Úloha č.13.: Studium optické aktivity látek.

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Úvod.

Rovinné harmonické elektromagnetické postupné vlnění, jako nejjednodušší případ postupných elektromagnetických vln, lze v případě jeho šíření v kladném smyslu souřadné osy z vystihnout následujícími reálnými skalárními rovnicemi výchylek v jednotlivých osách:

$$E_x = A_x \sin(\omega t - kz + \varphi_x),$$
$$E_y = A_y \sin(\omega t - kz + \varphi_y), \qquad (1)$$
$$E_z = 0,$$

$$H_x = -\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} A_y \sin(\omega t - kz + \varphi_y),$$
$$H_y = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} A_x \sin(\omega t - kz + \varphi_x), \qquad (2)$$
$$H_z = 0,$$

kde A_x a A_y jsou amplitudy složek $E_x = E_x(z,t)$, $E_y = E_y(z,t)$, ω je úhlová frekvence, k je vlnové číslo, φ_x, φ_y jsou počáteční fáze vlnění, ε a μ je permitivita a permeabilita prostředí. Vidíme tedy, že průběhy odpovídajících si intenzit elektrického a magnetického pole jsou v homogenním a izotropním dielektriku stejné, mohou se lišit velikostí, případně orientací výchylek. Stačí proto vyšetřovat jen průběh jedné z intenzit, a to obvykle intenzity elektrického pole, neboť vektor **E** má v praxi výraznější účinky než vektor **H**.

Pro zjednodušení výrazů označme

$$\phi = \phi(z,t) = \omega t - kz + \varphi_x, \qquad (3)$$
$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x,$$

rovina v E_3

kde $\Delta\varphi$ je konstantní fázový rozdíl. Pak složky vektoru **E** lze vyjádřit vztahy

$$E_x = A_x \sin\phi,$$
$$E_y = A_y \sin(\phi + \Delta\varphi), \qquad (4)$$
$$E_z = 0,$$

skládání kmitů

což jsou parametrické rovnice rovinné křivky, kterou v určitém místě prostoru opisuje koncový bod vektoru **E**. Po vyloučení parametru ϕ a úpravě dostaneme

$$\left(\frac{E_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_y}\right)^2 - 2\frac{E_x E_y}{A_x A_y}\cos\Delta\varphi = \sin^2\Delta\varphi, \qquad (5)$$

Rovnice (5) je rovnice elipsy (v proměnných E_x a E_y), jejíž osy jsou v obecném případě pootočeny vůči souřadným osám x, y. Přitom elipsa je vepsána do obdélníku se stranami $2A_x$ a $2A_y$.

a) Lze říci, že uvažované elektromagnetické záření je **elipticky polarizované**. Díváme-li se ve směru z šíření vlny, pak koncový bod vektoru **E** může při rostoucím t (tj. při rostoucím parametru ϕ) obíhat po elipse buď ve směru pohybu hodinových ručiček (v pravotočivém smyslu)- jde o **pravotočivou eliptickou polarizaci** ($\sin\Delta\varphi > 0$) nebo proti jejich pohybu (v levotočivém smyslu)- jde o **levotočivou eliptickou polarizaci** ($\sin\Delta\varphi < 0$). Při šíření tohoto vlnění vytváří výsledný vektor $\mathbf{E} = \mathbf{E}(z, t)$ šroubovicovou prostorovou křivku, jejíž kolmý průmět do roviny kolmé ke směru šíření je elipsa.

b) Ve speciálním případě, kdy

$$\Delta\varphi = (2m+1)\frac{\pi}{2},$$

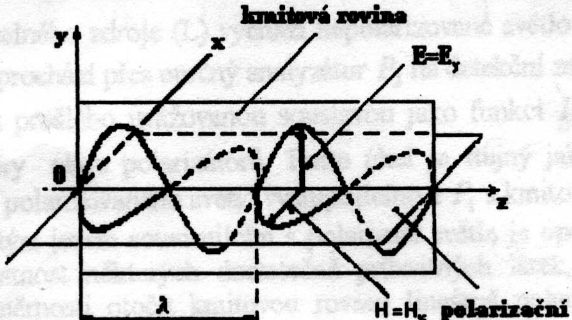
a platí-li navíc rovnost $A_x = A_y$ přičemž m = 0, 1, 2,..., dostaneme z výrazu (5) rovnici kružnice ve středovém tvaru a příslušné elektromagnetické záření je pravotočivě nebo levotočivě **kruhově polarizované**. V tomto případě koncový bod vektoru **E** obíhá při rostoucím čase po šroubovici s kruhovým průřezem.

c) Platí-li

$$\Delta\varphi = m\pi,$$

kde m = 1, 2,..., přechází vztah (5) v rovnici přímky vpravo nebo vlevo skloněné a uvažované vlnění je **lineárně polarizované**.

