

5.2 Měření vlnových délek světla mřížkovým spektrometrem

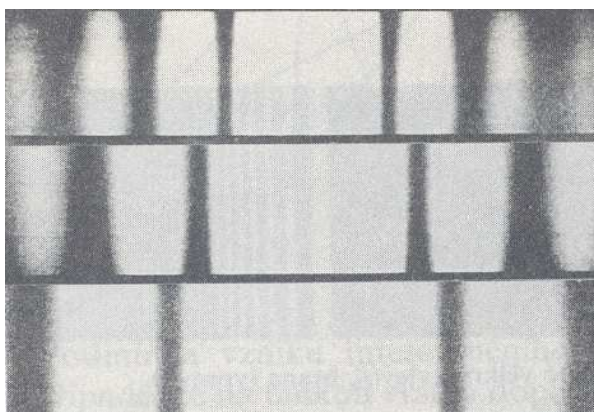
Prostudujte



Brož, J. Základy fyzikálních měření. 1. vyd. Praha: SPN, 1983, čl. 6.4.2.2

Princip měření

Difrakce (ohyb) světla je jedním z několika projevů vlnových vlastností světla. Z těchto důvodů světlo při setkání s překážkou proniká do prostoru geometrického stínu, tj. i tam, kam by na základě přímočarého šíření pronikat nemělo. Jev je zřetelný především na hranách předmětů a na překážkách s rozměry řádově se blížící vlnové délce daného světla (drát, vlas, úzká štěrbina).



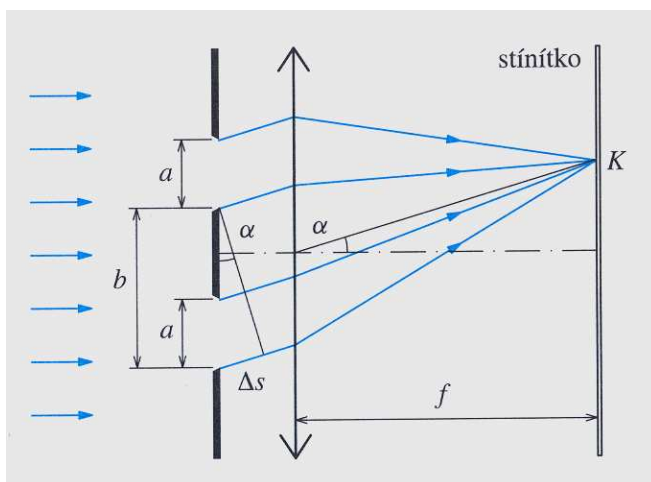
Obr. 5.5: Ohyb světla na štěrbinách různé šířky

Osvětlíme-li v laboratorních podmínkách úzkou štěrbinu monofrekvenčním světlem, štěrbina sama se chová podle Huygensova principu jako světelný zdroj. Na stínítku získáme difrakční obrazec, který je výsledkem interference světelného vlnění, dopadajícího na stínítko z různých bodů vlnoplochy. Výsledkem není jednoduchý obraz štěrbinu, nýbrž soustava světlých a tmavých pruhů které označujeme za interferenční maxima a minima. Jejich rozložení závisí na šířce štěrbinu a na vlnové délce světla. Čím bude štěrbina užší, tím bude výraznější ohyb světla, projevující se větší vzdáleností mezi jednotlivými minimy.

Difrakce světla se nejčastěji zkoumá na optické mřížce. Tu tvoří skleněná planoparalelní destička, na níž je vyryta soustava rovnoběžných, stejně od sebe vzdálených vrypů. Neporušená místa mezi vrypy tvoří štěrbinu a tedy i soustavu zdrojů světla, vrypy světlo nepropouští. Běžné mřížky mají kolem 100 vrypů na jeden milimetr délky, kvalitní mřížky až 2 000 vrypů na milimetr. Vzdálenost mezi štěrbinami označujeme za periodu mřížky (mřížkovou konstantu).

