

# 1 Úkol

1. Sestavte aparaturu pro sledování příčného elektrooptického jevu v pevném vzorku. Laser umístěte tak, aby byl zdroj světla polarizován kolmo k vodorovné rovině. (Předem najděte směr snadného průchodu polarizátorů používaných v aparatuře).
2. Změřte závislost intenzity světla dopadající na detektor na napětí přiloženém na elektrody vzorku (nepřekračujte 1kV !). Zpracujte graficky.
3. Ze směrnice závislosti fázového posunu mezi řádným a mimořádným paprskem na čtverci přiloženého napětí určete Kerrovu konstantu vzorku. Určete půlvlnné napětí.
4. Diskutujte vliv nepřesnosti parametrů  $d$  a  $l$  na výsledky měření. Zvažte vhodnou oblast pro fitování výsledků.
5. Změřte závislost fázového posunu na napětí na elektrodách za pomoci proměnné polohy analyzátoru.

## 2 Teorie

### 2.1 Brewsterův úhel

Při dopadu paprsku na opticky hustší prostředí pod úhlem  $\theta_B$ , který splňuje rovnici

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

dochází k polarizaci odrazem. Odražený paprsek je polarizován v rovině kolmé na rovinu dopadu. Detaily naleznete v [3].

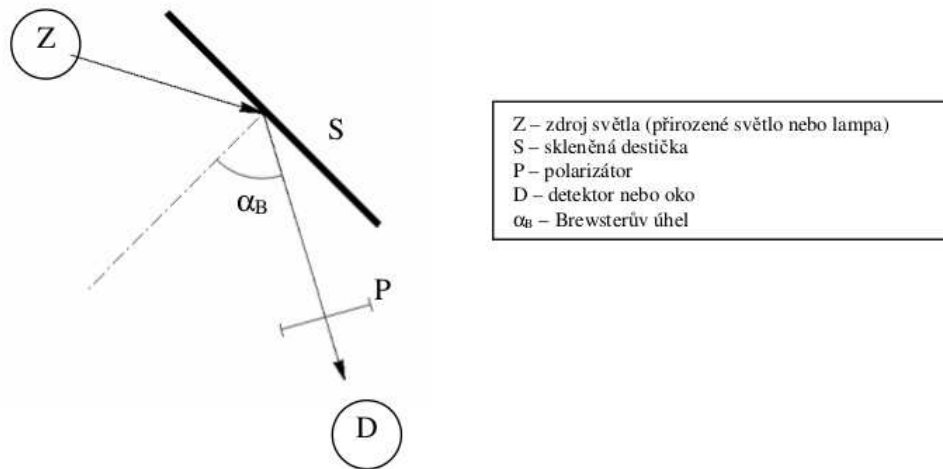
### 2.2 Kerrův jev v pevné látce

Kerrův jev je ve zkratce posun roviny polarizovaného světla po průchodu látkou. Tento jev je závislý na mimo rozměrů látky na čtverci elektrické intenzity uvnitř. Přesný vztah pro fázový posun je

$$\Delta = 2\pi K l E^2, \quad (2)$$

kde  $K$  je Kerrova konstanta,  $l$  délka vzorku a  $E$  elektrická intenzita. Při použití pole vytvořeným za pomoci napětí přivedeném na elektrody ve vzorku, které jsou od sebe ve vzdálenosti  $d$  pro intenzitu světla prošlým zkříženými polarizačními filtry mezi kterými je vzorek platí

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\pi K l U^2}{d^2}. \quad (3)$$



Obrázek 1: Schéma pro polarizaci odrazem

Tento vztah se dá upravit na

$$U^2 = \frac{d^2}{\pi K l} \arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}, \quad (4)$$

který je dále používán pro určení Kerrovy konstanty, kdy se dopočítá ze směrnice závislosti kvadrátu napětí na fázovém posunu.

## 3 Měření

### 3.1 Stanovení směru snadného průchodu polarizátoru

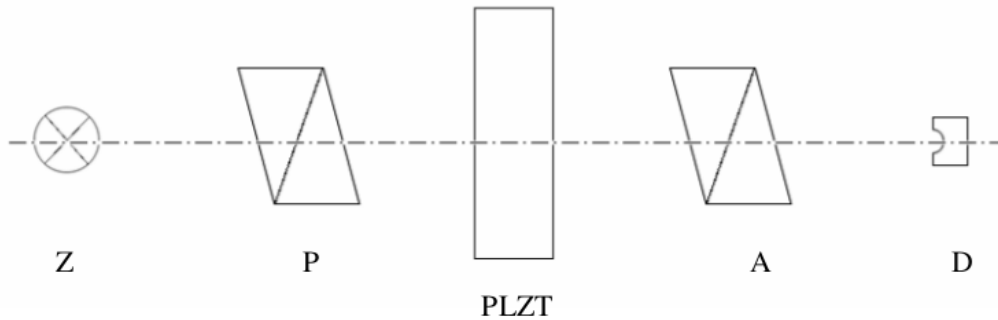
Sestavil jsem aparaturu dle obrázku 1. Pro skleněnou destičku jsem bral index lomu  $n = 1.5$ . Z toho plyne dle 1, že

$$\alpha_B = 56.3^\circ. \quad (5)$$

Minimum intenzity světla byla u obou polarizátorů v okolí nuly. Vzhledem k mělkosti tohoto minima a subjektivnosti oka nejsem schopen stanovit přesnou hodnotu. Minimum mělo šířku přibližně  $3^\circ$ .

