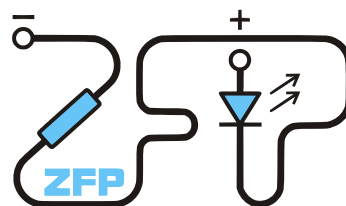


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum III



Optika



žárovky jsou pěkné, ale ta druhá mohla být rozsvícená (jako, že se vám po absolvování úlohy rozsvítilo)

Úloha č. 23

Název úlohy: Studium polarisace světla

Jméno: Josef Iosephus Kučera

Datum měření: 16.02.2022

Připomínky opravujícího:

chybí polární graf u úkolu č. 2

všechny naměřené závislosti v grafech prokládejte křivkami (nejde-li fitovat, lze proložit vhodnou čarou)

v grafech i tabulkách chybí jednotky měřeného signálu (není to ψ , které všude máte)

další viz text

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0–2	2
Výsledky a zpracování měření	0–9	5,5
Diskuse výsledků	0–4	3
Závěr	0–1	0,5
Použitá literatura	0–1	0,5
Celkem	max. 17	11,5 tj. 12

Posuzoval: HK

dne: 23.2.22

Pracovní úkol

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. neměňte zadání, máte jiné znění !!!
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,**
 - ~~e) 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) změnu polarizace při mechanickém namáhání,**
 - (c) barevné efekty v polarizovaném světle,**
 - ~~d) polarizaci rozptylem.~~

Theorie

Polarisace světla

Co je to světlo? Totá otázka, kterou si kladli filosofové i vědci dlouhá staletí. Dnes již víme, že se dá popsat na 2 způsoby. Buď jako proud částic, ale pro nás spíše jako příčné elektromagnetické vlnění.

Tedy směr šíření světla \vec{v} jest kolmý na intenzitu elektrického pole \vec{E} i na magnetickou indukci \vec{B} a dohromady jsou všechny kolmé na sebe navzájem, aby té kolmosti nebylo málo.

Pro intenzitu \vec{E} platí následující důležitá úměrnost [1]:

$$I \sim E^2 \quad (1)$$

neboli: intenzita naměřeného světla I jest přímo úměrná kvadrátu velikosti vektoru \vec{E}

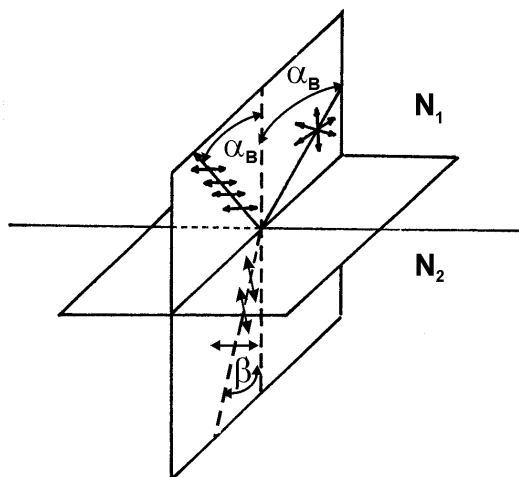
Brewsterův úhel

Brewsterův úhel jest speciálním úhlem v tom ohledu, že pokud světlo interaguje na rozhraní 2 optických prostředí, pro Brewsterův úhel jest odražený paprsek úplně polarisován v rovině kolmé k rovině dopadu paprsku (a odražené světlo se tak úplně polarisuje, viz. Schaema 1).

Pro Brewsterův úhel α_B platí vztah [1]:

$$\alpha_B = \operatorname{arctg} \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

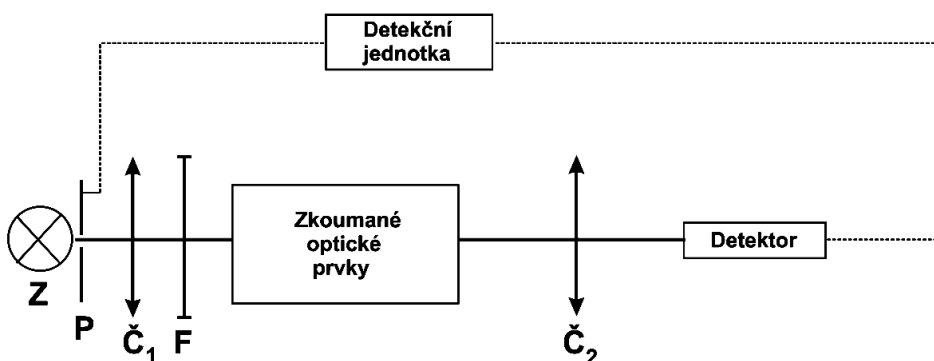
kde $n_{1,2}$ jsou indexy lomu prostředí 1 resp. 2



