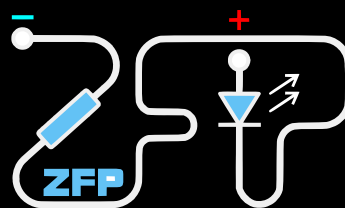


Krabinet  výuky obecné fyziky,  
UK MFF

## Physicální practicum III



### Optica



Úroveň bolesti č. 14

Typ bolesti:  Jednoduché optické přístroje. 

Polarisační mikroskop

Méno more: Josef Iosephus Kučera

Datum incidentu: 23. 03. 2022



Připomínky opravujícího:



V textu

Kde jste nam ty veskrze kladné a poctivé chybycky potratit racil ?  
Drobny neporadek v kalkulirovani jste dopustil.

Jinak hezke

	Nereálný počet bodův	Reálný počet bodův
Theoretická partita	0–2	2
Výkon a obroba měřeníhož	0–9	7
Obrana výsledkův	0–4	3
Apokalypsa	0–1	
Použité knižstvo	0–1	
Suma sumárum	maxík: 17	14

Posuzoval: *uctivý pan Petr Gabriel*

dne: 14.4.2022

---

## Pracovní kázeňský trest

1. Metodou přímou změřte zvětšení a zorné pole lupy. Jako lupu použijte postupně dva z přiložených objektivů. Odhadněte maximální chyby měření a porovnejte výsledky se známými parametry objektivů.
2. Změřte zvětšení a zorná pole mikroskopu pro obě kombinace objektivů z předchozího bodu a jednoho vybraného okuláru. Naměřené výsledky srovnajte s hodnotami zvětšení udávanými výrobcem. Určete číslo zorného pole okuláru přímým měřením a ze změřených zorných polí. Odhadněte maximální chyby měření.
3. Diskutujte vztah mezi číselnou aperturou mikroskopu, zorným polem mikroskopu a jeho rozlišovací schopností.
4. Pomocí polarizačního mikroskopu změřte specifickou stáčivost křemene pro vybrané vlnové délky. Určete relativní chybu měření. Naměřenou závislost porovnejte graficky s teoretickou. Graf vytvořte v praktiku, je povinnou součástí zápisu z měření.
5. Užitím čtvrtvlnné destičky rozhodněte, je-li islandský vápenec kladný či záporný krystal.

### Základní vztahy a klíčová slova:

*zobrazení centrovanými optickými systémy, hlavní body soustavy, předmětová, obrazová vzdálenost, zobrazovací rovnice, příčné a úhlové zvětšení, konvenční zraková vzdálenost, zvětšení, zorné pole, číselná apertura, dvojlom, stáčivost křemene*

---

## Theoretická partita

### Lupa

Lupa, latinsky *vlčice*, jest přístroj, an skládá se ze soustavy spojně. Zvětšení $\mathcal{Z}$  lupy  $Z$  rozumíme:

$$\mathcal{Z} = \frac{u'}{u} \quad (1)$$

kde  $u'$  jest zorného úhlu viděného obrazu znak a  $u$  jest referenčního zorného úhlu v konvenční zrakové vzdálenosti symbol

Konvenční zrakovou vzdálenost pak empiricky stanovujeme jako:

$$\delta = 25 \text{ cm [1]}$$

Zorné pole jest maximální průměr kruhu ležící v předmětové rovině, anžto můžeme v přístroji toliko viděti.

Lupa jest spojka s relativně malou ohniskovou vzdáleností  $f'$ . Pokud budeme sledovat předmět v paraxiální blízkosti a jest-li lupa umístěna těsně před optickým okem, lze její zvětšení spočísti [Helena Kudrnová]:

$$\mathcal{Z} = \frac{L}{f'} \cdot \kappa \quad (2)$$

kde  $L$  jest vzdálenost od oka a  $\kappa$  hodnota zvětšení z objektivu jest

### Mikroskop

Mikroskop jest poskládán ze dvou spojných čoček (neplést s hrachem) - objektivu (strkáme jej k objektu) a okuláru (strkáme jej do oka).