### 3.2 Aparatura

Aparatura je sestavena dle 2, přičemž za zdrojem světla je navíc umístěn přerušovač svazku, který byl po celou dobu měření otevřený. Za detektorem byl navíc umístěn fotonásobič, jehož výstupní hodnota po příslušném zesílení (dále značeno  $Z$ ) byla odečítána na



Obrázek 2: Schéma aparatury pro měření Kerrova jevu

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I/RJ$ | 0.34 | 0.34 | 0.33 | 0.34 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.34 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Tabulka 1: Intenzita na detektoru bez zdroje světla.

voltmetru ( $U_{det}$ ). Relativní intenzita bude dále stanovena z této hodnoty dle vztahu

$$I = Z_0 U_{det} / Z, \quad (6)$$

kde  $Z_0 = 100$ , což byla hodnota zesílení použitá pro většinu měření. Použití jiného zesílení bude dále zdůrazněno. Její jednotka bude značena RJ. Chyba intenzity je určena z nejistoty voltmetru, která byla  $\pm(0.2\% + 3d)$  Polarizátory byly umístěny do stojanů tak, aby odraz od přední strany dopadal do roviny paprsku kolmé na svislý směr polarizace. Odraz byl lehce pod zdrojem světla. Takto byla zajištěna kolmost polarizátoru. Vzorek PLZT byl umístěn ve vlastním držáku, ve kterém již byl natočen o úhel  $45^\circ$ . Velikost vzorku byla menší než šířka laserového svazku. Proto byl mezi dělič a polarizátor umístěn filt, který svazek zúžil. Přesto však byly znatelné odrazy od držáku vzorku.

### 3.3 Intenzita na detektoru bez zdroje světla

Vzhledem k tomu že úloha nebyla v zatemněné místnosti jsem nejprve určil hodnotu pro nulovou intenzitu ze zdroje světla. Bez zatemnění oken jsem přibližně v intervalu 30 sekund naměřil hodnoty shrnuté v tabulce 1. V rámci měření jsem simuloval pohyb lidí po místnosti různým stíněním světla jdoucího především z okna.

Z těchto hodnot jsem stanovil statistickou hodnotu pro nulovou intenzitu

$$I_{00} = (0.33 \pm 0.03)RJ \quad (7)$$

Stejně měření jsem také provedl při zatemnění místnosti. Za tmy byla nulová hodnota stabilně na hodnotě

$$I_{t00} = (0.27 \pm 0.03)RJ \quad (8)$$

| P/° | A/° | I/RJ |
|-----|-----|------|
| -90 | 0   | 0.27 |
| 0   | 90  | 0.27 |
| 0   | -90 | 0.28 |
| 90  | 90  | 0.42 |
| 90  | 0   | 0.27 |

Tabulka 2: Intenzity bez vzorku pro různé polohy polarizátoru (P) a analyzátoru (A).

### 3.4 Svislost polarizace zdroje světla

Při různých polohách polarizátoru a analyzátoru jsem za tmy měřil intenzity bez přítomnosti vzorku, abych určil, zda z laseru vychází především svisle polarizované světlo. Hodnoty jsou shrnuty v tabulce 2, přičemž při nastavení obou filtrů na 0° byla hodnota na detektoru mimo rozsah. Při měření jsem zároveň ověřoval účinnost zkřížení filtrů.

### 3.5 Závislost intenzity prošlého světla na příčném napětí

Nyní jsem zkřížil polarizační filtry a v závislosti na napětí mezi elektrodami vzorku ( $U_{vz}$ ) jsem odečítal intenzitu na detektoru. Vzhledem k relaxační době vzorku jsem volil různé doby odečtení intenzity po nastavení napětí. Tato doba byla 30 respektive 60 sekund na změnu napětí o 50 V, přičemž výsledky jsou v tabulkách 3 a 4. Nakonec vždy změřím opět hodnotu pro nulové napětí, abych ověřil, zda nedošlo k poškození vzorku nebo nějaké hrubé změně na aparatuře.

### 3.6 Kerrova konstanta

Na naměřené hodnoty jsem se pokusil nafitovat závislost uvedenou v rovnici 3. Tuto křivku jsem posunul o  $I_{00}$ . Dále jsem vzal v potaz, že hodnoty do 500 V neodpovídají teoretické závislosti. Ani při této korekci se programu gnuplot nepodařilo nafitovat odpovídající křivku. Nakonec jsem zkusil, že se vzorek při nízkých napětích vůbec nechová dle teorie a celou závislost jsem posunul doprava. Tak vznikly křivky na obrázcích 3 a 4. Výsledné křivky mají předpisy

$$I(U) = (4.00 \pm 0.06) \sin^2 \left( (U - (400 \pm 7))^2 \frac{\pi(4.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} 1.4 \cdot 10^{-6}}{(1.5 \cdot 10^{-3})^2} \right) - 0.335 \quad (9)$$

$$I(U) = (4.30 \pm 0.02) \sin^2 \left( (U - (390 \pm 3))^2 \frac{\pi(4.12 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} 1.4 \cdot 10^{-6}}{(1.5 \cdot 10^{-3})^2} \right) - 0.335 \quad (10)$$