Schaema 1: Brewsterův úhel, přejato z [2]

Optická soustava

Naše úvodní měření jsme prováděli v optické soustavě ze schématu 2, kterou jsme si pro další experimentování doplňovali dalšími optickými prvky:



Schaema 2: Použitá optická soustava, přejato z [2]

Kde Z značí zdroj světla (žárovku), P jest přerušovač vytvářející specifickou měřitelnou frekvenci světla ($f = 510 \text{ Hz}$), $\check{C}_{1,2}$ jsou čočky (optické, nikoliv luštěniny), F jest filtr záření.

Pomocí přerušovače dokážeme rozlišit validní signál od světelného šumu okolí.

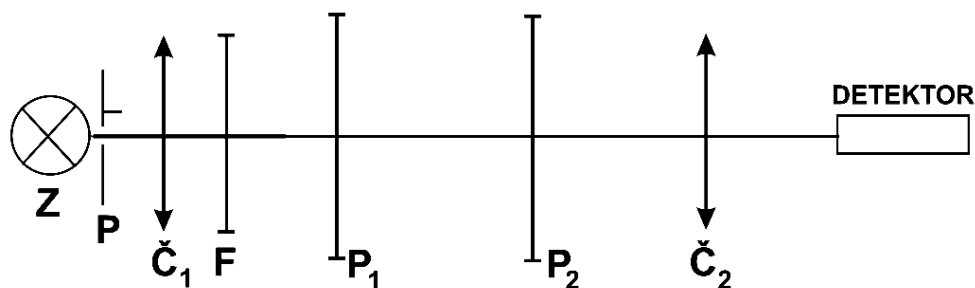
Malusův zákon

Malus (*latinsky: zlý, špatný*) jest jméno physika, po němž jest pojmenován zákon dávající do souvislosti intenzitu prošlého světla se závislostí na úhlu ψ mezi polarisací daného světla a směrem snadného průchodu polarizátorem [1]:

$$I = I_0 \cos^2(\psi) \quad (3)$$

kde I_0 je intenzita dopadajícího světla

Pro měření Malusova zákona v úkolu 2 jsme naši optickou soustavu upravili dle schématu 3:

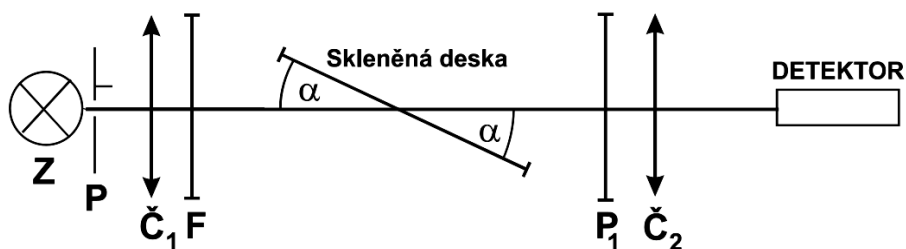


Schaema 3: Optická soustava pro měření Malusova zákona, přejato z [2]

Kde jsme do obvodu přidali 2 polarizátory $P_{1,2}$.

Polarisace lomem

Pro měření Polarisace lomem v úkolu 3 jsme naši optickou soustavu upravili dle schématu 4:



Schaema 4: Optická soustava pro polarisaci lomem, přejato z [2]

Kde jsme do obvodu přidali otočnou skleněnou destičku.

Výsledky měření

1. Směr snadného průchodu

Nejprve jali jsme se měřiti snadný průchod polarisátorem.

Tento přečin učinili jsme tak, že jsme nejprve umístili skleněnou fotografii na stůl a posvítili jsme na ni pokojovou lampičkou.

Polarisátor jsme umístili do dráhy světelného paprsku, jež jsme odhadnuli dle zákona o odrazu (úhel dopadu = úhel odrazu). Zvolili jsme nulu jako nulovou hodnotu otočení a pak jsme otáčeli vnitřní stupnicí na polarisátoru a hledali jsme okometricky hodnotu největšího útlumu světelného signálu.

