

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 7. listopadu 2017

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. 12: Spektroskopické metody

Povinná část:

1. Stanovte spektrální závislost propustnosti skleněné destičky v zadaném intervalu vlnových délek.
2. Z naměřené propustnosti stanovte pro všechny vlnové délky index lomu.
3. Vyneste graficky závislost indexu lomu na vlnové délce.
4. Proložte tuto závislost (její klesající část pro delší vlnové délky) Cauchyovým vztahem.

Povinně volitelná část:

1. Naměřte spektrální závislost propustnosti daného vzorku.
2. Určete hodnoty indexu lomu vrstvy ze všech extrémů spektrální závislosti propustnosti, které mají lichý interferenční řád.
3. Vyneste graficky závislost indexu lomu vrstvy na vlnové délce.
4. Určete hodnotu tloušťky vrstvy.

1. Teoretický úvod

Dopadá-li světelná vlna na rozhraní dvou optických prostředí, určitá část energie se odrazí, zbývající část energie projde do druhého prostředí. Obecně v látce dochází i k absorpci energie, v našem případě však uvažujeme neabsorbující látku a ze zákona zachování energie tedy platí:

$$R + T = 1, \quad (1)$$

kde R je odrazivost a T propustnost látky. Tyto veličiny určují poměr intenzit prošlého (odraženého) a dopadajícího světla:

$$R = I_r/I_0, \quad T = I_t/I_0. \quad (2)$$

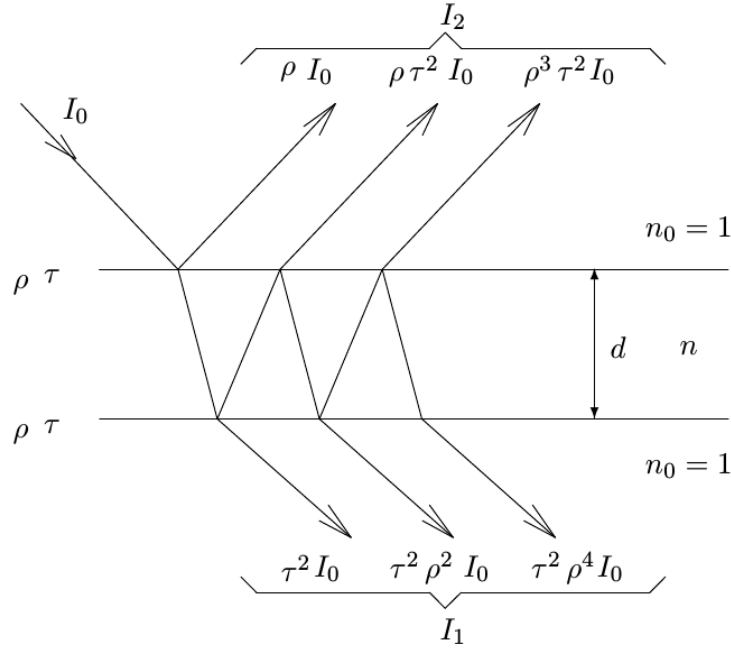
Pro celkovou intenzitu prošlého světla platí vztah (obrázek 1):

$$I_r = I_0(\tau^2 + \tau^2\rho^2 + \tau^2\rho^4 + \tau^2\rho^6 + \dots), \quad (3)$$

pro propustnost tedy získáváme vztah:

$$T = \tau^2 + \tau^2\rho^2 + \tau^2\rho^4 + \tau^2\rho^6 + \dots, \quad (4)$$

kde ρ a τ jsou koeficienty odrazivosti a propustnosti.



Obrázek 1: Intenzita odraženého a prošlého světla.

