

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Zpracoval: Ondřej Mikulaščík

Naměřeno: 28. listopadu 2008

Obor: Astrofyzika **Ročník:** 2. **Semestr:** 3.

Testováno:

Úloha č. 12: Propustnost pevných látek a kapalin

$T=22,1$ °C

$p=983$ hPa

$\phi=26$ %

1. Zadání

- Změřte spektrální závislost propustnosti řady destiček téhož materiálu s různými tloušťkami.
- Ověřte platnost Lambertova zákona aspoň v pěti vlnových délkách a ze směrnice grafu stanovte absorpční koeficient za předpokladu zanedbání odrazu na rozhraní.
- Změřte v zadaném spektrálním rozsahu propustnost dvou vzorků skla BK7.
- Pro jeden ze vzorků vypočtete spektrální závislost indexu lomu a proložte ji Cauchyho vztahem.

2. Teorie

Pro průchod monochromatické světelné vlny homogenní vrstvou látky platí Lambertův zákon:

$$(1) \quad T = e^{-\alpha t} ,$$

kde T je propustnost, t je tloušťka vrstvy a α je koeficient absorpce světla, který je závislý na vlnové délce dopadajícího elektromagnetického záření. Ověření lze provést měřením spektrální závislosti propustnosti v určitém intervalu vlnových délek na planparalelních destičkách téže látky o různých tloušťkách t .

Ze vztahu (1) plyne:

$$(2) \quad \ln T = -\alpha t .$$

Ze závislosti $\ln T$ na tloušťce vzorků dané látky pro určitou vlnovou délku lze dostat lineární závislost, z jejíž směrnice lze určit koeficient absorpce α .

Index lomu n lze pak stanovit z propustnosti pomocí vztahu:

$$(3) \quad T = \frac{2n}{n^2 + 1} .$$

Pokud určíme index lomu v dostatečně širokém intervalu vlnových délek, lze pak vypočítat materiálové konstanty z Cauchyho vztahu a sestavit disperzní křivku.

Cauchyho vztah závislosti indexu lomu n na vlnové délce λ neboli disperze je vyjádřen jako:

$$(4) \quad n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots ,$$

kde A, B a C jsou materiálové konstanty.

Pro výpočet se pak tato rovnice dá upravit na:

$$(5) \quad n = A + Bx + Cy \quad ,$$

kde $x = \frac{1}{\lambda^2}$ a $y = \frac{1}{\lambda^4}$. Pomocí dalších úprav se dostaneme k soustavě třech lineárních rovnic o třech neznámých A, B a C, kde pro N provedených měření platí:

$$(6) \quad \begin{aligned} NA + B \sum_1^N x_i + C \sum_1^N y_i &= \sum_1^N n_i \\ A \sum_1^N x_i + B \sum_1^N x_i^2 + C \sum_1^N x_i y_i &= \sum_1^N n_i x_i \\ A \sum_1^N y_i + B \sum_1^N x_i y_i + C \sum_1^N y_i^2 &= \sum_1^N n_i y_i \quad . \end{aligned}$$

Tato lze pak řešit například Cramerovým pravidlem.

