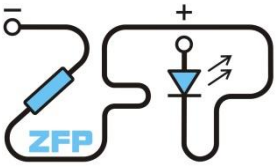
Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum III



Úloha č. 23

Název úlohy: Studium polarizace světla

Jméno: Ondřej Skácel Obor: FOF

Datum měření: 16.3.2016 Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

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

Pracovní úkoly

1. Stanovte „směr snadného průchodu“ všech polarizátorů, které budete v úloze používat. Použijte odraz světla pod Brewsterovým úhlem na rozhraní vzduch-sklo (např. pomocí lampičky a zasklené fotografie připravené u úlohy).
2. Ověřte platnost Malusova zákona.
3. Proměřte jednu z následujících úloh:
   a. závislost intenzity světla na úhlu pootočení polarizátoru, který je umístěn mezi dvěma dalšími polarizátory,
   b. stupeň polarizace světla, vzniklého lomem,
   c. kruhově a elipticky polarizované světlo (zpracujte do polárního grafu).
4. Pozorujte, popište a vysvětlete dva z následujících efektů:
   a. polarizaci odrazem pro různé úhly dopadu,
   b. indukovanou anizotropii,
   c. barevné efekty ve fázových destičkách,
   d. polarizaci rozptylem.

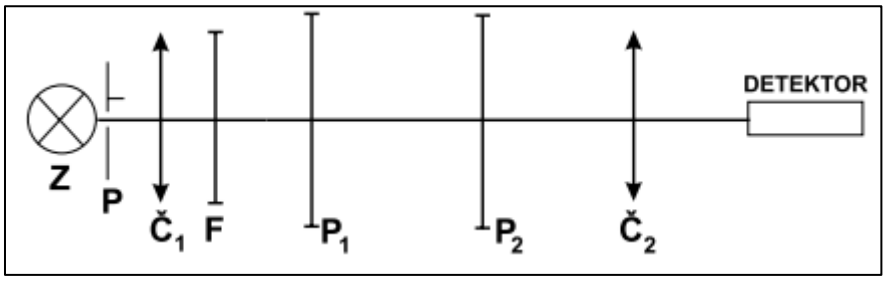
Teoretická část

Při odrazu světla o rozhraní pod tzv. Brewsterovým úhlem dochází k jeho polarizaci do směru kolmého na rovinu jeho pohybu. Díky tomu lze u polarizátorů určit směr snadného průchodu zjištěním úhlu natočení polarizátoru, pod nímž prochází extremální množství světla odraženého od skleněné desky.

Tzv. Malusův zákon určuje intenzitu I světla prošlého polarizátorem v závislosti na úhlu α, který svírá směr snadného průchodu polarizátoru a polarizace světla jako

$$I = I_0 cos^2(\alpha) \qquad \textbf{(1)}$$

kde I_0 je intenzita světla před průchodem polarizátoru. Ověření Malusova zákona bylo prováděno otáčením polarizátoru **P2**(viz obr. 1) při fixním úhlu polarizátoru **P1** a zkoumáním závislosti intenzity na jejich vzájemném úhlu.



Obr. 1 – Soustava k ověření malusova zákona – převzato z **[1]**

Při otočení polarizátoru **P2**(myšleno jeho směru snadného průchodu) do pravého úhlu vůči polarizátoru **P1** nebude podle **(1)** procházet žádné světlo. Vložíme-li ale mezi **P1** a **P2** třetí polarizátor **P3**, začne soustavou procházet světlo o intenzitě dané dvojí aplikací **(1)** jako

$$I = I_0 cos^2(\beta) sin^2(\beta) \qquad \textbf{(2)}$$

kde β je úhel natočení **P3** vůči **P1**.

Výsledky měření

Vnější podmínky neměly vliv na výsledky měření.
Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ.

Chyba měření směru snadného průchodu je odhadnuta jako $10°$.
Chyba určení úhlu natočení polarizátoru je $u_\varphi = 1°$.
Chyba měřiče intenzity světla je zanedbatelná oproti chybě určení úhlu.

Směry snadného průchodu

K měření byly použity tři polarizátory, označeny shodně s teoretickou částí. Byl zaznamenán úhel natočení polarizátoru pod nímž byla intenzita prošlého světla nejmenší. Ten je díky směru polarizace odraženého světla(viz teoretická část) shodný se směrem snadného průchodu.

