

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 30

Název.: Jednoduché aplikace interferenčních jevů

Měřil.: Michal Švanda.....dne:..5. dubna 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

Posuzoval:.....dne:.....

Výsledek klasifikace:.....

Pracovní úkol

1. Změřte tloušťku přiložené tenké vrstvy.
2. Pomocí Newtonových interferenčních kroužků změřte oba poloměry křivosti čočky. Po dohodě s vyučujícím vyberte dvě z přiložených čoček.

Teoretický úvod

Jednou z nejpoužívanějších metod měření tloušťky tenkých vrstev řádu $10^1 - 10^2$ nm. Metoda je založena na vícesvazkové interferenci světla na vzduchové mezeře vytvořené mezi měřeným vzorkem a polopropustným zrcadlem. Přesnější a podrobnější odvození lze nalézt v [L1] na str. 143.

Tenkou vrstvu osvětlíme monochromatickým světlem o vlnové délce λ a pozorujeme interferenční jev mikroskopem, kde se objeví interferenční proužky ve vzdálenosti x_2 , každý proužek je vrypem "zlomen" o vzdálenost x_1 . Tloušťka tenké vrstvy je pak rovna:

$$t = \frac{x_1 \lambda}{x_2 2} \quad [\text{R1}]$$

Vzdálenosti x_1 a x_2 měříme odečítacím okulárem a potřebujeme je znát pouze relativně, nikoli v absolutních jednotkách SI.

Významnou aplikací interferenčních jevů jsou Newtonovy kroužky, které jsou způsobeny interferencí světla na tenké vzduchové vrstvě mezi dvěma dotýkajícími se zakřivenými povrchy. Realizují se obvykle tak, že se položí na rovinnou skleněnou desku čočka o poloměru křivosti R . Vzhledem k souměrnosti jevu budou výsledkem interference soustředné kružnice. Kroužky, které pozorujeme, jsou kroužky stejné tloušťky, protože jsou způsobeny interferencí na vzduchové vrstvě stejné tloušťky.

Proměříme-li dva Newtonovy kroužky k -tý a n -tý, můžeme s využitím geometrie pokusu odvodit vztah pro poloměr křivosti použité čočky:

$$R = \frac{\rho_k^2 - \rho_n^2}{\lambda(k-n)}, \quad [\text{R2}]$$

kde ρ_k a ρ_n jsou poloměry příslušných Newtonových kroužků a λ vlnová délka použitého světla.

Pro jednotlivý kroužek bude platit vztah:

$$\frac{1}{R}\rho_k^2 + d = k\lambda, \quad [\text{R3}]$$

kde k je pořadí kroužku směrem od středu obrazce, R je poloměr křivosti kulové plochy a d konstanta závisající na styku obou ploch.

Výsledky měření

Proměřil jsem pomocí interference tloušťku přiložené tenké vrstvy. Měření shrnuje tabulka [T1]. Zjištěná tloušťka vrstvy je:

Tloušťka vrstvy: $t=(48045)$ nm

Pro podobný experiment s Newtonovými kroužky již potřebuji rozměry proměřovaného obrazce znát v absolutní míře v jednotkách SI. Kalibraci odměřovacího mikroskopového okuláru shrnuje začátek tabulky [T2].

Měření poloměru křivosti dvou čoček metodou Newtonových kroužků shrnuje tabulka [T2]. V této tabulce jsou naměřená data zpracována jednotlivě pro každé dva sousední kroužky. Výsledek je stanoven jako aritmetický průměr získané sady hodnot. Pro jednotlivé čočky jsem dospěl k následujícím výsledkům:

Čočka 1 strana s nálepkou: $R=(76\pm 14)$ mm

Čočka 1 strana bez nálepky: $R=(79\pm 14)$ mm

Čočka 2 strana s nálepkou: $R=(50\pm 11)$ mm

Čočka 2 strana bez nálepky: $R=(94\pm 12)$ mm

Výsledky jsem zpracoval ještě jinou metodou, a to metodou lineární regrese plynoucí ze vztahu [R3]. Zpracování je shrnuto v tabulce [T3] a dospěl jsem k následujícím hodnotám (bez uvedení chyb měření):

Čočka 1 strana s nálepkou: $R=78$ mm

Čočka 1 strana bez nálepky: $R=80$ mm

Čočka 2 strana s nálepkou: $R=50$ mm

Čočka 2 strana bez nálepky: $R=92$ mm

Diskuse

Při měření tenké vrstvy mohou znát potřebné vzdálenosti v libovolných jednotkách, protože ze vzorce [R1] vyplývá, že potřebuji znát jen jejich poměr. Odpadá tedy potřeba kalibrace měřícího okuláru. Odečtené hodnoty jsou tedy v dílkách mikroskopové stupnice. Za vlnovou délku jsem vzal aritmetický průměr vlnových délek sodíkového dubletu (589,0 a 589,6 nm) a neuvažoval žádnou chybu, neboť nejistota zahrnutá v průměrování dvou vlnových délek v jednu výslednou je řádu desetin promile. Uvažoval jsem pouze chyby způsobené odečítáním interferenčních minim, přesněji středů tmavých proužků, kterou jsem experimentálně stanovil na mezní hodnotu $\pm 0,05$ dílku mikroskopického odečítacího okuláru. Ze sady změřených hodnot x_1 a x_2 jsem vypočítal jejich aritmetické průměry a směrodatné odchylky a ty dále zohlednil při výpočtu tloušťky vrstvy, stejně jako chybu jednotlivých měření. Výslednou chybu (9%) je třeba brát jako chybu mezní

V případě Newtonových kroužků jsem postupoval podobně. Chybu odměřování při kalibraci jsem odhadl na $\pm 0,05$ dílku jako chybu mezní, výsledná chyba je podstatně menší díky tomu, že jsem najednou proměřoval třináct desetin milimetru na stupnici.

Při odečtu Newtonových minim jsem se snažil odečíst střed tmavých proužků, chybu jsem odhadl jako chybu mezní $\pm 0,05$ dílku mikroskopického okuláru pro každé měření. Při výpočtech jsem uvažoval jak chyby odečítání jednotlivých dílků, tak chybu kalibrace.

Získal jsem pro každou sférickou plochu sadu vypočtených poloměrů křivosti, za výslednou hodnotu jsem prohlásil jejich aritmetický průměr, relativní chybu jsem určil jako maximum relativních chyb jednotlivých měření z příslušné sady. Výslednou chybu (která je dosti velká, je řádu jednotek procent) je tedy nutné brát jako chybu maximální.

Při druhém způsobu zpracování jsem využil vztahu [R3] a poloměr křivosti stanovil z lineární regrese. Bohužel při použití této metody lze chybu jen odhadovat, neboť Microsoft Excel 95 neumí vypočítat chybu lineární regrese. Lze se ale domnívat, že relativní chyba nebude větší, než maximum z relativních chyb jednotlivých měření, což jsou hodnoty maximálně řádu jednotek procent.

Hodnoty poloměrů křivosti získané oběma metodami se v rámci svých chybových intervalů překrývají.

Závěr

Změřil jsem interferenční jev na tenké vrstvě a z něj stanovil její tloušťku. Proměřil jsem pomocí Newtonových kroužků poloměry křivosti dvou konvexních čoček.

Literatura

[L1] I. Pelant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich - Fyzikální praktikum III - Optika

