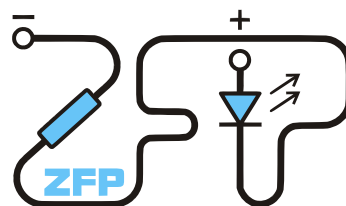


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum III



Optika



Úloha č. 16

Název úlohy: Měření indexu lomu Fraunhoferovou metodou

Jméno: Josef Iosephus Kučera

Datum měření: 02. 03. 2022

Připomínky opravujícího:

Není potřeba být za každou cenu vtipný. Nemístné poznámky a zesměšňující styl do protokolů nepatří. Zřejmě máte dojem, že vyučující Vaše protokoly nečtou. Někteří možná ne, ale radím na to nespoléhat. Jsou i tací, kteří je čtou.

Pokud jde o věcnou správnost a splnění úkolů, chybí určení střední disperze, relativní disperze a Abbeova čísla (pracovní úkol č. 4), a taky jejich porovnání s tabelovanými hodnotami známých skel. Při fitování na vztah (4) byla na koeficient λ_0 naložena podmínka nezápornosti. Není zřejmé proč. Pokud by byl ten paramet označen jiným písmenem, tak by mohl být i záporný? Chybí diskuse o přesnosti stanovení indexu lomu pomocí Fraunhoferovy metody (pracovní úkol č. 5). Další poznámky a připomínky jsou v komentářích u žlutě označeného textu.

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0–2	1
Výsledky a zpracování měření	0–9	6
Diskuse výsledků	0–4	3
Závěr	0–1	1
Použitá literatura	0–1	1
Celkem	max. 17	12

Posuzoval: Peter Mojzeš

dne: 15.4.2022

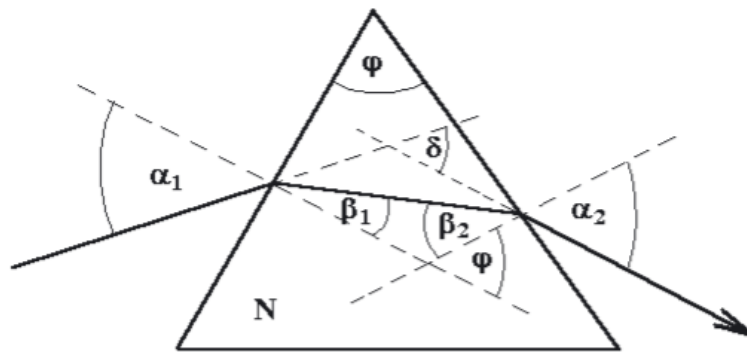
Pracovní úkol

1. Seřídte goniometr.
2. Změřte lámavý úhel skleněného hranolu a proměřte indexy lomu čar spektra rtuťové výbojky.
3. Naměřené hodnoty zpracujte graficky do disperzní křivky. Graf vytvořte v praktiku, je povinnou součástí zápisu z měření.
4. Vypočtete střední disperzi, relativní disperzi a Abbeovo číslo pro měřený materiál, proveďte srovnání s tabelovanými hodnotami optických skel.
5. Odvoďte výraz pro chybu nepřímého měření indexu lomu. Spočtete její velikost a diskutujte, kolik desetinných míst indexu lomu tato metoda zaručuje.

Theorie

Fraunhoferova metoda

Fraunhoferova metoda byla v našem měření krucální. Jest založena na lomu světelného paprsku na v optickém hranolku. Hrany vstupu a výstupu světla **do našich životů** se nazývají lámavé a úhel φ mezi nimi se nazývá lámavý úhel, **och jak brutální tož název.**



Obrázek 1: Optický hranolek se svými úhlovými vlastnostmi, přejato z [1]

Na obrázku (1) si můžeme všimnouti dalších zajímavých úhlů. α_1 jest úhel paprsku vstupujícího do hranolu. Dle Snellova zákona se láme pod úhlem β_1 a k výstupní hraně docestuje s úhlem β_2 . **Opět se zlomí, chudák, a vystoupí ven z hranolu bolesti pod úhlem α_2 .**

Úhel δ mezi vstupujícím a vystupujícím paprskem nazýváme deviačním úhlem. My se jej budeme snažiti minimalisovati na hodnotu nejnižší δ_{min} .

