

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 12

Název.: Studium rotační disperze křemene a Kerrova
jevu v kapalině

Měřil.: Michal Švanda.....dne: ...8. března 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

Posuzoval:.....dne:.....

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

1. Proměřte rotační disperzi křemene.
2. Proměřte Kerrův elektrooptický jev nitrobenzenu při vlnové délce sodíkové D dubletu.

Teoretický úvod

Látky, jejichž bodová grupa symetrie obashuje šroubovou osu, se nazývají krystalické opticky aktivní látky. Dopadne-li na krystal z takové látky lineárně polarizované světlo ve směru šroubové osy, rozdělí se na dvě kruhově polarizované složky, z nichž jedna bude levotočivá a druhá pravotočivá.

Po proběhnutí délky d v opticky aktivní látce z ní vlny vystupují do opticky neaktivního izotropního prostředí (vzduchu), kde se obě kruhově polarizované vlny opět skládají ve výsledné vlnění. Vystupující světlo bude opět lineárně polarizované, ale jeho rovina bude pootočena o úhel α vůči rovině dopadajícího světla.

Pro tento úhel platí:

$$\alpha = \frac{k_l - k_p}{2} d = \frac{\pi}{\lambda_0} (N_l - N_p) d = \rho d, \quad [\text{R1}]$$

kde N jsou indexy lomu pro levotočivou a pravotočivou složku a k k nim příslušná vlnová čísla, α je úhel stočení polarizační roviny.

Protože úhel otočení závisí na délce průchodu světla optickým prostředím, zavádí se tzv. měrná stáčitost ρ , pro kterou platí:

$$\rho = \frac{\pi(N_l(\lambda) - N_p(\lambda))}{\lambda_0} \quad [\text{R2}]$$

Která závisí na vlnové délce v důsledku disperze. Zde mluvíme o *rotační disperzi*.

Kerrův elektrooptický jev patří mezi jevy umělého dvojlomu, kdy se původně opticky izotropní prostředí stane vnějším působením prostředím dvojlomným. Tento jev můžeme vyvolat v pevných látkách, kapalinách i plynech elektrostatickým polem. Při něm se prostředí umístěné v homogenním elektrickém poli chová jako jednoosý krystal, jehož optická osa má směr intenzity elektrostatického pole. Dopadne-li světlo ve směru kolmém na směr elektrostatického pole, rozštěpí se paprsek na paprsek řádný s indexem lomu N_o a na paprsek mimořádný s indexem lomu N_e . Pro monochromatické světlo o vlnové délce λ lze rozdíl indexů lomu vyjádřit vztahem:

$$N_e - N_o = K\lambda E^2, \quad [\text{R3}]$$

kde K je nazýván Kerrovou konstantou a E je intenzita působícího elektrického pole.

Kerrův jev souvisí s orientací molekuly látky v elektrickém poli. K jeho měření lze využít stejnoměrného i střídavého zdroje elektrického pole, použití střídavého pole má však tu nevýhodu, že i při nízké frekvenci je obtížné odečíst fázový rozdíl. V případě stejnosměrné metody naopak hrozí polarizace elektrod při měření vodivějších kapalin. V našem případě máme proměřovat nitrobenzen, jehož vodivost není velká, nicméně vadit nám budou zřejmě příměsi vody (např. ze vzduchu).

Vzorek proměříme pomocí Sénarmontova kompenzačního zařízení, které funguje na principu dvojlomu. Na výstupu změříme úhel stočení polarizační roviny, který je dán vztahem:

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda_0}(N_e - N_o) \quad [R4]$$

Výsledky měření

Pro čtyři vlnové délky (vymezené ze rtuťové výbojky interferenčními filtry) jsem proměřil rotační disperzi křemene pro dva výbrusy různé tloušťky. Měření shrnuje tabulka [T1] a graf [G1]. Graf odpovídá mé představě o tomto jevu.

Poté jsem proměřil Kerrův elektrooptický jev v nitrobenzenu při vlnové délce sodíkového dubletu. Na kondenzátor jsem přikládal vysoké napětí a pomocí Sénarmontova kompenzátoru a polostínové metody odečítal úhly otočení roviny polarizace světla. Měření shrnuje tabulka [T2]. Závislost kvadrátu intenzity elektrického pole na úhlu stočení je vynesena v grafu [G2]. Lineární regresi jsem získal pomocí programu `Origin 5.0` konstantu úměrnosti, z níž lze na základě vztahů [R3] a [R4] vypočítat Kerrovu konstantu.

$$K = (2,8 \pm 0,1) \times 10^{-12} \text{ mV}^{-2}$$

Při měření jsem dával bedlivý pozor na to, aby se neprojevila polarizace elektrod, tedy aby stočení roviny bylo nezávislé na polaritě přivedeného napětí. Nevšiml jsem si časové proměnnosti Kerrova jevu.

Diskuse

Pro rotační disperzi křemene bych předpokládal spojitou křivku, která nebude lineární, bude kvadratická. Jak je vidět z grafu [G1]. Původní měření mělo hodnoty velmi přeházené, což byl jeden z důvodů, proč mi byl protokol vrácen. Při další návštěvě praktika jsem lépe roztřídil jednotlivé filtry podle jejich vlnových délek (v souvislosti s barvou, kterou jsem si při měření poznamenával) a nový výsledek již zcela odpovídá mé představě o celém jevu.

Při měření jsem se pokoušel odhadnout též chybu, s jakou odečítám úhel polarizační roviny. Stanovil jsem ji jako chybu maximální, a to polovinu intervalu, na něm jsem považoval jasy v obou polovinách dalekohledu při polostínové metodě stejné. Získal jsem poměrně široký interval pro každý filtr (celkem tedy čtyři odhady; viz tabulka [T1a]). Z těchto odhadů jsem pak vzal aritmetický průměr jako *průměrnou chybu* měření. Chybové úsečky v grafu tedy znamenají průměrnou chybu.

Podobně jsem postupoval při určování chyby měření pro Kerrův jev. Získal jsem tak průměrnou relativní chybu měření 1%, což se mi zdá velmi podhodnocené. Odhadoval bych chybu v intervalu 5÷10%.

Lineární (váženou) regresi závislosti kvadrátu intenzity elektrického pole na úhlu stočení (v zásadě je jedno, jestli uvažuji závislost tuto, nebo opačnou - na výsledku úlohy to nic nezmění) jsem provedl programem `Origin verze 5.0`, který stanovil střední relativní chybu konstanty závislosti a tedy i Kerrovu konstantu na 5%, která se mi zdá též mírně podhodnocená, očekával bych chybu kolem 10%. Nicméně je z grafu [G2] vidět, že závislost úhlu stočení je lineární na kvadrátu elektrické intenzity pole ve vzorku, což je plně v souladu se vzorcem [R3] a [R4]. Bohužel nemohu porovnat naměřenou hodnotu s hodnotou tabulkovou, protože se mi ji nepodařilo nikde najít.

Závěr

Proměřil jsem rotační disperzi křemene a pravděpodobně odhalil prohození interferenčních filtrů a jejich krabiček. Změřil jsme Kerrovu konstantu pro nitrobenzen a ověřil teoretický vztah lineární závislosti úhlu stočení na kvadrátu intenzity přiloženého elektrického pole.

Literatura

[L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fährnich - Fyzikální praktikum III. - Optika