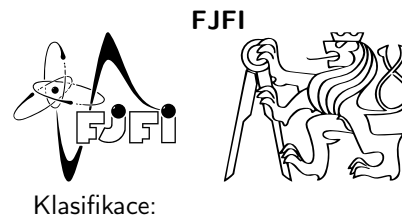


Jméno: **Ondřej Brož** Kolega: Stella Králová
Kruh: **Úterý 9:30** Číslo skup.: 9
Měreno: **1.3.2022** Zpracování: 12h



1 Pracovní úkoly

1. DÚ: Odvoďte vzorec pro Brewsterův úhel úplné polarizace. Vycházejte ze zákona lomu světla na rozhraní dvou optických prostředí. Spočítejte Brewsterův úhel pro rozhraní vzduch - skleněné zrcadlo.
2. Poměřte závislost stupně polarizace bílého světla na sklonu černé skleněné desky a určete optimální hodnotu Brewsterova úhlu. Výsledky zanepte do grafu a porovnejte s vypočtenou hodnotou z domácího úkolu.
3. Černou otočnou desku nahraďte polarizačním filtrem a proměřte závislost intenzity polarizovaného světla na úhlu otočení analyzátoru (Malusův zákon). Výsledek srovnajte s teoretickou předpovědí, znázorněte graficky a výsledek diskutujte.
4. Na optické lavici prozkoumejte, jak působí na světelný paprsek celofánové dvojlomné filtry, které způsobují interferenci. Vyzkoušejte vliv otáčení analyzátoru vůči polarizátoru a vliv otáčení dvojlomného filtru mezi zkříženými i rovnoběžnými polarizátory v bílém světle. Pozorováním zjistěte, které vlnové délky (barvy) se interferencí zvýrazní. Výsledky pozorování popište.
5. Pomocí dvou polarizačních filtrů, fotočlánků a barevných filtrů změřte měrnou otáčivost křemene s tloušťkou 1 mm pro 4 vlnové délky světla. Jakou závislost pozorujete mezi vlnovou délkou světla a měrnou otáčivostí? Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými. Jak se změní výsledek když použijete křemenný vzorek s větší tloušťkou? Diskutujte naměřené výsledky.

2 Pomůcky

Optická lavice, otočné černé zrcadlo, dva polarizační filtry, multimetr, otočný držák pro dvojlomný vzorek, čtvrtvlnná destička, světelný zdroj s matnicí, fotočlánek, čtyři celofánové dvojlomné filtry, čtyři barevné filtry a křemenný klín.

3 Teoretický úvod

3.1 Brewsterův úhel

Brewsterovým úhlem mezi dvěma prostředími se nazývá takový úhel, při kterém se světlo prošlé do druhého prostředí zcela polarizuje a má maximální intenzitu (v závislosti na úhlu). Jeho hodnotu udává vztah:

$$\tan(\theta_B) = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

kde θ_B značí velikost Brewsterova úhlu, n_1 index lomu prvního prostředí a n_2 index lomu druhého prostředí.

3.2 Malusův zákon

Prochází-li lineárně polarizované světlo optický prvkem schopným polarizace, pak se jeho intenzita po průchodu daným prvkem změní dle vztahu:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\varphi), \quad (2)$$

kde I značí intenzitu paprsku po opuštění optického prvku, I_0 intenzitu paprsku před kontaktem s optickým prvkem a φ velikost úhlu sevřeného polarizačními rovinami probíhajícího paprsku a optického prvku.

3.3 Určení stupně polarizace záření z jeho intenzity

Intenzita záření měřená pomalým přístrojem (přístroj, jehož rozlišovací doba je nižší než koherenční doba záření), se měří pomocí čtyř intenzit. Intenzitami v na sebe kolmých osách (získaných po průchodu záření lineárním polarizátorem) $\langle E_x^2 \rangle$, resp. $\langle E_y^2 \rangle_r$, intenzity na ose svírající s oběma předchozími osami úhel 45° $\langle E_x E_y \rangle_r$, kterou lze získat z intenzity po průchodu lineárním polarizátorem s osou svírající s osami předchozími úhel 45° $\langle \left(\frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}} \right)^2 \rangle_r$ pomocí vztahu^[1]:

$$\langle E_x E_y \rangle_r = \langle \left(\frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}} \right)^2 \rangle_r - \frac{1}{2} \langle E_x^2 \rangle_r - \frac{1}{2} \langle E_y^2 \rangle_r \quad (3)$$

a intenzitu kruhově zpolarizovaného záření $\langle E_x(\omega t - \pi/2) E_y(\omega t) \rangle_r$, které lze získat také pomocí vztahu (3), kde je $\langle E_x E_y \rangle_r$ nahrazeno $\langle E_x(\omega t - \pi/2) E_y(\omega t) \rangle_r$ a $\langle \left(\frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}} \right)^2 \rangle_r$ nahrazeno $\langle \left(\frac{E_x(\omega t - \pi/2) + E_y(\omega t)}{\sqrt{2}} \right)^2 \rangle_r$, kterou získáme po průchodu záření stejným lineárním polarizátorem jako u minulé intenzity a čtvrtvlnovou destičkou. r značí rozlišovací dobu přístroje, E_x elektrickou intenzitu v x-ové složce a E_y elektrickou intenzitu v y-ové složce.