Rovina kmitosměrů vektoru **E** se nazývá **kmitová rovina** a rovina k ní kolmá (rovina kmitosměrů vektoru **H**) je **polarizační rovina** (obr. 1).



obr.1

Zařízení, kterým se světlo polarizuje, se nazývá **polarizátor**. Jelikož oko nerozezná polarizované světlo od nepolarizovaného (přirozeného), potřebujeme k detekci polarizovaného světla zařízení - **analyzátor**. Ve většině případů je po technické stránce polarizátor i analyzátor rovnocenné zařízení.

Z nepolarizovaného světla lze získat lineárně polarizované světlo několika způsoby: odrazem světla na dielektrickém zrcadle při Brewsterově úhlu dopadu, lomem, rozptylem a dvojlomem. Dvojlomem nazýváme jev, při kterém se světelná vlna po vniknutí v určitém směru do anizotropního prostředí rozdělí na dvě vlny, z nichž každá se šíří jinou rychlostí. Z rozboru příslušných rovnic plyne, že obě vlny jsou lineárně polarizované v navzájem kolmých směrech.

Největší význam v praxi mají dvojlomné optické polarizátory. Lze je rozdělit podle toho, zda využívají jedné nebo obou dvojlomem vzniklých světelných vln, na jednopaprskové - např. Nicolův hranol (nikol) a dvojpaprskové - např. Wollastonův hranol.

Dvojlomné jednopaprskové polarizátory založené na dichroismu světla, tj. na přednostní absorpci jedné z dvojlomem vzniklých světelných vln se nazývají dichroickými polarizátory. Dichroické polarizátory nejsou tak přesné jako zmíněné hranolové dvojlomné polarizátory, jejich hlavní výhoda je však ta, že mohou být vyrobeny v libovolném průřezu, jsou dosti světelné a levné (herapatit).

Jak polarizátor tak analyzátor mají svůj význačný směr, **kmitosměr**, tj. řez kolmý na směr postupu světelné vlny polarizačním zařízením, kterým projde kmitová rovina vektoru **E** dopadajícího nepolarizovaného světla. Je-li kmitosměr analyzátoru shodný s kmitosměrem polarizátoru, projde analyzátorem veškeré polarizované světlo (při zanedbání absorpce a odrazu), které prošlo polarizátorem. Pokud jsou kmitosměry polarizátoru a analyzátoru na sebe kolmé, neprojde analyzátorem žádná část lineárně polarizovaného světla, prošlého polarizátorem. Je-li v obecném případě úhel mezi kmitosměry polarizátoru a analyzátoru φ, potom pro intenzitu propuštěného světla analyzátorem platí Malusův kosinový zákon

$$I(\varphi) = I_0 \cos^2 \varphi. \qquad (6)$$

Otočí-li se analyzátor o $360°$, projde intenzita propuštěného lineárně polarizovaného světla dvěma maximy a dvěma minimy.

Ověření tohoto zákona lze jednoduše provést na zařízení dle obr.2.

obr.2

Ze světelného zdroje (L) vychází nepolarizované světlo a dopadá na polarizátor P_1, polarizuje se a prochází přes otočný analyzátor P_2 na detekční zařízení (D) schopné detekovat intenzitu světla prošlého uvažovanou soustavou jako funkci $I(\varphi) = f(\varphi)$, kde φ je úhel mezi kmitosměry obou polarizátorů. Tento úhel je stejný jako úhel, který svírá kmitová rovina lineárně polarizovaného světla vystupujícího z P_1 s kmitosměrem analyzátoru P_2.

Důležitým jevem souvisejícím s polarizací světla je **optická aktivita** látek. Optická aktivita je vlastnost některých dostatečně průsvitných látek, tvořených molekulami bez zrcadlové souměrnosti otočit kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla kolem osy dopadajícího světelného svazku. Tuto vlastnost mají krystaly některých mřížkových struktur (krystalický křemen), jinak pak roztoky látek obsahujících asymetrický atom uhlíku v molekule (vodný roztok sacharozy tj. řepného nebo třtinového cukru). Podle smyslu otočení kmitové roviny při pohledu ve směru šíření světla rozeznáváme pravotočivou nebo levotočivou optickou aktivitu. Optickou aktivitu látek charakterizuje tzv. **specifická stáčivost** $[\alpha]_\lambda^t$. Specifická stáčivost $[\alpha]_\lambda^t$ je číselně rovna otočení kmitosměru lineárně polarizovaného světla, které způsobuje opticky aktivní látka jednotkové tloušťky, a platí pro ni vztah

$$\alpha = [\alpha]_\lambda^t d \qquad (7)$$

$\left[[\alpha]_\lambda^1 \right] = \frac{1}{m}$

kde α je úhel stočení roviny polarizovaného světla při průchodu opticky aktivní látkou tloušťky d. Jde-li o roztoky, pak