Tabulka 1 – směry snadného průchodu jednotlivých polarizátorů

polarizátor	Úhel snadného průchodu[°]
P1	17 ± 10
P2	67 ± 10
P3	1 ± 10

Ověření Malusova zákona

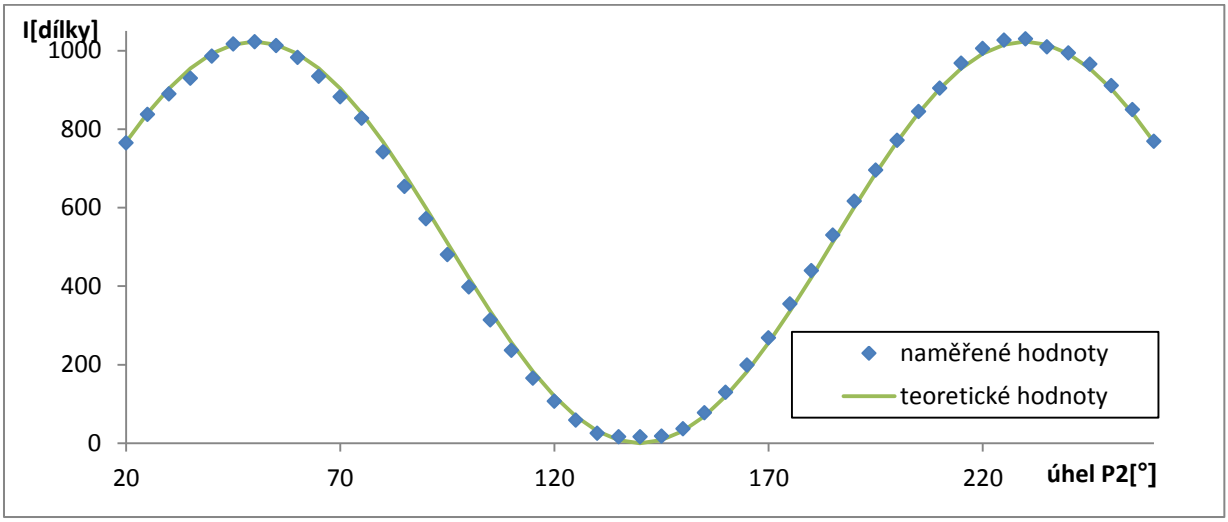
Polarizátor **P1** byl natočen na $0°$. Pro porovnání s Malusovým zákonem byl jako nulový úhel α brán úhel natočení **P2** $50°$(což souhlasí jak s tabulkou 1, tak s výsledky v tabulce 2). Jako intenzita I_0 byla brána intenzita při $50°$,tj. 1023 dílků. Chyba určení teoretické hodnoty byla odhadnuta jako**[2]**

$$u_{I_{mal}} = 2I_0 |\cos(\alpha)\sin(\alpha)|\, u_\varphi \qquad \textbf{(3)}$$

Měřič intenzity světla ukazoval 17 dílků i bez jakéhokoliv osvětlení. Tato hodnota nebyla z výsledků odečtena(viz diskuzi).

Tabulka 2 – naměřené intenzity v porovnání s hodnotami I_{mal} odpovídajícími **(1)**

P2[°]	$I[dílky]$	$I_{mal}[dílky]$	**P2**[°]	$I[dílky]$	$I_{mal}[dílky]$	**P2**[°]	$I[dílky]$	$I_{mal}[dílky]$
20	765	767±15	105	314	337±17	190	617	600±18
25	838	840±14	110	237	256±15	195	696	686±17
30	890	903±11	115	166	183±14	200	772	767±15
35	930	954±9	120	107	120±11	205	845	840±14
40	986	992±6	125	59	69±9	210	905	903±11
45	1017	1015±3	130	26	31±6	215	968	954±9
50	1023	1023±0	135	17	8±3	220	1006	992±6
55	1013	1015±3	140	17	0±0	225	1027	1015±3
60	983	992±6	145	18	8±3	230	1030	1023±0
65	935	954±9	150	37	31±6	235	1010	1015±3
70	883	903±11	155	78	69±9	240	994	992±6
75	828	840±14	160	130	120±11	245	966	954±9
80	742	767±15	165	199	183±14	250	911	903±11
85	654	686±17	170	269	256±15	255	850	840±14
90	572	600±18	175	355	337±17	260	769	767±15
95	481	512±18	180	440	423±18			
100	398	423±18	185	530	512±18			



Graf 1 – porovnání naměřených a teoretických hodnot intenzit pro dva polarizátory