Pro 3 polarisátory P_1 , P_2 a P_3 jsme naměřili následující hodnoty úhlů snadného průchodu.

$$P_1: (60 \pm 5)^\circ$$

$$P_2: (120 \pm 5)^\circ$$

$$P_3: (90 \pm 5)^\circ$$

Pozn. red.:

Pokud se čtenář diví, proč jest chyba naměřených hodnot tak velká, když použité polarisátory měly měřicí stupnici o nepřesnosti $\pm 1^\circ$, tak jest to tím, že jsme hodnoty největšího útlumu odečítali okometricky a minimum světelného signálu bylo poměrně neostré, což jsme ošetřili zvětšením rozsahu chyby.

2. Ověření Malusova zákona

Při ověřování Malusova zákona jsme soustavu sestavili dle Schaematu 3.

Zvolili jsme si nulové otočení mezi polarisátory a jali jsme se měřiti výtěžky signálu v závislosti na aktuálním stupni natočení polarisátorů. Dostali jsme následující data:

$\psi(^{\circ})$	$\pm E\{\psi\}$	$I_R(\psi)$	$\pm E\{I_R(\psi)\}$	$I(\psi)$	$\pm E\{I(\psi)\}$
0	1	18	1	1	0
5	1	17	1	0	0
10	1	19	1	2	0
15	1	32	1	15	1
20	1	62	2	45	1
25	1	96	2	79	2
30	1	138	2	121	2
35	1	188	3	171	3
40	1	246	3	229	3
45	1	300	3	283	3
50	1	361	4	344	4
55	1	424	4	407	4
60	1	477	4	460	4
65	1	530	5	513	5
70	1	558	5	541	5
75	1	604	5	587	5
80	1	630	5	613	5
85	1	644	5	627	5
90	1	657	5	640	5
95	1	651	5	634	5
100	1	638	5	621	5
105	1	621	5	604	5
110	1	590	5	573	5
115	1	552	5	535	5
120	1	512	5	495	4
125	1	459	4	442	4
130	1	404	4	387	4
135	1	350	4	333	4
140	1	292	3	275	3
145	1	237	3	220	3
150	1	184	3	167	3
155	1	134	2	117	2
160	1	89	2	72	2
165	1	56	1	39	1
170	1	30	1	13	1
175	1	19	1	2	0
180	1	18	1	1	0

chybí jednotky u měřeného (i korigovaného) signálu - např. rel.j. nebo dílek

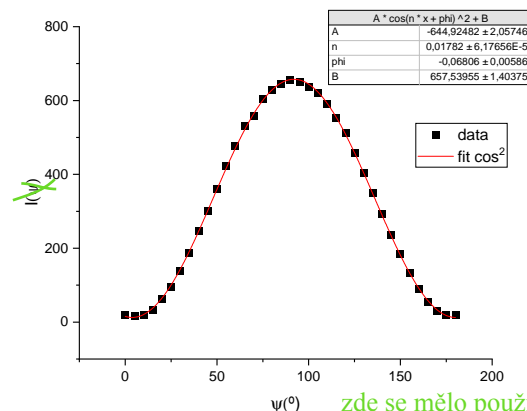
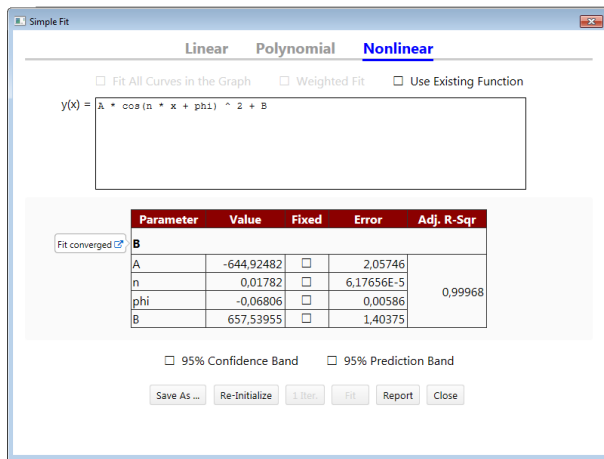
Tab. 1: K ověření Malusova zákona

Kde ψ jest úhel pootočení, $I_R(\psi)$ jest reálně naměřená intenzita světla v závislosti na ψ a $I(\psi)$ jest intenzita světla po odečtení šumu na přístroji (který činil cca 17 jednotek).