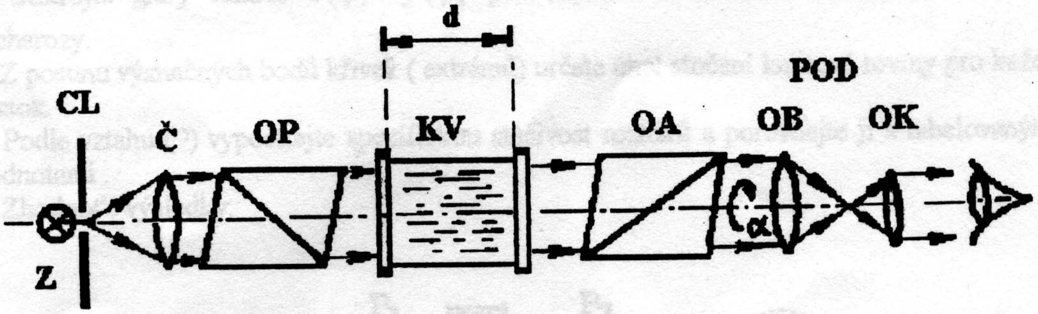
$$\alpha = [\alpha] c d \qquad (8)$$

$\frac{1}{m} = [c][d]$

kde c je koncentrace opticky aktivní látky. Specifickou stáčivost roztoku sacharozy lze stanovit ze vztahu (8) polarimetrem (obr.3).

$[\alpha]$ vztaženo na jednotkovou koncentraci

$\frac{kg}{l} = \frac{1000\,g}{1000\,ml} =$



Z- monochromatický zdroj;
Č- objektiv;
OP-polarizátor;
OA- analyzátor;
KV- kyveta;
POD- pozorovací dalekohled.

$[\alpha] = \frac{\alpha}{d \cdot c}$

$c = \frac{m}{V} = \frac{m}{100\,ml}$

obr.3.

$\boxed{[c] = g/ml}$

V praxi se často užívá vztah

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{dq}, \qquad (9)$$

kde q je počet gramů látky ve $100\ cm^3$ roztoku.

Úkol č.1: Ověřte platnost Malusova zákona.

Pomůcky: zdroj nepolarizovaného světla (He-Ne laser),expander, polarizátor , otočný analyzátor,měřič optického výkonu, mm papír.

Postup měření:

1. Sestavte zařízení podle schematu (obr.2).
2. Pro $\varphi \in \langle 0; 2\pi \rangle$ změřte závislost propustnosti polarizátoru na vzájemném úhlu stočení kmitosměru polarizátoru a kmitosměru lineárně polarizovaného světla, volte krok 5°.
3. Z naměřených hodnot sestrojte graf a porovnejte jej s průběhem funkce $\cos^2 \varphi$.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky.

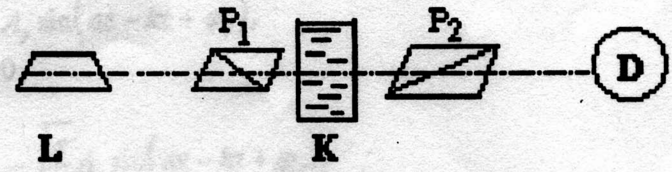
Úkol č.2: Určete úhel stočení kmitové roviny u roztoků sacharozy různé koncentrace, vypočítejte specifickou stáčivost sacharozy a porovnejte s tabelovanými hodnotami.

Pomůcky: He-Ne laser, polarizátor, expander, posuvný stolek, kyvety, měřič optického výkonu, otočný analyzátor s úhlovou stupnicí, cukr, laboratorní váhy, odměrný válec, mm papír.

Postup měření:

1. Připravte si roztoky sacharozy o různých koncentracích.
2. Sestavte zařízení podle schematu (obr.4).
3. Sestrojte graf funkce $I(\varphi) = f(\varphi)$ pro kyvetu (K) s destilovanou vodou obdobně jako v úkolu č.1.

4. Sestrojte grafy funkce $I(\varphi) = f(\varphi)$ pro nejméně 2 různě koncentrované roztoky sacharozy.
5. Z posunu význačných bodů křivek (extrémů) určete úhel stočení kmitové roviny pro každý roztok.
6. Podle vztahu (9) vypočítejte specifickou stáčivost roztoků a porovnejte ji s tabelovanými hodnotami .
7. Zhodnoťe výsledky.



obr.4

Pozn.: Vztah (8) platí přesně jen při nepříliš velkých koncentracích.