Z nich se snadno odečte Kerrova konstanta

$$K_{30} = (4.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (11)$$

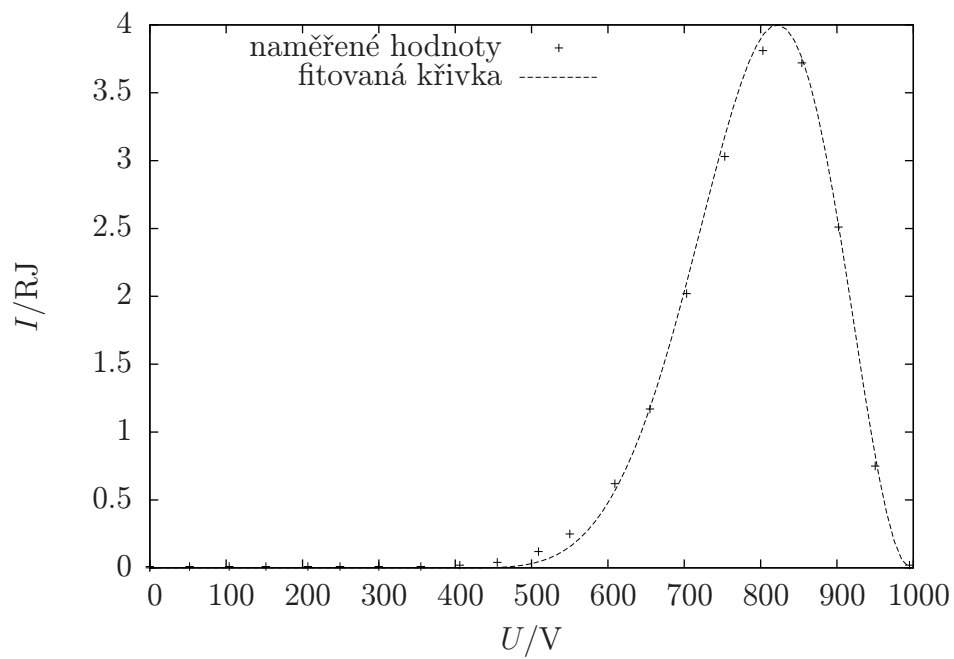
$$K_{60} = (4.12 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (12)$$

| $U_{vz}/V$  | $I/RJ$          |
|-------------|-----------------|
| $0 \pm 2$   | $0.33 \pm 0.03$ |
| $52 \pm 2$  | $0.34 \pm 0.03$ |
| $104 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $152 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $207 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $249 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $300 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $355 \pm 2$ | $0.34 \pm 0.03$ |
| $406 \pm 2$ | $0.35 \pm 0.03$ |
| $455 \pm 2$ | $0.37 \pm 0.03$ |
| $509 \pm 2$ | $0.45 \pm 0.03$ |
| $550 \pm 2$ | $0.58 \pm 0.03$ |
| $609 \pm 2$ | $0.95 \pm 0.03$ |
| $655 \pm 2$ | $1.50 \pm 0.03$ |
| $703 \pm 2$ | $2.35 \pm 0.03$ |
| $753 \pm 2$ | $3.36 \pm 0.03$ |
| $803 \pm 2$ | $4.14 \pm 0.03$ |
| $854 \pm 2$ | $4.05 \pm 0.03$ |
| $902 \pm 2$ | $2.84 \pm 0.03$ |
| $950 \pm 2$ | $1.08 \pm 0.03$ |
| $995 \pm 2$ | $0.35 \pm 0.03$ |
| $0 \pm 2$   | $0.34 \pm 0.03$ |

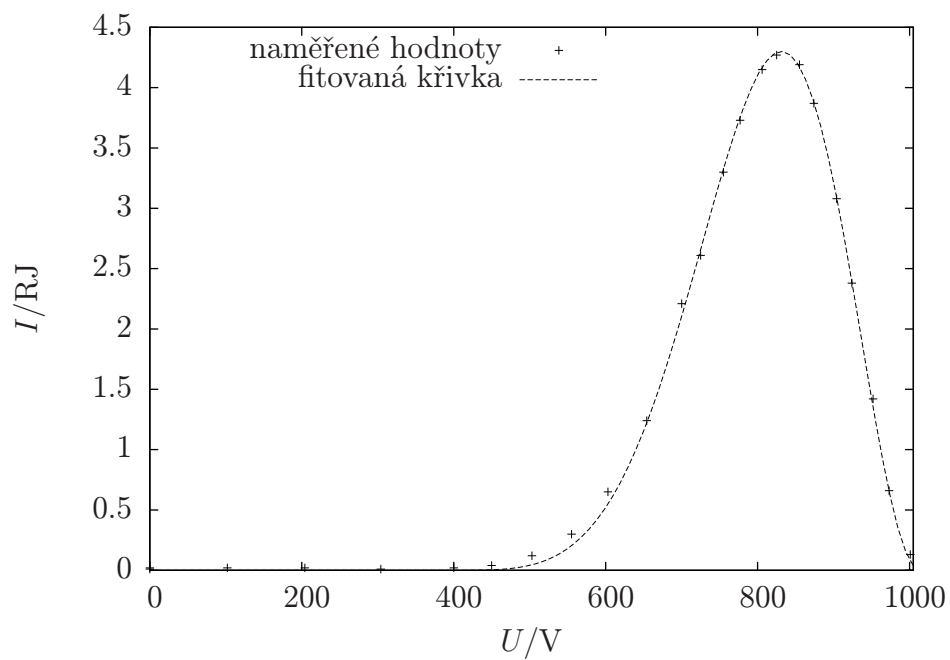
Tabulka 3: Intenzita na detektoru v závislosti na napětí na vzorku při relaxační době 30 s/50 V.

| $U_{vz}/\text{V}$ | $I/\text{RJ}$   |
|-------------------|-----------------|
| $0 \pm 2$         | $0.35 \pm 0.03$ |
| $102 \pm 2$       | $0.35 \pm 0.03$ |
| $204 \pm 2$       | $0.35 \pm 0.03$ |
| $304 \pm 2$       | $0.34 \pm 0.03$ |
| $400 \pm 2$       | $0.35 \pm 0.03$ |
| $450 \pm 2$       | $0.37 \pm 0.03$ |
| $503 \pm 2$       | $0.45 \pm 0.03$ |
| $555 \pm 2$       | $0.63 \pm 0.03$ |
| $603 \pm 2$       | $0.98 \pm 0.03$ |
| $654 \pm 2$       | $1.57 \pm 0.03$ |
| $700 \pm 2$       | $2.54 \pm 0.03$ |
| $725 \pm 2$       | $2.94 \pm 0.03$ |
| $755 \pm 2$       | $7.63 \pm 0.03$ |
| $777 \pm 2$       | $4.06 \pm 0.03$ |
| $806 \pm 2$       | $4.48 \pm 0.03$ |
| $825 \pm 2$       | $4.60 \pm 0.03$ |
| $855 \pm 2$       | $4.52 \pm 0.03$ |
| $874 \pm 2$       | $4.20 \pm 0.03$ |
| $904 \pm 2$       | $3.41 \pm 0.03$ |
| $924 \pm 2$       | $2.71 \pm 0.03$ |
| $952 \pm 2$       | $1.75 \pm 0.03$ |
| $973 \pm 2$       | $0.99 \pm 0.03$ |
| $1001 \pm 2$      | $0.46 \pm 0.03$ |