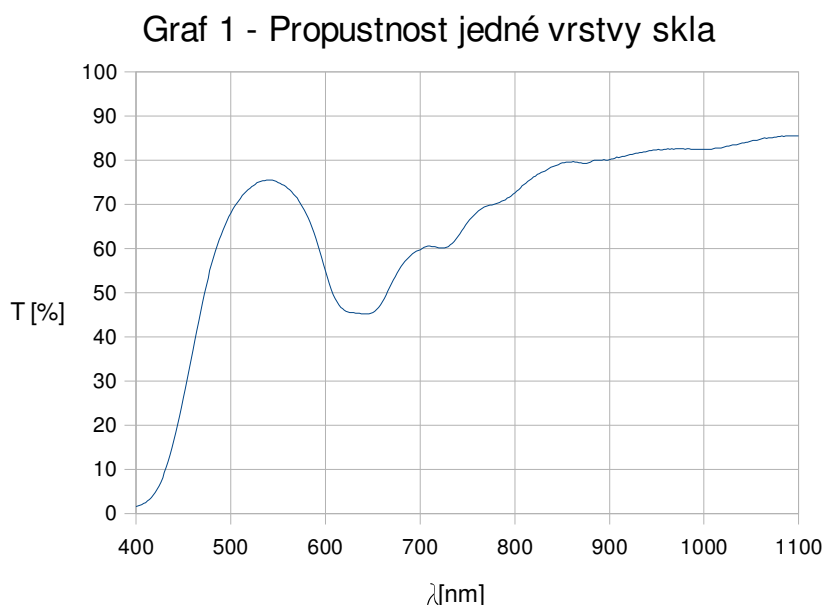
3. Měření a zpracování

V tabulce 1 je shrnuto měření tloušťky použitých zelených skel na mikrometru. Protože jsem při následných měřeních na spektrografu nerozlišoval, které z nich jsem použil, zvýšila se mi chyba měření. Průměrná hodnota tloušťky pak byla $t = (3,43 \pm 0,03)$ mm.

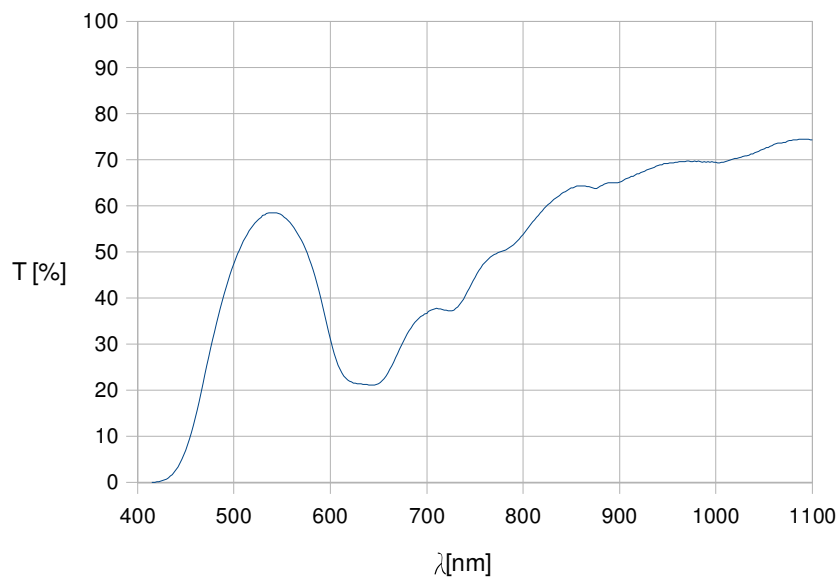
	t_1 [mm]	t_2 [mm]	t_3 [mm]	t_4 [mm]
sklo 1	3.42	3.42	3.43	3.42
sklo 2	3.45	3.45	3.45	3.45
sklo 3	3.41	3.41	3.43	3.42
sklo 4	3.43	3.43	3.44	3.43

Tabulka 1: Měření tloušťky skel mikrometrem.