Objektiv vytváří skutečný  $Z_b$ -krát zvětšený obraz (pozor, je skutečný, nekrmte jej proto svou svačinou), který pozorujeme okulárem jako lupou se zvětšením  $Z_k$ . Celkové zvětšení mikroskopu je dán součinem těchto hodnot [1]:

$$\mathcal{Z} = Z_b Z_k = \frac{L \Delta}{f'_{ob} f'_{ok}} \quad (3)$$

kde  $f'_{ob}$  jest ohnisková délka objektivu,  $f'_{ok}$  jest ohnisková délka okuláru a  $\Delta$  jest vzdálenost mezi ohniskovými body

Číslo zorného pole okurkáru  $d_z$  jest dáno jakož průměr obrazu clony zorného pole zobrazené všemi předešlými prvky. Zorné pole mikroskopu  $\varrho_m$  jest úměrné zornému poli okuláru [1]:

$$d_z = \varrho_m Z_b \quad (4)$$

Rozlišovací schopnost mikroskopu jest daná šířkou svazku vymezeného aperturní clonou a lze ji spočítat jako [1]:

$$R = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin(\alpha)} \quad (5)$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka použitého světla,  $n$  je index lomu prostředí před objektivem a  $\alpha$  jest aperturní úhel.

### ***Polarisační mikroskop***

Polarizační mikroskop se v mnohém podobá klasickému mikroskopu. Ale v něčem se liší, protože jinak by nemělo smysl jej používat, to dá rozumek! Jest opatřen navíc rotačním polarizátorem mezi analyzáto-rem a vzorkem, který umožňuje zkoumat polarizace světla prošlým vzorkem.

*„A to se vyplatí, Horste!” „Ano Pepi, je to opravdu unikátní nabídka!”*

— Běžná cena 10 990 Kč. Cena po slevě: 9 095 Kč. Club cena: 9 045 Kč. —

Měření měrné stáčivosti polarizační roviny se provádí v ortoskopickém uspořádání, při němž používá se slabých objektivů s malou numerickou aperturou, za cílem vyrobení rovnoběžných svazků.

Měrná úchylnost jest závislá na vlnové délce použitého světla, která je obsažena v úhlu  $\alpha_{abs}$  vzájemného pootočení polarisatoru a analyzátoru při největším ztmavení dopadajícího světla na analyzátor oproti případu bez vzorku.

$$\rho = \frac{\alpha_{abs}}{d} \quad (6)$$

kde  $d$  jest tzv. špekátost (chcete-li tloušťka) vzorku

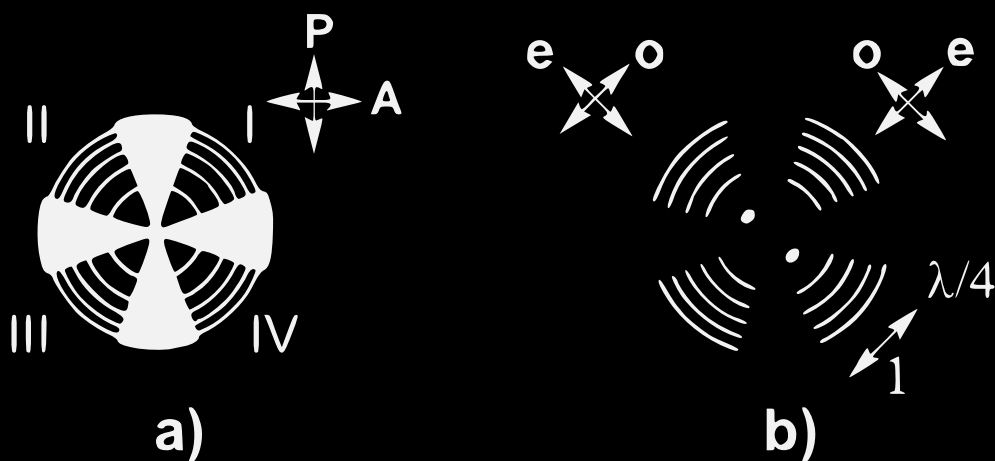
V konoskopickém uspořádání necháváme dvojlomným materiálem procházet sbíhavý svazek paprsků a následně pozorujeme v mikroskopu charakteristické interferenční obrazce počounu.

