

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## Praktikum III - Optika

Úloha č. 17

Název: Měření absorpce světla

Pracoval: Matyáš Řehák

stud.sk.: 13

dne: 17. 4. 2008

Odevzdal dne: .....

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	5
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	8
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	<b>20</b>

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkol

- 1) Změřte absorpční spektrum přiložených vzorků skleněných filtrů. Diskutujte procento maximální propustnosti a spektrální šířku propouštěné oblasti.
- 2) Změřte index lomu vybraného filtru a odhadněte, jakou částí přispívá k celkové optické hustotě filtru na různých vlnových délkách jeho odrazivost  $R$ .
- 3) Ověřte platnost Beerova zákona pro různé tloušťky přiloženého pevného materiálu.
- 4) Proveďte odhad chyby transmitance a určete chybu nepřímého měření absorpčního koeficientu.

## Teorie (viz. [1])

K popisu ztrát světla při průchodu látkou se zavádí propustnost  $v$  definovaná:

$$v = \frac{\Phi_t}{\Phi_0}, \quad (1)$$

kde  $\Phi_0$  je světelný tok dopadající na látku a  $\Phi_t$  prošlý. Pokud do (1) zahrneme jen ztráty vzniklé při vlastním průchodu objemem látky a ne ty vzniklé při odrazu na povrchu látky, nazveme tuto veličinu vlastní propustností  $v_i$  a  $(1 - v_i)$  pohltivostí (absorptancí). Podle Lambertova-Beerova zákona platí:

$$v_i = 10^{-\kappa l} = e^{-\kappa_n l}, \quad (2)$$

kde  $\kappa$  resp.  $\kappa_n$  je absorpční dekadický resp. přirozený koeficient. Tento obecně závisí na fyzikálním stavu látky a vlnové délce použitého světla. Záporně vzatý dekadický logaritmus propustnosti nazýváme absorbcí.

Celková propustnost  $v$ , definovaná (1), je, pokud zanedbáme mnohonásobné odrazy přibližně:

$$v = (1 - R^2)v_i, \quad (3)$$

kde  $R$  je odrazivost jednoho povrchu. Z Fresnelových vzorců vyplývá:

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}, \quad (4)$$

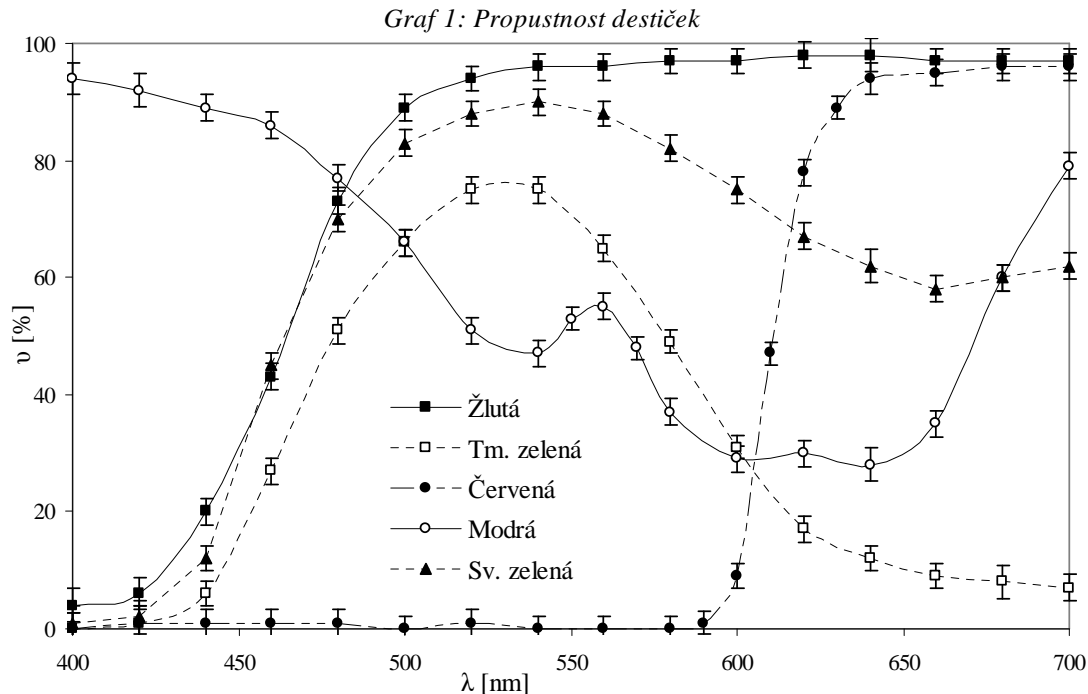
což platí pro kolmý dopad světla z vzduchu na filtr s relativní indexem lomu  $n$ .  $R$  lze v širokém spektrálním oboru považovat za nezávislé na vlnové délce.