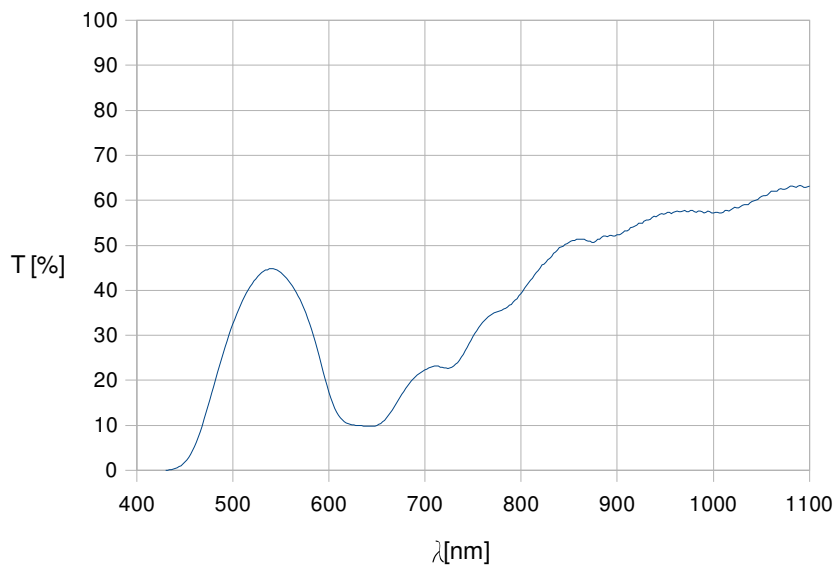
V následujících grafech jsou zanesena měření propustnosti na spektrografu pro jednu až čtyři vrstvy zeleného skla a měření propustnosti skla BK7.