Difrakční obrazec vytvořený optickou mřížkou má velmi úzká interferenční maxima, která jsou od sebe vzdálena tím více, čím menší je perioda mřížky. Při kolmém dopadu monofrekvenčního světla na mřížku lze nalézt ke každému paprsku procházejícím štěrbinou mřížky nalézt v sousední štěrbině ve vzdálenosti b paprsek jdoucí stejným směrem. Mezi těmito paprsky je dráhový rozdíl Δs (viz obr. 5.6), pro nějž platí

$$\Delta s = b \cdot \sin \varphi . \quad (1)$$



Obr. 5.6: Difrakce na mřížce

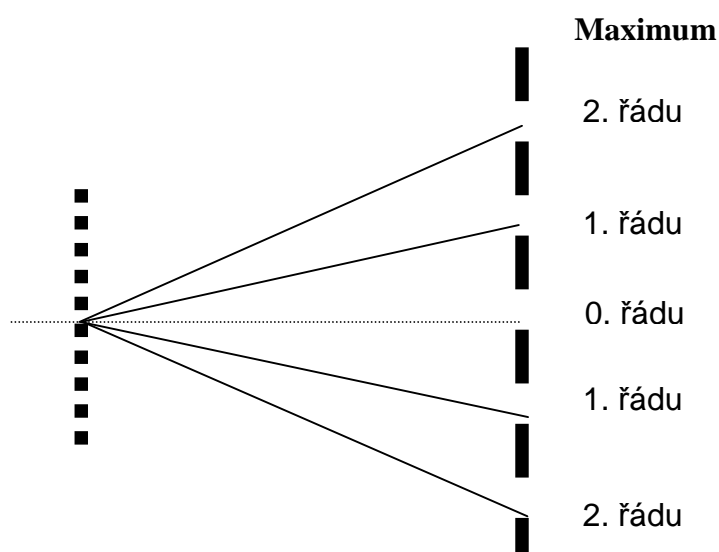
Pokud se tento dráhový rozdíl rovná celistvému násobku vlnové délky světla, dochází k zesílení světla - interferenčnímu maximu, pro nějž platí

$$b \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda , \quad (2)$$

kde $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ a označujeme jej jako řád maxima. Pro $k = 0$ je maximum nultého řádu, které vzniká ve směru paprsků dopadajících na mřížku.

Pro $k = 1$ se jedná o maximum prvního řádu, které vzniká po obou stranách maxima nultého řádu, atd. U viditelného světla je spektrum druhého řádu již částečně překryto spektrem řádu třetího.

Místo periody mřížky se často uvádí její převrácená hodnota, která určuje počet vrypů na 1mm délky, která se označuje jako hustota vrypů.



Obr. 5.7: Rozložení interferenčních maxim a minim při difrakci na optické mřížce

Kontrolní otázka



- Na ohybovou mřížku, která má 100 vrypů na 1 mm, dopadá kolmo rovnoběžný svazek červené složky spektra ($\lambda_{\text{č}} = 700 \text{ nm}$). Určete v jaké vzájemné vzdálenosti budou první a třetí světlý pás na stínítku umístěném ve vzdálenosti 100 cm od mřížky.

Z rovnice (2) vychází pro vlnovou délku světla vztah

$$\lambda = \frac{b \cdot \sin \varphi_k}{k} . \quad (3)$$

Při známé mřížkové konstantě b a změřením úhlu φ příslušného řádu maxima k , můžeme určit vlnovou délku daného světla.

Je celá řada různých typů mřížek. Jsou to jednak mřížky rovinné, užívané buď na průchod, nebo na odraz, jednak tzv. Rowlandovy konkávní mřížky, které jsou ryty na vnitřní stranu kulové plochy velkého poloměru (1 – 10 m). Nejčastěji se však používají mřížky rovinné.

