

Datum měření: 10.3.2014

Skupina: 7

Jméno: David Roesel

Kroužek: ZS 7

Spolupracovala: Tereza Schönfeldová Klasifikace:

1 Pracovní úkoly

1. Při polarizaci bílého světla odrazem na černé skleněné desce proměřte závislost stupně polarizace na sklonu desky a určete optimální hodnotu Brewsterova úhlu. Výsledky zanepte do grafu.
2. Černou otočnou desku nahraďte polarizačním filtrem a proměřte závislost intenzity polarizovaného světla na úhlu otočení analyzátoru (Malusův zákon). Výsledek srovnajte s teoretickou předpovědí a znázorněte graficky.
3. Na optické lavici prozkoumejte vliv čtyř celofánových dvojlomných filtrů, způsobujících interferenci. Vyzkoušejte vliv otáčení polarizátoru, analyzátoru a vliv otáčení dvojlomného filtru mezi zkříženými i rovnoběžnými polarizátory v bílém světle. Zjistěte přímohledným spektroskopem, které vlnové délky se interferencí ruší. Výsledky pozorování popište.
4. Na optické lavici sestavte polostínový polarimetr. Ověřte vliv vzájemného pootočení polarizačních filtrů D a L na citlivost měření úhlu natočení analyzátoru. Při optimálně nastavených filtrech D a L změřte měrnou otáčivost křemíku pro 4 spektrální barvy.

2 Vypracování

2.1 Použité přístroje

Optická lavice, otočné černé zrcadlo, polarizační filtry s úhlovou stupnicí, multimetr, otočný držák pro dvojlomný vzorek, čtvrtvlnná destička, celofánové dvojlomné filtry, světelný zdroj s matnicí, ruční přímohledný spektroskop, fotočlánek s vodiči, kruhový polarimetr, křemenné destičky tloušťek 1 mm a 1,5 mm, barevné filtry, irisová clonka, zdroj napětí.

2.2 Teoretický úvod

2.2.1 Polarizace světla odrazem

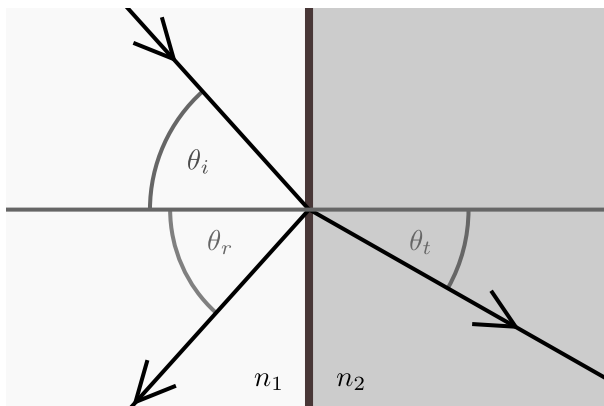
Dopadá-li světlo na skleněnou desku (nebo jiné rozhraní), část světla se odráží a část se láme do prostředí, které má jiný index lomu. Z části je odražený paprsek lineárně polarizovaný. Stupeň této polarizace bude záviset na úhlu, který odražený paprsek svírá s rovinou zrcadla. Úhel, při kterém je stupeň polarizace nejvyšší, je dán Brewsterovým zákonem (odražený paprsek musí být kolmý na ten dopadající). Při odrazu na rozhraní dvou prostředí (o indexech lomu n_1 a n_2) platí pro Brewsterův úhel θ vztah

$$\frac{n_2}{n_1} = \operatorname{tg}(\theta). \quad (1)$$

Předpokládáme-li index lomu vzduchu $n_1 = 1$, můžeme pro fit závislosti velikosti vektoru polarizace na úhlu otočení zrcadla použít funkci

$$P(\vartheta) = \alpha \cdot \frac{\left(\cos \vartheta - \arcsin \frac{\sin \vartheta}{n}\right)^2 - \left(\cos \vartheta + \arcsin \frac{\sin \vartheta}{n}\right)^2}{\left(\cos \vartheta - \arcsin \frac{\sin \vartheta}{n}\right)^2 + \left(\cos \vartheta + \arcsin \frac{\sin \vartheta}{n}\right)^2} + \delta, \quad (2)$$

kde parametr n je index lomu skla zrcadla a parametry α a δ kompenzují nedostatky měření (svícení do soustavy ze stran, příliš mnoho světla v místnosti a nechtěné odrazy).