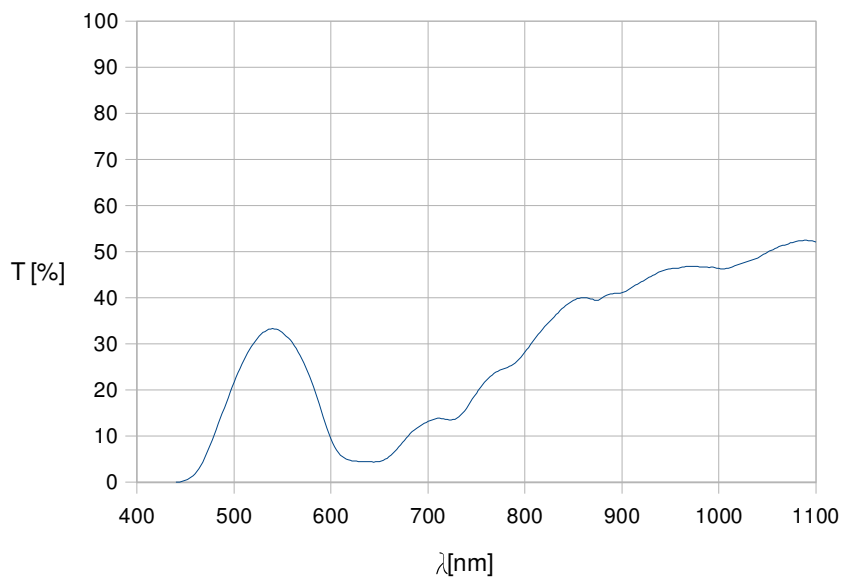
Graf 2 - Propustnost dvou vrstev skla



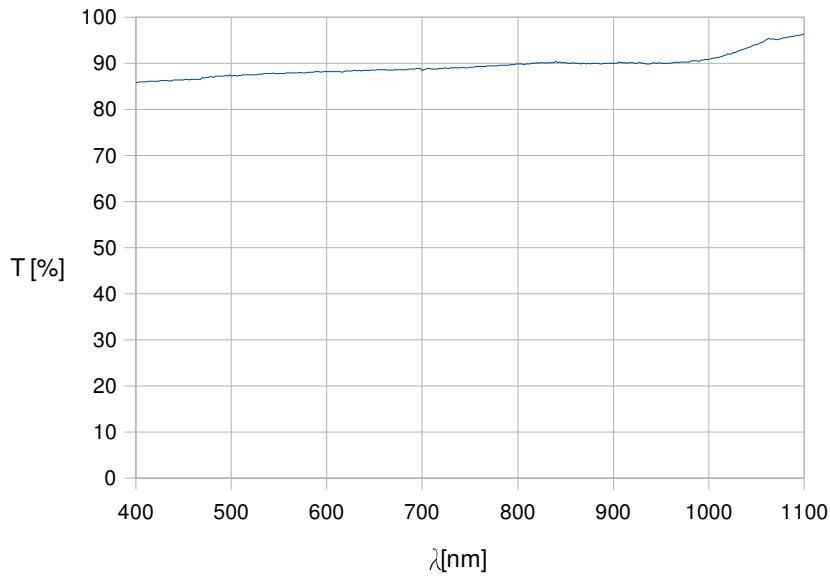
Graf 3 - Propustnost tří vrstev skla



Graf 4 - Propustnost čtyř vrstev skla



Graf 5 - Propustnost skla BK7

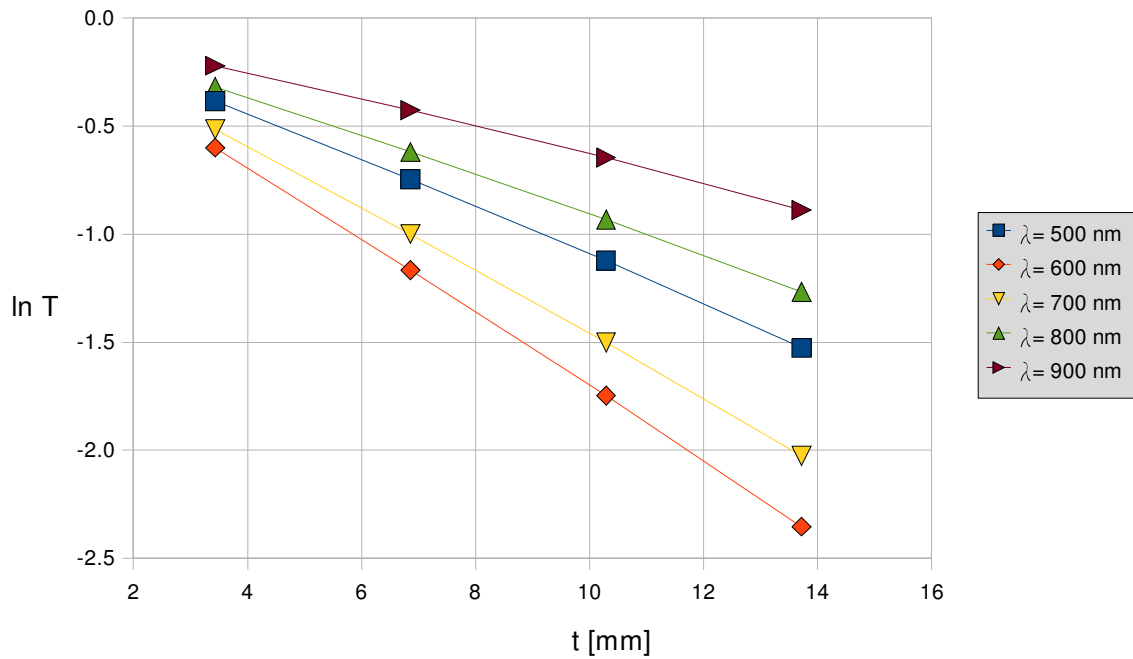


V následujících tabulkách jsou vypočítané hodnoty absorpčního koeficientu pro pět různých vlnových délek podle vztahu (2), kdy hodnotu α jsem vypočítal jako směrnici závislosti $\ln(T)$ na t podle vztahu:

$$(7) \quad \alpha = \left| \frac{\Delta \ln T}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\ln T_n - \ln T_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right| .$$

Pro pět hodnot vlnových délek jsem závislost logaritmu propustnosti na tloušťce vzorku vynesl do grafu 6.

Graf 6 - Závislost $\ln(T)$ na tloušťce pro různé hodnoty λ



T [%]	t [mm]	lnT	α [cm ⁻¹]
67.98	3.43	-0.386	0.010
47.42	6.86	-0.746	0.011
32.54	10.29	-1.123	0.012
21.74	13.72	-1.526	

Tabulka 2: Určení koeficientu absorpce pro vlnovou délku $\lambda = 500\text{nm}$.