Z těchto intenzit je poté možné určit Stokesovy parametry:

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

Ty dohromady tvoří Stokesův vektor $\vec{P} = (P_1, P_2, P_3)$, jehož velikost určuje stupeň polarizace záření, přičemž úplně polarizované světlo má velikost Stokesova vektoru rovnou 1 a úplně nepolarizované světlo 0. Částečně polarizované světlo spadá kamkoliv mezi ně.

3.4 Optická aktivita materiálu

Látky nazývané opticky aktivní mají takovou vlastnost, že prochází-li jimi lineárně polarizované světlo, pak dochází ke stočení roviny polarizace o úhel přímo úměrný tloušťce vrstvy daného materiálu. Koeficient této úměry se nazývá měrná otáčivost materiálu a její hodnotu lze experimentálně zjistit ze závislosti intenzity na změně úhlu v okolí maxima, pomocí fitu^[1]

$$y = A \cos^2(x + B) + C, \quad (5)$$

kde y je intenzita světla, x hodnota úhlu pootočení, A rotační disperze světla (běžně značená α), B počáteční fáze v maximu a C je konstantní posunutí vzniklé zářením generovaným z okolí. Vztah mezi rotační disperzí α a optickou aktivitou A je definovaný jako:

$$\alpha = \frac{A}{\lambda^2}, \quad (6)$$

kde λ je vlnová délka protékajícího světla.

4 Postup měření

Ještě před měřením si nejprve ověříme kolmost černého zrcadla při nastavení úhlu 0° tím, že na konce optické lavice umístíme tyčky s hrotem a vidlicí a nastavíme držák otočného zrcadla zaaretovaného na 0° tak, aby po pohledu skrz vidlici hrot a jeho obraz v zrcadle splynuli. Poté držák zaaretujeme.

4.1 Určování Brewsterova úhlu

Nejprve na optickou lavici s otočným černým zrcadlem a světelným zdrojem připevníme clonu, dva polarizační filtry (druhý sloužící jako analyzátor) a fotočlánek připojený na multimetr (takto seřazené ve směru od zrcadla ke konci lavice). Zapneme multimetr a světelný zdroj, nastavíme analyzátor na 0° a změříme multimetrem, nastaveným na rozsah 200 mV, intenzitu záření pro 8 různých úhlů nastavení černého zrcadla. Poté naměříme intenzitu i v nastaveních 45° a 90° pro ty samé úhly. Nakonec umístíme čtvrtvlnnou destičku mezi polarizační filtry a s analyzátozem v poloze 45° ještě jednou změříme intenzitu pro všech 8 úhlů.

4.2 Ověření Malusova zákona

Ze soustavy odstraníme clonu, čtvrtvlnnou destičku a analyzátor. Černé zrcadlo ponecháme v úhlu 45° . Znovu zapneme světelný zdroj a naměříme intenzitu světla bez analyzátoru. Poté analyzátor vrátíme na místo a měříme znovu pro 19 různých nastavení analyzátoru.

4.3 Zkoumání interferenčních vlastností celofánových filtrů

Mezi dva polarizátory umístíme držák s celofánovým dvojlomným filtrem. Pro čtyři různé filtry a ke každému z nich 5 různých nastavení analyzátoru pozorujeme změnu v propouštěné vlnové délce světla (barvě).

4.4 Měření optické aktivity křemene

Do držáku místo celofánového dvojlomného filtru umístíme 1 mm tlustý křemenný klínek a do matnice umístíme barevný filtr. Pozvolnou změnou úhlu analyzátoru přibližně určíme nastavení s nejvyšší intenzitou a naměříme konkrétní hodnoty pro konkrétních úhlů v jejím okolí. Proces opakujeme pro čtyři barevné filtry a nakonec s libovolným barevným filtrem a klínkem křemene o tloušťce 1,7 mm.

5 Naměřené hodnoty a vypracování

5.1 Domácí příprava

Odvození vztahu pro Brewsterův úhel je zobrazené na Obr. 8. Dosazením hodnot pro vzduch $n_v = 1,0006$ a sklo $n_s \in 1,5 - 1,9$ získáváme teoretickou hodnotu Brewsterova úhlu rozhraní vzduch-sklo $\theta_B \in (56,3; 62,2)^\circ$.

5.2 Určení Brewsterova úhlu

Naměřené hodnoty intenzit a intenzity z nich spočtené pomocí vztahu (3) jsou vypsané v Tab. 1. Z nich určené stokesovy parametry podle vztahu (4) a velikosti vektorů, které tyto parametry tvoří jsou následně v Tab. 2. Tyto velikosti jsou následně zobrazené v závislosti na úhlu černého zrcadla v Obr. 1 a proložené goniometrickým fitem $f(x) = (-8 \pm 4)\cos((34 \pm 8) + x)^2 + (4,2 \pm 0,8)$. Maximum tohoto fitu je hledaný Brewsterův úhel námi tedy určený jako $\theta_B = (56 \pm 9)^\circ$.

5.3 Ověření Malusova zákona

Naměřené hodnoty intenzity v závislosti na úhlu natočení analyzátoru proložené goniometrickým filtrem $f(x) = (43 \pm 1)\cos((-6 \pm 2) + x)^2 + (0 \pm 1)$ jsou zobrazené na Obr. 2. Naměřená intenzita bez analyzátoru byla $I_0 = (78,00 \pm 0,05)\text{mV}$.