Kvůli tomuž, že paprsky procházejí vzorkem pod jiným úhlem a tedy procházejí jinou efektivní tloušťkou vzorku, pozorujeme v zorném poli světlejší (konstruktivní interference) a tmavší (destruktivní interference) oblasti.

Proužky splňující podmínku  $\phi = \frac{k\pi}{2}$ , kde  $k$  jest celé číslo a  $\phi$  úhel v rovině zorného pole, se označují názvem *inkolory*. Proužky slynoucí vztahem  $\Delta = k\lambda$ , kde  $\Delta$  jest dráha světla ve vzorku, se nazývají *isochromáty*. Isochromáty vytvářejí soustředné kružnice a inkolory tvoří tmavý kříž †.

*„Čiňte pokání, neb konec jest blízko.“ „Amen pravím Vám, poslední z posledních budou prvními z prvních v království nebeském!“*

Po zasunutí čtvrtvlnové destičky před analyzátor můžeme podle změny obrazce zjistit zda se jedná o kladný krystal (jedi), nebo záporný krystal (sith). Jak jest znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1: a) Interferenční obrazec ve sbíhavém světle na výbrusu z jednoosého krystalu, vyříznutého kolmo k optické ose. b) Stanovení, zda je výbrus z krystalu kladného či záporného (obrázek charakterizuje kladný krystal), přejato z [2]

## Výkon a obroba měřeníhož

### Použité nádobíčko

Tabulka 1: Seznam použitých přístrojů, data z [3]

Název	Označení	Poznámka
Objektiv I	207056	zvětšení 6x (0,15)
Objektiv II	531116	zvětšení 10x (0,3)
Okurkár	- NaN -	zvětšení 10x
Barevné filtry		$\lambda$ [nm] (rozptyl)
1)	IF 405 Hg	405 (10)
2)	IF 480 Cd	480 (6,5)
3)	SIF 550	551 (-)
4)	IF 600	602 (9,5)
5)	IF 656H	658 (8,5)
Mikroskop	MIC-7 N 3226	$h^1 = 14$ cm
Polarizační mikroskop	- NaN -	- NaN -

### Zvětšení lupy voe

Vliv podmínek okolí zanedbáváme, protože jsme se snažili co nejvíce izolovat od okolního vesmíru. Byli jsme asociální jako šprt na maturitním plese. Takže pokud měly nějaký vliv, dalece jej předčí naše neschopnost měřit přesně.

Nejprve jali jsme se měřiti methodou přímou zvětšení čočky. Vybrali jsme si objektivy o udávaných zvětšních 6 a 10.

Přímá methodau jest přímá v tom syslu, že jsme se optickým okem koukali přímo na 2 stupnice najednou - na stupnici promítanou lampičkou na zrcadlo, anžto měla na sobě centimetrovou škálu a na stupnici destičkovou pod mikroskopíkem, která na sobě měla milimetrovou škálu, abychom byli proporcionální.

Porovnáním měřítek jsme byli schopni určit zvětšení lupy.

Takto získaná data jsou zobrazena v tabulce 4

Tabulka 2: Přímé měření objektivů I a II

OBJEKTIV I		OBJEKTIV II	
$y$ [mm]	$y'$ [mm]	$y$ [mm]	$y'$ [mm]
9	1	11	1,0
19	2	18	1,5
18	2	25	2,0

Pokud tyto hodnůtky poděláme dle vzorce 1 a z těchto hodnůtek uděláme aritmetický průměrek, dostaneme následující míry zvětšení:

$$Z_6 = 9,2\times \quad \text{A je je, chyba nam tu chybi !!}$$

$$Z_{10} = 11,8\times$$

Jsme v pokušení říci si, že to přeci neplatí, pane Moravče! Nicméně nejsme pitomí ani najivní a víme, že reálné zvětřeníčko máme počítati dle rovnice 2, kde tubusová vzdálenost  $f' = 17$  cm a vzdálenost  $L$  nastavili jsme na  $25 \pm 1$  cm.