T [%]	t [mm]	lnT	α [cm ⁻¹]
54.88	3.43	-0.600	0.017
31.13	6.86	-1.167	0.017
17.43	10.29	-1.747	0.018
9.51	13.72	-2.353	

Tabulka 3: Určení koeficientu absorpce pro vlnovou délku $\lambda = 600\text{nm}$.

T [%]	t [mm]	lnT	α [cm ⁻¹]
59.73	3.43	-0.515	0.014
36.77	6.86	-1.000	0.015
22.29	10.29	-1.501	0.015
13.18	13.72	-2.026	

Tabulka 4: Určení koeficientu absorpce pro vlnovou délku $\lambda = 700\text{nm}$.

T [%]	t [mm]	lnT	α [cm ⁻¹]
72.63	3.43	-0.320	0.009
53.82	6.86	-0.620	0.009
39.33	10.29	-0.933	0.010
28.17	13.72	-1.267	

Tabulka 5: Určení koeficientu absorpce pro vlnovou délku $\lambda = 800\text{nm}$.

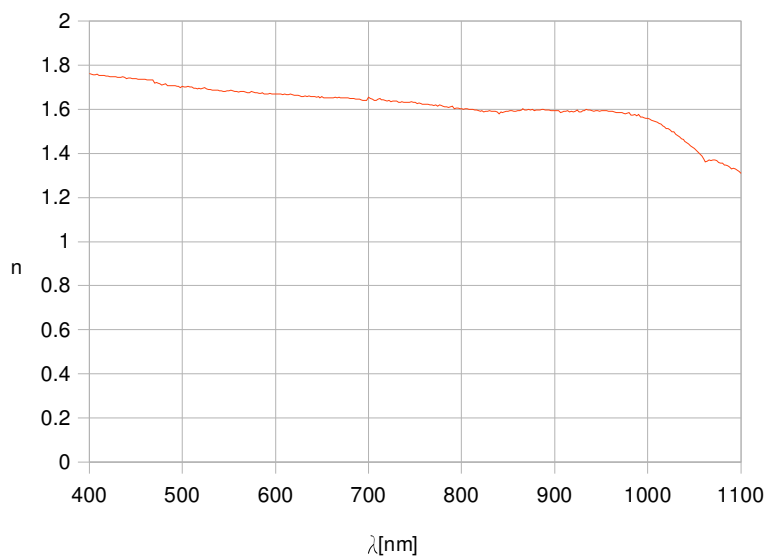
T [%]	t [mm]	lnT	α [cm ⁻¹]
80.19	3.43	-0.221	0.006
65.23	6.86	-0.427	0.006
52.41	10.29	-0.646	0.007
41.09	13.72	-0.889	

Tabulka 6: Určení koeficientu absorpce pro vlnovou délku $\lambda = 900\text{nm}$.

V grafu 7 je vynesena spektrální závislost indexu lomu. Tento jsem vypočítal ze vztahu (3) úpravou na:

$$(8) \quad n = \frac{1 + \sqrt{1 - T^2}}{T} .$$

Graf 7 - Spektrální závislost indexu lomu



4. Závěr

V následující tabulce jsou shrnuty zprůměrované hodnoty absorpčních koeficientů pro pět různých vlnových délek.

λ [nm]	α [cm ⁻¹]
500	0.011 ± 0.005
600	0.017 ± 0.004
700	0.015 ± 0.004
800	0.009 ± 0.003
900	0.006 ± 0.003

Tabulka 7: Průměrné hodnoty koeficientu absorpce.

Hodnoty materiálových konstant, vypočítaných ze vztahů (5) a (6), mi vyšly:

$$A = 1,552$$

$$B = 3,980 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$$

$$C = 1,106 \cdot 10^{-28} \text{ m}^4$$

Dovolil bych si tvrdit, že Lambertův zákon byl tímto měřením ověřen. Hodnoty absorpčního koeficientu, indexu lomu a materiálové konstanty odpovídají očekávání.