Pravá strana rovnice (4) je geometrická řada, jejíž součet je:

$$T = \frac{\tau^2}{1 - \rho^2}. \quad (5)$$

Odrazivost na rozhraní vzduch-neabsorbující látka s indexem lomu n určíme z Fresnelových koeficientů jako:

$$\rho = \frac{(1 - n)^2}{(1 + n)^2}. \quad (6)$$

Pro neabsorbující látku tedy platí $\tau = 1 - \rho$. Dosazením do rovnice (5) získáváme závislost propustnosti na indexu lomu:

$$T = \frac{2n}{n^2 + 1}. \quad (7)$$

1.1. Určení tloušťky tenké vrstvy z měření propustnosti

Pro propustnost systému podložka-verstva lze odvodit vztah:

$$T_f = \frac{4n_1^2 n}{n_1^2(n + 1)^2 - (n^2 - n_1^2)(n_1^2 - 1) \sin^2(x/2)}, \quad (8)$$

kde n je index lomu podložky, n_1 je index lomu tenké vrstvy a x je fázový posun paprsků ve vrstvě. Při kolmém dopadu je dráhový rozdíl inteferujících paprsků $s = 2n_1 d$ a pro jejich fázový posun tedy platí:

$$x = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 d, \quad (9)$$

kde d je tloušťka tenké vrstvy.

Ze vztahu (8) dostaneme maxima a minima propustnosti:

$$T_f^{\max} = \frac{4n}{(n+1)^2} \quad T_f^{\min} = \frac{4n_1^2 n}{(n_1^2 + n)^2}. \quad (10)$$

Z minim závislosti propustnosti nyní určíme index lomu tenké vrstvy:

$$n_1 = \frac{1 + \sqrt{1 - T_f^{\min}}}{\sqrt{T_f^{\min}}} \sqrt{n} \quad (11)$$

Pro dvě sousední minima spektrální závislosti propustnosti vrstvy platí:

$$\frac{2n_1' d}{\lambda'} = \frac{2n_1 d}{\lambda} + 1. \quad (12)$$

Tloušťku vrstvy tedy určíme ze vztahu:

$$d = \frac{\lambda \lambda'}{2(n_1' \lambda - n_1 \lambda')}. \quad (13)$$

Pro určení výsledné propustnosti samotné vrstvy zavedeme tzv. *měrnou propustnost*:

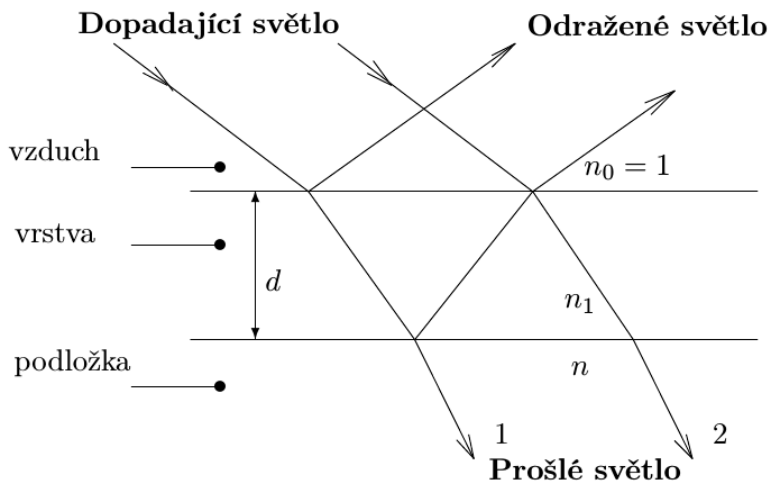
$$T_m = T_{fs}/T_{ss}, \quad (14)$$

kde T_{ss} je propustnost skleněné destičky a T_{fs} je propustnost destičky s tenkou vrstvou oxidu titaničitého. Výslednou propustnost samotné vrstvy získáme ze vztahu:

$$T_f = T_m \frac{1 - R_s}{1 + R_s(1 - T_m)}, \quad (15)$$

kde

$$R_s = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}. \quad (16)$$

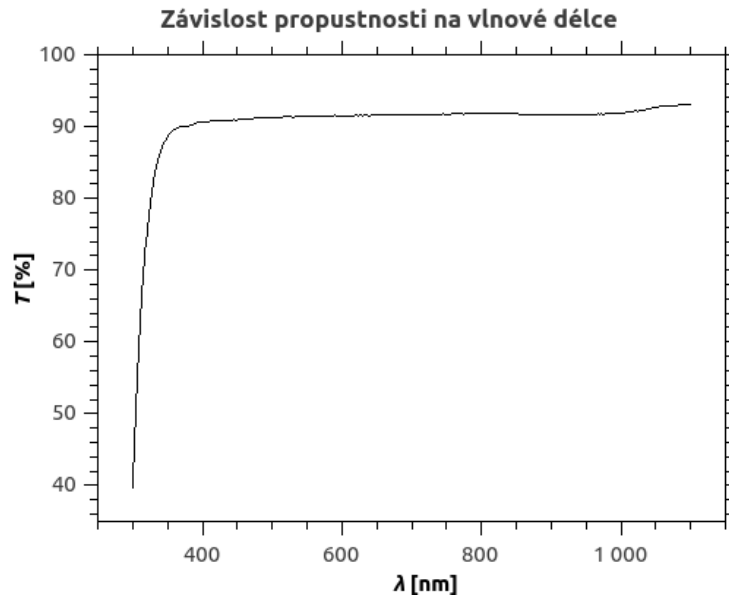


Obrázek 2: Průchod světla tenkou vrstvou.

2. Měření

2.1. Stanovení spektrální závislosti propustnosti

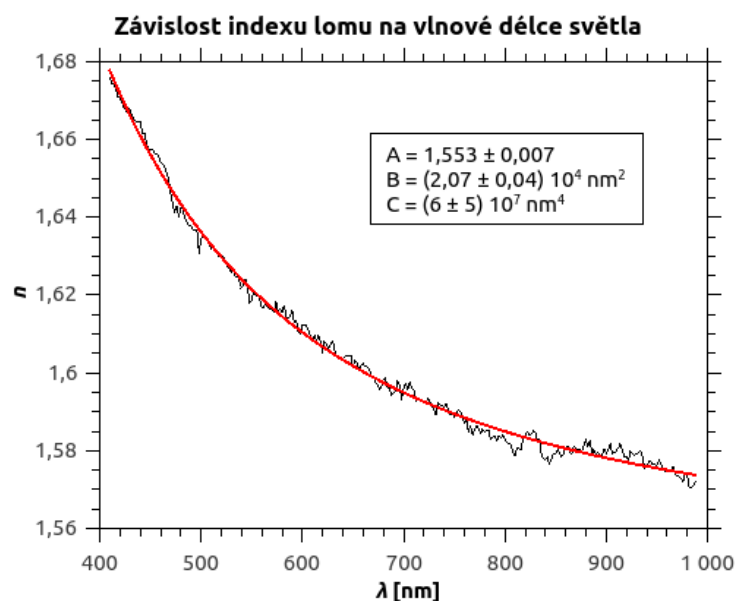
Zkalibrujeme spektrometr a následně provedeme měření spektrální závislosti propustnosti skleněné destičky.



Graf 1: Spektrální závislost propustnosti skleněné destičky BK7.

2.2. Určení indexu lomu a proložení Cauchyho vztahem

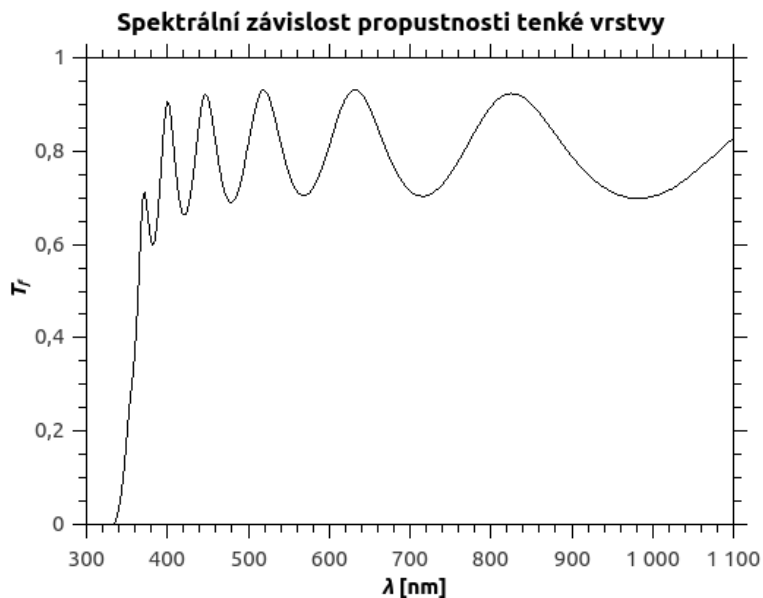
Vyřešením kvadratické rovnice (7) získáme vztah vyjadřující závislost indexu lomu na propustnosti (bereme pouze kořen, jež má fyzikální smysl) a proložíme ji Cauchyho vztahem $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$.