Obr. 1: Odraz a lom světla na rozhraní [2]

2.2.2 Polarizace světla dvojlomem

Některé krystalické látky se při průchodu světla chovají jako anizotropní prostředí, tj. jeho optické vlastnosti závisejí na tom, jakým směrem se v krystalu šíří světlo. Existují v nich tedy směry, ve kterých se světlo šíří jako v prostředí s různými indexy lomu. Nepolarizované světlo se tak rozdělí na dva paprsky (řádný a mimořádný). Ten první se řídí Snellovým zákonem a má index lomu n_o , zatímco ten druhý se jím neřídí a jeho index lomu n_e závisí na směru šíření světla v krystalu. Tyto dva paprsky jsou lineárně polarizovány v na sebe kolmých rovinách.

2.2.3 Malusův zákon

Pokud necháme procházet lineárně polarizované světlo optickým prvkem schopným polarizovat, uvidíme, že intenzita světla, které projde, závisí na vzájemné úhlové poloze polarizační roviny světelného svazku a polarizátoru, kterým prochází. Polarizátor totiž propustí jen tu složku, která odpovídá jeho polarizační rovině. Intenzita prošlého světla I' se mění podle Malusova zákona

$$I(\varphi) = I \cos^2 \varphi + \delta, \quad (3)$$

kde I je intenzita polarizovaného světla dopadajícího na polarizátor, φ je úhel svíraný polarizačními rovinami paprsku a polarizátoru a δ je posun kompenzující nedostatky měření.

2.2.4 Interference rovnoběžně polarizovaného světla

V případě, že lineárně polarizované světlo prochází dvojlomnou destičkou, rozdělí se na dva paprsky, jejichž rychlost šíření je rozdílná, a tak i z destičky vychází s jistým dráhovým rozdílem. Dráhový rozdíl obou paprsků závisí na tloušťce destičky a rozdílu význačných indexů lomu a tím pádem na vlnové délce světla. Pokud procházejí oba paprsky polarizátorem, projdou jen složky odpovídající jeho polarizační rovině, čímž dojde k interferenci - některé barvy se vyjasňují a jiné zeslabují.

2.2.5 Rotační polarizace

U některých látek (například u křemenné destičky vyříznuté kolmo k optické ose) pozorujeme schopnost stáčet rovinu polarizace. Takovéto látky rozlišujeme na pravo- a levotočivé. To, jak moc se rovina polarizace stáčí, závisí na vlnové délce polarizovaného světla (kratším vlnovým délkám odpovídá větší otočení) a přímo úměrně na tloušťce destičky. Látky klasifikujeme takzvanou měrnou otáčivostí, tedy otočení polarizační roviny způsobené vrstvou látky o jednotkové tloušťce.

2.2.6 Stupeň polarizace

Skutečné světlo není nikdy úplně koherentní a rozlišovací doba přístroje není shodná s koherenčními dobami. Proto pro určení stupně polarizace používáme takzvané Stokesovy parametry:

$$P_1 = \frac{\langle E_x^2 \rangle_r - \langle E_y^2 \rangle_r}{\langle E_x^2 \rangle_r + \langle E_y^2 \rangle_r}, \quad P_2 = \frac{\langle 2E_x E_y \rangle_r}{\langle E_x^2 \rangle_r + \langle E_y^2 \rangle_r}, \quad P_3 = \frac{\langle 2E_x(\omega t - \pi/2)E_y(\omega t) \rangle_r}{\langle E_x^2 \rangle_r + \langle E_y^2 \rangle_r}, \quad (4)$$

kteřé charakterizují tzv. částečně polarizované světlo.

Velikost vektoru $\vec{P} = (P_1, P_2, P_3)$ představuje stupeň polarizace světla a může nabývat hodnot od nuly do jedné včetně: nepolarizovanému světlu odpovídá $|\vec{P}| = 0$, úplně polarizovanému naopak $|\vec{P}| = 1$.

Při zjišťování polarizace, tedy Stokesových parametrů, změříme 4 různé intenzity:

1. Při polarizátoru nastaveném na 0° chceme zjistit $\langle E_x^2 \rangle_r$.
2. Při polarizátoru nastaveném na 90° chceme zjistit $\langle E_y^2 \rangle_r$.
3. Při polarizátoru nastaveném na 45° chceme zjistit $\frac{1}{2} \langle E_x^2 \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_y^2 \rangle_r + \langle E_x E_y \rangle_r$.
4. Při polarizátoru nastaveném na 45° a čtvrtvlnovou destičkou chceme zjistit $\frac{1}{2} \langle E_x^2 \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_y^2 \rangle_r + \langle E_x(\omega t - \pi/2)E_y(\omega t) \rangle_r$.