5.4 Zkoumání působení dvojlomných filtrů

Pozorované barvy světla prošlého celofánovými dvojlomnými filtry jsou vypsané v Tab. 3.

5.5 Měření optické aktivity křemíku

Naměřené intenzity v závislosti na natočení analyzátoru pro červené světlo procházející 1 mm tlustým křemenným klínkem proložené goniometrickým fitem podle vztahu (5) je zobrazené na Obr. 3. Z něj získaná rotační disperze je $\alpha_1 = (-1,4 \pm 0,5)^\circ$ a z ní určená optická aktivita pomocí vztahu (6) $A_1 = (-6 \pm 2) \cdot 10^5 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$. Naměřené intenzity v závislosti na natočení analyzátoru pro oranžové světlo procházející 1 mm tlustým křemenným klínkem proložené goniometrickým fitem podle vztahu (5) je zobrazené na Obr. 4. Z něj získaná rotační disperze je $\alpha_2 = (0,8 \pm 0,5)^\circ$ a z ní určená optická aktivita pomocí vztahu (6) $A_2 = (3 \pm 2) \cdot 10^5 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$. Naměřené intenzity v závislosti na natočení analyzátoru pro zelené světlo procházející 1 mm tlustým křemenným klínkem proložené goniometrickým fitem podle vztahu (5) je zobrazené na Obr. 5. Z něj získaná rotační disperze je $\alpha_3 = (0,1 \pm 0,2)^\circ$ a z ní určená optická aktivita pomocí vztahu (6) $A_3 = (3 \pm 5) \cdot 10^4 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$. Naměřené intenzity v závislosti na natočení analyzátoru pro modré světlo procházející 1 mm tlustým křemenným klínkem proložené goniometrickým fitem podle vztahu (5) je zobrazené na Obr. 6. Z něj získaná rotační disperze je $\alpha_4 = (0,3 \pm 0,3)^\circ$ a z ní určená optická aktivita pomocí

vztahu (6) $A_4 = (7 \pm 7) \cdot 10^4 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$. Naměřené intenzity v závislosti na natočení analyzátoru pro modré světlo procházející 1,7 mm tlustým křemenným klínkem proložené goniometrickým fitem podle vztahu (5) je zobrazené na Obr. 7. Z něj získaná rotační disperze je $\alpha_5 = (0,9 \pm 0,4)^\circ$ a z ní určená optická aktivita pomocí vztahu (6) $A_5 = (2 \pm 1) \cdot 10^5 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$.

Průměrem hodnot s 1 mm klínkem získáme $\bar{A} = (3 \pm 4) \cdot 10^4 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$.

6 Diskuse

Celé měření bylo těžce ovlivněno nestálostí a nepřesností fotočlánku, jehož hodnoty silně kolísaly drasticky se změnili i po například lehkém štouchnutí do drátu propojujících ho s multimetrem a v některých případech ani neukazoval stejné rozmezí hodnot pro dvakrát provedené identické měření.

6.1 Určení Brewsterova úhlu

V tomto úkolu byl vliv nekonzistence fotočlánku asi nejsilnější, vzhledem k velkým skokům hodnot mezi různými nastaveními analyzátoru. Což následně vedlo k naměřeným velikostem Stokesova vektoru těžce převyšující 1 (což z jeho definice není možné). V rámci získání alespoň nějakého výsledku jsme tedy ve zpracování hodnot nehledali úhel dávající hodnotu co nejbližší 1, ale úhel dávající an měřeném úseku maximální velikost Stokesova vektoru. I přesto tyto drastické chyby se ale teoretická hodnota z domácí přípravy $\theta_{teo} \in (56,3; 62,2)^\circ$ s určenou experimentální hodnotou $\theta_{exp} = (56 \pm 9)^\circ$ se až překvapivě shodují.

6.2 Ověření Malusova zákona

Ověření platnosti Malusova zákona by se dalo prohlásit za poměrně úspěšné. Goniometrický fit naměřených hodnot odpovídá očekávanému tvaru a odchylky od něj jsou rozumně malé, o to spíše přihlédneme-li k nedůvěryhodnosti hodnot získávaných z fotočlánku. Jediný rozdíl od očekávaných hodnot je rozdíl intenzity bez analyzátoru a intenzity při nulovém rozdílu úhlů. Ten je ale způsobený tím, že námi používaný analyzátor je také polarizátor a ubírá proto sám o sobě na intenzitě prošlého záření nehledě na další jevy způsobené polarizací.

6.3 Zkoumání působení dvojlomných filtrů

Výsledky pozorovaných barev dopadly vcelku dle očekávání. Nejčastěji pozorované barvy byly různé odstíny zelené, jelikož lidské oko nejlépe zaznamenává zelenou barvu (jakožto střed jím pozorovaného spektra) a krajní body mívali červené, či fialové odstíny (barvy na krajích barevného spektra). Ve třetím měření se nám dokonce podařilo znovu pozorovat působení Malusova zákona, jelikož při určitém nastavení byla intenzita světla znatelná a pro úhly na něj kolmé byla minimální.