No a když už jsme si vzali do úst pana Snella, tak bychom zde měli uvést i jak v našem případě vypadá ten jeho zákon, jinak by nám mohl čtenář strhnouti body za theoretickou část a to bychom poté plakali a měli bychom z toho bezesné noci.

$$\sin(\alpha_1) = n \sin(\beta_1) \quad (1)$$

$$\sin(\alpha_2) = n \sin(\beta_2)$$

kde n je index lomu hranolu a index lomu okolí považujeme za 1, neb $n_{vzduch} \sim n_{vakuum} = 1$

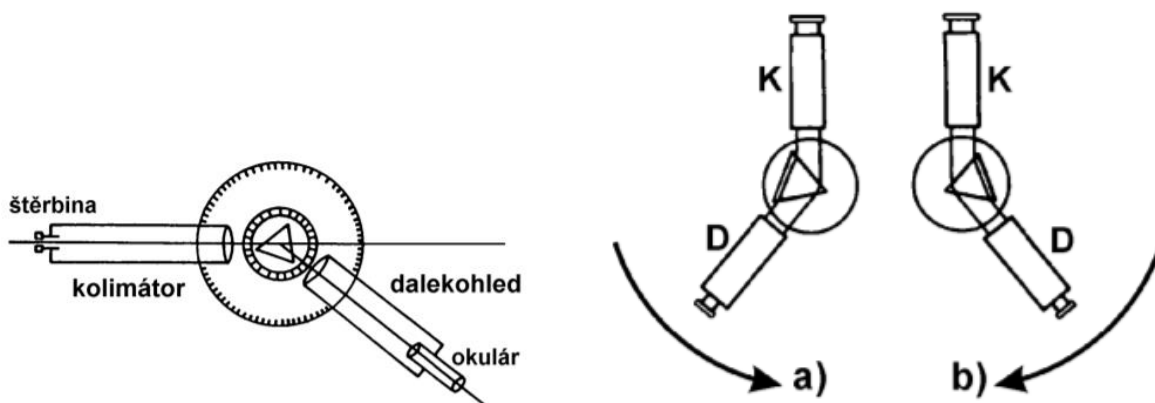
Z geometrie oulohy pak můžeme vyjádřit explicitní vztah pro n , [1]

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + \varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \quad (2)$$

Měřicí aparatura

Experiment jsme prováděli na vynálezu zvaném goniometr (*gonio*, řecky *úhel*). Přeložiti můžeme tedy jako úhломěříč.

Pokochejme se nyní následujícími opráskami (nikoliv z české hystorje):



Obrázek 2: Měřicí apertura a její součásti, přejato z [1]

Obrázek 3: Natočení okuláru při měření, přejato z [1]

Takže teď jest nám nad slunce jasné, že lámavý úhel bude mít lékařský předpis:

$$\varphi = |180^\circ - |\alpha_1 - \alpha_2|| \quad (3)$$

A ještě si uvedeme vztah pro nejmenšího devianta:

$$\delta_{min} = \frac{|\beta_1 - \beta_2|}{2} \quad (4)$$

Disperse

Disperse jest závislost indexu lomu na vlnové délce prostředí.

Výstupem experimentu bude dispersní křivka, kterou můžeme proložití aproximačním vztahem:

$$n = n_0 + \frac{a}{\lambda + \lambda_0} \quad (5)$$

kde parametry n_0 , a a λ_0 získáme z fitu.

Výsledky měření

Seřízení goniometru

Nejprve jsme museli seřadit goniometr, abychom toliko neměřili kraviny, voloviny, hovadiny, bejkárny, koniny, prasárny či ptákoviny, ale abychom naměřili solidní a validní vědecká data.

Především jsme si dávali majzla na to, abychom dodrželi pravé úhly na místech, kde mají být. Aparatura měla mnoho stupňů volnosti, ale většina z nich byla již seřizena radou starších a moudřejších, tedy my jsme už jen doladovali případné nepřesnosti.

Pak jsme na takto prostřený stůl položili planparalelní desku. Sice nám moc nechutnala, když jsme se jí pokoušeli ochutnat, ale to nevádí, protože nasýtla naši duševní zvědavost. Tak jí to odpouštíme. Především nám ale pomohla nalézt vodorovný směr (vodorovný směr byl takový, kde svítící měřicí kříž protínal osu y v 0 nezávisle na orientaci desky).

Pak jsme umístili hranolek. Byla tam zrada ale! Kříž jsme nyní viděli hned třikrát. A nebylo to tím, že bychom snad byli tak opilí. Ne, opilý student je neefektivní student! Bylo to fyzikálními silami, kteréžto propouštěly paprsky i vícekrát odražené, ty ale byly slabší. Naštěstí tak šlo dle intensity i mazaného zakrývacího šmáčka určit, který ze křížův jest pravý a kteří jsou jen laciní imitátorové.