Pozn. red.:

Chybu úhlu $E\{\psi\}$ jsme stanovili jako chybu nejmenšího dílku odčítací stupnice. Chybu intenzity $E\{I(\psi)\}$ jsme heuristicky odhadnuli jako $\frac{\sqrt{I(\psi)}}{5}$ o přesném výpočtu chyby nemůže být řeč, protože na to hodnoty na přístroji příliš kolísaly. Nicméně naše aproximace poměrně slušně zrcadlí skutečnost, že absolutní hodnota chyby se zvětšovala s rostoucími hodnotami intenzity.

Data z tabulky 1 jsme následně vynesli do grafu 1.



zde se mělo použít vhodnější dělení osy x (0, 90, 180 a nebo i 45 a 135)

Graph.1: Vlevo použitá fitující metoda, vpravo výsledek fitace

Vidíme, že naše fitace funkcí $I = A \cdot \cos^2(n \cdot x + \psi) + B$ jest takřka dokonalá, čímž jsme ověřili, že naměřená data opisují funkci \cos^2 což jsme přesně očekávali ze znění Malusova zákona.

zde by se hodilo vysvětlení, korekce pomocí B

chybí polární graf !!!

3. Polarisace lomem

Pro měření Polarisace jsme naši optickou soustavu sestavili dle schématu 4. V ní jsme naměřili následující data pro různé úhly α otočení skleněné destičky:

$\alpha = (30 \pm 5)^\circ$						$\alpha = (45 \pm 5)^\circ$					
$\psi(^{\circ})$	$\pm E\{\psi\}$	$I_R(\psi)$	$\pm E\{I_R(\psi)\}$	$I(\psi)$	$\pm E\{I(\psi)\}$	$\psi(^{\circ})$	$\pm E\{\psi\}$	$I_R(\psi)$	$\pm E\{I_R(\psi)\}$	$I(\psi)$	$\pm E\{I(\psi)\}$
0	1	822	6	805	6	0	1	835	6	818	6
10	1	820	6	803	6	10	1	825	6	808	6
20	1	814	6	797	6	20	1	817	6	800	6
30	1	802	6	785	6	30	1	804	6	787	6
40	1	789	6	772	6	40	1	779	6	762	6
50	1	772	6	755	5	50	1	756	5	739	5
60	1	762	6	745	5	60	1	738	5	721	5
70	1	756	5	739	5	70	1	726	5	709	5
80	1	747	5	730	5	80	1	714	5	697	5
85	1	751	5	734	5	85	1	716	5	699	5
90	1	748	5	731	5	90	1	716	5	699	5
95	1	750	0	733	5	95	1	717	0	700	5
100	1	750	0	733	5	100	1	719	0	702	5

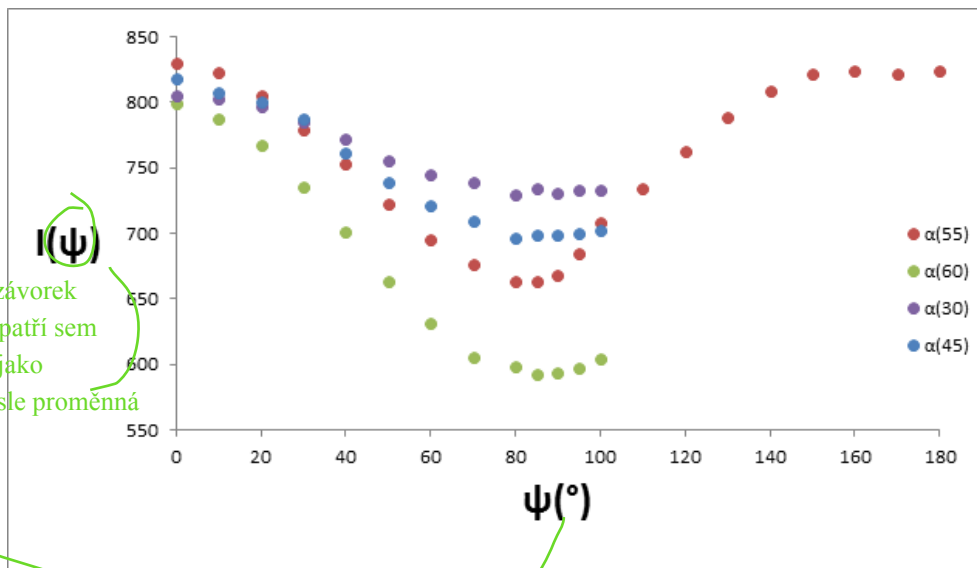
Tab. 2: Data pro natočení $\alpha = 30^\circ$ a $\alpha = 45^\circ$