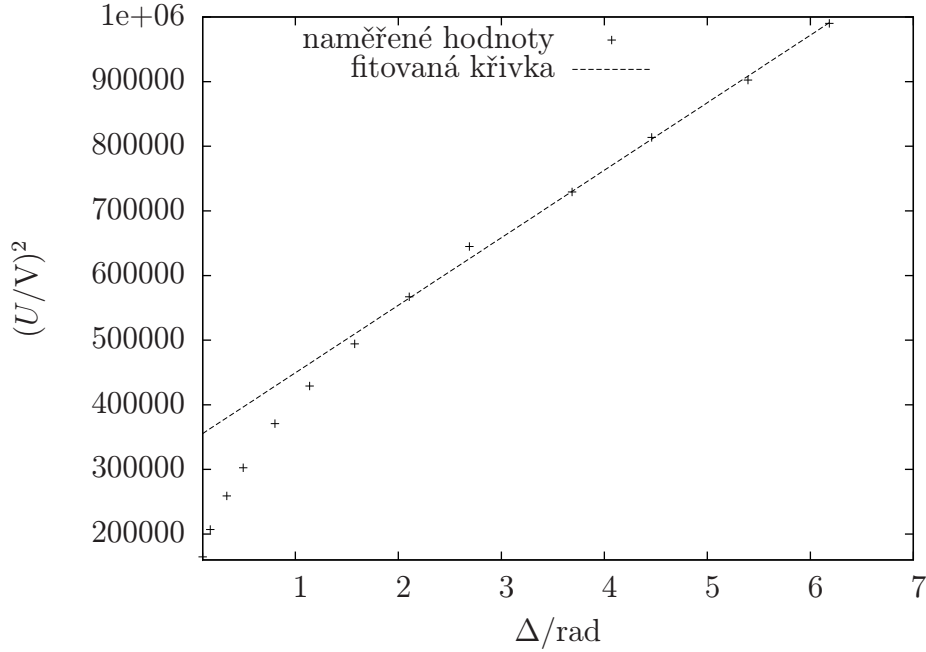
Tabulka 4: Intenzita na detektoru v závislosti na napětí na vzorku při relaxační době 60 s/50 V.



Obrázek 3: Graf závislosti intenzity na napětí pro relaxační dobu 30 s.



Obrázek 4: Graf závislosti intenzity na napětí pro relaxační dobu 60 s.



Obrázek 5: Graf závislosti čtverce napětí na posunutí fáze pro relaxační dobu 30 s.

Jako druhou metou pro zjištění Kerrovy konstanty jsem použil vynesení čtverce napětí na fázovém posunutí. Obrázky 5 a 6. Kerrova konstanta se dá zle vzorce 4 dopočítat ze směrnice této závislosti. Při fitování křivky na tyto hodnoty jsem opět počítal s tím, že vzorek na nízká napětí nereagoval a proto se nechoval dle teoretické závislosti. Z fitu lze víciš, že toto napětí se pohybovalo až kolem hodnoty 550 V. Nafitované křivky pro první respektive druhé měření naleznete pod rovnicemi 13 resp 15. Dopočítaná Kerrova konstanta je rovnice 14 resp 16.

$$U^2(\Delta) = (104500 \pm 2700)\Delta + (345000 \pm 11000)V^2 \quad (13)$$

$$K_{30b} = (4.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (14)$$

$$U^2(\Delta) = (113900 \pm 1900)\Delta + (329000 \pm 7000)V^2 \quad (15)$$

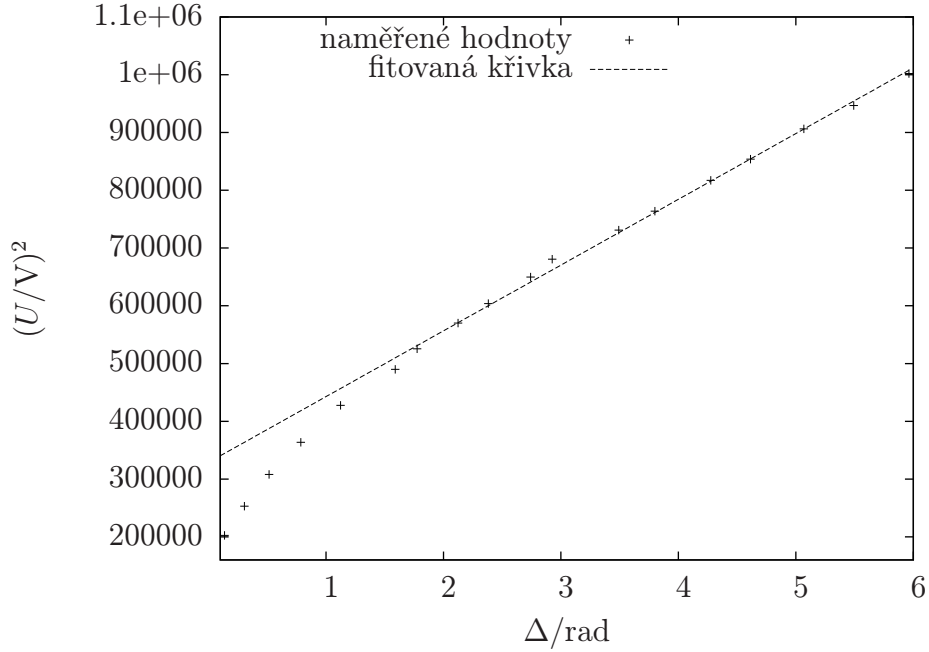
$$K_{60b} = (3.65 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (16)$$