Graf 2: Spektrální závislost indexu lomu proložená Cauchyho vztahem.

2.3. Měření spektrální závislosti propustnosti daného vzorku

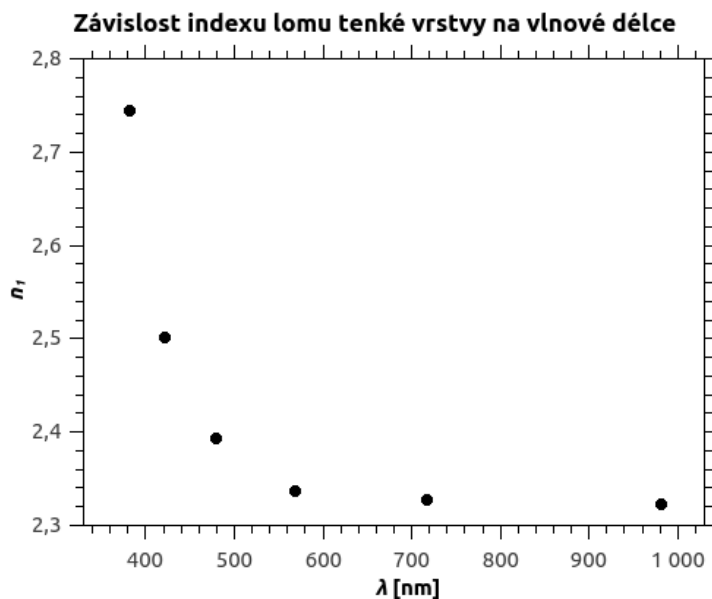
Pomocí spektrometru proměříme spektrální závislost samotného sklíčka T_{ss} a následně i sklíčka s tenkou vrstvou oxidu titaničitého T_{fs} . Pomocí vzorce (15) následně spočteme hledanou spektrální závislost samotné vrstvy.



Graf 3: Spektrální závislost propustnosti tenké vrstvy oxidu titaničitého.

2.4. Určení závislosti indexu lomu vrstvy na vlnové délce

Index lomu tenké vrstvy určíme z minim spektrální závislosti tenké vrstvy $T_f(\lambda)$ (graf 3) pomocí vzorce (11).



Graf 4: Spektrální závislost index lomu vrstvy oxidu titaničitého.

2.5. Určení hodnoty tloušťky vrstvy

Ze získaných hodnot indexu lomu pro dané vlnové délky spočteme tloušťky vrstvy podle vzorce (13).

Tabulka 1: Hodnoty indexu lomu pro minima propustnosti tenké vrstvy.

λ_{\min} [nm]	n_1	d [nm]
382	2,745	406,9
420	2,502	527,0
478	2,394	559,3
568	2,337	579,3
716	2,328	568,2
980	2,324	

Tloušťka vrstvy oxidu titaničitého $d = (530 \pm 30)$ nm.

3. Závěr

Změřil jsem závislost propustnosti skleněné destičky BK7 na vlnové délce, z ní jsem určil spektrální závislost i indexu lomu destičky a proložil jsem ji Cauchyho vztahem.

Stanovil jsem spektrální závislost propustnosti tenké vrstvy, z jejích minim jsem určil závislost indexu lomu na vlnové délce a odhadnul jsem tloušťku tenké vrstvy oxidu titaničitého $d = (530 \pm 30)$ nm.