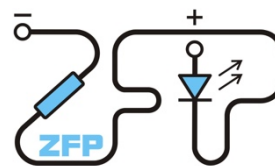


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. 27

Název úlohy: Kerrův jev

Jméno: **Jan Hrabovský**

Obor: FOF

Datum měření: 27.2.2018

Datum odevzdání: 7.3.2018

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	
<b>Celkem</b>	max. 20	

# Kerrův jev v pevné látce

Základní fyzikální praktikum (Fyzikální praktikum III. OF)

---

Vypracoval: Jan Hrabovský

UKČO: 61088176

Datum měření: 27.2.2018

---

## Experimentální podmínky:

Tlak: 989,9 hPa

Teplota: 23,8 °C

Vlhkost: 20,5 °C

## Pracovní úkoly:

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 dopadajícího na detektor na napětí přiloženém na elektrody vzorku. Zpracujte graficky, určete půlvlonné napětí.
3. Ze směrnice závislosti fázového posunu mezi řádným a mimořádným paprskem na čtverci přiloženého napětí určete Kerrovu konstantu vzorku

## Teoretická část:

Jako Kerrův jev je nazýván vznik umělého dvojlomu působením elektrostatického pole v původně izotropní látce. Je řazen mezi tzv. elektrooptické jevy.

K měření se využívá lineárně polarizované světlo, které prochází příslušným optickým materiálem, který při přiloženém vnějším napětí mění své izotropní optické vlastnosti na anizotropní. Homogenní elektrická polarizace je uzpůsobena tak, aby svírala s rovinou polarizace procházejícího světla úhel 45°. Vlivem přiloženého napětí dojde k rozdělení světelného svazku na svazek řádný a svazek mimořádný, v našem případě na svazek rovnoběžný a svazek kolmý na elektrické pole v materiálu.

Vyvolaná anizotropie má za následek, že oba svazky se v látce šíří rozdílnou rychlostí, čímž je zapříčiněna následná změna lineární polarizace na polarizaci eliptickou při opuštění objemu vzorku. Tento svazek pak následně prochází skrze analyzátor (orientován o 90° vůči polarizátoru) a dopadá na detektor. Experimentální uspořádání je zobrazeno na Obr 1.

V případě půlvlonového fázového rozdílu mezi dvěma světelnými vlnami dochází k superpozici těchto dvou vln a výsledná vlna je opět lineárně polarizovaná, která je potočena o 90° vůči směru polarizace vstupujícího světla a tedy dochází k detekci maxima intenzity na detektoru. Napětí potřebné k dosažení tohoto maxima se následně označuje jako půlvlonné napětí.

Fázový posun ve vzorku lze následně vyjádřit jako  $(1)$ , kde je vztažen k druhé mocnině intenzity elektrického pole  $E$  při známé délce optického prostředí, kterým paprsek prochází. Intenzitu pole lze dále vyjádřit pomocí napětí  $U$ , které bylo přivedeno na elektrody při známé vzdálenosti těchto elektrod  $d$ . Symbol  $K$  následně reprezentuje Kerrovu konstantu.

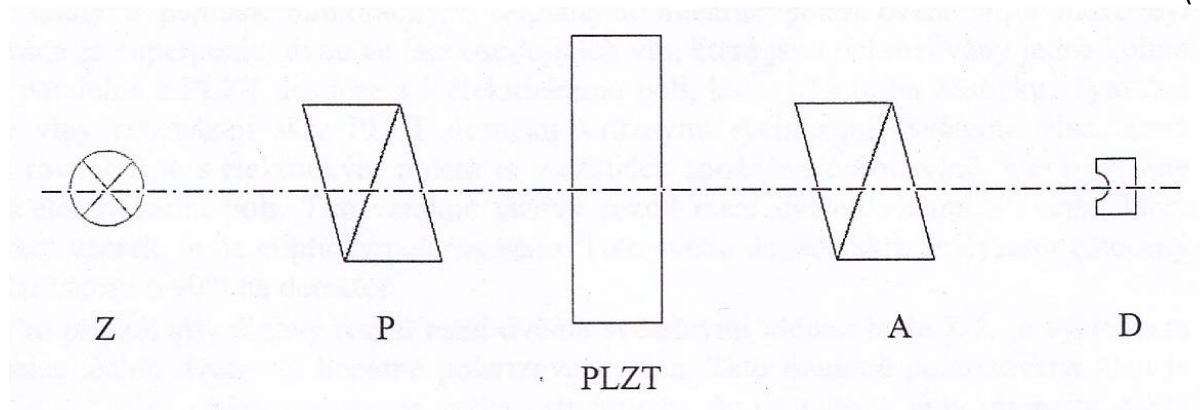
$$\Delta = 2\pi KlE^2 = 2\pi Kl\left(\frac{U}{d}\right)^2 \quad (1)$$