Poté dostáváme referenční hodnoty známých parametrů objektivů jako:

$$Z_{6(ref)} = 8,8\times$$

$$Z_{10(ref)} = 14,7\times$$

**Tedy působí toť celkem prohnile, asi ten blbec experimentátor Josef Kučera něco zkonil, idiot. Vidíme rudě!**

**Možná příliš nakláněl hlavu, též mohl špatně nastavit vzdálenost osvětlení, neboť se snažil o planparalelní uspořádání zrcátka a zdroje světla (stolní ploché zářivky). Chyba vzdálenosti  $\pm 1$  cm popravdě není vůbec lichotivá, ale co se dá dělat, pracujeme s tím, co máme.**

**Těž mohl dívat se do lupy pod špatným úhlem i vzdáleností, no prostě měl příliš volné ruce v páchání mnoha zločinů proti experimentální fyzice.**

Diskutovati nam doporučeno toliko v Diskusi jest

## Zorné políčko lupy voe

Pak jsme hodili vočko (teda našťestí ne doslova) na zkoumání zorného políčka alias jak velký kroužek vidíme v onom ďábelském stroji.

Změřili jsme  $3\times$  a výsledky uvádíme v tabulce 5

Tabulka 3: Zorné políčko objektivu I a II

OBJEKTIV I	OBJEKTIV II
pole [mm]	pole [mm]
0,75	0,5
0,8	0,45
0,8	0,48

Ako by vraveli braťa Slováci: Čiže mame aritmeticky premňar:

$$pole_1 = 0,78 \text{ mm} \quad \text{Ajajaj zase ty chybicky !!!}$$

$$pole_2 = 0,48 \text{ mm}$$

A rovnou nás do vočí praští, že čím větší zvětšení, tím menší zorné pole a tedy i tím větší detail!

To je magie co? To čučíme na drát a von to špagát! Pes to neviděl a člověk nežral.

## Mikroškopek

Ale stále jsme neměli dost a přidali jsme k objektivu ještě **okurkár!** Volený **okurkár** měl údaj zvětšení  $10\times$

Tabulka 4: Mikroskop s objektivem I a II

OBJEKTIV I		OBJEKTIV II	
$y$ [mm]	$y'$ [mm]	$y$ [mm]	$y'$ [mm]
27	0,5	60	0,8
52	1,0	40	0,5
80	1,5	25	0,3



Pokud tyto hodnůtky poděláme dle vzorce 1 a z těchto hodnůtek uděláme aritmetický průměr, dostaneme následující míry zvětšení:

$$Z_{60} = 53,1\times$$

$$Z_{100} = 79,4\times$$

Tubusová vzdálenost byla nyní 14,5 centimetrů. Tedy očekávané referenční hodnůtky by byly:

$$Z_{6(ref)} = 103\times$$

$$60 * 14 / 17 = 49$$

$$Z_{10(ref)} = 172\times$$

$$100 * 14 / 17 = 82$$

Deliti, ne nasobiti povinovani jsme byli !!!

Tady nám to vyšlo ještě hůř, brečíme a chceme skočiti z okna, ale takovou radost vám neuděláme. XD Buď používáme blbý vzoreček nebo jsme blbí sami...

A ještě zorné políčko, bez něj by měření nebylo úplnéž:

Tabulka 5: Zorné políčko mikroskopu o objektivu I a II

OBJEKTIV I	OBJEKTIV II
pole [mm]	pole [mm]
0,27	0,16
0,28	0,16
0,27	0,16

A z těchto krásných dat vychází průměrky zorných políček mikroskopu:

$$pole_1 = 0,27 \text{ mm}$$

$$pole_2 = 0,16 \text{ mm}$$

## Specifická stáčivost křemínku

Posléze jsme uchvátili polarisační mikroskop a lifrovali jsme do něj postupně 5 různých filtrů barev spektakulárních za neustálého prozařování křemínku.

