

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 6

Název.: Studium ohybových jevů v laserovém svazku

Měřil.: Michal Švanda.....dne:..15. března 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

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

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

1. Na stínítku s mm papírem zachyťte obrazec vzniklý ohybem na mřížce a proměřte vzdálenost ohybových maxim.
2. Pomocí aparatury proměřte ohybové obrazce na mřížce, šterbinách a a dvojšterbinách. (Po dohodě s vyučujícím vyberte 2 šterbiny a 2 dvojšterbiny)
3. Okalibrujte mikroskopový okulár, odhadněte chybu kalibrace. Proměřte mřížkovou konstantu použité mřížky a pomocí ohybového obrazce stanovte vlnovou délku laseru, porovnejte s tabelovanou hodnotou. Proměřte mikroskopem geometrické parametry šterbin a dvojšterbin, odhadněte chyby.
4. Pomocí ohybového obrazce dvojšterbin a šterbin a tabelované hodnoty vlnové délky laseru stanovte šířky šterbin i jejich vzdálenosti u dvojšterbin. Porovnejte s hodnotami, které jste naměřili mikroskopem.
5. K referátu přiložte grafické průběhy ohybových obrazců.

Teoretický úvod

Průměr laserového svazku se s rostoucí vzdáleností od výstupní apertury zvětšuje, což charakterizuje *divergence svazku* d :

$$d = \frac{D_1 - D_2}{v}, \quad [\text{R1}]$$

kde D_1 a D_2 jsou průměry laserových svazků ve vzdálenosti v , přičemž D_1 obvykle měříme u výstupní apertury laseru.

Minimální dosažitelná divergence svazku je dána ohybem světla na apertuře a lze ji odhadnout:

$$d_m \sim \frac{2\lambda}{D_1}, \quad [\text{R2}]$$

kde D_1 je tentokrát průměr výstupní apertury a λ je vlnová délka použitého světla.

Takovýmto svazkem lze pozorovat ohybové jevy na mřížce, šterbině a dvojšterbině.

Ve všech případech budeme sledovat daleký, tedy Fraunhoferův ohyb.

Na šterbině je intenzita Fraunhoferova ohybu I pod úhlem φ dána vztahem:

$$I \sim \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)} \right)^2, \quad [\text{R3}]$$

kde b je šířka šterbiny a λ je vlnová délka použitého světla. Minimální interzita odpovídá úhlům:

$$\varphi \doteq \sin \varphi = \frac{k\lambda}{b}. \quad [\text{R4}]$$

Máme-li dvojici šterbin šířky b ve vzdálenosti a , je intenzita I pod úhlem φ dána vztahem:

$$I \sim \cos^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \varphi\right) \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)} \right)^2. \quad [\text{R5}]$$

K minimům daným ohybem na šterbině ještě přistupují minima daná interferencí paprsků vycházejících z obou šterbin.

Mřížka se chová podobně jako dvojšterbina, ostrá maxima intenzity nastávají pro úhly φ dané:

$$\varphi \doteq \sin \varphi = \frac{k\lambda}{a}, \quad [\text{R6}]$$

kde k je libovolné celé číslo.

Výsledky měření

Výsledky všech měření jsou shrnuty v přiložených tabulkách.

Ze znalosti vzdálenosti stínítka od zdroje difrakce ($l=(1000\pm 10)$ mm) jsem byl schopen určit úhel odklonu pro příslušné minimum nebo maximum difrakčního obrazce, v dalším textu se již pracuje výhradně s takto určenými úhly.

Zpracování zakresleného difrakčního obrazce mřížky (viz přiložený milimetrový papír) shrnuje tabulka [T1]. Výsledky jsou zpracovány jednak čistě statisticky bez váhy a jednak váženě v programu Origin.

Mřížková konstanta čistě statisticky: $a=(51,04\pm 0,30)$ nm

Mřížková konstanta váženým průměrem: $a=(50,96\pm 0,22)$ nm

Oscilaci hodnot mřížkové konstanty pro každý řád maxima a jejich konvergenci vystihuje graf [G6].

Poté jsem zkalibroval mikroskopický okulár a s jeho pomocí změřil přímo mřížkovou konstantu použité mřížky a parametry měřených štěrbin. Pro zpracování jsem si vybral štěrbinu A a C a dvojštěrbinu A a C. Vše shrnuje tabulka [T2].