Z těchto hodnot již zvládneme dopočítat Stokesovy parametry pomocí vzorce (4).

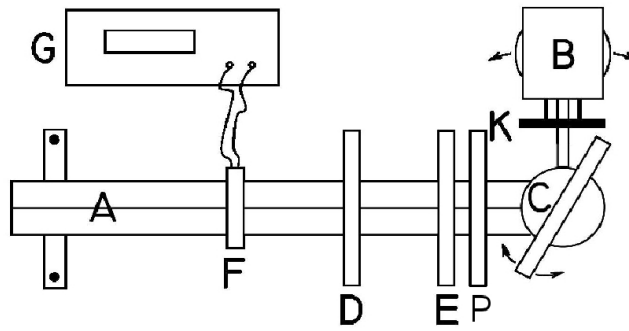
2.3 Postup měření

2.3.1 Určení Brewsterova úhlu

Schéma nastavení aparatury je na Obr. 2. Vzhledem k tomu, že měření závisí na natočení zrcadla vůči optické lavici, museli jsme nejprve provést kalibraci podle návodu [1]. Před černé zrcadlo jsme na lavici umístili kalibrační tyčku s výřezem a na druhý konec lavice jsme dali tyčku s hrotem. Následně jsme se snažili nastavit zrcadlo tak, aby byl odraz hrotu v zákrytu, tedy aby rovina zrcadla byla přesně kolmá na osu optické lavice. Následně jsme zaaretovali pozici zrcadla a po zbytek experimentu používali pouze otočný kloub se stupnicí.

Jednotlivé prvky na optické lavici jsme sestavili podle schématu na Obr. 2. Mezi jednotlivými prvky jsme volili minimální vzdálenost a snažili se je co nejpřesněji srovnat do jedné výšky. Vlastní měření probíhalo odečítáním hodnot napětí na fotočlátku, které zobrazoval k němu připojený multimetr. Napětí (tedy nepřímou intenzitu dopadajícího světla) jsme sledovali v závislosti na úhlu natočení zrcadla a pro každý úhel jsme udělali čtyři měření následujícím nastavením:

1. s analyzátozem nastaveným na 0°
2. s analyzátozem nastaveným na 90°
3. s analyzátozem nastaveným na 45°
4. s analyzátozem nastaveným na 45° a čtvrtvlnovou destičkou mezi analyzátozem a irisovou clonou,



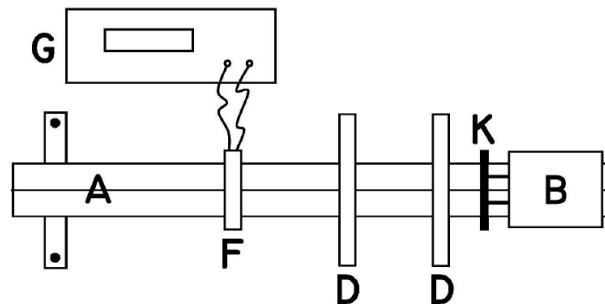
Obr. 2: Sestava pro pokus na určení Brewsterova úhlu; A – Optická lavice, B – Světelný zdroj, C – Otočné černé zrcadlo, D – Polarizační filtr, E – Čtvrtvlnová destička, F – Fotočlánek, G – Multimetr, K – Matnice, P – Irisová clonka. Převzato z [1].

příčemž roli polarizátoru plnilo černé zrcadlo a jako analyzátor fungoval polarizační filtr. Z hodnot naměřených tímto způsobem můžeme určit Stokesovy parametry (4).

Hodnoty napětí jsme zaznamenávali od 40° do $72,5^\circ$ s krokem 5° na okrajích, $2,5^\circ$ v průběhu a v okolí předpokládaného maxima 58° (1) jsme se snažili i o krok $1,25^\circ$. Pokaždé, když jsme natočili zrcadlo, bylo třeba nastavit zdroj tak, aby byla splněna podmínka zákona odrazu. Vždy, když jsme nastavili zrcadlo na úhel α , museli jsme nastavit zdroj na úhel $270 - \alpha^\circ$.