## Výsledky měření

Tabulka 1: Propustnost jednotlivých destiček

$\lambda$ [nm]	$v$ žlutá [%]	$v$ tm. zelená [%]	$v$ červená [%]	$v$ modrá [%]	$v$ sv. zelená [%]	$\sigma_0$ [%]
400	4	0	0	94	1	3
420	6	1	1	92	2	3
440	20	6	1	89	12	2
460	43	27	1	86	45	2
480	73	51	1	77	70	2
500	89	66	0	66	83	2
520	94	75	1	51	88	2
540	96	75	0	47	90	2
560	96	65	0	55	88	2
580	97	49	0	37	82	2
600	97	31	9	29	75	2
620	98	17	78	30	67	2
640	98	12	94	28	62	3
660	97	9	95	35	58	2
680	97	8	96	60	60	2
700	97	7	96	79	62	2

Chyba  $\sigma_0$  je určena z třídy přesnosti použitého ampérmetru a z velikosti dílku (občasná vyšší chyba je způsobena tím, že nebylo možné použít vždy celý rozsah stupnice). Chyba nastavení vlnové délky monochromátoru, tedy dílek stupnice, je 2 nm.



V grafu jsou v některých místech doplněny některé další naměřené hodnoty u červené (~ 610 nm) a modré (~ 560 nm) destičky.

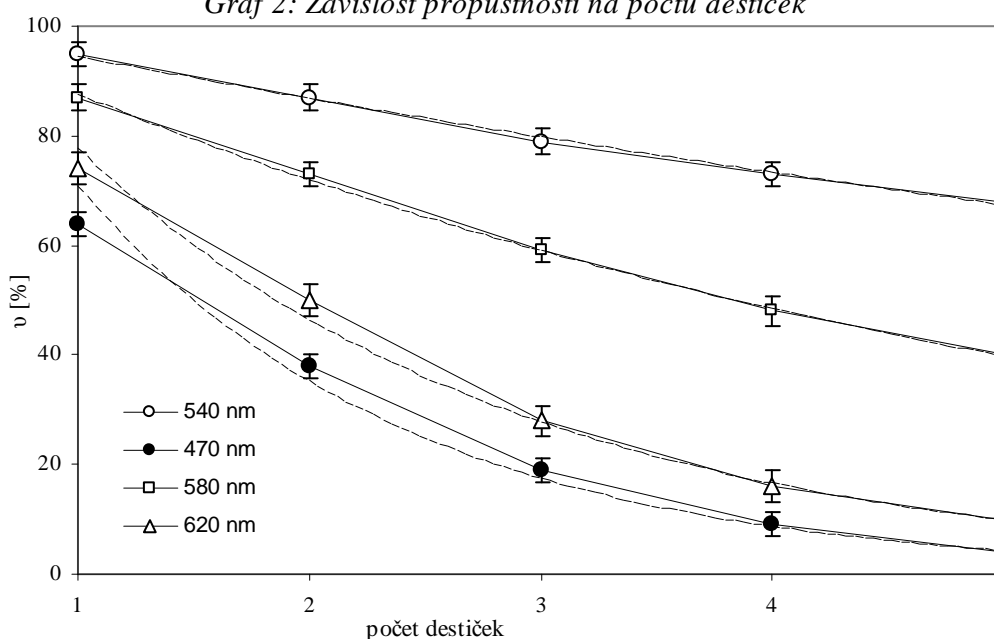
Druhý pracovní úkol nebylo možné změřit, protože úloha, kde se měří index lomu, byla obsazena. Bylo mi proto vyučujícím doporučeno, abych pouze provedl diskusi pro různé možné indexy lomu.

Tabulka 2: Závislost propustnosti na počtu destiček

$\lambda$ [nm]	540	470	580	620	450
1	$95 \pm 2$	$64 \pm 2$	$87 \pm 2$	$74 \pm 3$	$32 \pm 2$
2	$87 \pm 2$	$38 \pm 2$	$73 \pm 2$	$50 \pm 3$	$7 \pm 2$
3	$79 \pm 2$	$19 \pm 2$	$59 \pm 2$	$28 \pm 3$	$2 \pm 2$
4	$73 \pm 2$	$9 \pm 2$	$48 \pm 3$	$16 \pm 3$	$1 \pm 2$
5	$68 \pm 3$	$4 \pm 2$	$40 \pm 3$	$10 \pm 3$	$0 \pm 2$

Čísla v levém sloupci označují počet destiček, chyba viz. Tabulka 1. Propustnost je v procentech. Při tomto měření byly použity referenční čiré destičky k eliminaci chyby vzniklé odrazem na plochách destiček, měřené byly světlo zelené (použito již v první části).

