

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 3

Název.: Mřížkový spektrometr

Měřil.: Michal Švanda.....**dne:**...2. března 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

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

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

1. Seřídíte spektrometr na kolmý dopad světla (rovina optické mřížky je kolmá k ose kolimátoru) pomocí bočního osvětlení nitkového kříže (použitím Gaussova okuláru).
2. Změřte mřížkovou konstantu použité mřížky. K měření použijte sodíkového dubletu.
3. Odhadněte rozlišovací schopnost spektrometru ze zobrazení sodíkového dubletu ve spektru 1. a 2. řádu spektrometrem. Vypočítejte teoreticky maximální dosažitelnou rozlišovací schopnost a oba výsledky porovnejte.
4. Změřte vlnové délky viditelných čar ve spektru rtuti. K měření použijte spektra 1. řádu. Kalibrační křivku zpracujte graficky a lineární regresí.
5. Určete úhlovou disperzi mřížky ve žluté oblasti spektra 1. a 2. řádu.

Teoretický úvod

Optické spektrometry jsou přístroje, které dovolují vizuální pozorování a kvalitativní proměrování spektra zkoumaného světla. Jejich podstatnou součástí je disperzní soustava - v našem případě mřížka na průchod. Dopadá-li svazek rovnoběžných paprsků (je zajištěno vloženým kolimátorem) kolmo (nutno nastavit) na mřížku s mřížkovou konstantou d , dochází na každé ze štěrbin k ohybu světla a na stínítku nebo v registračním přístroji (např. oku) interferenci svazků z jednotlivých štěrbin. V registračním přístroji nebo na stínítku se pak v některých směrech vytvoří interferenční maxima a minima. Maxima pak svírají s kolmicí mřížky úhel φ_k , pro který platí:

$$\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{d}, \quad [\text{R1}]$$

kde k je řád maxima.

Měřicí soustava je složena ze zdroje světla, z kolimátoru (který zajišťuje rovnoběžnost svazku paprsků), mřížky a proměřovacího dalekohledu na otočném podstavci se stupnicí pro měření úhlů. Abychom vyloučili systematickou chybu vzniklou stanovením nulového úhlu (pro spektrum 0. řádu), odečítáme úhly vždy pro k -tý a $-k$ -tý řád a obě hodnoty průměrujeme. Tak získáme úhel φ , potřebný pro dosazení do vzorce [R1].

Vedle mřížkové konstanty je důležitou charakteristikou mřížky její rozlišovací schopnost, která se vypočítá jako:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad [\text{R2}]$$

kde $\Delta\lambda$ je nejmenší rozdíl vlnových délek $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$, dvou blízkých čar, které lze přístrojem ještě rozlišit.

Teoreticky je maximální rozlišovací schopnost dána

$$R_m = nk, \quad [\text{R3}]$$

kde n je počet světlených štěrbin. Osvětluje-li mřížku kolimátor, platí pro maximální rozlišovací schopnost vzorec:

$$R_m = 0,82 \frac{D}{d} k, \quad [\text{R4}]$$

kde D je průměr výstupní pupily kolimátoru.

Posledním charakteristickým parametrem, který budeme proměřovat, je *úhlová disperze* D_a , která je dána vztahem:

$$D_a = \frac{d\varphi}{d\lambda}, \quad [\text{R5}]$$

kde $d\varphi$ je rozdíl úhlů, pod kterým vycházejí ze soustavy paprsky dvou blízkých vlnových délek $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$.

Teoreticky dostaneme diferenciací vztahu [R1] pro úhlovou disperzi

$$D_a = \frac{k}{d \cos \varphi_k} \quad [R6]$$

Výsledky měření

- 1) Provedl jsem seřízení optické soustavy na kolmý dopad světla podle návodu popsaneho v [L1].
- 2) Změřil jsem rozptylové úhly pro sodíkový dublet v 1. a 2. řádu. V obou řádek bylo možné rozeznat, že se jedná o dublet. Měření shrnuje tabulka [T1]. Změřená mřížková konstanta mřížky je pak

$$d = (1751 \pm 23) \text{ nm}$$

Chyba je určena z chyby odměřování úhlů, kterou jsem pro všechny úlohy odhadl na $0^\circ 10'$.

