

Fyzikální sekce přírodovědecké fakulty
Masarykovy univerzity v Brně

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

F4220 - Výběrové fyzikální praktikum

Zpracoval: Petr Šafařík

Naměřeno:

Obor: ASTRO **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. :

$$T = 20,0^{\circ}\text{C}$$

$$p =$$

998 hPa

$$\varphi = 25,5 \%$$

F4220 - Výběrové fyzikální praktikum Spektroskopie

Petr Šafařík

Měřeno: 6. a 13. dubna 2007
Kompilováno: 28. května 2007

Abstrakt

Spektroskopie patří mezi pokročilejší optické analytické fyzikální metody. Pomocí měření spektra (nyní nerozlišuji mezi spektrem absorbním, emisním, transmisním, reflexním atd.) lze určit mnohé o zkoumaném objektu. Spektroskopie je jednou ze základních metod v astronomii, kde lze ze spektra určit teplota, složení, z posuvu spektra dále vzdálenost objektu, případně i informace o materiálu, který je mezi námi a zkoumanou hvězdou. Studium spektra z pohledu astrofyziky jsem se zabýval v předmětu F3190 — Astronomické praktikum [5]. Spektrum (absorbční a reflexní) lze ovšem zkoumat i 'malé' — v řádech mikrometrů i nanometrů. V tomto protokolu se budu věnovat měření tloušťky tenké vrstvy ze spektra propustnosti a reflexe.

Obsah

1 Zadání	3
2 Teoretické minimum	3
2.1 Měření indexu lomu z měření transmisivity	3
2.2 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření transmisivity	4
2.3 Stanovení indexu lomu a tloušťky tenké vrstvy z reflexního spektra	5
3 Měření a výsledky	6
3.1 Měření indexu lomu z měření transmisivity	6
3.2 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření transmisivity	6
3.3 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření reflexe	7
4 Poznámky	7
4.1 Script d1.m	11
4.2 Vystup ze scriptu d1.m	11
4.3 Script d2.m	11
4.4 Vystup ze scriptu d2.m	12

1 Zadání

- Určete index lomu skla BK7 z měření transmisivity
- Určete tloušťku tenké vrstvy TiO_4 z měření transmisivity
- Určete index lomu a tloušťku tenké vrstvy nanesené na křemíku z měření reflexivity

2 Teoretické minimum

Pro plné teoretické vysvětlení problémů se podívejte do script [\[1\]](#)

2.1 Měření indexu lomu z měření transmisivity

V optice se zavádí intenzitní veličiny odrazivost R , propustnost T a absorpce A , které při kolmém dopadu světla charakterizují z optického hlediska danou látku. Označíme-li symbolem I_0 intenzitu dopadající světelné vlny, pak

$$R = \frac{I_r}{I_0}$$

$$T = \frac{I_t}{I_0}$$

a v soulase se zákonem zachování energie platí:

$$A + R + T = 1$$

Z měření propustnosti T tlusté vrstvy dané látky lze určit, za předpokladu, že daná látka je neabsorbující, její index lomu. Tlustou vrstvou se rozumí taková tloušťka materiálu t , že platí $t \gg \lambda$, kde λ je vlnová délka dopadajícího světla. Vzhledem k tomu, že jde o neabsorbující látku, platí že absorpce $A = 0$ ve vztahu:

$$A + R + T = 1$$

Když se nám jedná o neabsorbující látku, platí :

$$T = \frac{1 - \rho}{1 + \rho}$$

Pro odrazivost rozhraní vzduchu — neabsorbující látka, která je charakterizována indexem lomu n

$$\rho = \frac{(1 - n)^2}{(1 + n)^2}$$

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

odkud lze již snadno stanovit hledaný index lomu neabsorbující látky — vztahem (1)

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

2.2 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření transmisivity

Prvně jsme museli určit index lomu tenké vrstvy n_1 . Dopadá-li na systém vzduch — tenká vrstva — podložka rovinná monochromatická vlna λ lze propustnost charakterizovat vztahem (2).