Pokud rovnici 15 odmocníme a dosadíme fázový posun  $\Delta = 2\pi$ , získáme hodnotu půlvlnného napětí. Tato hodnota je

$$U_{\lambda/2} = 1020 \pm 20V \quad (17)$$

Fázový posun jsem se také pokusil zjistit za pomoci změny nastavení analyzátoru. Pro jednotlivá napětí na elektrodách jsem vždy hledal minimum intenzity na detektoru. Fázový posun jsem získal posunem naměření hodnoty o  $90^\circ$  a následným vynásobením dvěma. Výsledky jsem následně zpracoval stejným postupem jako v minulém případě. První měření





Obrázek 6: Graf závislosti čtverce napětí na posunutí fáze pro relaxační dobu 60 s.

bylo pouze orientační. Začal jsem až na hodnotě 300 V. Doba mezi odečítáním hodnot nebyla nijak určená a lišila se podle toho, jak úspěšně se mi dařilo neléz minimum. Chyba u polohy analyzátoru je odhadnuta ze šířky minima. Výsledky jsou v tabulce 5. Zpracovaný graf je na obrázku 7. Dopočtená Kerrova konstanta stanovená z tohoto měření je

$$K_{5a} = (3.6 \pm 0.6) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (18)$$

Další měření jsem prováděl o něco hustěji. Také jsem se snažil držet pravidelnější interval mezi odečítáním hodnot. Pozice minim jsem navíc zpřesňoval použitím většího zesílení. Neměřené hodnoty jsou v tabulce 6, zpracovaný graf na obrázku 8 a dopočtená Kerrova konstanta je

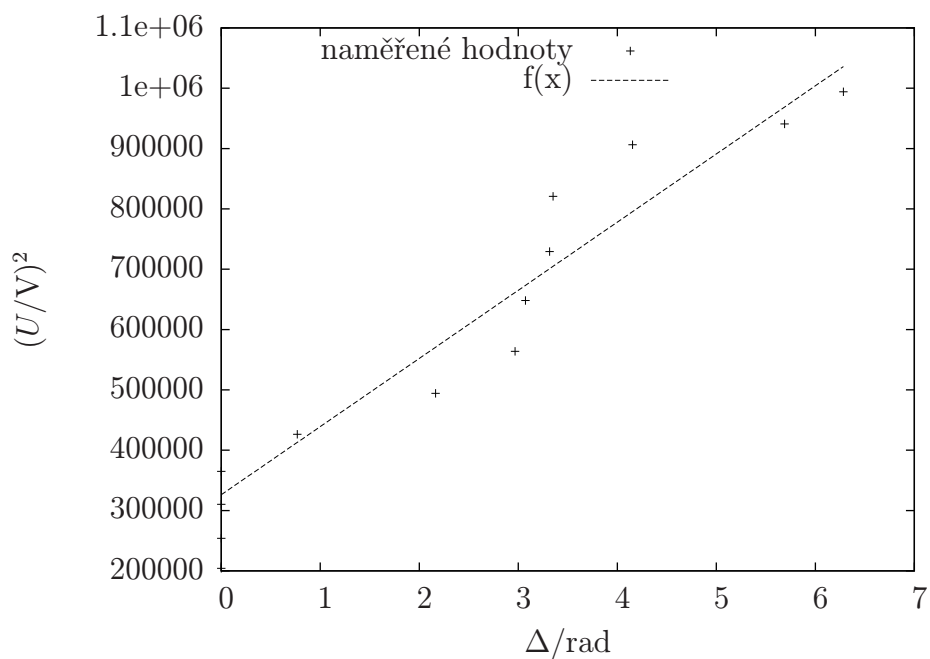
$$K_{5b} = (3.0 \pm 0.4) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (19)$$

Poslední měření proběhlo při zatemněných oknech, abych vyloučil vliv okolního světla na výsledky. Při měření jsem si povšiml přítomnosti více minim. V tabulce 7 jsou uvedena všechna. V grafu 9 pouzla ta, která by měla odpovídat pozorovanému jevu. Dypočítaná Kerrova je

$$K_{5c} = (3.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (20)$$

| $U_{vz} \text{ V}$ | $A/^\circ$  |
|--------------------|-------------|
| $312 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $400 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $452 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $504 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $557 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $604 \pm 2$        | $-90 \pm 4$ |
| $653 \pm 2$        | $-68 \pm 4$ |
| $703 \pm 2$        | $-28 \pm 4$ |
| $751 \pm 2$        | $-5 \pm 4$  |
| $805 \pm 2$        | $-2 \pm 4$  |
| $854 \pm 2$        | $5 \pm 4$   |
| $906 \pm 2$        | $6 \pm 4$   |
| $952 \pm 2$        | $29 \pm 4$  |
| $970 \pm 2$        | $79 \pm 4$  |
| $997 \pm 2$        | $90 \pm 4$  |

Tabulka 5: Polohy analyzátoru při minimální intenzitě na detektoru pro první měření.