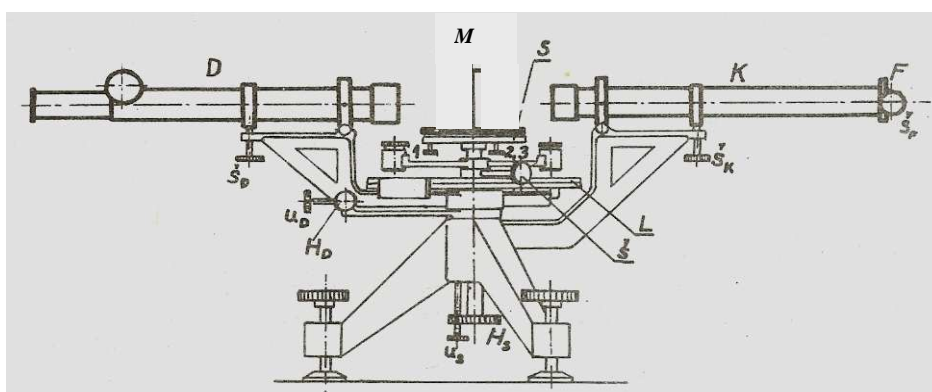
Mřížkový spektrometr je druh spektroskopu opatřený kalibrovanou stupnicí určený

ke zkoumání a proměřování spekter a velice často je používán k určení vlnové délky světla.

Vlastní spektrální přístroj je vybaven optickou mřížku (M), úhломěrnou stupnicí a zobrazovací soustavou. Ta se skládá z objektivu kolimátoru (K) a objektivu dalekohledu (D)



Obr. 5.8: Spektrometr

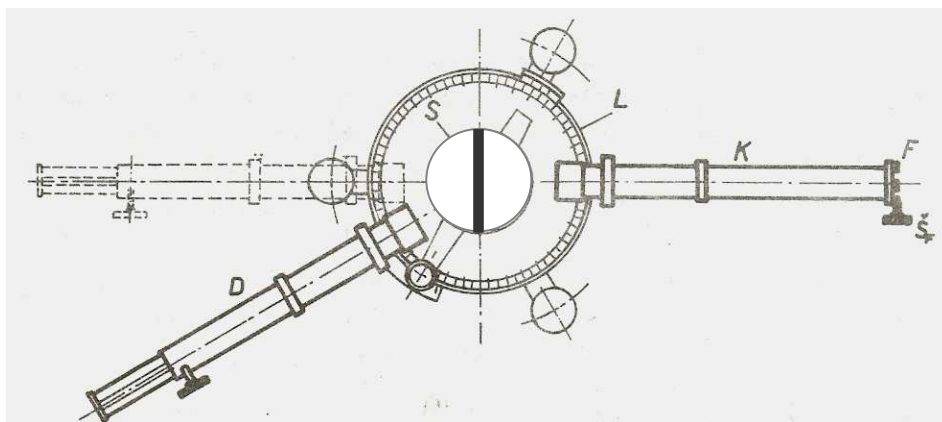


Obr. 5.9: Části spektrometru - boční pohled

Před štěrbinou (\check{S}) kolimátoru s měnitelnou šířkou pomocí mikrometrického šroubu se staví zdroj monofrekvenčního (monochromatického) světla. Zdroj je v ohnisku čočkové soustavy kolimátoru (F) a proto z kolimátoru vycházející svazek paprsků můžeme považovat za rovnoběžný. Tubus kolimátoru (K) bývá pevně namontován na stativu, na kterém je také stolek s úhломěrnou stupnicí (S) pro umístění mřížky. Paprsky se šíří z kolimátoru na optickou mřížku, kde dochází k difrakci světla.