$$T = \frac{4n_1^2 n}{n_1^2 (n_1 + 1)^2 - (n^2 - n_1^2)(n_1^2 - 1) \sin^2 \left(\frac{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) 2n_1 d_1}{2} \right)} \quad (2)$$

Řešením rovnice (2) najdeme hledaný index lomu n_1 vztahem (3)

$$n_1 = \frac{2\sqrt{n} + \sqrt{4n - 4nT}}{2\sqrt{T}} \quad (3)$$

Z poloh dvou po sobě jdoucích extrémů závislosti $T(\lambda)$ podle vztahu (4) získáme tloušťku tenké vrstvy d .

$$d_1 = \frac{\lambda\lambda'}{4(n'_1\lambda - n_1\lambda')} \quad (4)$$

2.3 Stanovení indexu lomu a tloušťky tenké vrstvy z reflexního spektra

Odrazivost R systému podložka – tenká vrstva je dána vztahem (5) pro případ neabsorbující vrstvy na neabsorbující podložce.

$$R = \frac{\left(\frac{n_0-n_1}{n_0+n_1}\right)^2 + \left(\frac{n_1-n}{n_1+n}\right)^2 + 2\frac{n_0-n_1}{n_0+n_1}\frac{n_1-n}{n_1+n}\cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}n_1d\right)}{1 + \left(\frac{n_0-n_1}{n_0+n_1}\right)^2 + \left(\frac{n_1-n}{n_1+n}\right)^2 + 2\frac{n_0-n_1}{n_0+n_1}\frac{n_1-n}{n_1+n}\cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}n_1d\right)} \quad (5)$$

Pro minimální hodnoty reflexe R_{min} jsme s to určit index lomu vrstvy ze vztahu (6)

$$n_1 = \sqrt{n \left(\frac{1 - \sqrt{R_{min}}}{1 + \sqrt{R_{min}}} \right)} \quad (6)$$

Následně dostáváme vztah (7) pro hledanou tloušťku vrstvy

$$d = \frac{\lambda\lambda'}{4(n'_1\lambda' - n_1\lambda)} \quad (7)$$

Spojíme-li vztahy (6) a (7) získáme vztah (8), který již není problém přepsat do scriptu d2, který uvádím na straně 11 v části (4.3).

$$d = \frac{\lambda\lambda'}{4 \left(\sqrt{n \left(\frac{1 - \sqrt{R_{min}}}{1 + \sqrt{R_{min}}} \right)} \lambda' - \sqrt{n \left(\frac{1 - \sqrt{R_{min}}}{1 + \sqrt{R_{min}}} \right)} \lambda \right)} \quad (8)$$

Index lomu podložky n ve vztahu (8) určit ze vztahu (9):

$$n(\lambda) = 3.397 + \frac{1,4 \cdot 10^5}{\lambda^2} + \frac{1,992 \cdot 10^{10}}{\lambda^4} \quad (9)$$

3 Měření a výsledky

3.1 Měření indexu lomu z měření transmisivity

Dosažením naměřených hodnot T do vztahu (1) jsem získal hodnotu indexu lomu skla BK7 jako

$$n = f(\lambda)$$

funkce je v grafu zobrazena na straně 8 v obrázku (1). Průměrná hodnota následně vychází

$$n = 1,62 \pm 0,02$$

Je vidět, že se v oblasti 830 nm vyskytuje peak. Při této hodnotě se mění filtry a zřejmě nebyla tato změna dostatečně vykompenzována. V této poloze se projevují chyby i v dalších měřeních.

3.2 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření transmisivity

Tloušťku tenké vrstvy spočteme ze vztahu (4). Hodnotu indexu lomu použiji index lomu odpovídající k té které vlnové délce dle grafu (2). Hodnoty extrémů jsou v tabulce (1). Hodnoty λ a T získáme z grafu (2) na straně 8. Hodnotu indexu lomu skla BK7 pro určitou vlnovou délku získáme ze vztahu (1).