6.4 Měření optické aktivity křemíku

Toto měření bylo také těžce ovlivněno nepřesností fotočlánku, jehož ukazované hodnoty byly ještě navíc zkresleny celkovou nízkou intenzitou světla procházejícího dvěma polarizátory, křemenným klínkem a barevným filtrem, což vedlo k zesílení vlivu světla z okolí. Tyto všechny vlivy vedly k nízké informační hodnotě naměřených výsledků jejichž chyby často stoupali na stejný řád hodnot jako samotná hodnota. Vlivem toho ani jejich goniometrické fity neměly příliš přesvědčivé výsledky, kde jedna ze získaných optických aktivit klesla těžce pod nulu, zatímco všechny ostatní byly nad nulou. S těmito všemi informacemi lze bezpečně říci, že získané konečné pro klínky obou tloušťek jsou přinejmenším neprůkazné.

7 Závěr

Vytvořili jsme polarizované světlo jak odrazem, tak polarizátorem, tak dvojlomem. Určili jsme Brewsterův úhel úplné polarizace rozhraní vzduch-sklo jakožto $\theta_B = (56 \pm 8)^\circ$. Ověřili jsme platnost Malusova zákona, prozkoumali působení dvojlomných celofánových filtrů na lineárně polarizované záření a určili optickou aktivitu 1 mm tlustého křemenného klínku jako $A = (3 \pm 4) \cdot 10^4 \frac{^\circ}{\text{nm}^2}$.

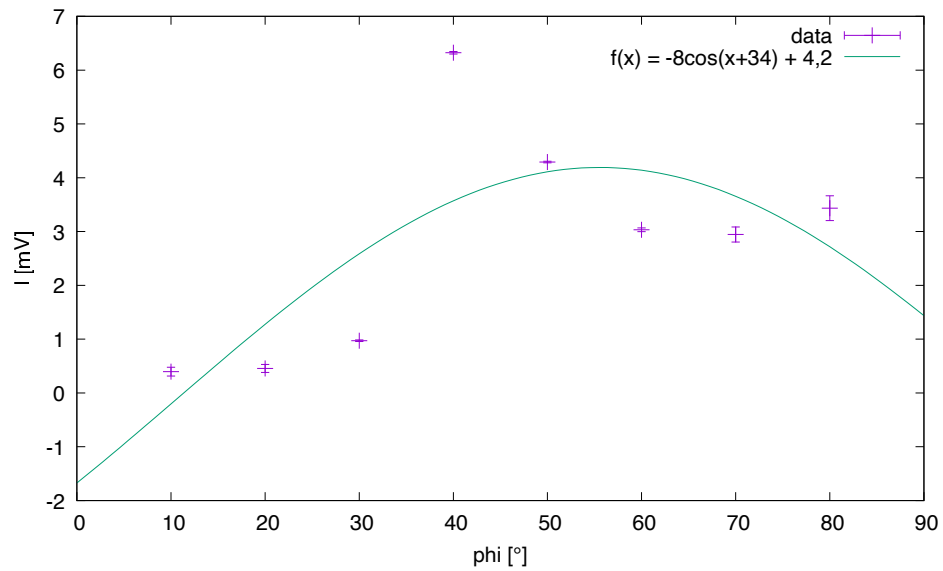
Literatura

1. Návod k úloze 9 předmětu Fyzikální praktikum 2 [1.3.2022]
<https://moodle-vyuka.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=156663>

