

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č.: 23

Název: Štúdium polarizácie svetla

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F 11 dne: 04. 04. 2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

- *chýba popis usporiadania experimentu*

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 10	10
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	20

Posuzoval:.....

dne:.....

Pracovné úlohy:

1. Overte platnosť Malusovho zákona. Smer „ľahkého prechodu“ svetla polarizátormi stanovte pomocou známej polarizácie svetla odrazeného pod Brewsterovým uhlom (použite napr. zasklenú fotografiu pripravenú pri úlohe).
2. Premerajte jednu z nasledujúcich úloh:
 - a. závislosť intenzity svetla na uhle pootočenia polarizátora, ktorý je umiestnený medzi dvoma ďalšími polarizátormi,
 - b. stupeň polarizácie svetla vzniknutého lomom,
 - c. kruhovo a elipticky polarizované svetlo (spracujte do polárneho grafu).
3. Pozorujte a popíšte dva z nasledujúcich efektov:
 - a. polarizáciu odrazom,
 - b. indukovanú anizotropiu,
 - c. farebné efekty vo fázových doštičkách,
 - d. polarizáciu rozptylom.

Teoretická časť:

Polarizácia svetla

Rovinné elektromagnetické vlnenie je tvorené troma navzájom kolmými vektormi: intenzita elektrického poľa \vec{E} , intenzita magnetického poľa \vec{H} a vlnový vektor \vec{k} . Vektory \vec{E} , \vec{H} , \vec{k} tvoria pravotočivý systém. Polarizáciou svetelnej vlny nazývame smer kmitania vektoru elektrickej intenzity. Ak uvažujeme rovinnú harmonickú vlnu, ktorej smer šírenia je totožný s osou z , potom môžeme rozložiť ľubovoľný smer kmitania vektoru \vec{E} na x -ovú a y -ovú zložku. V závislosti na amplitúdach jednotlivých zložiek a fázovom rozdieli δ kmitania oboch zložiek rozlišujeme tri druhy polarizácie: lineárna ($d=0$ alebo $d=p$ a amplitúdy sú ľubovoľné), kruhová ($d=\pm\frac{p}{2}$ a amplitúdy oboch zložiek sú rovnaké) a eliptická (keď nenastane ani jeden z predchádzajúcich prípadov).

Dichroizmus

Dichroizmom nazývame rôznu veľkosť absorpcie svetla, šíriaceho sa v danej látke určitým smerom, pre rôzne orientácie vektoru \vec{E} svetelnej vlny. To vedie k závislosti koeficientu absorpcie svetla, šíriaceho sa daným smerom, na polarizácii. Ak je látka celkom priepustná, je vektor \vec{E} orientovaný do smeru „ľahkého prechodu (easy passage)“. Ak ψ je uhol medzi vektorom intenzity elektrického poľa a smerom ľahkého prechodu, tak pre intenzitu prechádzajúceho svetla platí Malusov zákon

$$I = I_0 \cos^2 \psi, \quad (1)$$

kde I_0 je intenzita prechádzajúceho svetla pri súhlasnom natočení polarizátorov.

Brewsterov uhol

Uhol dopadu, pri ktorom odrazený a prechádzajúci lúč zvierajú uhol 90° , sa nazýva Brewsterov uhol

$$q_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right), \quad (2)$$

kde n_1 je index lomu prostredia, z ktorého dopadá lúč a n_2 index lomu prostredia, na ktorom sa lúč odráža. Svetlo odrazené pod Brewsterovým uhlom je polarizované kolmo na rovinu dopadu.

Šírenie svetla v anizotropných látkach

Niektoré látky majú v rôznych rovinách rôzne indexy lomu. Zložky vektoru elektrickej intenzity v príslušných rovinách sa preto šíria rôznou rýchlosťou a dochádza tak ku zmene v polarizácii svetla.

Výsledky meraní:

Pomocou zasklenej fotografie som určil smer „ľahkého prechodu – easy passage“ polarizátora. Cez polarizátor som pozoroval svetlo odrazené pod Brewsterovým uhlom.

Overenie platnosti Malusovho zákona

Podľa pokynov ku úlohe v [1] som zostavil aparatúru. Umiestnil som dva súhlasne orientované polarizátory, za ktorými som meral intenzitu prechádzajúceho svetla. Maximum intenzity som doladil pomocou potenciometra „FREKVENCE“.

Závislosť veľkosti intenzity I v relatívnych jednotkách na uhle Ψ natočenia druhého polarizátora voči prvému je uvedená v tabuľke 1. Chybu určenia uhlov odhadujem na 1° . Chyba merania intenzity je minimálne 1 jednotka na poslednom mieste digitálnej stupnice; pri vyšších hodnotách dochádzalo k časovej nestálosti hodnoty (relatívna chyba asi 0,5 %). Preto bolo náročné nájsť presný uhol maxima. V tabuľke 1 je uvedená aj teoretická hodnota, určená z Malusovho zákona (1).