Tabulka 1: Hodnoty extrémů pro výpočet tloušťky tenké vrstvy

#	λ	T	n (skla BK7 pro λ)	n_1 (tenká vrstva)
1	419	0,6042	1,65554	2,66633
2	476	0,6363	1,62835	2,55838
3	564	0,6567	1,60267	2,49266
4	707	0,6662	1,58842	2,46269
5	970	0,6699	1,58485	2,45112

Následné zpracování bylo otázkou jednoduchého scriptu `d2.m` (část 4.1 na straně 11) pro program Octave [2]. Hodnota tenké vrstvy je z celkem 5 extrémů spočtena na:

$$d_1 = (261 \pm 5) \text{ nm}$$

3.3 Určení tloušťky tenké vrstvy z měření reflexe

Tloušťku tenké vrstvy spočteme ze vztahu (8).

Hodnotu indexu lomu použijí index lomu odpovídající k té které vlnové délce dle vztahu (9). Hodnoty extrémů jsou v tabulce (2). Hodnoty λ a R získáme z grafu (4) na straně 9. Index lomu podložky je vypočten na základě vztahu (9)

Tabulka 2: Hodnoty extrémů pro výpočet tloušťky tenké vrstvy

#	λ	R	n podložky	n_1 tenké vrstvy
1	440	0,13976	4,65161	1,4560
2	506	0,105650	4,24767	1,4710
3	596	0,085577	3,94900	1,4702
4	727	0,072060	3,73320	1,4673
5	934	0,063481	3,58366	1,4633

Následné zpracování bylo otázkou jednoduchého scriptu (část 4.3 na straně 11) pro program Octave [2]. Hodnota tenké vrstvy je z celkem 5 extrémů spočtena na:

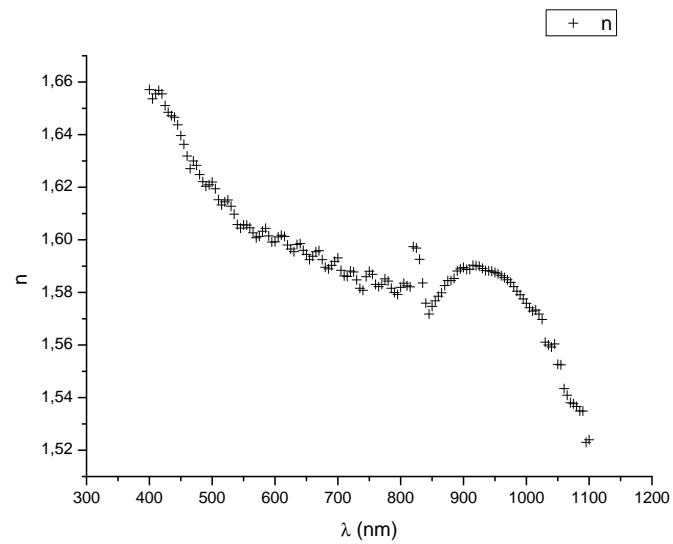
$$d_2 = (560 \pm 5) \text{ nm}$$

4 Poznámky

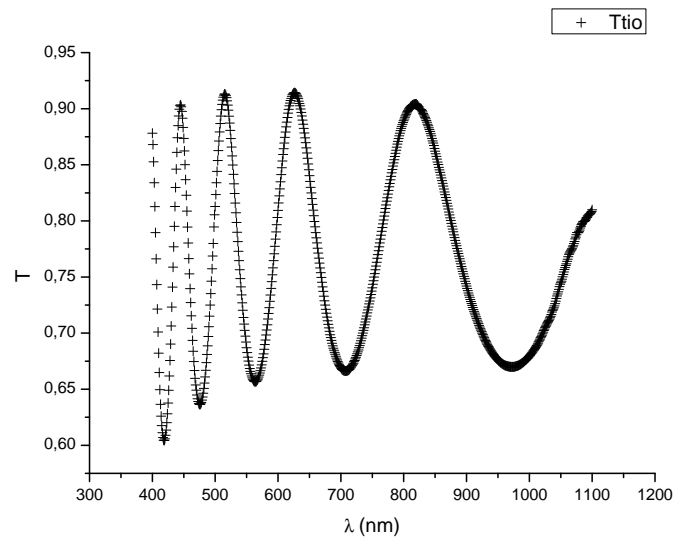
Reference

- [1] Kolektiv autorů: Výběrové fyzikální praktikum — návody k úlohám; Ústav fyziky kondenzovaných látek, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno, 2004
- [2] GNU Octave, version 2.1.72 (i486-pc-linux-gnu)
- [3] <http://physics.muni.cz/~petos>
- [4] <http://physics.muni.cz/~petos/F4220>
- [5] <http://physics.muni.cz/~petos/F3190>