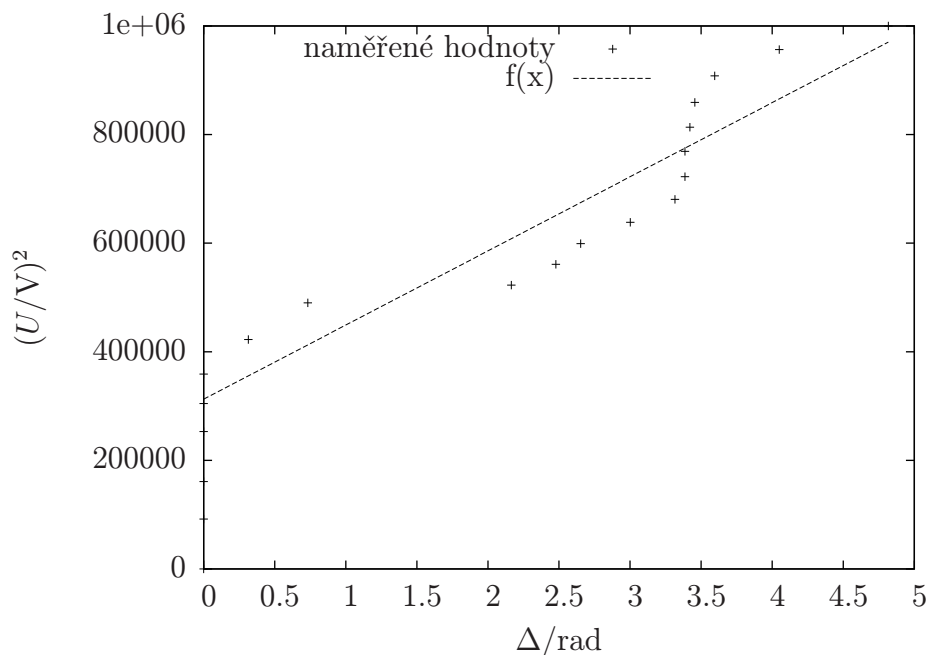
Obrázek 7: Graf závislosti čtverce napětí na posunutí fáze pro první měření za pomoci analyzátoru.

|              | $Z = 100$   |                 | $Z = 1000$  |                   |
|--------------|-------------|-----------------|-------------|-------------------|
| $U_{vz}V$    | $A/^\circ$  | $I/RJ$          | $A/^\circ$  | $I/RJ$            |
| $0 \pm 2$    | $-90 \pm 4$ | $0.33 \pm 0.03$ |             |                   |
| $303 \pm 2$  | $-90 \pm 4$ | $0.33 \pm 0.03$ |             |                   |
| $401 \pm 2$  | $-90 \pm 4$ | $0.34 \pm 0.03$ |             |                   |
| $503 \pm 2$  | $-90 \pm 4$ | $0.41 \pm 0.03$ |             |                   |
| $552 \pm 2$  | $-90 \pm 4$ | $0.51 \pm 0.03$ |             |                   |
| $599 \pm 2$  | $-90 \pm 4$ | $0.75 \pm 0.03$ | $-90 \pm 4$ | $0.501 \pm 0.003$ |
| $650 \pm 2$  | $-80 \pm 4$ | $1.28 \pm 0.03$ | $-81 \pm 4$ | $1.002 \pm 0.003$ |
| $700 \pm 2$  | $-69 \pm 4$ | $1.66 \pm 0.03$ |             |                   |
| $723 \pm 2$  | $-28 \pm 4$ | $1.67 \pm 0.03$ |             |                   |
| $749 \pm 2$  | $-19 \pm 4$ | $1.54 \pm 0.03$ |             |                   |
| $774 \pm 2$  | $-13 \pm 4$ | $1.20 \pm 0.03$ | $-14 \pm 2$ | $0.900 \pm 0.003$ |
| $799 \pm 2$  | $-3 \pm 4$  | $0.89 \pm 0.03$ | $-4 \pm 2$  | $0.605 \pm 0.003$ |
| $825 \pm 2$  | $3 \pm 4$   | $0.60 \pm 0.03$ | $5 \pm 2$   | $0.335 \pm 0.003$ |
| $850 \pm 2$  | $7 \pm 4$   | $0.43 \pm 0.03$ | $7 \pm 2$   | $0.162 \pm 0.003$ |
| $877 \pm 2$  | $9 \pm 4$   | $0.37 \pm 0.03$ | $7 \pm 2$   | $0.118 \pm 0.003$ |
| $902 \pm 2$  | $8 \pm 4$   | $0.50 \pm 0.03$ | $8 \pm 2$   | $0.293 \pm 0.003$ |
| $927 \pm 2$  | $8 \pm 4$   | $0.77 \pm 0.03$ | $9 \pm 2$   | $0.573 \pm 0.003$ |
| $953 \pm 2$  | $13 \pm 4$  | $1.34 \pm 0.03$ |             |                   |
| $978 \pm 2$  | $26 \pm 4$  | $1.89 \pm 0.03$ |             |                   |
| $1000 \pm 2$ | $48 \pm 4$  | $1.95 \pm 0.03$ |             |                   |

Tabulka 6: Polohy analyzátoru při minimální intenzitě na detektoru pro druhé měření.