Tabuľka 1 – Overenie Malusovho zákona

$\Psi [^\circ]$	$I_{exp} [r.j.]$	$\sigma_I [r.j.]$	$I_{teo} [r.j.]$
0	1704	10	1704
5	1693	10	1691
10	1662	10	1653
15	1603	8	1590
20	1512	8	1505
25	1420	8	1400
30	1303	8	1278
35	1170	6	1143
40	1025	5	1000
45	878	5	852
50	724	4	704
55	588	4	561
60	441	4	426
65	313	3	304
70	206	3	199
75	117	2	114
80	54	2	51
85	14	1	13
90	5	1	0
95	9	1	13
100	43	2	51
105	103	2	114
110	189	3	199
115	294	3	304
120	408	3	426
125	548	4	561
130	690	4	704
135	834	5	852
140	980	5	1000
145	1136	6	1143
150	1255	8	1278
155	1380	8	1400
160	1475	8	1505
165	1558	8	1590
170	1620	10	1653
175	1650	10	1691
180	1680	10	1704

r.j. označujú relatívne jednotky, v ktorých som meral intenzitu prechádzajúceho svetla. Namerané hodnoty z *tabuľky 1* sú zobrazené v *grafe 1*, v ktorom je zobrazená aj teoretická závislosť (1).

Tri polarizátory

Dva polarizátory som nastavil so skríženej polohy a medzi ne som vložil tretí polarizátor, ktorým som otáčal v rozmedzí uhlov 0° až 90° s krokom 5° . Teoretickú hodnotu intenzity prechádzajúceho svetla určíme tak, že dvakrát aplikujeme Malusov zákon. Prvý a tretí polarizátor sú navzájom skrížené (t.j. navzájom otočené o 90°), potom pre výslednú intenzitu platí

$$I = I_0 \cos^2 \gamma \cos^2 \left(\frac{P}{2} - \gamma \right) = I_0 \cos^2 \gamma \sin^2 \gamma, \quad (3)$$

kde I_0 je maximálna intenzita pri súhlasnej orientácii všetkých troch polarizátorov, t.j.

$$I_0 = (1340 \pm 5) [r.j.].$$

Namerané intenzity prechádzajúceho svetla v závislosti na pootočení druhého polarizátora sú uvedené v *tabuľke 2*. Podľa (2) som určil teoretické hodnoty intenzity, ktoré sú takisto uvedené v *tabuľke 2*.

Tabuľka 2 – Tri polarizátory

$\Psi [^\circ]$	$I_{exp} [r.j.]$	$\sigma_I [r.j.]$	$I_{teo} [r.j.]$
0	5	1	0
5	8	1	10
10	35	1	39
15	83	1	84
20	140	2	138
25	198	2	197
30	253	2	251
35	299	3	296
40	331	3	325
45	340	4	335
50	330	3	325
55	298	2	296
60	251	2	251
65	196	2	197
70	136	2	138
75	79	1	84
80	33	1	39
85	8	1	10
90	5	1	0

Namerané hodnoty z *tabuľky 2* sú zobrazené v *grafe 2*, v ktorom je zobrazená aj teoretická závislosť (3).

Farebné efekty vo fázových doštičkách

Podľa [1] som zostavil aparáturu na pozorovanie okom. Medzi dva skrížené polarizátory som vložil sklenenú doštičku polepenú niekoľkými prekrývajúcimi sa vrstvami izolepy. Izolepa je vyrobená z anizotropného materiálu, t.j. rôzne hrubé vrstvy fungujú ako fázové doštičky v závislosti na vlnovej dĺžke. Výsledným obrazcom sú farebné plôšky konštantnej hrúbky a orientácie izolepy.

Pozoroval som efekty pri pootočení jedným z polarizátorov. Počas postupného otáčania jedným z polarizátorov sa jednotlivé plochy s rovnakou hrúbkou izolepy začali vyfarbovať. Sýtosť farieb sa blížila maximu pre uhol 90° . Pri ďalšom otáčaní polarizátora boli jednotlivé farby nahradené rovnako intenzívnymi farbami, ktoré sú doplnkové ku pôvodným farbám.

Indukovaná anizotropia

Medzi dva skrížené polarizátory som vložil plexisklový prípravok (doštičku z plexiskla), ktorý som mechanicky namáhal. Pomocou pripevnenej skrutky som pôsobil na doštičku. Anizotropia sa prejavila v miestach, v ktorých bola doštička deformovaná (horný okraj bol stlačený a dolný okraj bol natiahnutý). Pri deformácii bol v strede doštičky tmavý pas.

Diskusia:

Overenie Malusovho zákona

Pri overovaní platnosti Malusovho zákona nameraná závislosť zodpovedá teoretický predpokladanej závislosti (1). Z grafu 1 vyplýva, že pri určovaní uhla, pri ktorom je intenzita prechádzajúceho žiarenia maximálna, došlo ku odchýlke asi $1^\circ - 2^\circ$, čo je v rámci odhadovanej chyby určovania uhlov. Táto chyba bola spôsobená tým, že vyšších hodnotách intenzity dochádzalo ku časovej nestálosti nameranej hodnoty (relatívna chyba asi 0,5 %).