$\alpha = (55 \pm 5)^\circ$						$\alpha = (60 \pm 5)^\circ$					
$\psi(^{\circ})$	$\pm E\{\psi\}$	$I_R(\psi)$	$\pm E\{I_R(\psi)\}$	$I(\psi)$	$\pm E\{I(\psi)\}$	$\psi(^{\circ})$	$\pm E\{\psi\}$	$I_R(\psi)$	$\pm E\{I_R(\psi)\}$	$I(\psi)$	$\pm E\{I(\psi)\}$
0	1	847	6	830	6	0	1	816	6	799	6
10	1	840	6	823	6	10	1	804	6	787	6
20	1	822	6	805	6	20	1	784	6	767	6
30	1	796	6	779	6	30	1	753	5	736	5
40	1	770	6	753	5	40	1	718	5	701	5
50	1	740	5	723	5	50	1	680	5	663	5
60	1	712	5	695	5	60	1	649	5	632	5
70	1	694	5	677	5	70	1	623	5	606	5
80	1	680	5	663	5	80	1	615	5	598	5
85	1	680	5	663	5	85	1	610	5	593	5
90	1	676	5	668	5	90	1	611	5	594	5
95	1	681	5	685	5	95	1	614	0	597	5
100	1	685	5	708	5	100	1	622	0	605	5
110	1	702	5	734	5						
120	1	725	6	763	6						
130	1	751	6	788	6						
140	1	780	6	809	6						
150	1	805	6	821	6						
160	1	826	6	824	6						
170	1	838	6	821	6						
180	1	841	6	824	6						

Tab. 3: Data pro natočení $\alpha = 55^\circ$ a $\alpha = 60^\circ$

Data z tabulek 2 a 3 jsme vynesli do následujícího grafu 2:

chybí proložení naměřených bodů křivkami

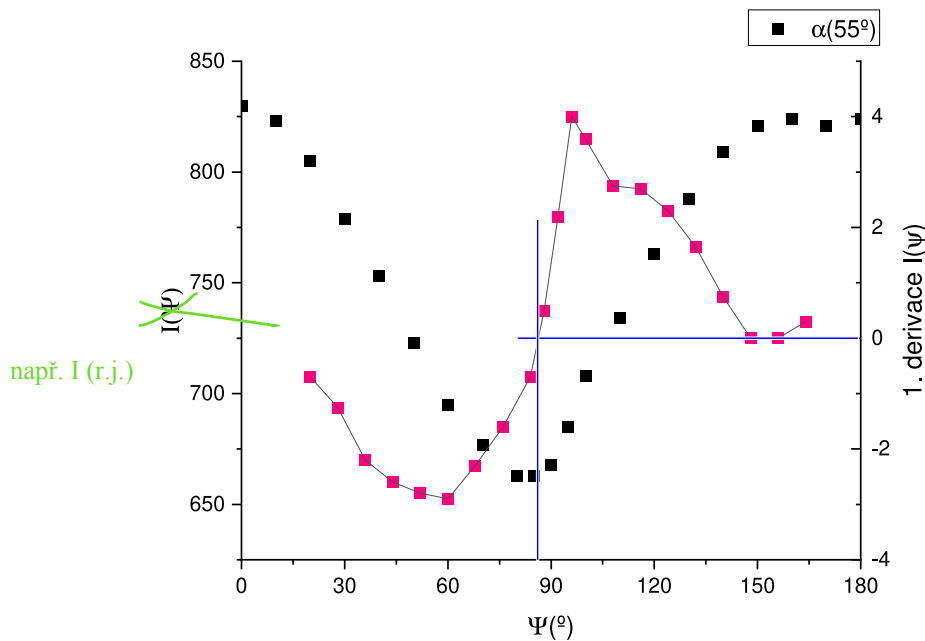


píšete-li do závorek jednotky, nepatří sem něco jiného jako třeba nezávisle proměnná

Graph.2: Měření lomu světla pro všechny úhly najednou, joul!