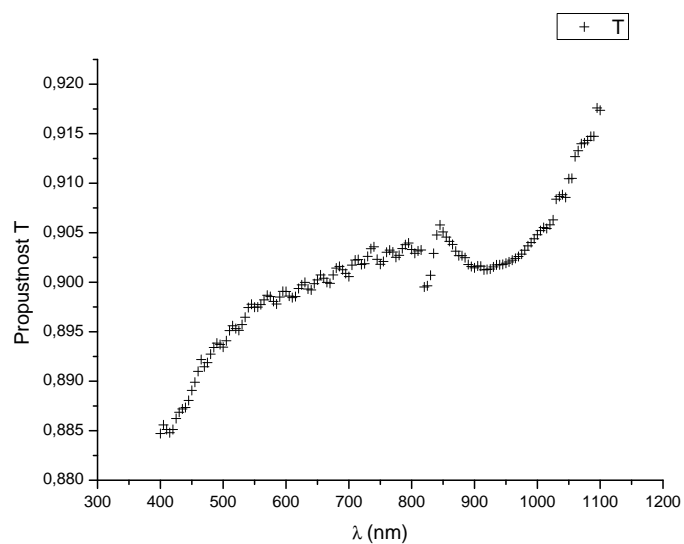
Obrázek 1: Graf funkční závislosti $n = f(\lambda)$ pro BK7 sklo



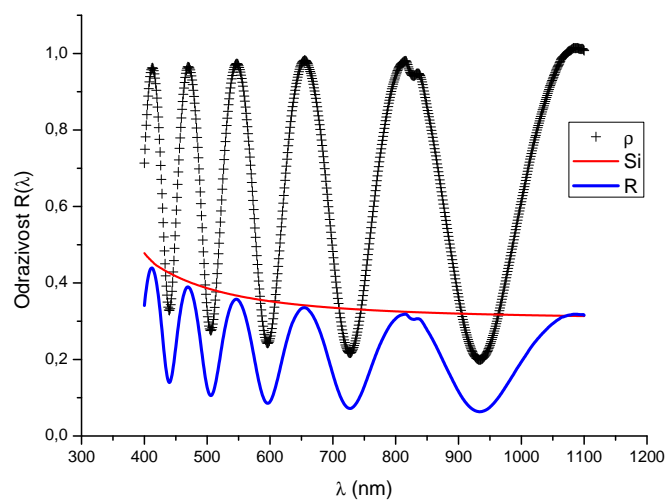
Obrázek 2: Graf funkční závislosti $T = f(\lambda)$ pro tenkou vrstvou TiO_2 na skle BK7



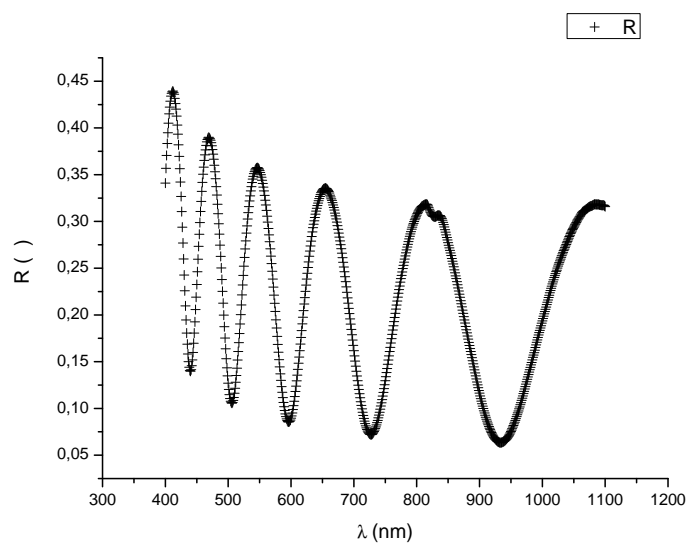
Obrázek 3: Závislost propustnosti T na vlnové délce λ



