

4.4 Mřížkový spektrometr

Teoretický úvod

Optické spektrometry jsou přístroje, které dovolují vizuální pozorování a kvantitativní proměření spektra zkoumaného světla. Jejich podstatnou částí je zařízení, které zkoumané světlo rozkládá, tzv. disperzní soustava. V našem případě je ve spektrometru jako disperzní soustavy použito rovinné mřížky na průchod (kap. 4, odst. 4.9). Dopadá-li svazek rovnoběžných paprsků o určité vlnové délce kolmo na rovinnou mřížku s mřížkovou konstantou a , dochází na každé ze štěrbin, z nichž se mřížka skládá, k ohybu světla. V důsledku interference světla z různých štěrbin se však světlo za mřížkou nešíří na všechny strany, ale jeho intenzita nabývá ostrého hlavního maxima v určitých směrech kolmých ke vrypům mřížky a svírajících úhly φ_k s kolmicí k rovině mřížky. Pro úhly φ_k platí

$$\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{a}, \quad (1)$$

kde k je celé číslo.

Obsahuje-li dopadající světlo více složek s různými vlnovými délkami, vychází z mřížky pod úhly φ_k pro určité k úplné úhlově rozložené spektrum tohoto světla. Hodnotu $|k|$ nazýváme řádem spektra.

Dalšími součástmi spektrometru jsou (viz obr. 4.4–1) kolimátor K a dalekohled D . Kolimátor vytváří rovnoběžný svazek paprsků a je tvořen čočkou \check{C} a úzkou štěrbinou \check{S} umístěnou v ohniskové rovině čočky \check{C} . Štěrbina je rovnoběžná s vrypy mřížky a rovnoměrně osvětlena (často přes kondensor) zdrojem zkoumaného světla. Spektra vytvořena mřížkou M pozorujeme otáčivým dalekohledem D . Otáčením dalekohledu lze jeho nitkový kříž nastavit na vybranou čáru spektra a na děleném kruhu odečíst úhel otočení dalekohledu. Abychom vyloučili vliv nepřesně určené nulové polohy, odečítáme polohy čáry ψ_1, ψ_2 ve spektrech téhož řádu na obou stranách (symetricky k ose kolimátoru) a úhel φ_k vypočteme jako

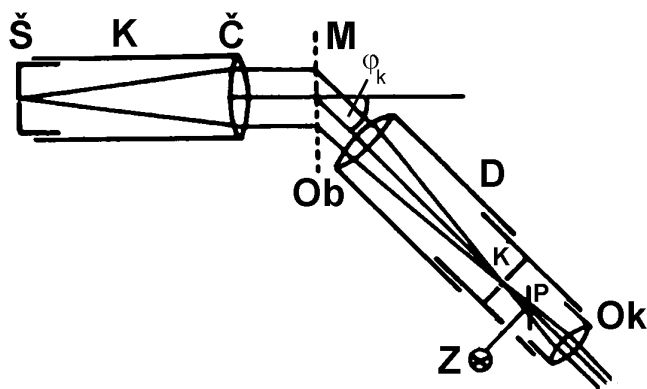
$$\varphi_k = |\psi_1 - \psi_2|/2.$$

Při zpracování výsledků využijeme vztah (1) dvěma způsoby. Z měření se sodíkovým světlem známé vlnové délky ($\lambda_{D1} = 589,0$ nm, $\lambda_{D2} = 589,6$ nm; čára D uvedená v tabulce 1, kap. 1, odst. 1.4 je aritmetickým průměrem těchto čar) určíme užitím vztahu (1) mřížkovou konstantu. V dalším pak používáme této hodnoty a ze vztahu (1) určujeme vlnové délky spektrálních čar.

Vedle mřížkové konstanty a mřížky charakterizujeme ještě mřížku její rozlišovací schopností, úhlovou disperzí a disperzní oblastí. Jako *rozlišovací schopnost* se u spektrálních přístrojů obvykle zavádí číslo

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (2)$$

kde $\delta\lambda$ je nejmenší rozdíl vlnových délek $\lambda, \lambda + \delta\lambda$ dvou blízkých čar, které lze přístrojem ještě rozlišit. Dosažení vysoké rozlišovací schopnosti spektrometru předpokládá kvalitní optiku přístroje, dostatečně velké zvětšení dalekohledu a použití úzké štěrbin. Jsou-li tyto předpoklady splněny, je horní dosažitelná mez rozlišovací schopnosti



Obr. 4.4-1 Schéma mřížkového spektrometru

R_m dána vlnovým charakterem světla. U mřížky je tato mez, podobně jako u jiných přístrojů, založených na interferenci více svazků, rovna

$$R_m = mk, \quad (3)$$

kde k je řád spektra a m počet interferujících svazků. Je-li celá plocha mřížky osvětlena paprsky z kolimátoru, je počet svazků m roven celkovému počtu vrypů mřížky N :

$$N = \frac{s}{a}, \quad (4)$$

kde s je šířka mřížky. Osvětlují-li však paprsky z kolimátoru jen část celkové plochy mřížky, je třeba do vztahu (3) dosadit

$$m = 0.82 \frac{D}{a}, \quad (5)$$

kde D je průměr výstupní pupily kolimátoru.