Šířka štěrbin:

A: $b=(0,45\pm 0,03)$ mm

C: $b=(0,10\pm 0,03)$ mm

Šířka dvojštěrbin:

A: $b=(0,13\pm 0,03)$ mm

C: $b=(0,23\pm 0,03)$ mm

Vzdálenost štěrbin dvojštěrbiny:

A: $a=(0,61\pm 0,03)$ mm

C: $a=(1,19\pm 0,04)$ mm

Mřížková konstanta:

$a=(50\pm 2)$ nm

Ze známé mřížkové konstanty jsem pomocí odečtených úhlů interferenčních maxim stanovil vlnovou délku použitého světla (opět dvěma způsoby, jako v případě úkolu 1).

Vlnová délka laseru čistě statisticky: $a=(623,9\pm 3,6)$ nm

Vlnová délka váženým průměrem: $a=(625,1\pm 2,8)$ nm

Oscilace a konvergenci hodnot vlnové délky pro každý řád maxima vystihuje graf [G7].

Pomocí aparatury jsem proměřil ohybové obrazce pro dvě štěrbin (A a C) a dvě dvojštěrbiny (A a C) a pro mřížku. Naměřené průběhy vystihují grafy [G1] až [G5].

Z grafů jsem pak odečítal úhly pro výpočet parametrů použitých štěrbin a dvojštěrbin. Odečítal jsem symetricky hodnoty inteferenčních a difrakčních minim. Získané hodnoty jsou shrnuty v tabulce [T3].

Šířka štěrbin:

A: $b=(0,41\pm 0,03)$ mm

C: $b=(0,10\pm 0,01)$ mm

Šířka dvojštěrbin:

A: $b=(0,11\pm 0,02)$ mm

C: $b=(0,18\pm0,05)$ mm

Vzdálenost štěrbin dvojštěrbiny:

A: $a=(0,7\pm0,2)$ mm

C: $a=(1,6\pm0,9)$ mm

Diskuse

Určování chyb bylo v řadě případů velmi komplikované. V případě proměrování difrakčního obrazce mřížky na stínítku jsem bral v úvahu chyby odečtu a zákresu na hodnotu ± 1 mm, která je chybou mezní. S touto chybou se dále počítá ve výpočtech a získám takto sadu hodnot mřížkových konstant (pro každý řád maxima jednu) každá s odlišnou chybou. Pro statistické zpracování jsem tuto chybu zanedbal (sloupečky Excel 95), do programu Origin jsem ale použil sadu i s chybami a použil váženou lineární regresi pro stanovení absolutního členu posloupnosti coby výsledku (sloupeček Origin 5.0).

Při kalibraci mikroskopového okuláru i měření parametrů pomocí mikroskopu jsem stanovoval chyby pouze odhadem a jsou chybami mezními.

Pro určení vlnové délky použitého světla ze znalosti mřížkové konstanty jsem použil sadu úhlů odečtených z milimetrového papíru a získal opět sadu hodnot pro vlnové délky s rozdílnými chybami (pro každý řád jednu). Postupoval jsem úplně stejně jako v případě stanovování mřížkové konstanty. Oba výsledky jsou i v rámci svých experimentálních chyb pod tabelovanou hodnotou ($\lambda=632,8$ nm). Dle mého mínění je to způsobeno podceněním vypočtené experimentální chyby ze strany programu Origin. Zde bych očekával chybu stejného řádu, jakého je změřená mřížková konstanta (4%), tedy stanovené vlnové délky by měly zřejmě mít experimentální chyby řádu desítek nanometrů. Což by již umožňovalo shodu tabelované hodnoty a chybového intervalu.

Při odečítání poloh minim a maxim z grafů [G2] až [G5] jsem narážel na problém stanovení chyby odečtu a postupoval jsem vždy případ od případu, kdy jsem bral v úvahu především "ostrost" minima/maxima a možnost zkreslení způsobené projekcí extrému křivky na osu x . Získal jsem opět sadu příslušných hodnot (jednu pro každý řád), z nichž jsem výslednou hodnotu určil průměrem a za relativní chybu jsem vzal maximum z relativních chyb jednotlivých měření. Chyby jsou tedy stanoveny jako chyby mezní a jsou způsobeny především nepřesností při odečítání úhlů z grafů (resp. nejnepřesnějšího měření).

Všechny hodnoty určené z difrakčních a interferenčních minim se v rámci svých experimentálních chyb překrývají s hodnotami zjištěnými přímým měřením mikroskopem.

Závěr

Pozoroval a zaznamenával jsem ohybové jevy v laserovém svazku a získané kvantum měření použil pro vizualizaci v grafu a výpočty parametrů štěrbin, dvojštěrbiny a mřížky.

Literatura

[L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fähnrich - Fyzikální praktikum III. - Optika

