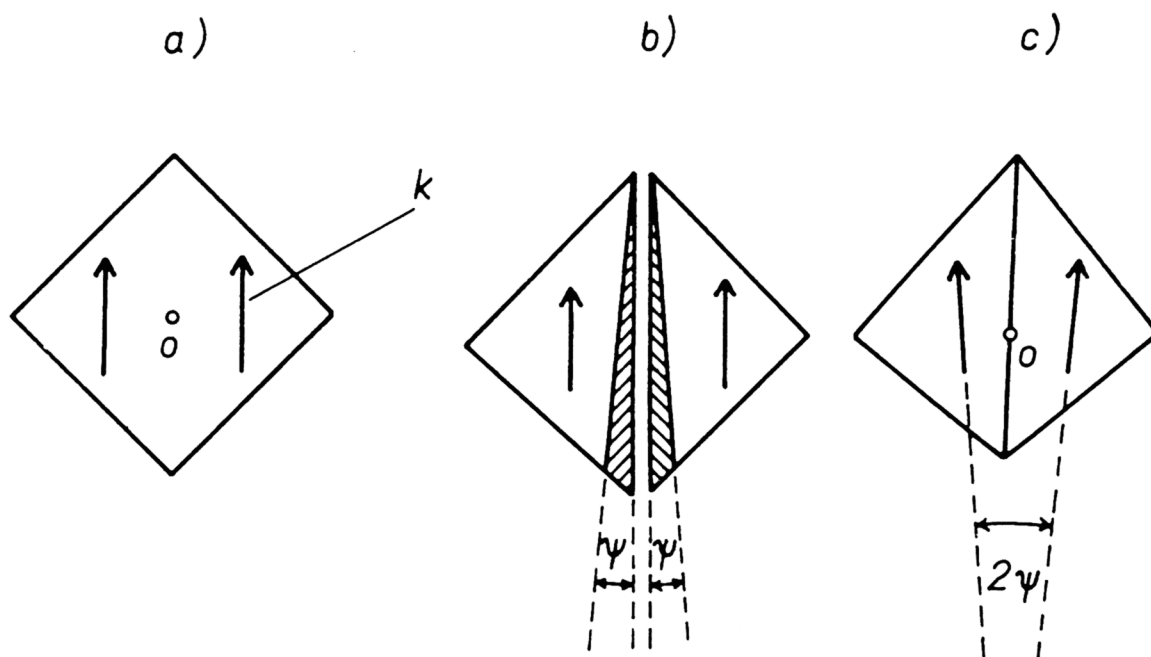
Z-zdroj monochromatického záření, C-clona, K-kolimátor, P-polarizátor, V-měřený vzorek, A-analyzátor se stupnicí S, D-dalekohled.

Vlastností lineárně polarizovaného světla se využívá při konstrukci polarimetrických přístrojů: polarimetru a sacharimetru.

a) polarimetr je schematicky znázorněn na obr.24.3. Světlo ze zdroje je kolimátorem zpracováno na rovnoběžný svazek paprsků. Průchodem tohoto svazku polarizátorem se světlo lineárně polarizuje a buď prochází přes měřený vzorek nebo jde přímo na ana-

lyzátor, kterým lze otáčet kolem optické osy přístroje. Výsledná intenzita prošlého světla se pozoruje zpravidla vizuálně dalekohledem.

Zkřížíme-li kmitoměry polarizátoru a analyzátoru, bude intenzita osvětlení zorného pole minimální. Lidské oko však určuje minimum osvětlení poměrně nepřesně, naopak je citlivé na rozdíl jasu dvou sousedních ploch. Tohoto poznatku se pak využívá v polarimetrických přístrojích při realizaci t.zv. polostínové metody měření. Existuje řada polostínových zařízení /3/; zde popíšeme jedno z nich, Jelletův - Cornuův dvojhranol (obr.24.4.). V tomto případě je polarizátor rozříznut podél



Obr.24.4: Polostínové zařízení. a) hranol před úpravou, o-optická osa přístroje, k-kmitosměr; b) vyšrafovaná část se odbrousí; c) slepený hranol.

osy o ; z každé části je odbroušen malý klín pod úhlem ψ a pak se hranol opět slepí; po této úpravě kmitoměry obou částí svírají úhel 2ψ ($2\psi \approx 5-8^\circ$). Jsou-li polarizátor a analyzátor v tomto uspořádání skříženy, pak podle (2) dostáváme v jednotlivých částech zorného pole intenzity

$$I_1 = I_0 \cos^2 (\pi / 2 - \psi)$$

$$I_2 = I_0 \cos^2 (\pi / 2 + \psi) ,$$

t.zn., že obě části budou stejně osvětleny. Je-li však analyzátor odchýlen od skřížené polohy o úhel α , dostaneme