Světelná intenzita zachycená při použitém experimentálním uspořádání na detektoru je dána vztahem

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi KlU^2}{d^2}\right) \quad (2)$$

Kde  $I_0$  je naměřená intenzita při shodné orientaci obou polarizátorů a nulovém přiloženém napětí. Vztah může být následně upraven do podoby (3), ze které lze zjistit ze směrnice Kerrovu konstantu po vynesení příslušné závislosti kvadrátu napětí na fázovém posunu.

$$U^2 = \frac{d^2}{\pi Kl} \arcsin\left(\sqrt{\frac{I}{I_0}}\right) = \frac{d^2}{2\pi Kl} \Delta \quad (3)$$



**Obr.1.** Experimentální uspořádání

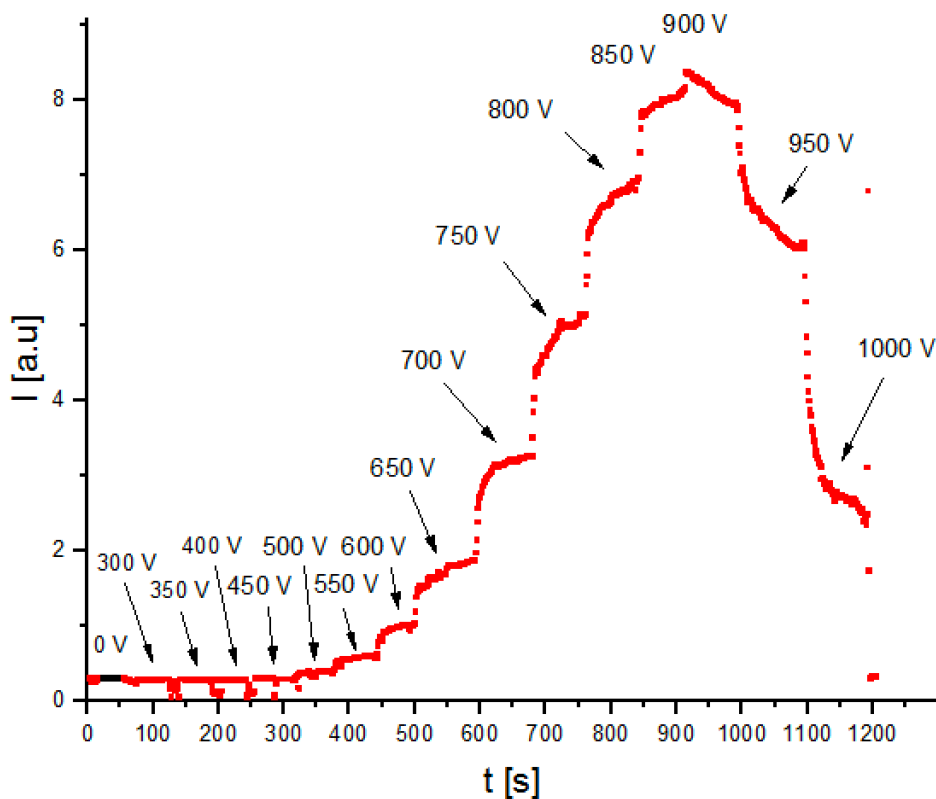
### Výsledky měření:

Na začátku laboratorní úlohy byly zjištěny okolní laboratorní podmínky a příslušné parametry aparatury, které byly následně použity při výpočtech. Udané rozměry analyzovaného vzorku byly dle přiložených informací zjištěny jako  $d = 1,4$  mm a  $l = 1,5$  mm. U těchto hodnot nebyly uvedeny údaje o jejich přesnosti. Okolní tlak byl odečten jako 989,9 hPa, teplota 23,8 °C a vlhkost 20,5 %.

V první fázi byla dle předloženého návodu seřízena soustava polarizátor – analyzátor tak, aby jejich polarizační směry byly navzájem kolmé a polarizátor byl nastaven ve vertikální poloze za redukováným výstupem laseru. Směr snadného průchodu byl nastaven za využití znalosti Brewsterova úhlu.