2.3.2 Ověření Malusova zákona

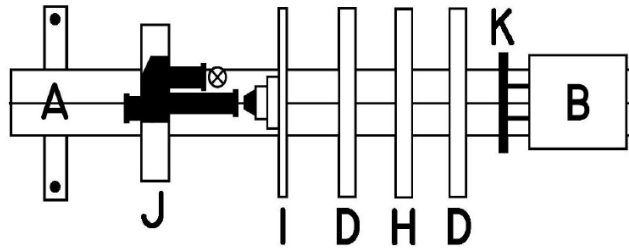
Schéma nastavení aparatury je na Obr. 3. Stejně jako v minulém úkolu jsme jednotlivé prvky na optické lavici umístili co nejbližší k sobě a vyrovnali co nejlépe jejich výšku či orientaci. Polarizátor blíže ke zdroji světla jsme nejprve nastavili co nejpřesněji na nulu a během měření jsme měnili úhel pouze na přesnějším polarizačním filtru dále od zdroje. Analogicky minulému úkolu jsme zaznamenávali napětí na fotočlánek, tentokrát však v závislosti na rozdílu úhlů obou polarizátorů. Za konstantní polohy polarizátoru jsme tak měnili na analyzátoru úhel od -95° do $+95^\circ$ s krokem 5° .



Obr. 3: Sestava pro ověření Malusova zákona; A – Optická lavice, B – Světelný zdroj, D – Polarizační filtr, F – Fotočlánek, G – Multimetr, K – Matnice. Převzato z [1].

2.3.3 Interference v lineárně polarizovaném světle

Schéma nastavení aparatury je na Obr. 4. Vše jsme nastavili podle něj, až na to, že jsme vynechali přímohledný spektroskop (J) a kondenzor (I), z důvodu posunutého krystalu ve spektroskopu. Jevy jsme pozorovali nakonec i bez dalekohledu, jelikož byly vidět dostatečně dobře.

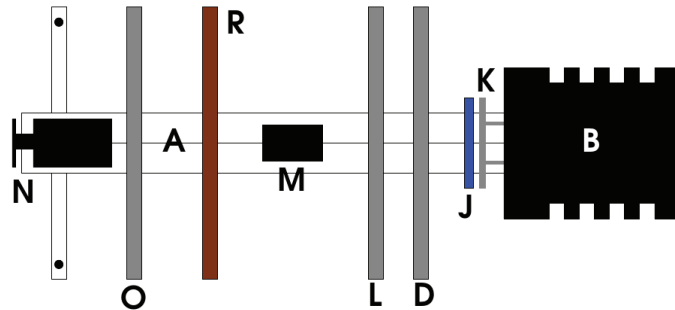


Obr. 4: Sestava pro zkoumání interference v lineárně polarizovaném světle; A – Optická lavice, B – Světelný zdroj, D – Polarizační filtr, H – Otočný držák na dvojlomný vzorek, I – Kondenzor, J – Přímohledný spektroskop. Převzato z [1].

2.3.4 Optická aktivita křemíku

Schéma nastavení aparatury je na Obr. 5. Nastavování aparatury vyžadovalo vyzkoušet několik vzdáleností jednotlivých optických prvků. Cílem tohoto měření bylo určit měrnou otáčivost křemene pro čtyři různé vlnové délky. Pro každou z nich jsme postupovali podle následujícího postupu:

1. Do přihrádky u matnice jsme zasunuli barevný filtr odpovídající vlnové délky.
2. Bez křemenné destičky jsme nejdříve nastavili polarizátor D na -90° a poloviční polarizační filtr L na $+85^\circ$.
3. V zorném poli dalekohledu v tuto chvíli bylo možné pozorovat dvě poloviny, jejichž poměr jasů se se změnou natočení polarizátoru O měnil.
4. Následně jsme nastavili polarizátor O tak, aby byl jas obou polovin stejný a jeho nastavení jsme si zaznamenali.
5. Poté jsme na odpovídající místo vložili zkoumaný vzorek a znovu našli polohu polarizátoru O tak, aby byl jas obou polovin vyrovnaný, a tuto hodnotu jsme zaznamenali.
6. Pro každý ze čtyř barevných filtrů jsme předchozí body opakovali s destičkami o tloušťkách 1 a 1,5 mm.



Obr. 5: Sestava pro měření optické aktivity křemíku; A – Optická lavice, B – Světelný zdroj, D – Polarizační filtr, J – Barevný filtr, L – Poloviční polarizační filtr, M – Spojná čočka, N – Dalekohled zaostřený na nekonečno, O – Polarizační filtr s jemně dělenou stupnicí a noniem, R – Zkoumaný vzorek. Převzato z [1].