A na římském císaři, Noniovi, měřili jsme posunutí minima světelné intensity.

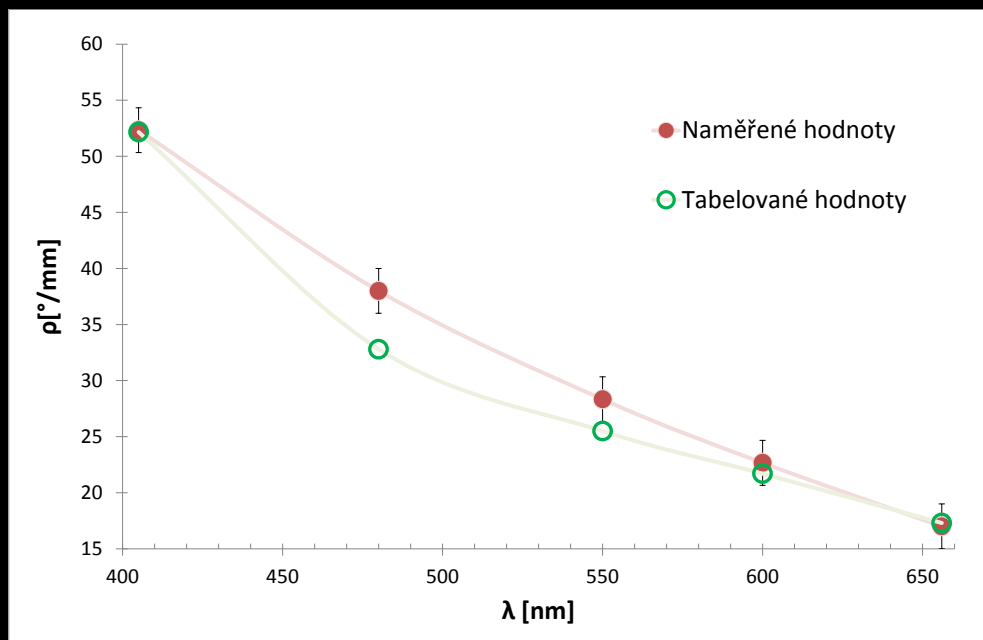
Tabulka 6: Hodnoty z měření specifické stáčivosti křemínku

$\lambda$ [nm]	$\varrho$ [°/mm]	$\pm\epsilon_{\varrho}$ [°/mm]	$\varrho_T$ [°/mm]	$\varrho_T / \varrho$ (%)	relativní chyba
405	52,36	2,00	52,16	99,7	0,3 %
480	38,00	2,00	32,80	86,3	13,7 %
551	28,33	2,00	25,50	90,0	10,0 %
602	22,67	2,00	21,70	95,7	4,3 %
658	17,00	2,00	17,30	101,8	1,8 %

Slava chybičky se nam vratili !!!

Pozn.: Tabelované hodnoty ( $\varrho_T$ ) stáčivosti křemínku šlohnuty z [4]