|             | $Z = 100$               |                                 | $Z = 1000$  |                   |
|-------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------|
| $U_{vz}V$   | $A/^\circ$              | $I/RJ$                          | $A/^\circ$  | $I/RJ$            |
| $0 \pm 2$   | $-90 \pm 4$             | $0.28 \pm 0.03$                 |             |                   |
| $454 \pm 2$ | $-90 \pm 4$             | $0.39 \pm 0.03$                 |             |                   |
| $503 \pm 2$ | $-88 \pm 4$             | $0.45 \pm 0.03$                 |             |                   |
| $550 \pm 2$ | $-90 \pm 4$             | $0.59 \pm 0.03$                 | $-89 \pm 2$ | $0.321 \pm 0.003$ |
| $600 \pm 2$ | $-87 \pm 4$             | $0.80 \pm 0.03$                 | $-88 \pm 4$ | $0.546 \pm 0.003$ |
| $654 \pm 2$ | $-72 \pm 4   -86 \pm 4$ | $1.50 \pm 0.03   1.25 \pm 0.03$ | $-73 \pm 4$ | $1.220 \pm 0.003$ |
| $700 \pm 2$ | $-47 \pm 4   -87 \pm 4$ | $1.75 \pm 0.03   1.67 \pm 0.03$ |             |                   |
| $750 \pm 2$ | $-38 \pm 4$             | $1.75 \pm 0.03$                 |             |                   |
| $800 \pm 2$ | $-16 \pm 4   -4 \pm 4$  | $1.02 \pm 0.03   0.95 \pm 0.03$ |             |                   |
| $856 \pm 2$ | $-4 \pm 4$              | $0.47 \pm 0.03$                 | $-8 \pm 2$  | $0.195 \pm 0.003$ |
| $903 \pm 2$ | $6 \pm 4$               | $0.34 \pm 0.03$                 | $5 \pm 2$   | $0.102 \pm 0.003$ |
| $950 \pm 2$ | $13 \pm 4$              | $0.76 \pm 0.03$                 | $13 \pm 2$  | $0.642 \pm 0.003$ |

Tabulka 7: Polohy analyzátoru při minimální intenzitě na detektoru pro třetí měření.



Obrázek 8: Graf závislosti čtverce napětí na posunutí fáze pro druhé měření za pomoci analyzátoru.

## 4 Diskuze

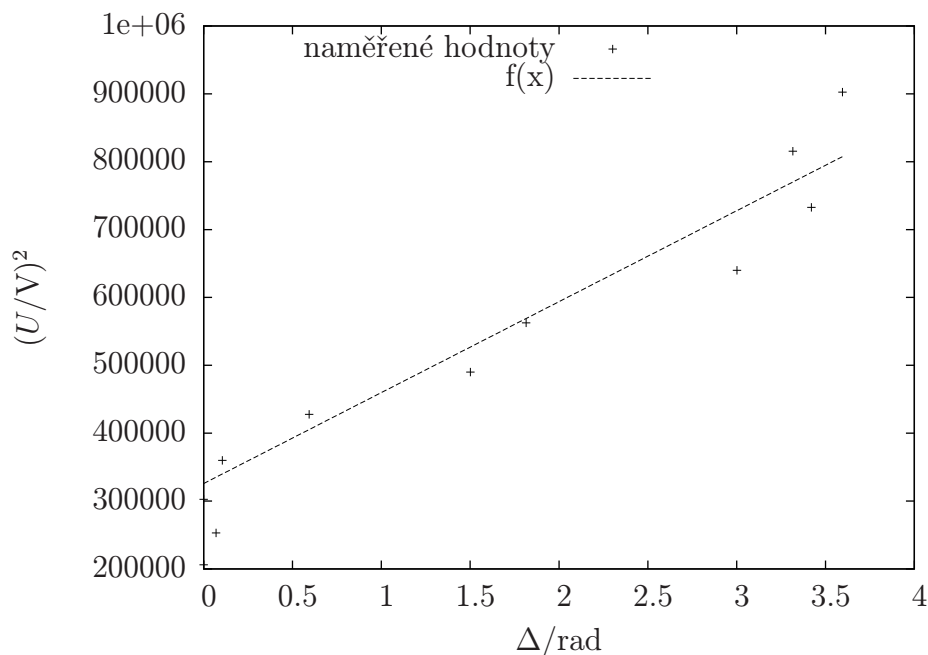
### 4.1 Vliv vnějšího světla

Po proměření intenzit pro různé světelné podmínky v místnosti, konkrétně intenzita světla z oken, vnitřní osvětlení, stínění osob v místnosti, jsem dospěl k názoru, že pro měření není potřeba zatemněná místnost. Posunutí nulové hodnoty intenzity bylo způsobeno polohou nastavenou na fotonásobiči. Rozdíl mezi zatemněnou místností byl v rámci chyby určení intenzity. Jako poslední jsem pozoroval vliv lampičky u vedlejšího stolu při zatemněné místosti, kdy se intenzita na detektoru po jejím rozsvícení vůbec nezměnila.

### 4.2 Poloha polarizačních filtrů

Při zjišťování snadného směru průchodu polarizátoru jsem uvedl, že nepřesnost byla okolo  $3^\circ$ . Celé rozložení však mělo poněkud improvizovaný charakter. Filtr nebyl umístěný v držáku, úhel sklíčka byl nastaven pouze přibližně a zdrojem světla byla lampa, která se ne příliš lehce nastavovala do kýžené polohy. Proto si myslím, že nulová poloha polarizačního filtru byla mnohem přesnější, než je uvedeno výše.

Z tohoto důvodu jsem považoval zkřížení polarizátorů téměř bez chyby, čemuž odpovídalo i pozorování při různých polohách filtrů.



Obrázek 9: Graf závislosti čtverce napětí na posunutí fáze pro třetí měření za pomoci analyzátoru.

## 4.3 Kerrova konstanta určená za pomoci intenzity při zkřížených polarizátorech

### 4.3.1 Fitování na závislost intenzity na napětí

Jak bylo uvedeno výše, abych dospěl k fitu, který odpovídá naměřeným hodnotám a jeho chyba je nižší než 20 %, musel jsem do teoretické závislosti přidat faktor, který by odpovídal tomu, že vzorek vůbec nereaguje na malá napětí. U tohoto fitování byla hodnota tohoto posunu určena spíše zkusmo tak, aby fit měl co nejmenší chybu, protože program gnuplot si tuto hodnotu sám neposunul. Druhé měření se potom ukázalo o něco přesnější. Při relaxační době 30 s totiž bylo mnohdy vidět, že se velikost intenzity má stále tendenci měnit, především při poklesu z maxima. K ustálení většinou docházelo okolo 45 s. Dále značně pomohlo zkrácení kroku.