V další fázi byla sestavena celková aparatura a zjištěna hodnota  $I_0$ , pro souhlasnou orientaci polarizátoru i analyzátoru při nulovém přiloženém napětí. Tato hodnota byla stanovena jako  $I_0 = 8,463$  a.u.. Následně byl změřen časový průběh změny intenzity na příkládaném vnějším napětí na zkoumaný vzorek. Nejdříve byla měřena intenzita pro nulové napětí, následně pro

napětí 300 V a v dalších krocích bylo napětí zvyšováno s krokem 50 V až do mezní hodnoty 1000 V, kdy bylo napětí skokově sníženo opět na 0 V. Tento průběh je zachycen na Grafu 1.



**Graf. 1.** Časová závislost pozorované intenzity dopadajícího záření na detektor při proměnlivém přiloženém napětí

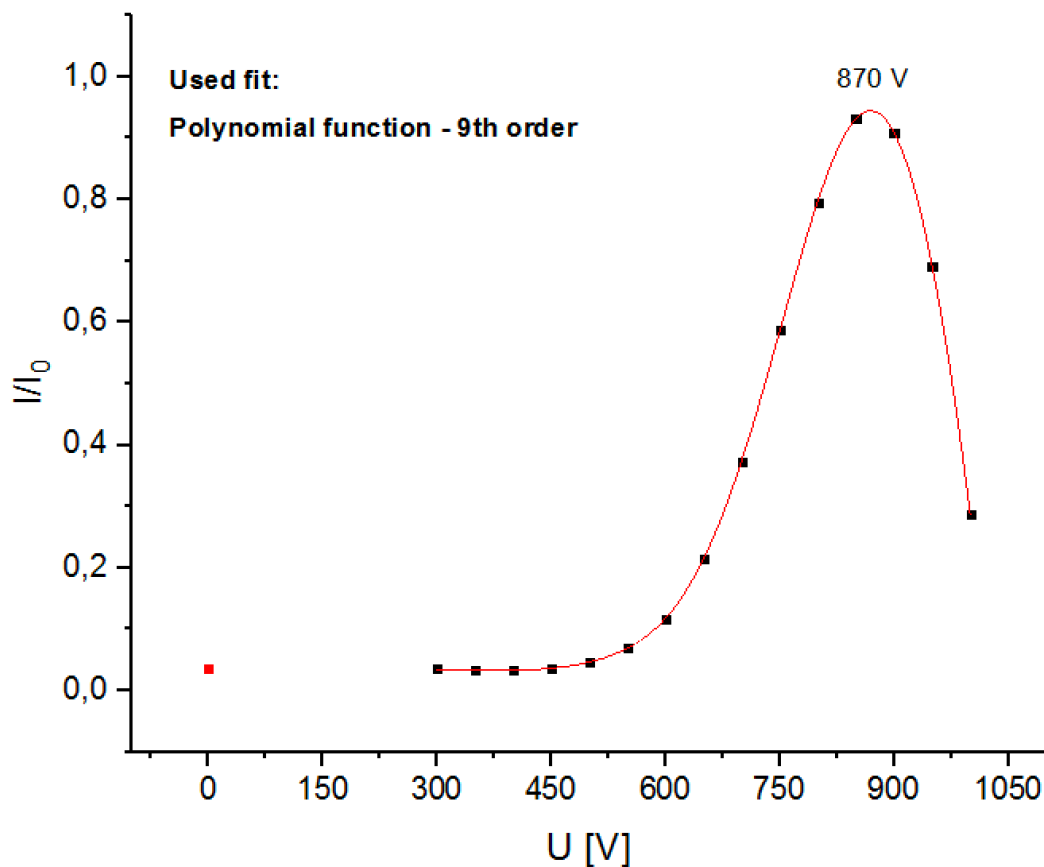
Z experimentálních dat je patrné, že odezva vzorku na změnu přiloženého napětí není okamžitá, a proto bylo vždy nutné měřit v delším časovém intervalu, pro každé ze zvolených napětí. Časové intervaly jsou různé, vždy však nejméně 60 s mezi jednotlivými změnami. Ke stanovení výsledné I pro každé z napětí byla vždy použita sada dat z poslední ustálené části každého úseku. Uvedené chyby vychází z oscilací hodnot právě v této oblasti, jak je však patrné, nemají na celkový výsledek vliv. Pomocí vztahu (2) byl následně vypočten fázový posun. Všechny získané a odečtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.