Měření lámavého úhlu

α_1 [°]	α_2 [°]	φ [°]
225,97	105,95	59,98
225,97	105,95	59,98
225,97	105,95	59,97
225,97	105,95	59,98

Tabulka 1: Lámavý úhel

Tedy aritmeticky zprůměrovaná hodnota se statistickou chybou nám vychází jako:

$$\varphi = (59,98 \pm 0,01)^\circ$$

Hodnota nejmenšího deviačního úhlu (devianta) δ_{min} jest toliko dopočítána v tabulce (2).

kde zdvojená hodnota pro $\lambda = 491,6$ vychází z toho, že jsme naměřili 2 zelenomodré spektrální čáry, avšak v příložené tabulce na měření byla uvedena vlnová délka pouze pro 1 čáru.

Pozn. redakce:

V tabulce (2) jsou uvedené chyby úhlů ϵ_{β_1} a ϵ_{β_2} jako velikost nejmenšího dílku na stupnici goniometru. A však chyba byla patrně větší, neboť jsme odečítali okem průsečík na goniometru.

Tento ~~průser~~ průsečík se při úklonu na stranu odkláněl, proto záleželo, jak jsme se do goniometru dívali. I přes tuto těžkost, se kterou se nám velice hořce smiřuje, lkáme po nocích, jest chyba δ_{min} takměř zanedbatelná a proto si ji dovolujeme zanedbat.

λ [nm]	β_1 [°] ['] ["]	$\pm\epsilon_{\beta_1}$ ["]	β_2 [°] ['] ["]	$\pm\epsilon_{\beta_2}$ ["]	δ_{min} [°]
690,7	203 38 22	2	127 1 11	2	38,31
623,4	203 49 34	2	126 49 52	2	38,50
612,3	203 51 40	2	126 47 50	2	38,53
607,3	203 52 46	2	126 47 12	2	38,55
579,1	203 58 29	2	126 40 42	2	38,65
577,0	203 59 26	2	126 40 26	2	38,66
546,1	204 6 53	2	126 32 26	2	38,79
491,6	204 22 34	2	126 16 42	2	39,05
491,6	204 24 15	2	126 15 20	2	39,07
435,8	204 49 2	2	125 50 8	2	39,49
434,8	204 50 0	2	125 49 28	2	39,50
407,8	205 6 16	2	125 33 6	2	39,78
404,7	205 8 30	2	125 31 2	2	39,81

Tabulka 2: Hledání nejmenšího devianta δ_{min}

Hodnota indexu lomu n jest dopočítána v tabulce (3)

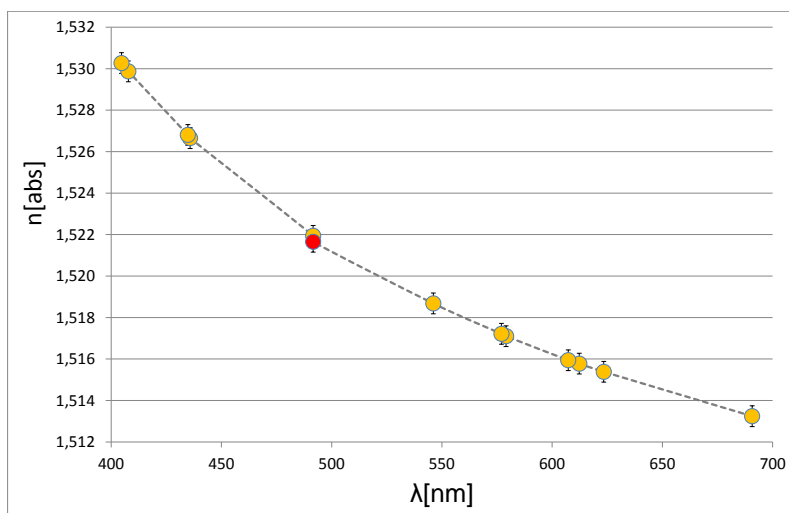
λ [nm]	δ_{min} [°]	n [abs]	$\pm\epsilon_n$ [abs]
690,7	38,31	1,5130	0,0005
623,4	38,50	1,5150	0,0005
612,3	38,53	1,5160	0,0005
607,3	38,55	1,5160	0,0005
579,1	38,65	1,5170	0,0005
577,0	38,66	1,5170	0,0005
546,1	38,79	1,5190	0,0005
491,6	39,05	1,5220	0,0005
491,6	39,07	1,5220	0,0005
435,8	39,49	1,5270	0,0005
434,8	39,50	1,5270	0,0005
407,8	39,78	1,5300	0,0005
404,7	39,81	1,5300	0,0005

Tabulka 3: Dopočítání indexu lomu

kde jsme chybu ϵ_n dopočítali dle zákona o strašlivém přenosu chyb [2], spaste svou duši, jest to nakažlivé! 🙄

$$\epsilon_n = \sqrt{\frac{\cos^2(\frac{\delta_{min} + \varphi}{2})}{4 \sin^2(\frac{\varphi}{2})} \cdot \epsilon_{blb}^2 + \frac{\sin^2(\frac{\delta_{min}}{2})}{4 \sin^4(\frac{\varphi}{2})} \cdot \epsilon_{\varphi}^2} \quad (6)$$

kde jsme obohatili vzoreček o chybu ϵ_{blb} experimentálního idiota Josefa Kučery, který určitě během měření vyváděl spoustu konin, věřte mi, že vím, o čem mluvím. Znáám ho už plných 23 let!