2.4 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty z určování Brewsterova úhlu jsou vyneseny v grafu na Obr. 6 a také v Tab. 1. Nejvyšší hodnotu jsme u této úlohy naměřili při

$$\theta_{max} = (57,5 \pm 2,5)^\circ, \quad (5)$$

příčemž závislost, kterou jsme fitovali, nabývá svého maxima v bodě

$$\theta_{fit} = (55,8 \pm 2,5)^\circ. \quad (6)$$

Námi provedený fit odpovídá hodnotě indexu lomu skleněného zrcadla

$$n_2 = (1,451 \pm 0,008). \quad (7)$$

Hodnoty naměřené při ověřování Malusova zákona jsou vyneseny v grafu na Obr. 7 a také v Tab. 2.

Výsledky měření interference v lineárně polarizovaném světle jsou v Tab. 3.

Hodnoty naměřené při zkoumání optické aktivity křemíku jsou v Tab. 4.

2.5 Diskuse

2.5.1 Určení Brewsterova úhlu

Podle vzorce (1) a u úlohy zjištěné hodnoty indexu lomu skleněného zrcadla $n_z = 1,6$ jsme před vlastním měření spočítali odhad pro Brewsterův úhel jako $\theta_B = 58^\circ$. My jsme během měření dosáhli nejvyšší hodnoty napětí při úhlu $\theta = 57,5^\circ$, což je vzhledem k přesnosti $2,5^\circ$ hodnota odpovídající teoretickému odhadu. Méně přesně pak vyšel fit, který jsme zkoušeli použít. Z proložení jsme získali hodnotu okolo 56° , což při uvažování chyby určení úhlu není příliš daleko od našeho předpokladu. Měření by se dalo velmi zpřesnit použitím jemnějšího úhlového měřítka (obzvláště pak toho, podle kterého se nastavoval zdroj světla). V okolí maxima jsme se snažili měřit v menších intervalech, než nám dovolovaly naše rozlišovací schopnosti, a to se projevilo na hodnotě maxima fitu. Při výpočtech nám navíc vycházely pro některé složky (velmi mírně, ale přece) záporné hodnoty a bylo by záhodno tento jev nějak kompenzovat. Další část pokusu, která by se dala zlepšit, byl fakt, že všech úhlech, obzvláště pak v těch krajních, svítil zdroj zcela evidentně nejen na zrcadlo, takže docházelo k nechtěným odrazům.

2.5.2 Ověření Malusova zákona

Malusův zákon se nám podařilo ověřit úspěšně. Pro úspěšné znázornění závislosti bylo potřeba k vykreslované funkci přičíst parametr δ , který jsme určili jako hodnotu signálu v momentu, kdy na sebe oba dva polarizační filtry byly kolmé. V tu dobu by soustavou nemělo procházet žádné světlo a signál, který fotočlánek přijímal, byl tedy působen světelným pozadím v místnosti nebo nechtěnými odrazy. Jako počáteční intenzitu pro teoretickou závislost bereme nejvyšší naměřenou hodnotu, což může vést k podsazení celé závislosti podle toho, jak pod- či nadhodnocená tato jedna hodnota byla. Měření by šlo zpřesnit důkladnějším zatemněním místnosti, dokonalejší aparaturou nebo lepším použitím irisové clonky. Měření svou přesností i výsledky odpovídá závěrům z předchozí úlohy praktika, ve které jsme se věnovali studiu mikrovln.

2.5.3 Interference v lineárně polarizovaném světle

Tento jev jsme prozkoumali úspěšně. Nutno říci, že jsou veškeré výsledky spíše orientačního charakteru a nelze z nich činit žádné závěry. Zajímavé bylo, že v některých případech nebyla v průhledu vidět pouze jedna barva, ale některé kusy byly zbarveny barvou druhou. To, že byl rozbitý přímohledný spektroskop, ještě více ztížilo možnost úlohu nějak více analyzovat. Interferenci jsme ovšem pozorovali a úlohu se nám podařilo provést úspěšně.

2.5.4 Optická aktivita křemíku

Tento pokus již sice obsahoval hodnoty, které se daly měřit, byl však velmi subjektivní a naměřené hodnoty nebudou ani z daleka přesné. Měření spočívá ve stanovení momentu, kdy jsou obě poloviny průhledu stejně jasné. V závislosti na pozorovateli a zvoleném filtru se ale tyto hodnoty lišily v řádu desítek stupňů. I přesto ale hodnoty z měření pro obě tloušťky byly překvapivě blízko sobě. Statistické chyby u nich nejsou jistě odpovídající, jelikož vznikly jako chyby aritmetického průměru dvou hodnot a reálná chyba měření se bude pohybovat v řádu desítek procent naměřené hodnoty.