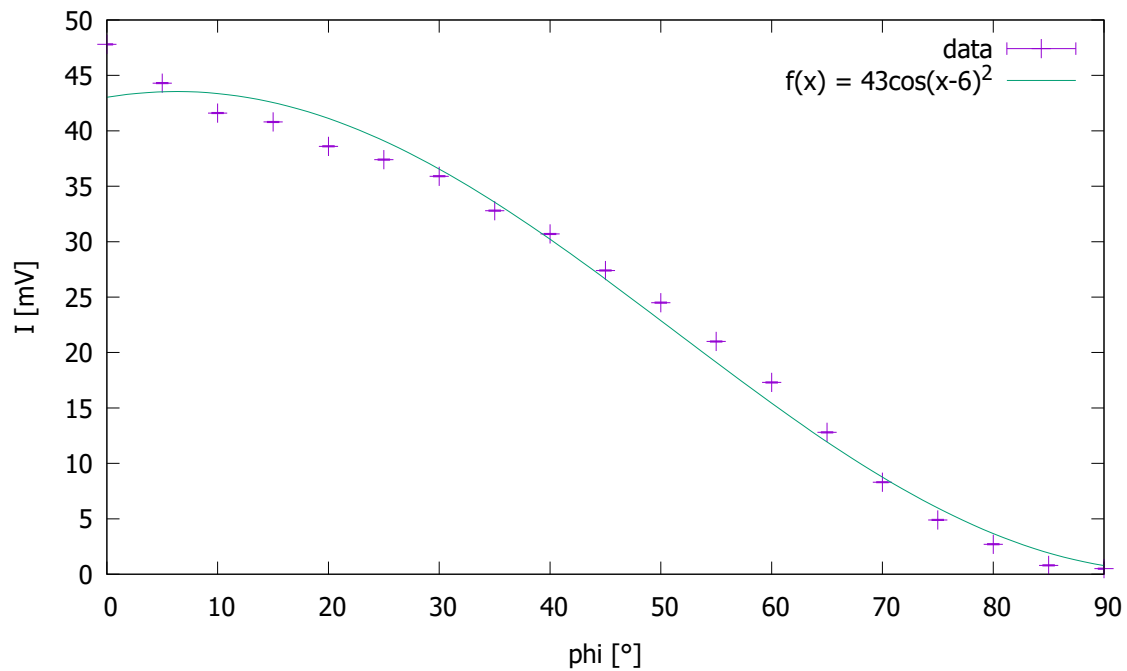
Přílohy

φ [°]	$\langle E_x^2 \rangle$ [mV]	$\langle E_y^2 \rangle$ [mV]	$\langle (\frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}})^2 \rangle$ [mV]	$\langle (\frac{E_x(\omega t - \pi/2) + E_y}{\sqrt{2}})^2 \rangle$ [mV]	$\langle E_x E_y \rangle$ [mV]	$\langle E_x(\omega t - \pi/2) \rangle$ [mV]
$10 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,05$	$-0,05 \pm 0,05$	$-0,15 \pm 0,05$
$20 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$	$-0,05 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,05$
$30 \pm 0,05$	$5,30 \pm 0,05$	$1,30 \pm 0,05$	$2,10 \pm 0,05$	$5,50 \pm 0,05$	$-1,20 \pm 0,05$	$2,20 \pm 0,05$
$40 \pm 0,05$	$12,00 \pm 0,05$	$4,50 \pm 0,05$	$30,00 \pm 0,05$	$55,50 \pm 0,05$	$21,75 \pm 0,05$	$47,25 \pm 0,05$
$50 \pm 0,05$	$14,00 \pm 0,05$	$3,90 \pm 0,05$	$26,00 \pm 0,05$	$43,00 \pm 0,05$	$17,05 \pm 0,05$	$34,05 \pm 0,05$
$60 \pm 0,05$	$4,80 \pm 0,05$	$1,40 \pm 0,05$	$12,00 \pm 0,05$	$5,60 \pm 0,05$	$8,90 \pm 0,05$	$2,50 \pm 0,05$
$70 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,05$	$3,10 \pm 0,05$	$1,30 \pm 0,05$	$2,30 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$
$80 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,05$	$2,40 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$	$1,85 \pm 0,05$	$0,35 \pm 0,05$

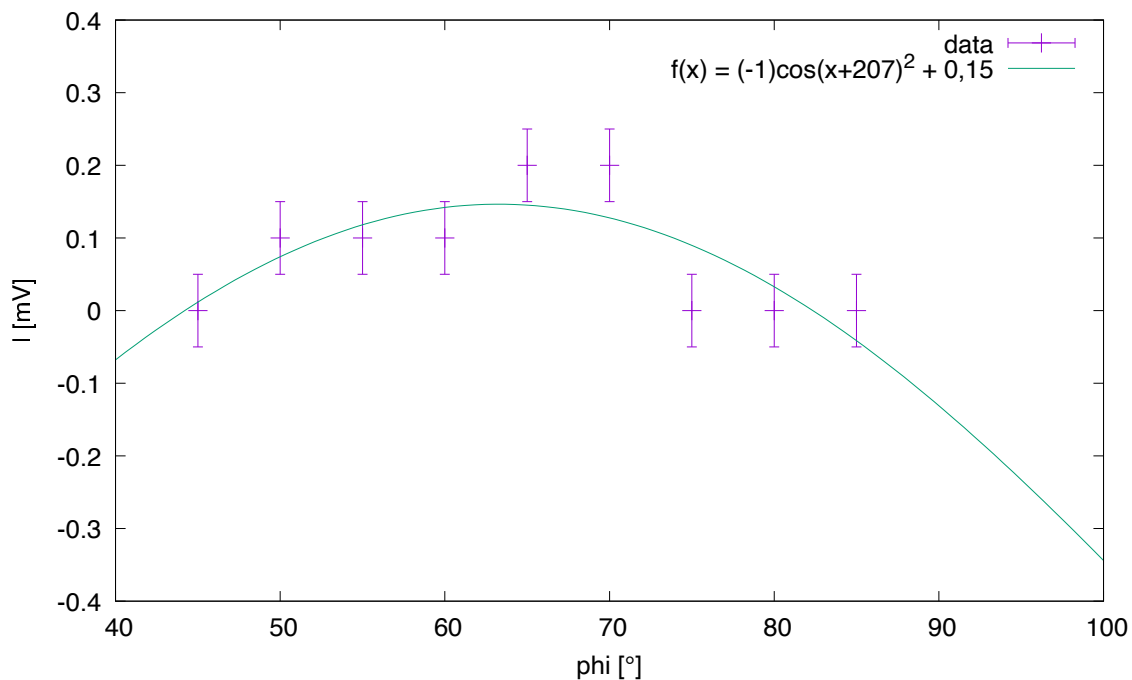
Tab. 1: Tabulka naměřených intenzit při různém úhlu φ černého zrcadla v úkolu 2 $\langle E_x^2 \rangle$, $\langle E_y^2 \rangle$, $\langle (\frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}})^2 \rangle$ a $\langle (\frac{E_x(\omega t - \pi/2) + E_y}{\sqrt{2}})^2 \rangle$ a hodnoty intenzit z nich získaných pomocí vztahu (3) $\langle E_x E_y \rangle$ a $\langle E_x(\omega t - \pi/2) E_y \rangle$.