Úhel $\psi = 0^\circ$ jsme zvolili tak, aby polarisátory byly nezkříženy. A opravdu, vidíme, že největší pokles intenzity dostáváme pro $\psi \sim 90^\circ$. A to pro všechny hodnoty α akorát pro úhel natočení $\alpha \sim 60^\circ$ dostáváme největší hodnoty rozdílu, protože se světlo u tohoto úhlu nejlépe polarisuje.

Zbývá tedy přes prográmek Origin provést první derivaci naší funkce a nalézt tak minimum.



např. I (r.j.)

Graph.3: Hledání minima pro otočení $\alpha = 55^\circ$

Hodnota minima nám vychází $\psi_0 = (85 \pm 5)^\circ$

4. Další kvalitativní pozorování

o Úkol (b): změna polarizace při mechanickém namáhání

V rámci tohoto experimentu jsme si mezi 2 polarisátory postavili teký proužek plastu, který jsme deformovali tlakem.

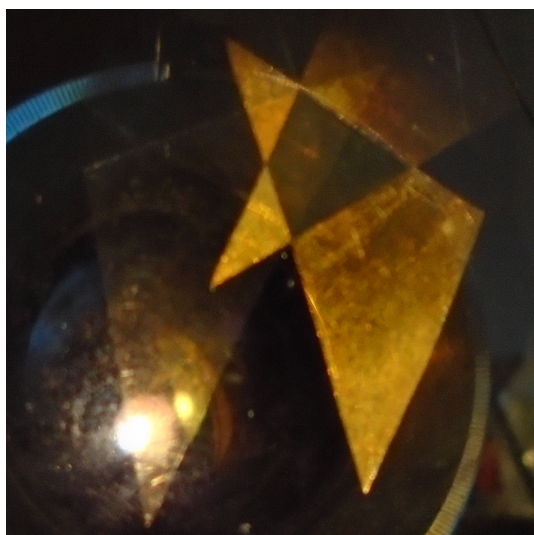
Mohli jsme tak pozorovat krásné potemnělé linie, kde se v důsledku materiálové deformace měnil směr snadného prostupu paprsku světla a tedy i směr polarisace.

Jak ale pravila uctívá paní *RNDr. Eva Schmoranzarová, Ph.D.*: “ Je to složitý jev.”

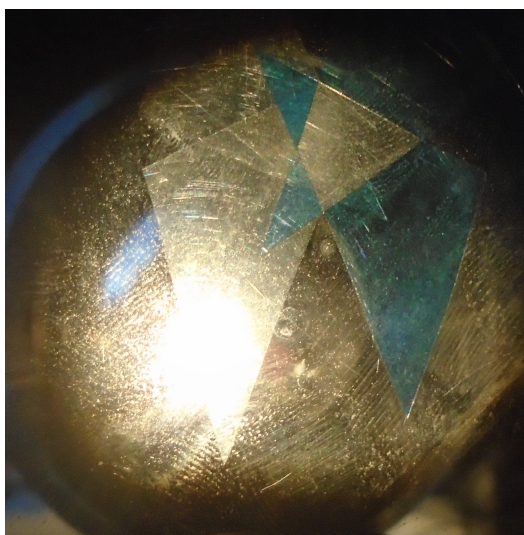
elastooptický jev, při mech. namáhání dochází k dvojlomu a tím ke změně směru polarizace

o Úkol (c): barevné efekty v polarizovaném světle

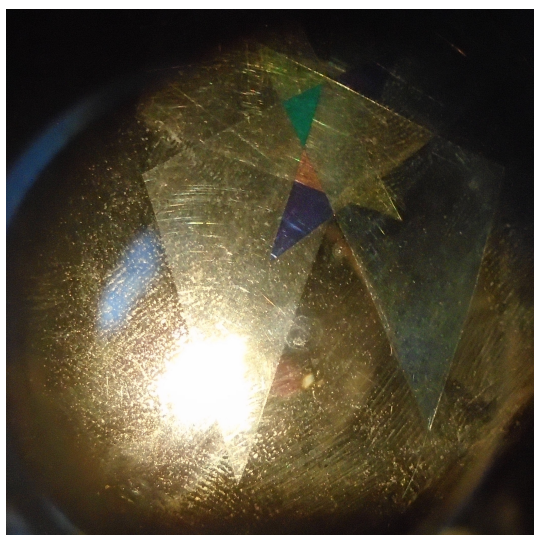
V poslední části měření jsme mezi 2 polarisátory dali skleněnou destičku s pásky isolepy přeskládanými přes sebe a dostali jsme následující obrázky:



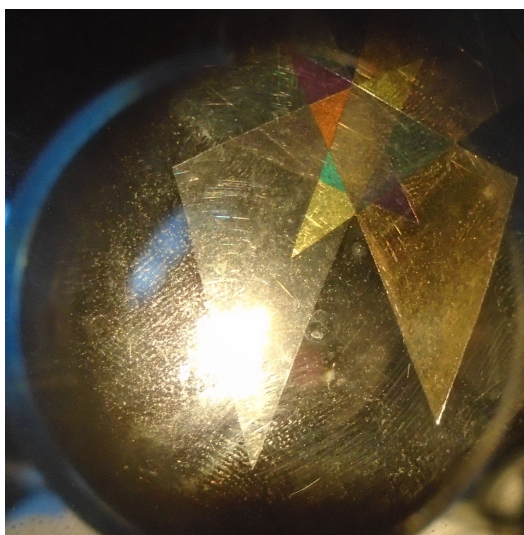
Obr.1: 1. destička, natočení 1



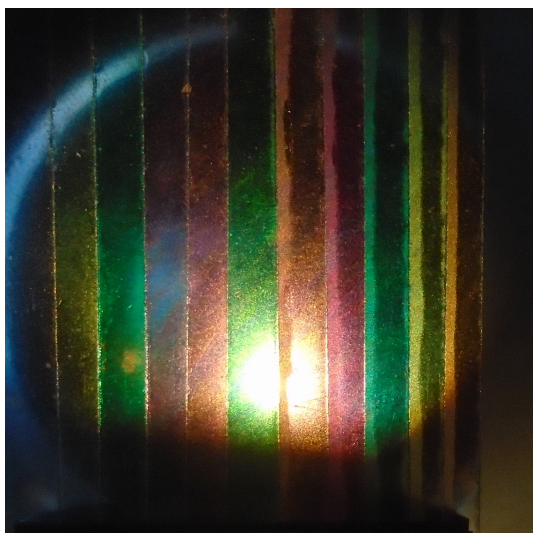
Obr.2: 1. destička, natočení 3



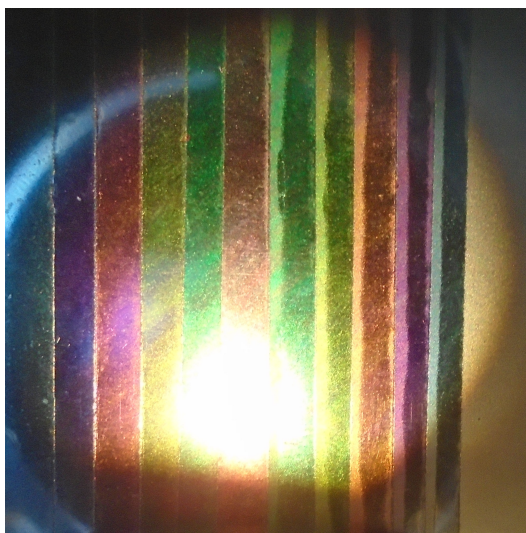
Obr.3: 1. destička, natočení 3



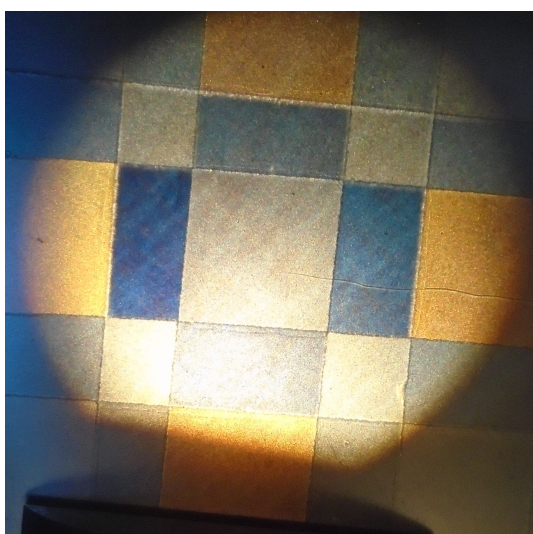
Obr.4: 1. destička, natočení 4



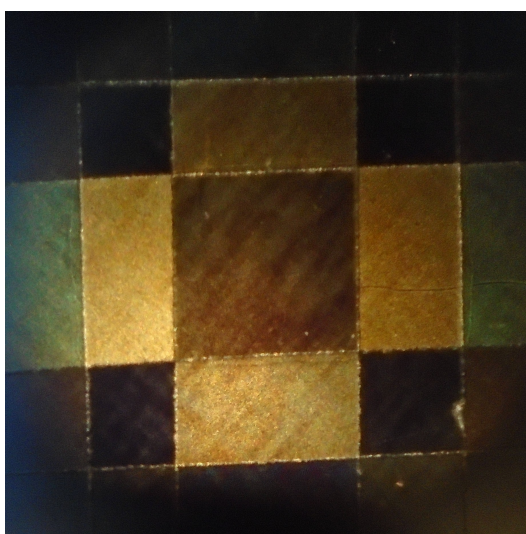
Obr.5: 2. destička, natočení 1



Obr.4: 2. destička, natočení 2



Obr.7: 3. destička, natočení 1



Obr.8: 3. destička, natočení 2

Isolepa se chová jako vlnová destička, která nám vytváří elipticky polarisované světlo. A jak víme, vlnová destička má různé polarisační vlastnosti pro různé frekvence světla a tato různorodost se ještě nakombinuje, pokud vrstev isolepy přelepíme více přes sebe v různých směrech, proto tak pestré spektakulární výjevy pozorovali jsme.

Diskuze

Snadný průchod.

Jak již bylo nastíněno ve výpočetní části, odhad natočení polarisátoru pro směr snadného průchodu byl velice hrubý, neb jsme pozorovali jej pouhým lidským okem, ježto jest nástroj sice spolehlivý, leč nepřesný pro malé světelné odchylky.

Malusův zákon.

U měření Malusova zákona jsme narazili nejprve na to, že přístroj měl offset, alias nenulovou počáteční hodnotu. Tedy v dalších měřeních jsme tento offset odečítali (činil zhruba 17 jednotek).

Více nám ale hýbal žlučí ten fakt, že hodnoty odečítané na detektoru pro vyšší hodnoty silně kolísaly. Toto by šlo částečně ošetřit tak, že bychom hodnot naměřili více, nicméně to by se již tak poměrně dlouhé měření ještě protáhlo, tedy smířili jsme se raději s větší chybou.

Nicméně i přes tyto těžkosti vyšel nám poměrně hezký fit. :)

Kvalitativní úlohy.