3 Závěr

Při polarizaci bílého světla odrazem na černé skleněné desce jsme proměřili závislost stupně polarizace na sklonu desky a určili optimální hodnotu Brewsterova úhlu. Výsledky jsme zanesli do grafu a proložili předpokládanou závislostí s korekcí pro nedokonalé podmínky.

Černou otočnou desku jsme nahradili polarizačním filtrem a proměřili závislost intenzity polarizovaného světla na úhlu otočení analyzátoru, čímž jsme ověřili Malusův zákon. Výsledek jsme srovnali s teoretickou předpovědí a graficky znázornili.

Na optické lavici jsme prozkoumali vliv čtyř celofánových dvojlomných filtrů, způsobujících interferenci. Vyzkoušeli jsme vliv otáčení polarizátorem, analyzátoru a dvojlomným filtrem v bílém světle. Z důvodu jeho nefunkčnosti jsme přímohledným spektroskopem nezjistili, které vlnové délky se interferencí ruší, ale zapsali jsme výsledky svých pozorování.

Nakonec jsme na optické lavici sestavili polostínový polarimetr a ověřili vliv vzájemného pootočení dvou polarizačních filtrů na citlivost měření úhlu natočení analyzátoru. Při těchto filtrech v optimálním nastavení jsme změřili měrnou otáčivost křemíku pro 4 spektrální barvy a výsledky zapsali.

4 Použitá literatura

- [1] Kolektiv KF, *Návod k úloze: Měření s polarizovaným světlem* [Online], [cit. 17. března 2014]
http://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/422/mod_resource/content/2/Polarizace_2012.pdf
- [2] Josh Lee, *Fresnel.svg* [Online], [cit. 17. března 2014]
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresnel.svg>
- [3] Kolektiv KF, *Chyby měření* [Online], [cit. 17. března 2014]
<http://praktikum.fjfi.cvut.cz/documents/chybynav/chyby-o.pdf>

Část I

Přílohy

5 Domácí příprava

Domácí příprava je přiložena k protokolu.

6 Statistické zpracování dat

Pro statistické zpracování využíváme aritmetického průměru:

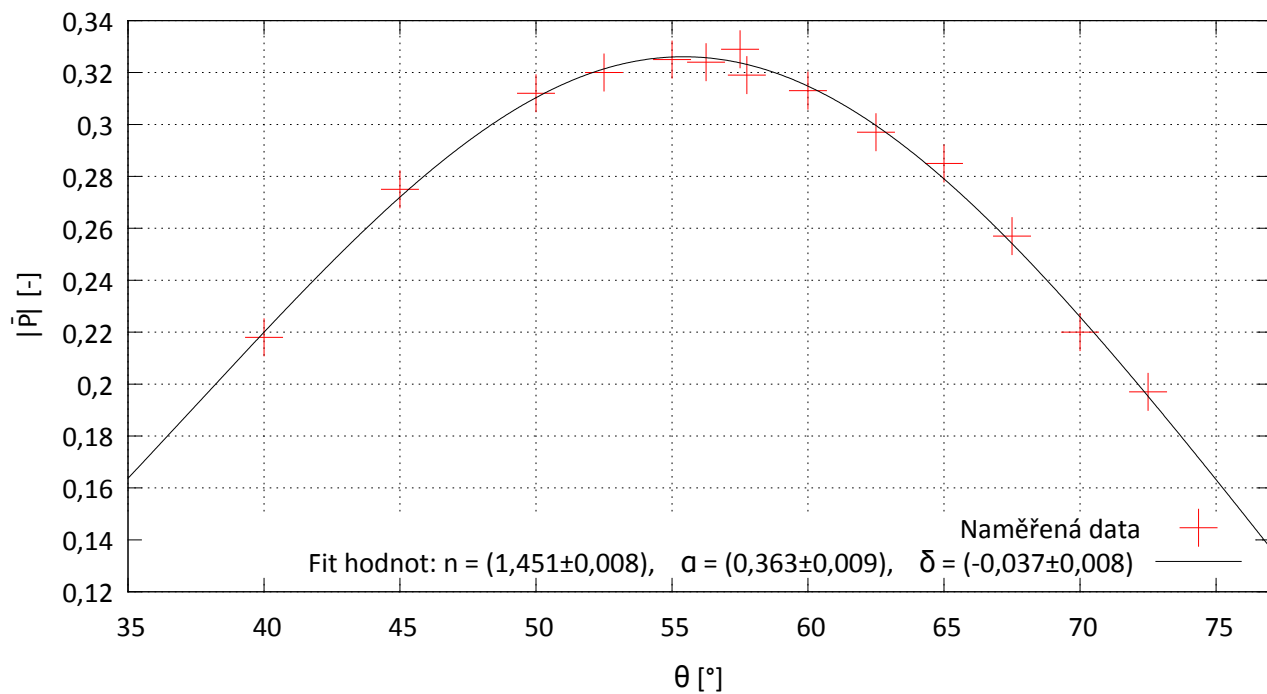
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \tag{6.1}$$