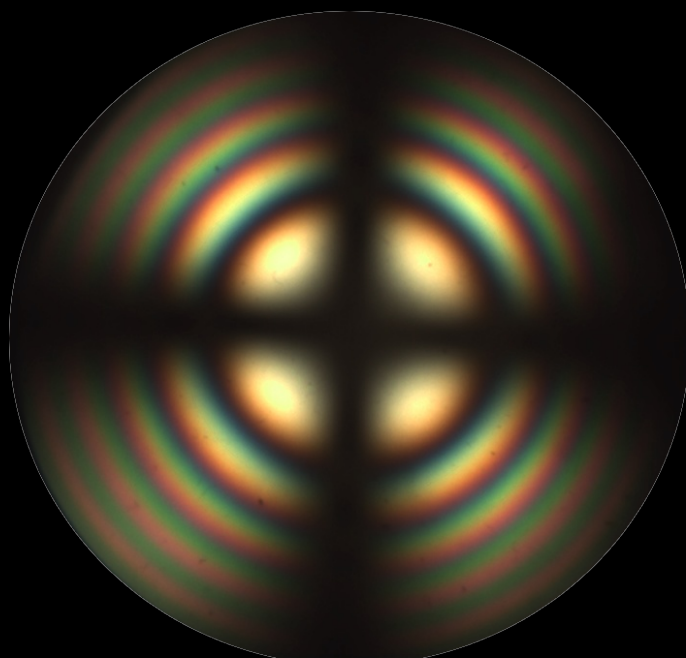
Pozn.2: Naměřili jsme vždy 3 hodnoty, tedy naše uvedené  $\varrho$  jest aritmetický průměr těchto hodnot a chyba  $\epsilon_{\varrho}$  jest odhadnuta z chyby odečtu z nonia.



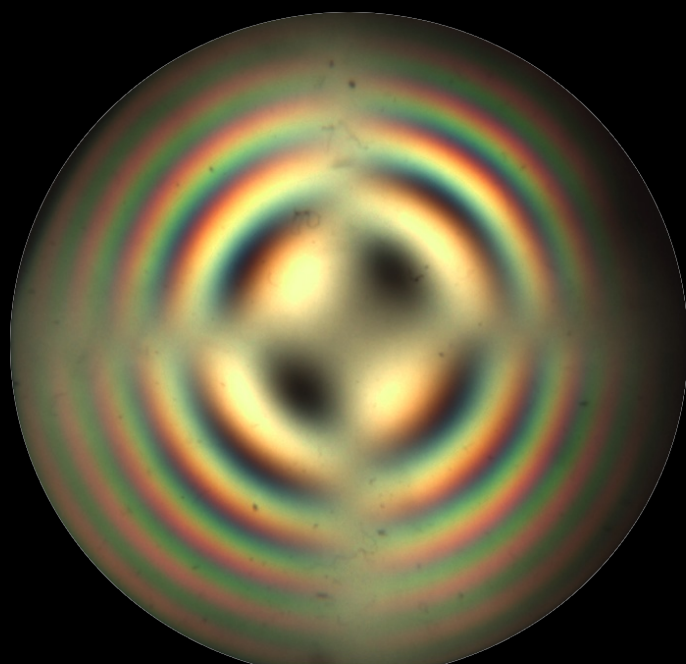
Obrázek 2: Naměřené a tabulkové hodnoty stáčivosti křemene

## *Islandský vápenec*

V poslední části měření jsme do polarisačního mikroskopu narvali islandský vápenec (proti jeho vůli) a dívali jsme se, jak rozptyluje světlo nejprve bez čtvrtvlnné a poté se čtvrtvlnnou destičkou.



Obrázek 3: Vápenec s Bertrandovou čočkou bez čtvrtvlnné destičky



Obrázek 4: Vápenec s Bertrandovou čočkou se čtvrtvlnnou destičkou.

---

Nyní porovnáme tyto exklusivní fotografie s obrázkem 1 v Theoretické části.

Tedy vidíme, že (cyber)krystal jest opačně orientovaný, než ten na obrázku 1, ergo jest negativně orientovaný, ergo jest to sith, stejně jako darth Vader (viz obrázek 5):



Obrázek 5: Negativní Darth Vader, přejato z [5]

Zdalipak nám ctěný George Lucas svého miláčka zobrazovati povoliti ráčil ?

A nyní už vidíme skrytý záměr toho, proč auktor použil negativ v rámci své stylisace tohoto protokokakolu.

*„Ať žije Galaktické impérium! Sláva císaři Palpatinovi!”*

---

Jestlipak výsledky nami porizene očekavani nase splnili ???