### 4.3.2 Fit na závislost kvadrátu na fázovém posunu

Tento fit byl mnohem lepší z hlediska přesnosti určení napětí, od kdy přibližně začíná vzorek reagovat, protože gnuplot mnohem lépe pracoval s lineární funkcí, kde byly pouze dvě volné konstanty. Jediný problém nastal u výpočtu fázového posunu, kdy jsem zvolil maximum jako hodnotu určenou z předešlého fitu. Vypočítaná Kerrova konstanta následně vyšla o něco menší a považuji je za něco přesnější, ač mají stejnou chybu, jako ty určené

předchozí metodou.

#### 4.4 Kerrova konstanta určena z fázového posunu určeného za pomoci analyzátoru

Tato metoda se zpracovávala stejně jako ta uvedená výše, což bylo dobré z hlediska fitu. Problém byl však s přesným určením fázového posunu. Během měření se objevili jevy které mohli mít vliv i na předchozí měření. První problém byl při určení minima intenzity. Toto minimum totiž bylo velmi mělké. Rozptýl jsem odhadl pro menší zesílení na  $4^\circ$ . Větší zesílení bylo asi dvakrát přesnější. Další problém byl spoždění hodnoty na voltmetru. Tento jev se dal upravovat integrační dobou fotonásobiče. Zkoušel jsem použít větší hodnotu (3 s), abych vyloučil fluktuace intenzity, ale to i při posunu analyzátoru vždy po 3 sekundách lokalizace minima nepomohlo. Časovou konstantu jsem proto nakonec použil co nejmenší. Obtíže také nastali, když jsem minimum přejel a začal se vracet. Intenzita mnohdy při pohybu na druhou stranu poskočila. Podobný jev nastal při zastavení a opětovném posunu analyzátoru. Dále jsem zaznamenal více minim pro stejnou hodnotu napětí na vzorku. Při bližším zkoumání tohoto jevu jsem si povšiml, že jsou některá z těchto minim nezávislá na nastaveném napětí. Nejvýraznější bylo u  $0^\circ$  a  $90^\circ$  na analyzátoru. Z tohoto důvodu bylo měření v okolí těchto bodů obtížnější, protože tato minima se překrývala s minimy způsobenými Kerrovým jevem. Předpokládám, že tento problém vznikl následkem různých odrazů. Nejvýraznější vznikl na držáku vzorkum jehož obraz byl pozorovatelný jako výrazná šmouha na polarizátoru.

Výsledky získané touto metodou se v rámci chyby téměř schodují s výsledky první metody. Nižší hodnota Kerrovy konstanty je pravděpodobna způsobena delší dobou odečítání úhlu z analyzátoru. Celková chyba je však kvůli jevům uvedeným výše o řád vyšší.

#### 4.5 Vliv nepřesnosti parametrů $d$ a $l$

Parametry  $d$  a  $l$  byly zadány bez jakékoliv chyby. Proto tato chyba nemohl být započítána do výsledků a je brána za zanedbatelnou. Abych tak mohl bez potíží učinit, musí být relativní chyba o řád nižší než nejvyšší nepřesnost vyskytující se ve vzorcích. Vzhledem k výskytu  $d$  ve druhé mocnině musí být její relativní chyba ještě menší. Veličinou k porovnání je zpravidla naměřená intenzita. Její chyba se pohybuje v řádu procent. To by znamenalo měřit  $l$  s přesností na mikrometry a lépe, v případě  $d$  spíše desetiny mikrometrů. Tato přesnost je za použití například mikroskopu dosažitelná, avšak u parametrů není uveden ani způsob jejich určení. Za předpokladu, že jsou parametry určeny s přesností na jejich poslední platnou číslici by chyba byla o řád vyšší.

### 5 Závěr

Sestavil jsem aparaturu pro měření Kerrova jevu v pevné látce. Změřil jsem závislost intenzity světla dopadajícího na detektor na napětí přiloženém na

elektrody vzorku. Data jsou v tabulkách 3 a 4. Grafické zpracování je na obrázcích 3 a 4. Za pomoci fitů na závislost intenzity na napětí a závislosti kvadrátu napětí na fázovém posunu jsem stanovil Kerrovu konstantu

$$K_{30} = (4.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (21)$$

$$K_{60} = (4.12 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (22)$$

$$K_{30b} = (4.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (23)$$

$$K_{60b} = (3.65 \pm 0.06) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (24)$$

Vypočetl jsem půlnné napětí

$$U_{\lambda/2} = 1020 \pm 20 \text{V} \quad (25)$$

Diskutoval jsem vliv nepřesnoti zadaných parametrů na přesnost výsledků.

Změřil jsem závislost fázového posunu na napětí na vzorku za pomoci proměnné polohy analyzátoru. Výsledky jednotlivých měření jsou v tabulkách 5, 6 a 7. Grafy závislotí jsou na obrázcích 7, 8 a 9.

Dopočetné Kerrovy konstanty jsou

$$K_{5a} = (3.6 \pm 0.6) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (26)$$

$$K_{5b} = (3.0 \pm 0.4) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (27)$$

$$K_{5c} = (3.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-9} \text{m/V}^2 \quad (28)$$

## Reference

- [1] **Studijní text na praktikum III**  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_327.htm](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_327.htm) (24. 3. 2012)
- [2] *J. Englisch: Zpracování výsldeků fyzikálních měření*  
 LS 1999/2000
- [3] *prof. RNDr. Petr Malý , DrSc.: Optika*  
 Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum 2008, první vydání