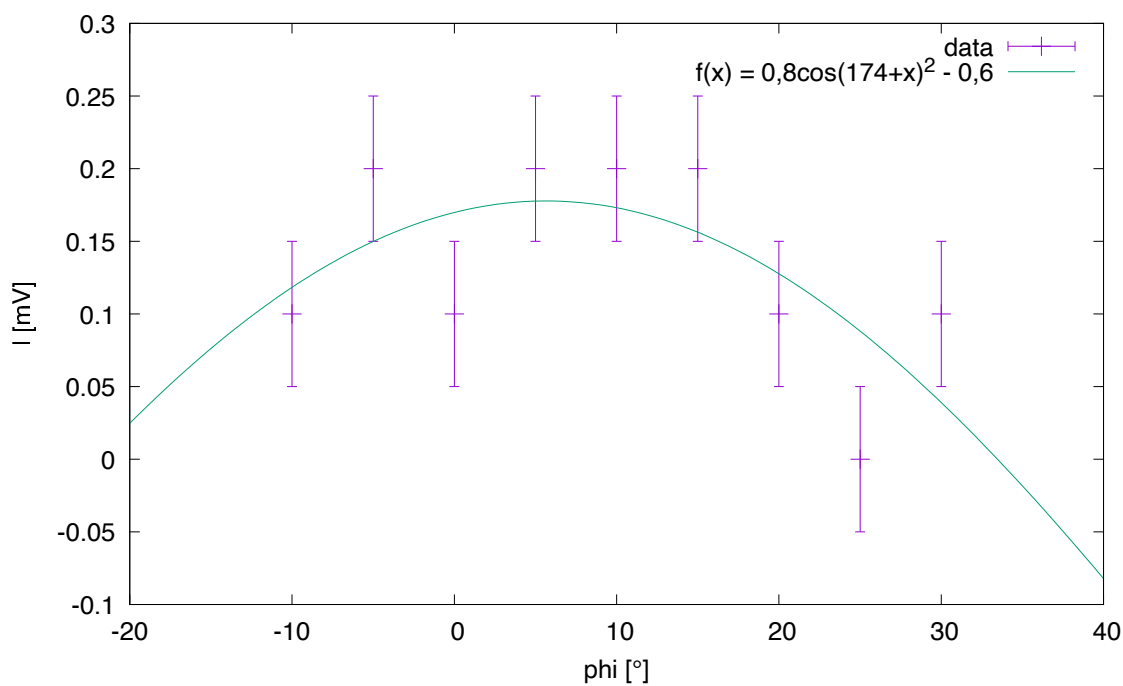
Obr. 1: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ v úkolu 2 a jejich goniometrický fit $f(x) = (-8 \pm 4)\cos((34 \pm 8) + x)^2 + (4,2 \pm 0,8)$.



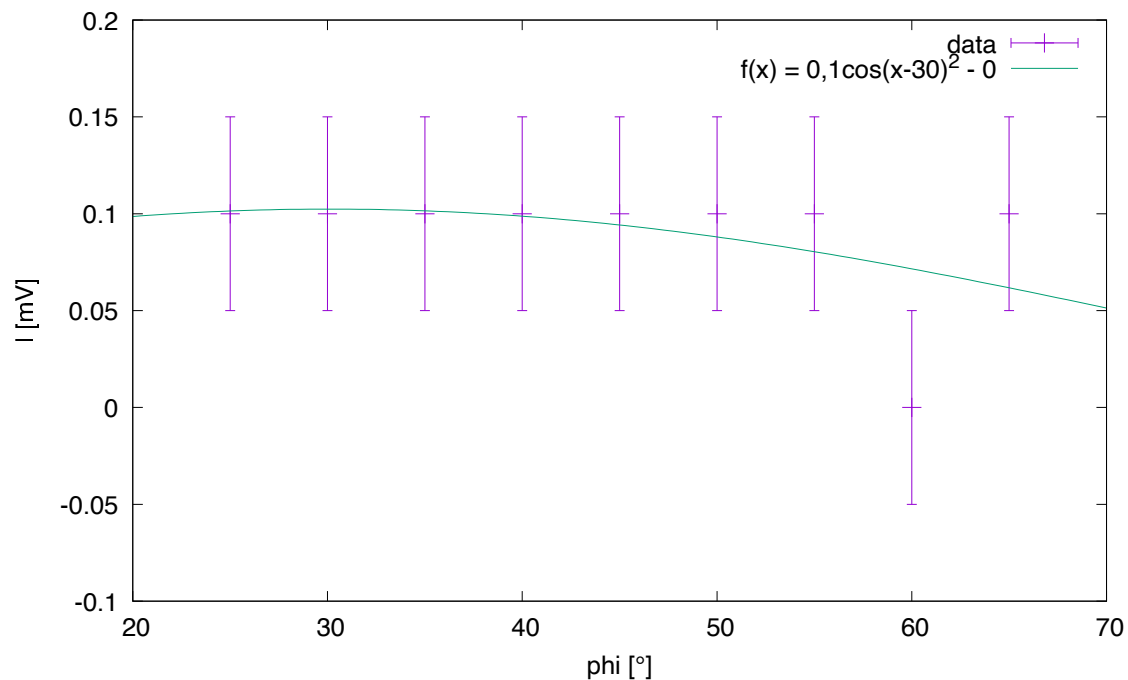
Obr. 2: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ v úkolu 3 a jejich goniometrický fit $f(x) = (43 \pm 1)\cos((-6 \pm 2) + x)^2 + (0 \pm 1)$.