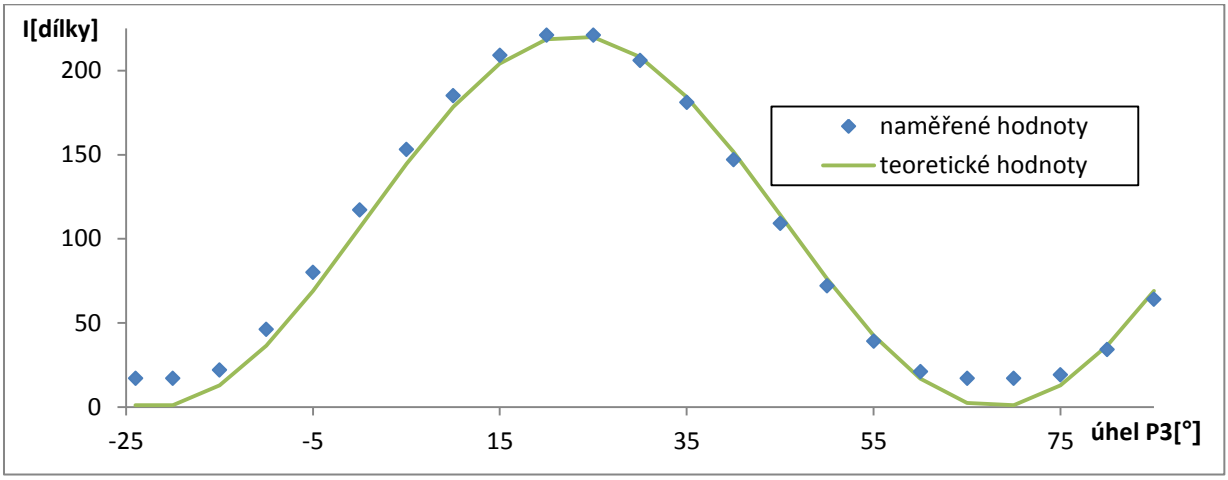
Tři polarizátory

Polarizátor **P1** byl natočen na $0°$ a poté byl **P2** natočen tak, aby detekovaná intenzita byla největší $(47°)$. Následně byl otočen o $90°$(na $137°$). Poté byl mezi ně vložen **P3** a měřena intenzita v závislosti na jeho natočení. Jako nulový úhel β pro porovnání s **(2)** byl brán úhel natočení **P3** $-22°$, jako intenzita I_0 byla brána hodnota 884 dílků, tj. 4-krát maximum intenzity I(v souladu s rovnicí **(2)**). Chyba určení teoretické hodnoty byla odhadnuta jako

$$u_{I_{teor}} = I_0 \,|2\cos(\alpha)\sin(\alpha) - 4\cos^3(\alpha)sin(\alpha)|\, u_\varphi \qquad \textbf{(4)}$$

Tabulka 3 – naměřené intenzity pro tři polarizátory v porovnání s hodnotami I_{teor} odpovídajícími **(2)**

P3[°]	$I[dílky]$	$I_{teor}[dílky]$	**P3**[°]	$I[dílky]$	$I_{teor}[dílky]$	**P3**[°]	$I[dílky]$	$I_{teor}[dílky]$
-24	17	1±1	15	209	204±4	55	39	42±6
-20	17	1±1	20	221	219±2	60	21	17±4
-15	22	13±4	25	221	220±1	65	17	2±2
-10	46	37±6	30	206	208±4	70	17	1±1
-5	80	69±7	35	181	184±6	75	19	13±4
0	117	107±8	40	147	152±7	80	34	37±6
5	153	145±7	45	109	114±8	85	64	69±7
10	185	179±6	50	72	76±7			



Graf 2 – porovnání naměřených a teoretických hodnot intenzit pro tři polarizátory

Pozorované efekty

- indukovaná anizotropie
  Mezi dva zkřížené polarizátory byl vložen trámek z plexiskla. Při jeho ohýbání začalo druhým polarizátorem procházet světlo v místech, kam dopadalo světlo z nejvíce namáhaných částí trámku –> namáhaná místa mění polarizaci světla, tj. lze mechanicky indukovat jejich anizotropii.

- barevné efekty ve fázových destičkách
  Mezi skřížené polarizátory byla vložena skleněná destička s proužky izolepy o různé tloušťce(místy je jich více na sobě). Izolepa působí jako fázová destička a způsobuje změnu polarizace světla. Přes druhý polarizátor jde světlo, jehož intenzita závisí na počtu proužků izolepy přes které prochází. Po odebrání filtru **F**(viz obr. 1), který propouští jen monochromatické zelené světlo, lze pozorovat barevné efekty, protože různé vlnové délky dostanou na fázové destičce různý posun fáze, tj. se jiným způsobem změní jejich polarizace.

Diskuze výsledků

Rozdíly mezi směry snadného průchodu změřenými pomocí odrazu světla pod Brewsterovým úhlem ($50°$ a $-16°$) řádově odpovídají tomu, jaké byly zjištěny při zkoumání tří polarizátorů, kde byly jako souhlasné úhly(tj. úhly při kterých by celým systémem procházela maximální intenzita světla) brány $0°$, $47°$ a $-22°$.

Měřic intenzity světla i bez osvětlení ukazoval hodnotu 17. Tato hodnota nebyla odečtena od naměřených, protože z grafu 2 je vidět, že by to nedávalo smysl.

Naměřené intenzity pro dva polarizátory v závislosti na jejich vzájemném úhlu dobře odpovídají Malusově zákonu. Naměřené hodnoty pro tři polarizátory s vyjímkou malých hodnot intenzit, kde vstupuje do hry výše zmíněná chyba měřiče intenzity světla, odpovídají teoretickému průběhu.

Závěr

Byly změřeny směry snadného průchodu pro všechny 3 polarizátory. Malusův zákon byl ověřen. Byl ověřen průběh závislosti intenzity prošlého světla na natočení polarizátoru umístěného mezi skříženými polarizátory. Byla pozorována indukovaná anizotropie a barevné efekty ve fázových destičkách.

Seznam použité literatury

[1] studijní text dostupný na http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_323.pdf
[2] Jiří Englich: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006