- 3) V prvním řádu byl dublet na hranici rozlišitelnosti, což umožňuje odhadnout rozlišovací schopnost na hodnotu

$$R \sim 1000$$

Podle teoretických výpočtů (průměr výstupní pupily kolimátoru $D=18 \text{ mm}$) by měla rozlišovací schopnost dosáhnout řádu

$$R_m \sim 10^4$$

V druhém řádu jsem odhadl, že bych byl schopen mezi čarami sodíkového dubletu rozeznat ještě další dvě spektrální čáry a získal tak následující hodnoty:

$$R \sim 3000; \quad R_m \sim 2 \times 10^4$$

- 4) Ve spektru se mi podařilo identifikovat všechny spektrální čáry uvedené v příložené tabulce. Proměřil jsem celé spektrum 1. a -1. řádu, ze kterého jsem získal kalibrační křivku. Měření je shrnuto v tabulce [T2], získané hodnoty jsou vyneseny do grafu [G1] a proloženy lineární regresí pomocí programu Origin 5.0. Získaná regresní závislost popisuje vlnovou délku ze změřeného úhlu odklonu ve spektru prvního řádu:

$$\lambda = d \sin \varphi$$

$$d = (1751,3 \pm 0,7) \text{ nm}$$

- 5) Pro měření úhlové disperze jsem použil dvě blízké žluté čáry ze spektra rtuti *Hg*. Měření a výpočty shrnuje tabulka [T3]. Získané hodnoty jsou následující (první hodnota v řádku podle vzorce [R5], druhá podle [R6]):

$$1. \text{ řád} - D_a = 762 \times 10^3 \text{ rad.m}^{-1}, \quad D_a = 60810^3 \text{ rad.m}^{-1}$$

$$2. \text{ řád} - D_a = 2,410^6 \text{ rad.m}^{-1}, \quad D_a = 1,5E \times 10^6 \text{ rad.m}^{-1}$$

V případě vzorce [R5] je obtížné stanovit chybu měření, protože změřený úhlový interval ve spektru je menší než odhadovaná chyba měření, tudíž takto stanovené hodnoty mají relativní chybu řádu desítek procent.

V případě vzorce [R6] lze dojít přesným výpočtem k relativní chybě přibližně 3%.

Diskuse

Změřené mřížkové konstanty různými metodami si v rámci svých chyb neodpovídají. Hodnota určená z proměrování sodíkového dubletu je větší, než hodnota získaná při kalibraci. Větší váhu přiřkládám hodnotě stanovené lineární regresí při kalibraci, protože je jednodušší a zatížena menší chybou (stanovenou programem Origin 5.0) a pak je stanovována ze série čar, zatímco v úloze č. 1 vlastně pouze ze dvou blízkých. Domnívám se, že program Origin 5.0 chybu lineární regrese mírně podcenil, dle mého odhadu by měla činit řádově jednotky nm.

V praktiku byl na mřížce uveden počet vrypů na mm (570 mm^{-1}), což dává mřížkovou konstantu $d=1754,4 \text{ nm}$, která je ve shodě s výsledkem získaným při kalibraci v úloze 4.

Skutečná rozlišovací schopnost je 6 až 10 krát menší, než teoreticky spočítaná. Lepším zaostřením a seřízením soustavy by se tedy měla rozlišovací schopnost podstatně zvětšit. Nicméně si nemyslím, že bych rozlišovací schopnost podcenil, i když je její odhad velmi subjektivní.

Kalibrace mřížky fakticky potvrdila vztah [R1], tudíž lineární závislost sinu úhlu odklonu na procházející vlnové délce.

Hodnoty úhlové disperze se pro oba způsoby měření řádově shodují. Přesto bych přiřkládal větší váhu druhému způsobu určení (pomocí vzorce [R6]), protože relativní chyba této metody je řádu jednotek procent, na rozdíl od hodnoty určené pomocí vzorce [R5], která je řádu desítek procent - způsobeno především blízkostí čar a nepřesností odečítání úhlů.

Závěr

Stanovil jsem mřížkovou konstantu, spektrální rozlišení a úhlovou disperzi mřížkového spektrometru v praktiku. Podařilo se mi potvrdit vzorec [R1].

Literatura

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