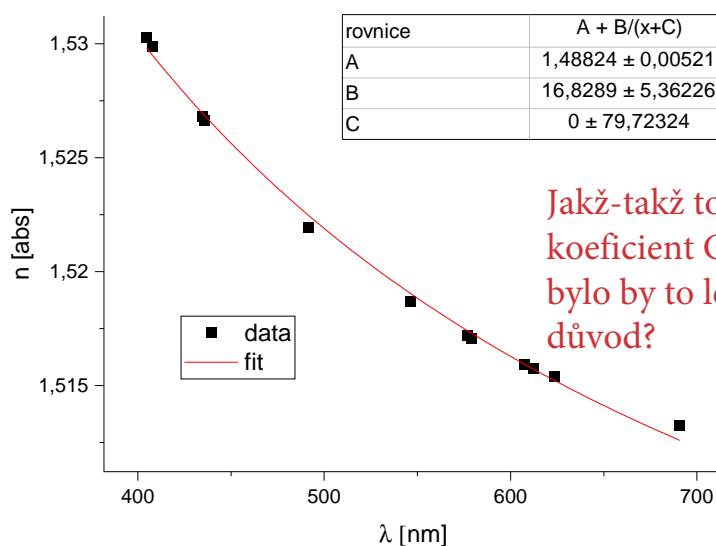


Obrázek 4: Graf závislosti n na λ (hrubé proložení)

Nejprve jsme proložili hrubě náš graf optickým vůdcem, abychom zjistili, která ze 2 naměřených hodnot pro $\lambda = 491,6$ nm jest správnější.

Vidíme, že je to celkem vaření z vody, protože obě hodnoty jeví se přijatelně (neb jsou blízko sebe), takže v dalším kroku dopočítáme proložení pro obé hodnoty zvlášť.

Nakonec jsme zjistili, že nejlepších hodnot proložení dostáváme při následující konstelaci hvězd:



Obrázek 5: Graf závislosti n na λ (fit)

kde z rovnice (5) $A = n_0$, $B = a$, $C = \lambda_0$. Prokládali jsme v programu Origin.

Diskuze

Optický hranol.

Co se týče lámavého úhlu optického hranolu, vyšlo nám φ takměř 60° což odpovídá našim geometrickým očekáváním i tomu, co nám bylo řečeno uctivým mistrem Gabrielem, patronem všech měřitelů.

Index lomu.

Index lomu skla nám též vyšel velice pěkně, jmenovitě zhruba 1,5, což odpovídá tabulkovým hodnotám i tomu, co nám řekla svrchovaná vládkyně praktik III, paní Kudrnová.

Kámen úrazu.

Co nám ale vyšlo pěkně na pytel, byla fitace dispersní křivky. Jmenovitě hodnota $\lambda_0 = (0 \pm 79,7)\text{nm}$ působí jako nějaký trapný pokus o vtip ze strany programu Origin. A to i přesto, že proložená křivka vypadá poměrně rozumně. Ale to jsme ještě museli jej donutiti, aby neprokládal záporným parametrem C, neboť záporná vlnová délka, to svět jakživ neviděl a pes to nežral.

Chybí určení indexu lomu pro vybrané vlnové délky (656.3, 589.3 a 486.1 nm) a výpočet střední disperze, relativní disperze a Abbeova čísla (pracovní úkol č. 4).

Závěr

Zahráli jsme si na seřizovatele goniometrů.

Spočetli jsme lámavý úhel použitého hranolku jako $\varphi = (59,98 \pm 0,01)^\circ$

Našli jsme experimentálně minimální deviační úhel δ_{min} pro 13 různých vlnových délek λ

Index lomu použitého hranolku nám vyšel lehce přes 1,5. To odpovídá naší fyzikální intuici, neboť hranolek jest z nějakého skla.

Setavili jsme dispersní křivku a proložili jsme ji fitem. Z fitu jsme určili parametry:

$$n_0 = 1,48824 \pm 0,00521$$

$$a = (16,8289 \pm 5,36226) \text{ nm}$$

$$\lambda_0 = (0 \pm 79,72324) \text{ nm}$$

Reference

- [1] Studijní text ZFP [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/316>
- [2] . English: Základy zpracování fyzikálních měření, Praha 2006