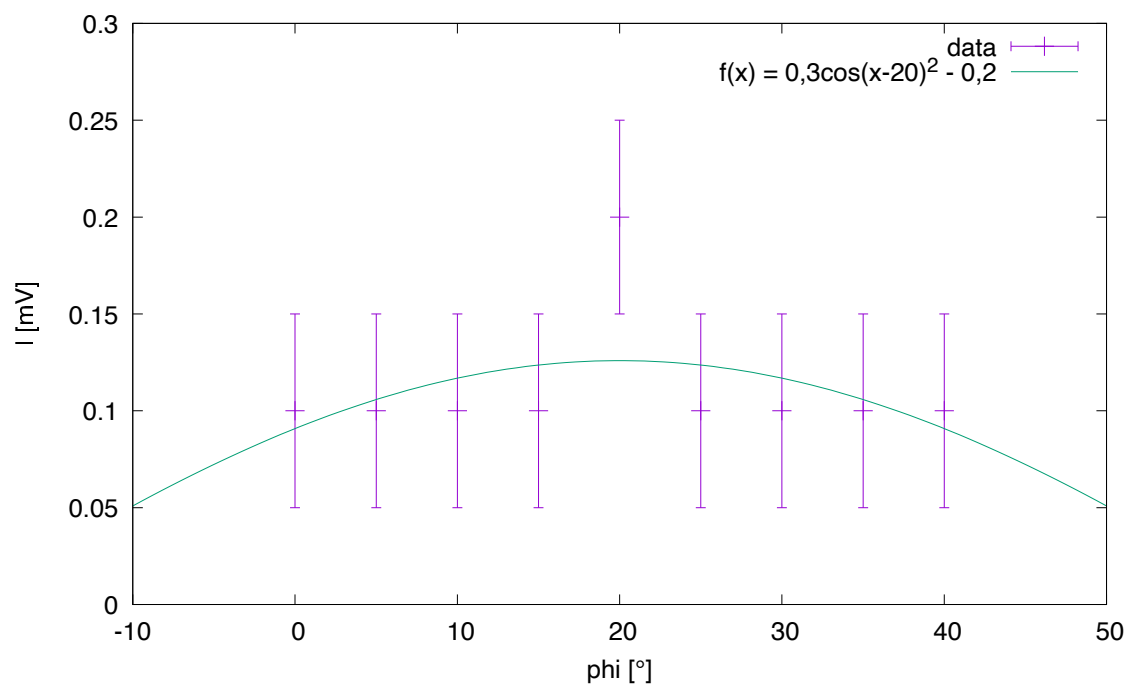
Obr. 3: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ s červeným filtrem v úhlu 5 a jejich goniometrický fit $f(x) = (-1,4 \pm 0,5)\cos((206 \pm 2) + x) + (0,15 \pm 0,03)$.



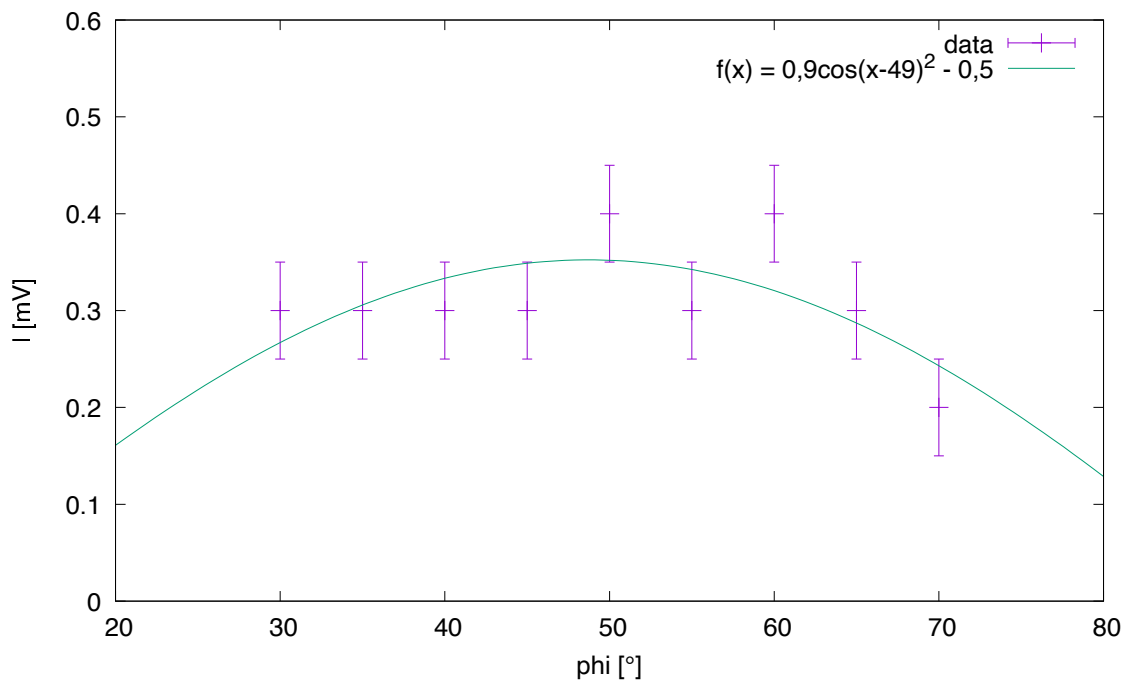
Obr. 4: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ s oranžovým filtrem v úhlu 5 a jejich goniometrický fit $f(x) = (0,8 \pm 0,5)\cos((174 \pm 4) + x) + (-0,6 \pm 0,5)$.