**Tab1** Záznam experimentálních a vypočtených údajů

U [V]	I [a.u.]	I/I <sub>0</sub>	Δ/2 [°]
0	319 ± 1	0,036	11,0
300	305 ± 1	0,035	10,8
350	292 ± 4	0,033	10,5
400	298 ± 2	0,034	10,6
450	316 ± 14	0,036	11,0
500	402 ± 2	0,046	12,4
550	611 ± 2	0,070	15,3
600	1028 ± 3	0,117	20,0
650	1879 ± 5	0,214	27,6
700	3266 ± 4	0,373	37,6
750	5147 ± 10	0,587	50,0
800	6962 ± 16	0,795	63,0
850	8158 ± 21	0,931	74,8
900	7962 ± 12	0,909	72,4
950	4861 ± 11	0,555	48,1
1000	2509 ± 50	0,286	32,4

Závislost  $I/I_0$  na přiloženém napětí je znázorněna na Grafu 2. Při pohledu na získaná data a vynesené závislosti lze usoudit, že největší intenzita byla naměřena při napětí 850 V, hodnotu půlvlnového napětí tak lze odhadnout jako  $U(\lambda/2) = (850 \pm 10) V$ .

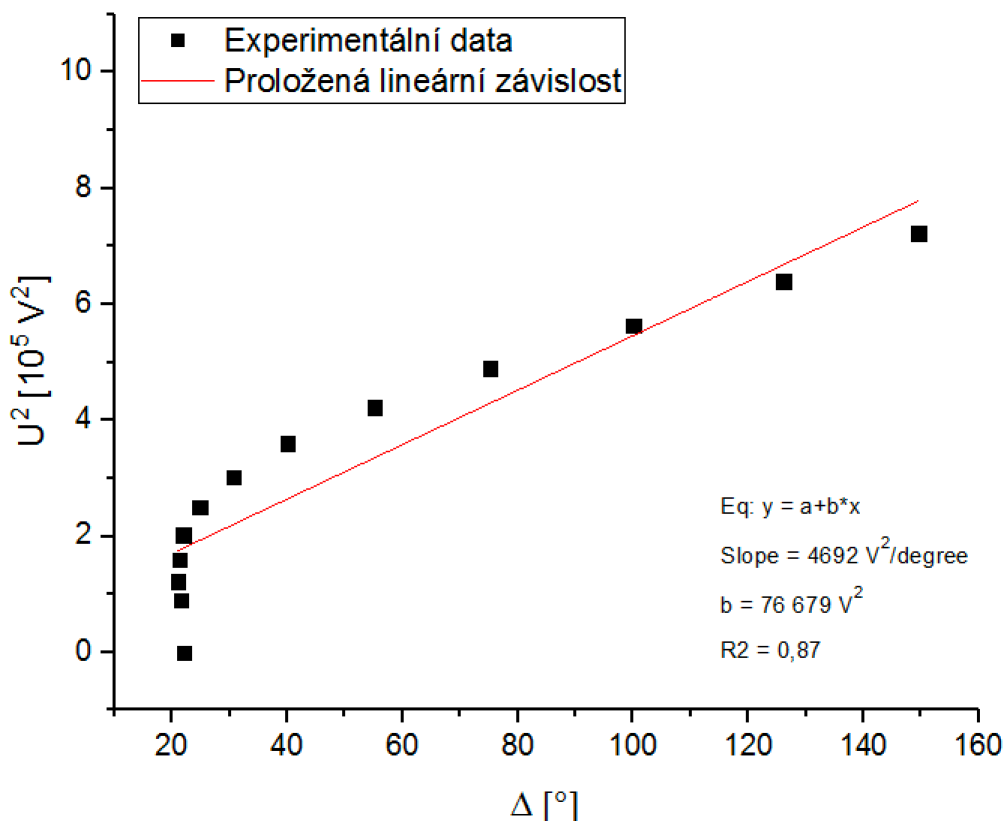
Tato hodnota byla získána přímým odečtem ze souboru naměřených dat. Jak je však z průběhu záznamu patrné, není tato hodnota zcela validní. Experimentální data tak byla proložena zvolenou polynomiální funkcí za účelem zjištění přesnějšího maxima trendu. Pro lepší přesnost fitu nebyl první naměřený bod při nulovém vloženém napětí zahrnut. Pomocí této analýzy byla stanovena druhá hodnota půlvlnového napětí jako  $U_{fit}(\lambda/2) = (870 \pm 10) V$  (Viz Graf 2).