Úhlová disperze D_a disperzní soustavy se definuje vztahem

$$D_a = \frac{d\varphi_k}{d\lambda}, \quad (6)$$

kde $d\varphi_k$ je rozdíl úhlů, pod kterými vycházejí ze soustavy paprsky dvou blízkých vlnových délek $\lambda, \lambda + \delta\lambda$. Diferenciací vztahu (1) dostáváme

$$D_a = \frac{k}{a \cos \varphi_k}. \quad (7)$$

Vstupují-li do mřížkového spektrometru paprsky značně rozdílných vlnových délek, dochází k vzájemnému překrývání spekter různých řádů. Největší interval vlnových délek (λ_1, λ_2) ($\lambda_2 > \lambda_1$), který lze ještě zobrazit ve spektru k -tého řádu, aniž by se překrýval se sousedními spektry, se nazývá *disperzní oblast*. Ze vztahu (1) lze odvodit, že disperzní oblast spektra k -tého řádu je určena podmínkou

$$k \lambda_2 = (k + 1) \lambda_1, \quad (8)$$

pak se totiž spektrum k -tého řádu právě začne překrývat se spektrem řádu $(k + 1)$ -ho. (Formálně je tato definice shodná s definicí dispersní oblasti u mnohasvazkových interferometrů používaných v úlohách 4.1 Měření vlnových délek světla interferometry a 6.2 Zeemanův jev).

Dispersní oblast v prvním řádu překrývá celou viditelnou oblast (400–800 nm), ve vyšších řádech však již může dojít k překrývání spekter. Přesvědčete se.

Seřízení přístroje

Před začátkem měření je třeba spektrometr nastavit. K nastavení dalekohledu využijeme Gaussova okuláru, jímž je dalekohled opatřen. Gaussovým okulárem (obr. 4.4–1) nazýváme okulár Ok opatřený nitkovým křížem K , polopropustnou destičkou P a světelným zdrojem Z tak, že nitkový kříž lze zezadu osvětlit zdrojem Z odrazem od destičky P .

Nastavme rovinu mřížky přibližně kolmo k ose dalekohledu. Zezadu osvětlený nitkový kříž se zobrazí postupně objektivem Ob , odrazem na rovině ploše mřížky a opět objektivem Ob . Výsledný obraz leží ve stejné rovině s vlastním křížem K jen tehdy, leží-li oba společně v ohniskové rovině objektivu. Vzájemnou polohu objektivu Ob , nitkového kříže K a okuláru Ok je tedy třeba posouváním tubusů nastavit tak, abychom okulárem viděli současně ostře jak nitkový kříž, tak jeho odraz od mřížky.

Takto nastavený dalekohled postavíme proti kolimátoru. Kolimátor nastavíme na nekonečno tak, abychom obraz osvětlené štěrby viděli v dalekohledu ostře současně s nitkovým křížem. Nitkový kříž pak nařídíme přesně na obraz štěrby, čímž dosáhneme sousosti dalekohledu s kolimátorem. Kolmost mřížky k paprskům z kolimátoru nyní seřídíme opět Gaussovým okulárem: mřížku nakloníme nastavovacími šrouby a pootočíme kolem svislé osy tak, že nitkový kříž splyne se svým obrazem odraženým od roviny mřížky.

K úplnému seřízení přístroje je ještě třeba, aby vrypy mřížky byly rovnoběžné s osou otáčení dalekohledu. Není-li to splněno, vystupují obrazy spektrálních čar ze zorného pole dalekohledu směrem nahoru při vytáčení dalekohledu z centrální polohy na jednu stranu a směrem dolů při vytáčení na opačnou stranu. V tom případě je třeba mřížku nastavovacími šrouby vhodně naklonit a celé nastavení mřížky opakovat.

Údaje pro měření:

Rozměry mřížky – výška, šířka – jsou uvedeny u úlohy. Průměr výstupní pupily kolimátoru $D = 18$ mm. Ověřte si při seřízení.