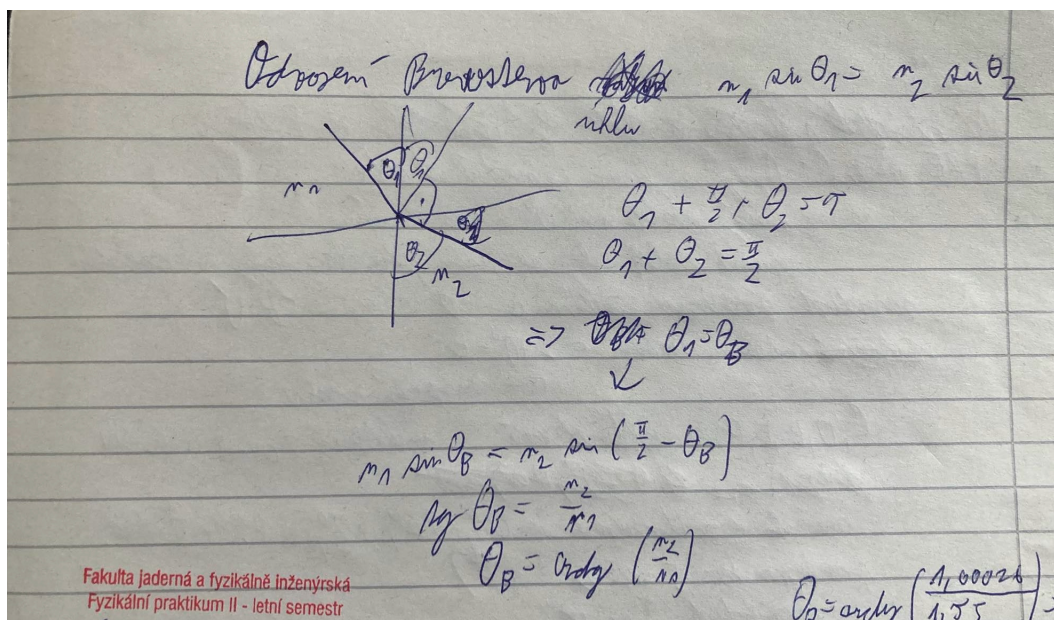
Obr. 5: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ se zeleno-tyrkysovým filtrem v úkolu 5 a jejich goniometrický fit $f(x) = (0,1 \pm 0,2)\cos((-30 \pm 30) + x) + (-0,0 \pm 0,2)$.



Obr. 6: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ s modrým filtrem v úkolu 5 a jejich goniometrický fit $f(x) = (0,3 \pm 0,3)\cos((-20 \pm 5) + x) + (-0,2 \pm 0,3)$.



Obr. 7: Graf naměřených intenzit I v závislosti na úhlu analyzátoru φ s modrým filtrem a křemíkovým klínkem tloušťky 1,7 mm v úkolu 6 a jejich goniometrický fit $f(x) = (0,9 \pm 0,4)\cos((-49 \pm 3) + x) + (-0,5 \pm 0,4)$.



Obr. 8: Odvození vztahu pro Brewsterův úhel kompletní polarizace v domácí přípravě (úkolu 1).

φ [°]	P_1 []	P_2 []	P_3 []	$ \vec{P} $ []
10	$0,27 \pm 0,07$	$-0,09 \pm 0,09$	$-0,27 \pm 0,09$	$0,39 \pm 0,08$
20	$0,23 \pm 0,06$	$-0,08 \pm 0,08$	$0,38 \pm 0,08$	$0,46 \pm 0,07$
30	$0,61 \pm 0,01$	$-0,36 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,02$
40	$0,455 \pm 0,005$	$2,63 \pm 0,01$	$5,73 \pm 0,03$	$6,32 \pm 0,02$
50	$0,564 \pm 0,005$	$1,905 \pm 0,009$	$3,80 \pm 0,02$	$4,29 \pm 0,01$
60	$0,55 \pm 0,01$	$2,87 \pm 0,04$	$0,81 \pm 0,02$	$3,03 \pm 0,03$
70	$0,13 \pm 0,04$	$2,9 \pm 0,1$	$0,63 \pm 0,07$	$2,9 \pm 0,1$
80	$0,27 \pm 0,07$	$3,4 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,1$	$3,4 \pm 0,2$

Tab. 2: Hodnoty Stokesových parametrů P_1 , P_2 a P_3 podle úhlu φ černého zrcadla určené podle vztahu (4) a velikost vektoru P , který tyto parametry tvoří.

1. filtr		2. filtr		3. filtr		4. filtr	
φ [°]	barvy	φ [°]	barvy	φ [°]	barvy	φ [°]	barvy
-90°	zelená+červená	-90°	žádná	-90°	purpurová	-90°	oranžová
-45°	zelená	-45°	slabá zelená	-45°	žlutá	-45°	slabá zelená
0°	zelená	0°	jasná zelená	0°	zelená	0°	jasná zelená
45°	žlutá	45°	slabá zelená	45°	zelená+modrá	45°	růžová
90°	červená	90°	žádná	90°	fialová	90°	červená

Tab. 3: Zápis pozorovaných změn barvy záření prošlého jednotlivými celofánovými filtry a analyzátozem pootočeným o φ v úhlu 4.