Graf 2: Závislost propustnosti na počtu destiček



Naměřené závislosti jsou proloženy exponencilou (čárkovaně), jejíž použití plyne z (2). V grafu není vyznačena závislost pro  $\lambda = 450$  nm, z důvodů potíží plynoucích z takřka nulové propustnosti - zejména problematické proložení exponencielou.

Tabulka 3: Tloušťky jednotlivých destiček

$d$ [mm]	0,94	0,96	0,98	0,96	0,94	0,96
----------	------	------	------	------	------	------

Za předpokladu, že jsou všechny destičky stejně tlusté, je jejich tloušťka na základě měření zaznamenaného v tabulce 3  $d = (0,96 \pm 0,02)$  mm. Chyba je určena spojením chyby statistické a chyby dané velikosti dílku posuvného měřidla (0,02 mm). Koeficienty absorpce pro jednotlivé vlnové délky jsou:  $k_{n540} = (80 \pm 7) \text{ m}^{-1}$ ,  $k_{n580} = (188 \pm 8) \text{ m}^{-1}$ ,  $k_{n620} = (463 \pm 15) \text{ m}^{-1}$ ,  $k_{n470} = (629 \pm 22) \text{ m}^{-1}$ . Chyby jsou určeny z exponenciální regrese a z chyb propustnosti a tloušťky.

## Diskuse

Největší chyba měření propustnosti filtrů plynula z chyby ampérmetru, dále se projevovala chyba vzniklá (i mnohonásobným) odrazem na povrchu filtrů, jež je rovněž diskutována. Pro měření s více filtry bylo použito srovnání s bezbarvými filtry.

U zelených destiček lze pozorovat zvonovité křivky propustnosti, u červené a žluté hranové. Žlutý filtr je téměř dokonale propustný pro vlnové délky nad 520 nm, pro nižší propustnost strmě klesá. Tmavě zelený filtr má maximální propustnost kolem 530 nm, kde propouští kolem 75 % světla a propustnost nad 50 % má mezi 480 nm a 580 nm, a jeho spektrální šířka je  $\approx 120$  nm. Červená destička je takřka dokonale propustná pro vlnové délky nad 640 nm, u nižších strmě klesá. Modrý filtr má kromě maxima v nejnižších měřených vlnových délkách vysokou propustnost i na opačné straně měřeného spektra, ve fialové oblasti, obecně vykazuje poměrně komplikovaný průběh. Světle zelený filtr má maximum propustnosti při 540 nm, kde propouští kolem 90 % světla. Propustnost nad 50% má v měřeném spektru při vlnových délkách nad přibližně 470 nm.

Z grafu 1 je zřejmé, že pro modrou, žlutou a červenou destičku je maximum propustnosti blízké 100 %, takže dle vztahu (3) a (4) musí být jejich index lomu značně nízký (nejvýše  $n \approx 1,5$  pro vlnové délky kolem maxim. Z tohoto také vyplývá, že v oblasti minim červené a žluté přispívá odrazivost povrchů k celkové pohltivosti pouze několika málo procenty. V případě světla zeleného filtru je nejvyšší možný index lomu  $n \approx 1,7$  (v oblasti maxima), ve vyšších vlnových délkách je proto vnitřní propustnost až o  $\sim 8$  % větší než celková. U tmavě zeleného filtru je vzhledem k tomu, že jeho maximum je poměrně nízké, obtížné říct o indexu lomu cokoli bližšího. Celkově platí, že vliv disperse (normální) není pro daný rozsah vlnových délek významný (maximálně kolem  $\sim 0,5$  %).

Při ověřování Beerova zákona byla pro zpřesnění měření použita čirá skla jakožto etalon propustnosti. Přesto tam mohou vznikat chyby například absorpcí odraženého světla v měřených filtrech. Přesto, jak je vidět z grafu 2, závislosti poměrně dobře odpovídají Beerovu zákonu.

## Závěr

Změřil jsem absorpční spektrum různobarevných skleněných filtrů a zaznamenal jej do tabulky 1 a grafu 1. Diskutoval jsem maximální propustnost a u tmavě zeleného filtru určil jeho spektrální šířku  $\approx 120$  nm. Diskutoval jsem příspěvek odrazivosti filtrů na jejich celkové pohltivosti. Pomocí světle zelených filtrů jsme ověřili Beerův zákon (graf 2) a určil jejich absorpční koeficient pro různé vlnové délky:  $k_{n540} = (80 \pm 7) \text{m}^{-1}$ ,  $k_{n580} = (188 \pm 8) \text{m}^{-1}$ ,  $k_{n620} = (463 \pm 15) \text{m}^{-1}$ ,  $k_{n470} = (629 \pm 22) \text{m}^{-1}$ .

## Literatura

[1] I. Pelant, V. Kohlová, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich: Fyzikální praktikum III: Optika, Matfyzpress, Praha 2005