Poslední 2 úkoly můžeme označit za tzv. kvalitativní úlohy, neboť chyba byla tak velká, že se nám i těžko byť jen odhaduje.

Například u úlohy *polarisace lomem* jsme více méně jen odhadovali skutečný úhel natočení skleněné destičky vůči průchodu paprsku, neboť tento úhel jsme měřili tak, že jsme přiložili nad destičku úhломěr, měření přesné jak za středověku.

Hodnoty minima jsme u této úlohy určovali skrze hledání nulového bodu první derivace, avšak též nebylo úplně vhodné, že měli jsme naměřených bodů žalostně málo, takže jsme se dopouštěli chyby při odečtu hodnoty.

Úlohy *změna polarizace při mechanickém namáhání* a *barevné efekty v polarizovaném světle* pak byly čistě kvalitativní, neboť jsme u nich nic neměřili, pouze jsme pozorovali, co se okolo nás děje (jako šmíráci ve křoví).

to si nemyslím, šmírák by se schovával
(spíš třeba: někdo disponující zvidavostí)
kdo je obdařen

měla to být kvantitativní úloha, mohl být s nějakou blíže určenou nejistotou stanoven stupeň polarizace



Závěr

Určili jsme směry snadného průchodu u 3. polarisátorů:

$$P_1: (60 \pm 5)^\circ$$

$$P_2: (120 \pm 5)^\circ$$

$$P_3: (90 \pm 5)^\circ$$

Malusův zákon jsme ověřili fitací funkcí \cos^2 a dostali jsme takměř dokonalou shodu, z čehož jsme měli druhé Vánoce!

závěr prac. úkolu 3

Pozorovali jsme složitý jev indukované anisotropie prostředí mechanickým namáháním. Pro další generace vytvořili jsme též pár pěkných fotek barevných efektů v polarisovaném světle

Reference



- [1] https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_323.pdf
- [2] https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_323.pdf