Podľa teoretickej závislosti pre uhol $\gamma = 90^\circ$ medzi polarizátormi by nameraná intenzita prechádzajúceho svetla mala byť nulová, no ja som namerál $I = 5[r.j.]$. Je to spôsobené chybou detektora – pri zakrytí lampy som namerál hodnotu $I = (5 \pm 1)[r.j.]$.

Tri polarizátory

Z grafu 2 vyplýva, že nameraná závislosť zodpovedá teoretickej závislosti (3). Poloha nameraného maxima sa zhoduje s teoretickou hodnotou (45°), no nameraná hodnota je o 5 r.j. väčšia ako teoretická hodnota – je to spôsobené chybou detektora. K takejto chybe došlo aj pri určovaní intenzity pri natočení polarizátorov o 0° a 90° .

Farebné efekty vo fázových doštičkách a indukovaná anizotropia

Pri vložení sklenenej doštičky polepenej izolepou medzi dva polarizátory som pozoroval rôzne farebné efekty.

Platí (viď [1]): Polarizovaný zväzok dopadajúci na doštičku sa rozdelí na riadny a mimoriadny, ktoré sú navzájom kolmé a nemôžu spolu interferovať. Po prechode ďalším polarizátorom je svetlo lineárne polarizované a oba zväzky môžu spolu interferovať. Ak fázový rozdiel medzi zväzkami bude rovný $2k\pi$, tak dôjde ku konštruktívnej interferencii. Ak druhý polarizátor otočíme o 90° tak uvidíme doplnkovú farbu.

Pri pozorovaní indukovanej anizotropie neboli efekty príliš výrazne preto, že použitá plexisklová doštička už bola dosť deformovaná z predchádzajúcich meraní.

Záver:

Overil som platnosť Malusovho zákona (1). Namerané hodnoty spolu s teoretickou závislosťou sú uvedené v tabuľke 1 a sú zobrazené v grafe 1.

Premeral som závislosť intenzity prechádzajúceho svetla pri pootočení polarizátora umiestneného medzi dvoma skríženými polarizátormi. Namerané hodnoty spolu s teoretickou závislosťou (3) sú uvedené v tabuľke 2 a sú zobrazené v grafe 2.

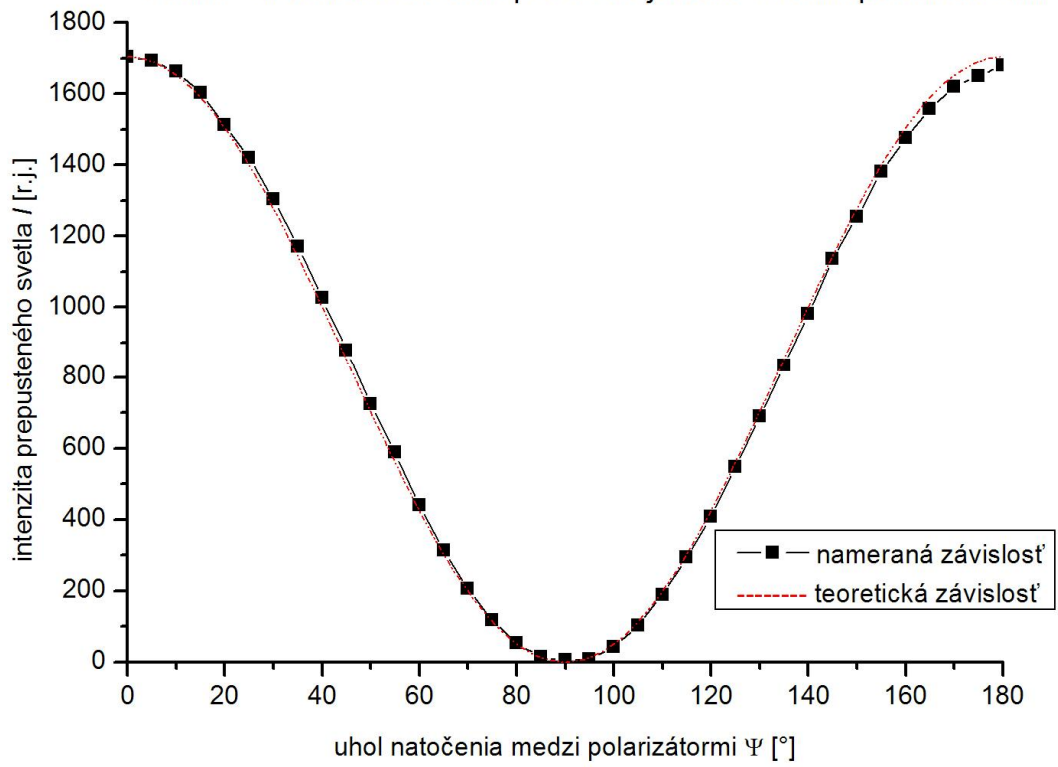
Pozoroval a popísal som farebné efekty na fázových doštičkách a efekty pri indukovanej anizotropii (pri mechanickom namáhaní plexisklovej doštičky).

Literatúra:

[1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

Graf 1 - Intenzita žiarenia prechádzajúceho dvoma polarizátormi



Graf 2 - Intenzita žiarenia prechádzajúceho tromi polarizátormi