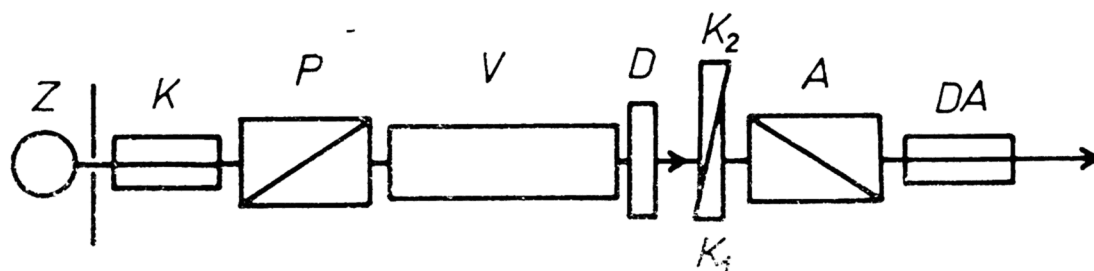
$$I_1 = I_0 \cos^2 (\pi / 2 - \psi - \alpha)$$

$$I_2 = I_0 \cos^2 (\pi / 2 + \psi - \alpha) .$$

Po úpravě dostaneme

$$\frac{I_1}{I_2} = \left[\frac{\sin(\psi + \alpha)}{\sin(\psi - \alpha)} \right]^2 .$$

Tato funkce v závislosti na změně α v okolí počátku ($\alpha = 0$) je rychle rostoucí funkcí, takže malou změnou úhlu α docílíme značnou změnu poměru intenzit t.zn. kontrastu. Tak je možné stanovit skříženou polohu s vyšší přesností, než by tomu bylo při stanovení minimální intenzity zorného pole.



Obr.24.5: Princip uspořádání sacharimetru.

Z-zdroj monochromatického záření, K-kolimátor, P-polarizátor, V-měřený vzorek, D-křemenná destička, K_1, K_2 -křemenné klíny (Soleilův klínový kompenzátor), A-analyzátor, DA-dalekohled.

b) sacharimetr (obr.24.5.) je konstrukčně proveden obdobně jako polarimetr s tím rozdílem, že polarizátor a analyzátor jsou pevně justovány ve skřížené poloze a kompenzace případných změn kmitové roviny se provádí dvojicí křemenných klínů. Křemen stáčí kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla a lze tedy změnou tloušťky křemenných destiček vykompenzovat stočení kmitové roviny způsobené měřeným vzorkem. Sacharimetr je také opatřen polostínovým zařízením.

Optická aktivita látek

Optickou aktivitou se nazývá schopnost některých látek stáčet kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla. Tuto vlastnost mají krystaly některých mřížkových struktur (krystalický křemen), jinak pak roztoky látek obsahujících asymetrický atom uhlíku v molekule (vodný roztok sacharosy). Podle směru stočení kmitové roviny se aktivní látky dělí na pravo- a levotočivé vzhledem k pozorovateli hledícímu proti směru šíření světla.

Biot stanovil empirický zákon pro úhel stočení kmitové roviny α opticky aktivní látkou

$$\alpha = [\alpha] \cdot d \quad , \quad (3)$$

kde $[\alpha]$ je specifická stáčivost dané látky a d je tloušťka zkoumané látky. Specifická stáčivost závisí na vlnové délce a teplotě. V případě závislosti na vlnové délce hovoříme o t.zv. rotační disperzi. Jde-li o roztoky, pak

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot d \quad , \quad (4)$$

kde c je koncentrace opticky aktivní látky. Specifickou stáčivost roztoku sacharosy lze stanovit ze vztahu (4) polarimetrem

$$[\alpha] = \frac{100 \alpha}{d \cdot q} \quad , \quad (5)$$

kde q je počet gramů látky ve 100 cm^3 roztoku. V praxi se koncentrace vyjadřuje často váhovými procenty p . Je-li hustota roztoku φ , je hmota 100 cm^3 roztoku 100φ , takže na 100 gramů roztoku připadá $p = q/\varphi$ gramů rozpuštěné látky, tedy

$$[\alpha] = \frac{100 \alpha}{d \cdot p \cdot \varphi} \quad . \quad (6)$$

Koncentraci roztoku sacharosy je vhodné experimentálně určit sacharimetrem. Stupnice kompenzátoru tohoto přístroje je cejchována tak, že 100 dílkům na stupnici odpovídá 26% roztok sacharosy v destilované vodě (objemová koncentrace, kdy ve

100 cm³ roztoku je 26 g sacharosu). Užijeme-li při měření žluté sodíkové čáry ($\lambda = 589.3$ nm), znamenají dílky na stupnici mezinárodní stupně cukernatosti ($^{\circ}\text{S}$). Objemovou koncentraci v procentech zjistíme ze vztahu

$$c = \frac{26}{100} (n - n_0), \quad (7)$$

kde n_0 - nulová poloha kompenzátoru sacharimetru a n - poloha kompenzátoru, odpovídající vykompenzování stočení kmitové roviny lineárně polarizovaného světla vlivem opticky aktivního roztoku.

Literatura:

- /1/ J.Fuka, B.Havelka, Optika, SPN Praha (1961).
- /2/ Z.Horák, Technická fyzika, SNTL Praha (1961).
- /3/ J.Brož a kol., Základy fyzikálních měření I, SPN Praha (1967).
- /4/ V.Šerkliff, Polarizovaný svět, Mir, Moskva (1965).