**Graf.2.** Vynesená závislost  $I/I_0$  na přiloženém napětí na vzorku včetně proložené polynomiální závislosti

Jako poslední byla vynesena závislost kvadrátu přiloženého napětí na fázovém posunu mezi řádným a mimořádným paprskem, kterou lze sledovat na Grafu 3. Vynesenými body byla proložena přímka lineární závislosti, z jejíž směrnice (slope =  $4691 \pm 547 \text{ V}^2/\text{degree}$ ,  $R^2 = 0,87$ ) byla následně dle (3) a numericky (4) získána hodnota Kerrovy konstanty  $K = (4,43 \pm 0,57)10^{-8} \text{ mV}^{-2}$ . Pro výpočet byly taktéž použity známé rozměrové parametry proměřovaného vzorku.

$$U^2 = \frac{d^2}{2\pi Kl} \Delta \rightarrow 4691,8 = \frac{d^2}{2\pi Kl} \rightarrow K = \frac{(1,4 \cdot 10^{-3})^2}{9383\pi(1,5 \cdot 10^{-3})} = 4,4310^{-8} \text{ mV}^{-2} \quad (4)$$



**Graf. 3.** Závislost kvadrátu napětí na fázovém posunu s proloženou lineární závislosti pro zjištění hodnoty Kerrovy konstanty

### Diskuse:

Vzhledem k neupřesněnému složení vzorku a jeho značné opotřebovanosti a neznámé experimentální historii v rámci fyzikálních praktik bohužel nelze nalézt referenční hodnoty pro porovnání hodnot jak zjištěného půlvlnného napětí tak Kerrovy konstanty.

Lze tak diskusi podrobit pouze případné chyby a nepřesnosti měření. Vyšší přesnosti měření by samozřejmě mohlo být dosaženo v případě, kdy by byly prodlouženy časové intervaly při čekání na odezvu vzorku při změně vnějšího napětí na elektrodách. Nicméně lze usuzovat, že tato chyba při zvolených intervalech byla minimalizována, jelikož více jak dvojnásobně převyšovaly doporučenou hodnotu. Jak je navíc patrné, pro nižší hodnoty napětí je doba ustálení značně kratší, než pro napětí vyšší. Taktéž v případě skokových změn dochází k rychlejší reakci vzorku.

Větší přesnosti by taktéž mohlo být dosaženo zjemněním celkového intervalu hodnot přikládaných napětích, čímž by bylo nasbíráno více referenčních bodů s menším krokem měření, které by s určitostí vedly ke zpřesnění výsledných hodnot. Bohužel tato varianta je časově značně náročnější a proto mimo možnosti tohoto praktika. Další možností získání přesnějších dat je zajištění kvalitnějšího detektoru a případného zastínění celé aparatury, jelikož detekovaný signál ani v případě nulového průchozího svazku nedosahoval nulového signálu. Možnou variantou je také případná korekce hodnot na pozadí.

Jak je vidět ze závislosti kvadrátu vloženého napětí na fázovém posunu, hodnota spolehlivosti není ideální, což se ztelně projeví na výpočtu hodnoty Kerrovy konstanty. Další zvýšení této chyby by se dalo předpokládat, pokud by byly rozměry proměřeného vzorku uvedeny včetně příslušných chyb, což by vzhledem k průběhu výpočtu, kdy se používají i jejich mocniny, vedlo

k dalšímu zkreslení. To je patrné při porovnání hodnot se studijními materiály, kde je hodnota Kerrovy konstanty uváděna s řádem  $10^{-9}$ , čehož bylo v tomto měření dosaženo pouze za předpokladu, že bychom se pohybovali až na kraji intervalu zjištěné chybovosti.

### **Závěr:**

Během praktika byla proměřena intenzita světla dopadajícího na detektor v závislosti na externím vloženém napětí na vzorek materiálu PLZT. Záznam původního měření je zaznamenan na Obr. 1. a data jsou zanesena v Tab.1. Z těchto dat byly následně vyneseny závislosti relativní intenzity  $I/I_0$  na přiloženém napětí na vzorku  $U$  (Graf.2), závislost kvadrátu napětí  $U^2$  na fázovém posunu  $\Delta$  (Graf.3) a stanoveno původní napětí jak přímým odečtem z grafu  $U(\lambda/2) = (850 \pm 10)$  tak za pomoci polynomiálního fitu  $U_{fit}(\lambda/2) = (870 \pm 10)$ . Na závěr byla ze směrnice lineární regrese závislosti na Grafu 3 stanovena hodnota Kerrovy konstanty  $K = (4,43 \pm 0,57)10^{-8} mV^{-2}$ .

Výsledné hodnoty a postupy použité při vyhodnocení byly v průběhu diskutovány.

### **Literatura:**

- [1] Studijní text k úloze „Kerrův jev – úloha 27“
- [2] Pokyny k měření “Kerrův jev – úloha 27”
- [3] PHYWE, Kerr effect - series of publications (LEP 2.6.02), Laboratory experiments, Gottingen, Germany