Po průchodu disperzní soustavou vchází rozptýlené světlo do objektivu dalekohledu, ten je spojen se stolem a může se spolu se stolem otáčet a polohu dalekohledu tak lze odečítat na úhломěrné stupnici s noniem. V ohnisku objektivu dalekohledu se nám zobrazí obraz štěrbinu. Okulár dalekohledu je vybaven nitkovým křížem. Pokud je štěrbina osvět-

lena bílým (slunečním) světlem, obraz štěrbinu vidíme v duhových barvách. Okulár dalekohledu je vybaven nitkovým křížem.



Obr. 5.10: Části spektrometru - pohled shora

Současně je třeba upravit polohu mřížky tak, aby její vrypy byly rovnoběžné se štěrbinou kolimátoru. Správnost tohoto nastavení provedeme tak, že otáčíme stolcem mřížky a pozorujeme spektrum. Při otáčení se nesmí měnit výška obrazu štěrbinu v dalekohledu.

Před vlastním měřením je nutné spektrometr zjustovat. Justace přístroje spočívá v nastavení štěrbinu kolimátoru do ohniskové roviny objektivu a v nastavení dalekohledu na nekonečno. Nastavení kolimátoru na nekonečno provedeme tak, že dalekohled postavíme proti kolimátoru tak, aby se jejich optické osy nacházely v jedné přímce. Pak pohybujeme trubicí kolimátoru se štěrbinou tak dlouho, až vidíme ostrý obraz štěrbinu v rovině nitkového kříže. Takto nastavená štěrbinu se nalézá v ohniskové rovině objektivu kolimátoru a svazek paprsků z něj vychází rovnoběžně.

Nastavení dalekohledu na nekonečno se provede vyjmutím okuláru ze stativu, otáčením zaměříme velmi vzdálený předmět a současně nitkový kříž tak, abychom je viděli ostře. Předpokladem k přesnému měření je kolmost optické mřížky k šíření světla. Seřízení mřížky provedeme spolu s určením periody mřížky.

Nultý řád spektrální čáry světla určité vlnové délky nastavíme do středu nitkového kříže dalekohledu a 1. řády tohoto světla jsou odchýlena od maxima nultého řádu o stejně velký úhel. Tím je zajištěno, že rovina mřížky je přesně kolmá k ose dalekohledu.

Pro tento účel využijeme vlastnosti vlnové délky světla sodíkové výbojky. To vykazuje v maximu 1.řádu dvě čáry o vlnových délkách 589,0 nm a 589,6 nm. Na základě znalosti této vlnové délky (resp. středního průměru vlnových délek) a úhlu odchýlení pro 1. maximum nastavíme kolmost mřížky a určíme její periodu ze vztahu:

$$b = \frac{k \cdot \lambda}{\sin \alpha}, \quad \text{resp.} \quad b = \frac{\lambda}{\sin \alpha}.$$

K pozorování a měření spektrálních čar využíváme 1.řád neboť s rostoucím řádem spektra vzrůstá úhlová disperze a rozlišovací schopnost mřížky, na druhé však klesá intenzita světla.

Potřeby

Spektrometr, mřížka, sodíková a rtuťová výbojka, automatická pojistka.

Postup měření

1. Před měřením je nutné spektrometr zjustovat:
 - a) nastavte dalekohled
 - b) nastavte kolimátor
2. Seříd'te spektrometr na kolmý dopad světla na mřížku za použití sodíkové výbojky, kdy 1. řád a -1. řád maxima jsou vzdáleny od nultého řádu o stejný úhel. Maximální rozdíl úhlů je $0,5^\circ$. Postupné nastavení kolmosti mřížky doložte tabulkou.
3. Seřízeným spektrometrem, proved'te pomocí sodíkové výbojky deset měření (1. a -1. řádu maxima) k určení periody dané optické mřížky. Naměřené hodnoty standardně zpracujte.
4. Změřte vlnové délky viditelných spektrálních čar rtuťové výbojky na základě naměření šesti hodnot úhlů pro každou spektrální barvu v 1. a -1. řádu maxima.
5. Srovnajte výsledky měření těchto čar s tabulkovými hodnotami z tabulky uvedené v Příloze 3.