## Obrana výsledkův

Republika jest prohnílá. Měření „lupou“ bylo nepřesné na mnoha rovinách. Používali jsme jako detekční zařízení lidské voko, takže jsme vnášeli do měření lidský faktor. Navíc jsme mohli hábat hlavou i krkem i zády i okem, prostě měli jsme příliš mnoho stupňů volnosti. Snažili jsme se jej eliminovat naměřením více hodnot a statistickým středováním-*Temná síla povstane Temná síla povstane*, ale se systematickými chybami nic nenaděláme.

Imperátor vidí řešení. Měření lupou jsme mohli zpřesnit třeba tak, že bychom nastavovali lampičku do různých vzdáleností a pak si vytvořili graf a stanovili tak přesněji konvenční vzdálenost a ne jen bajvočko jako doposud. Jenže to bychom naměřili o velké quantum dat navíc a to by nás jaksi dozorčí a dozorkyně hnali lopatou.

Tož to hnali !!

Klonové války decimují republiku. U měření zorného pole jsme zvláště u úlohy s mikroskopem měli problém v tom, že referenční čáry, od kterých jsme odčítali, byly nesmírně špekáté, měli byste je donutit zhubnout, takto se to s nimi nedalo měřit. I proto jsou u mikroskopu enormní chyby vůči očekávaným hodnotám, řekli bychom.

Polarisační mikroskop, rozhodující zbraň vítězství. U polarisačního mikroskopu jsme zase dostávali chyby jednak z naší vlastní omezenosti, když jsme zkoumali minimum světelné intensity a nedokázali jsme dostatečně přesně určit, kde se nachází. Dále též odečet z nonia velice pokulhával, chyba  $\pm 2^\circ$  je velice tragikomická. Takže tam jsme nahromadili chyby.

Dokonáno jest! A nakonec i filtry měly v polarisačním mikroskopu své rezervy, nefiltrovali jen jednu vlnovou délku, ale posílali nám jim jich hned celé rozpětí. Nojo, vláda na nás opět šetřila.

---

## Apokalypsa

Změřili jsme zvětšení objektivu I a II jako:

$$Z_6 = 9,2\times$$

$$Z_{10} = 11,8\times$$

Změřili jsme zorné políčko objektivu I a II jako:

$$pole_1 = 0,78\text{ mm}$$

$$pole_2 = 0,48\text{ mm}$$

Pro mikroskop s okurkárem o  $\kappa = 10\times$  jsme naměřili pro objektiv I a II zvětšení:

$$Z_{60} = 53,1\times$$

$$Z_{100} = 79,4\times$$

Pro mikroskop s okurkárem o  $\kappa = 10\times$  jsme naměřili pro objektiv I a II zorná políčka:

$$pole_1 = 0,27\text{ mm}$$

$$pole_2 = 0,16\text{ mm}$$

Změřili jsme měrnou stáčivost křemínku  $\varrho$  a porovnali jsme ji s tabulovanými hodnůtkami  $\varrho_T$  a určili jsme relativní chyby měření.

A na zlatý hřeb večera zjistili jsme, že krystal jest negativně orientovaný, tedy sith! Kdo není s námi, jest proti nám!

---

## Použité knižstvo

- [1] Studijní text 1 k Fyzikálnímu Praktiku III. 14. Polarisáční mikroskop. [online] [cit. 2022-04-04]. Dostupné online z:  
[https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_314\\_1.pdf](https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_314_1.pdf)
- [2] Studijní text 2 k Fyzikálnímu Praktiku III. 14. Polarisáční mikroskop. [online] [cit. 2022-04-04]. Dostupné online z:  
[https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_314\\_2.pdf](https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_314_2.pdf)
- [3] Pokyny k měření k Fyzikálnímu Praktiku III. 14. Polarisáční mikroskop. [online] [cit. 2022-04-04]. Dostupné online z:  
[https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_314.pdf](https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_314.pdf)
- [4] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch - Fyzikální a matematické tabulky - SNTL, Praha 1980
- [5] Can Darth Vader really be both kid-friendly and frightening? [online] [cit. 2022-04-04] Dostupné online z:  
<https://www.theverge.com/2016/12/16/13976038/star-wars-darth-vader-rogue-one-villain-disney-marketing>