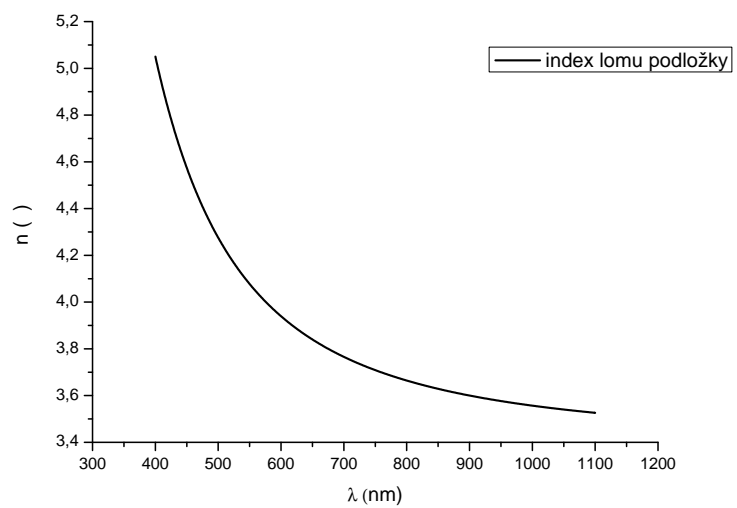
Obrázek 4: Graf funkční závislosti $R = f(\lambda)$ pro tenkou vrstvu



Obrázek 5: Graf funkční závislosti $R = f(\lambda)$ při reflexi



Obrázek 6: Graf funkční závislosti $n = f(\lambda)$ pro podložku při reflexi



4.1 Script d1.m

Výjimečně uvádím i script pro počítání tenké vrstvy z propustnosti, neboť je natolik primitivní, že se nebojím zneužítí.

```
load("textremy.dat")

lambda=textremy(:,2);
n=textremy(:,5);
dpart=0;
N=rows(n)-1;

for i=1:N
i = i
j = (i)+1
d = (lambda(i)*lambda(j)) / (4*(n(i)*lambda(j) - n(j)*lambda(i)))
dpart = dpart+d;
endfor

dprumer = dpart/N
```

4.2 Vystup ze scriptu d1.m

GNU Octave, version 2.1.69 (i386-pc-linux-gnu).
Copyright (C) 2005 John W. Eaton.

4.3 Script d2.m

Výjimečně uvádím i script pro počítání tenké vrstvy z odrazivosti, neboť je natolik primitivní, že se nebojím zneužítí.

```
load("rextremy.dat")

lambda=rextremy(:,2);
R=rextremy(:,3);
n=rextremy(:,4);
dpart=0;
N=rows(n)-1;

for i=1:N
i = i
j = (i)+1
na = sqrt( n(i) * ( (1- (sqrt(R(i)))) / (1+ (sqrt(R(i))))))
```

```

na = sqrt( n(j) * ( (1- (sqrt(R(j)))) / (1+ (sqrt(R(j))))))

d = (lambda(i)*lambda(j)) / (4*(nb*lambda(j) - na*lambda(i)))
dpart = dpart+d;
endfor

dprumer = dpart/N

```

4.4 Vystup ze scriptu d2.m

GNU Octave, version 2.1.69 (i386-pc-linux-gnu).
 Copyright (C) 2005 John W. Eaton.

```

i = 1
j = 2
na = 1.4560
nb = 1.4710
d = 537.01
i = 2
j = 3
na = 1.4710
nb = 1.4702
d = 571.47
i = 3
j = 4
na = 1.4702
nb = 1.4673
d = 568.56
i = 4
j = 5
na = 1.4673
nb = 1.4633
d = 565.91
dprumer = 560.74

```