jehož chybu spočítáme jako

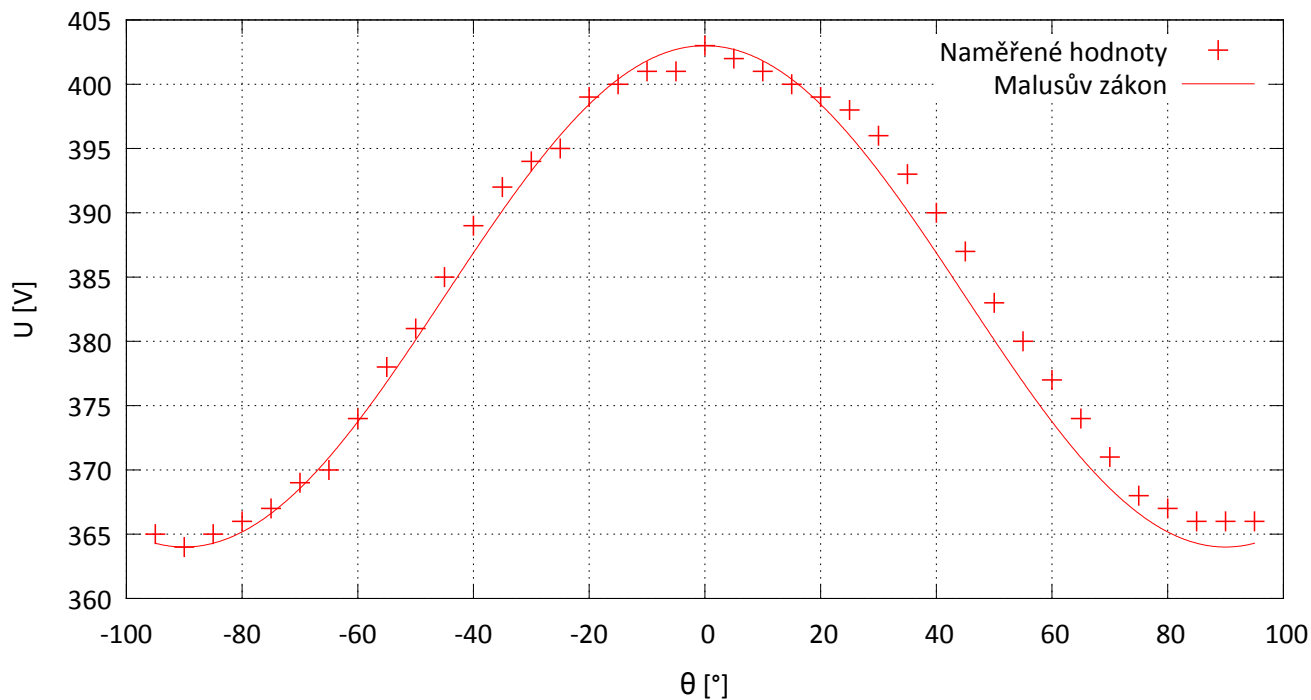
$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \tag{6.2}$$

kde x_i jsou jednotlivé naměřené hodnoty, n je počet měření, \bar{x} aritmetický průměr a σ_0 jeho chyba [3].

6.1 Tabulky a grafy



Obr. 6: Graf závislosti velikosti vektoru polarizace $|\vec{P}|$ na úhlu natočení černého zrcadla θ . Naměřená data jsou proložena závislostí podle (2).



Obr. 7: Graf závislosti napětí U (na fotočlánku) na rozdílu úhlů polarizátoru a analyzátoru θ při ověřování Malusova zákona. V grafu je znázorněn teoretický průběh závislosti podle (3).

θ [°]	$ \vec{P} $ [-]	P_1 [-]	P_2 [-]	P_3 [-]	U_1 [mV]	U_2 [mV]	U_3 [mV]	U_4 [mV]
40,00	0,218	0,20	-0,02	-0,09	27,4	18,3	22,3	20,9
45,00	0,275	0,26	-0,01	-0,10	33,0	19,5	25,9	23,7
50,00	0,312	0,30	-0,01	-0,09	37,5	20,3	28,6	26,2
52,50	0,320	0,31	-0,01	-0,08	44,0	23,2	33,4	30,9
55,00	0,325	0,32	0,00	-0,08	47,3	24,6	36,1	33,2
56,25	0,324	0,32	0,01	-0,05	41,3	21,3	31,5	29,6
57,50	0,329	0,32	0,01	-0,09	48,6	25,2	37,4	33,7
57,75	0,319	0,32	0,02	-0,05	48,0	25,0	37,2	34,7
60,00	0,313	0,31	0,03	-0,06	57,1	30,3	44,8	41,2
62,50	0,297	0,29	0,02	-0,06	68,4	37,7	53,9	49,7
65,00	0,285	0,27	0,01	-0,09	73,0	41,9	58,3	52,4
67,50	0,257	0,24	0,01	-0,08	74,9	45,5	61,1	55,4
70,00	0,220	0,21	0,01	-0,07	84,1	55,0	70,5	64,9
72,50	0,197	0,18	0,03	-0,07	89,8	62,1	78,0	70,7

Tab. 1: Naměřené hodnoty pro určování Brewsterova úhlu; θ je úhel dopadu, $|\vec{P}|$ stupeň polarizace, P_{1-3} Stokesovy parametry a U_{1-4} napětí při každé ze 4 konfigurací popsanych v postupu. Hodnoty napětí jsme brali vzhledem k chybě $\sigma_\theta = 2,5^\circ$ jako absolutně přesné.

θ [°]	U [mV]	θ [°]	U [mV]	θ [°]	U [mV]
-95	365	-30	394	35	393
-90	364	-25	395	40	390
-85	365	-20	399	45	387
-80	366	-15	400	50	383
-75	367	-10	401	55	380
-70	369	-5	401	60	377
-65	370	0	403	65	374
-60	374	5	402	70	371
-55	378	10	401	75	368
-50	381	15	400	80	367
-45	385	20	399	85	366
-40	389	25	398	90	366
-35	392	30	396	95	366

Tab. 2: Naměřené hodnoty pro ověřování Malusova zákona; θ je rozdíl úhlu polarizátoru a analyzátoru a U napětí změřené multimetrem na fotočlánku.

číslo destičky	θ [°]	pozorovaná barva
1	45	bílo-žlutá
1	90	modro-fialová
1	135	sytá-žlutá
2	45	bílo-žlutá
2	90	zeleno-růžová
2	135	bílo-žlutá
3	45	bílo-žlutá
3	90	fialová
3	135	bílo-žlutá
4	45	naoranžovělá
4	90	červeno-růžová
4	135	zelená
5	90+45i	oktarínová

Tab. 3: Barvy pozorované při změně úhlu θ na polarizátoru pro 4 různé celofánové destičky.

φ_1 [°]	φ_2 [°]	d [mm]	$\Delta\varphi$ [°]	$\Delta\varphi/d$ [°/mm]
zelený 510 nm (Cu)				
0,4	33,5	1,0	33,1	33,10
	44,3	1,5	43,9	29,27
				31 ± 2
červený 630 nm (Ca)				
-0,4	17,5	1,0	17,9	17,90
	26,4	1,5	26,8	17,87
				$17,88 \pm 0,02$
oranžový 590 nm (Na)				
-0,2	23,5	1,0	23,7	23,70
	29,3	1,5	29,5	19,67
				22 ± 2
modrý 491 nm (Hg)				
-2,0	29,0	1,0	31,0	31,0
	43,2	1,5	45,2	30,1
				$30,6 \pm 0,4$

Tab. 4: Zaznamenaná data z měření optické aktivity křemene; úhly φ_1 a φ_2 značí hodnotu nastavenou na analyzátoru před a po vložení křemenné destičky tloušťky d při vyrovnaném jasu v obou polovinách průhledu. $\Delta\varphi$ je potom rozdíl těchto úhlů a $\Delta\varphi/d$ měrná otáčivost křemene pro danou barvu filtru s chybou spočítanou podle (6.2).