

3. OHYB A INTERFERENCE SVĚTLA OPTICKOU MŘÍŽKOU

Měřicí potřeby

- 1) spektrometr
- 2) optická mřížka
- 3) sodíková výbojka
- 4) Balmerova lampa

Teorie

Optická mřížka na průchod světla je skleněná destička, na níž je vyryta řada jemných, rovnoběžných, stejně od sebe vzdálených vrypů. Vrypy tvoří neprůhledná místa a neporušené sklo mezi nimi vytváří řadu rovnoběžných štěrbin. Vzdálenost dvou sousedních vrypů d (rovná vzdálenosti středů sousedních štěrbin) se nazývá **mřížková konstanta**. Její převrácená hodnota udává počet vrypů (štěrbin) připadajících na jednotku délky (U nejkvalitnějších mřížek až 1800 vrypů na 1 mm).

Uvažujme rovnoběžné koherentní paprsky dopadající kolmo na destičku. Šíření světla od štěrbin popíšeme pomocí Huygensova principu. Štěrbiny se stávají koherentními světelnými zdroji, od nichž se světlo šíří všemi směry. Vyšetříme, jaká bude intenzita světla po průchodu optickou mřížkou.

Paprsky 1 a 2 procházejí středy dvou sousedních štěrbin. Ve směru odchýleném o úhel α (viz obr. 1) interferují nové paprsky 1' a 2'. Jejich dráhový rozdíl je δ a platí pro něj:

$$\delta = d \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

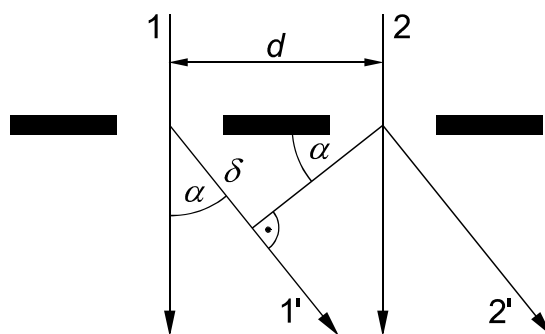
Bude-li dráhový rozdíl roven celistvému násobku vlnové délky λ , budou se paprsky v tomto směru interferencí maximálně zesilovat. Podmínka pro maximum intenzity ve směru daném úhlem α je tedy:

$$d \cdot \sin \alpha = k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

Změříme-li úhel α , pak ze známé hodnoty mřížkové konstanty d můžeme určit vlnovou délku použitého světla

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \alpha}{k} \quad (3)$$

Číslo k se nazývá řádem maxima. Pro $k = 0$ musí být $\alpha = 0$ pro všechny vlnové délky. V tomto případě hovoříme o maximu nultého řádu. Symetricky po obou jeho stranách lze pak pozorovat pro různé vlnové délky maxima prvního, druhého i třetího řádu. Maxima dalších řádů bývají již málo intenzivní. Nejméně odchýlena od přímého směru je vždy barva fialová a nejvíce barva červená.



Obr. 1 Průchod světelných paprsků mřížkou

Důležitým parametrem mřížky je její rozlišovací schopnost $\lambda/\Delta\lambda$, kde $\Delta\lambda$ je nejmenší rozdíl vlnových délek dvou spektrálních čar, které je možno mřížkou ještě rozlišit. Lze dokázat, že platí:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = km, \quad (4)$$

tj. rozlišovací schopnost mřížky závisí na použitém řádu spektra k a na celkovém počtu vrypů na mřížce m .

Přesnější měření vlnových délek světla se provádí k tomuto účelu sestrojenými Michelsonovými interferometry.

Použijeme-li jako zdroj světla například vlákno žárovky (tuhé těleso), uvidíme spektrum *spojité* – barva se bude plynule měnit od fialové přes modrou, zelenou, žlutou až k červené. Naopak budou-li zdrojem světla excitované atomy plynů nebo par (např. výbojka), bude spektrum *čárové* – složené z jednotlivých izolovaných barev. Neschopnost klasické fyziky vysvětlit vznik čárových (diskrétních) spekter plynů a par (a spojitých spekter pevných látek) přispěla počátkem 20. století k její krizi a ke vzniku nové, kvantové fyziky. Znáмым teoretickým pokusem o vysvětlení stavby a vyzařování atomů byl r. 1913 Bohrovův „polokvantový“ model atomu.

Již v roce 1885 však sestavil švýcarský fyzik Johan Jacob Balmer empirický vzorec, který přesně předpovídá vlnovou délku čtyř viditelných emisních čar vodíku. Tyto emisní čáry (červená, modrozelená, fialová₂, fialová₁) vešly do dějin fyziky pod názvem Balmerova serie. Balmerův vztah zní:

$$\frac{1}{\lambda_n} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (6)$$

kde n je celé číslo 3, 4, 5 nebo 6 (tzv. kvantové číslo)

$1/\lambda_n$ vlnčet (převrácená hodnota vlnové délky)

R konstanta, dnes nazývaná Rydbergova

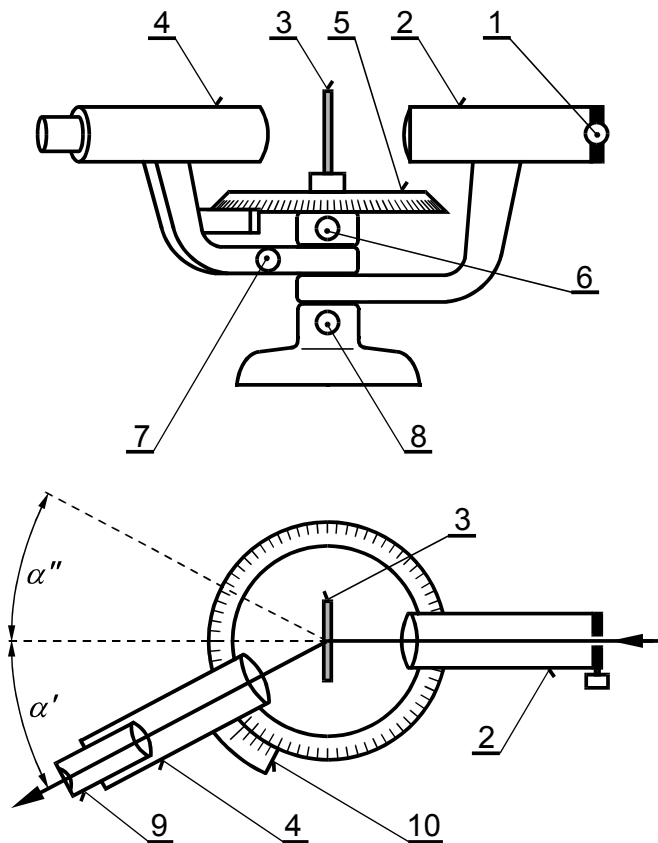
Měřicí přístroje

K měření použijeme přístroje zvaného spektrometr (obr. 2). Jeho hlavní části jsou kolimátor **2**, pozorovací dalekohled **4**, držák pro upevnění mřížky (popř. hranolu) a kruh **5** s úhломěrnou stupnicí a noniem. Kolimátor slouží k vytvoření rovnoběžného svazku paprsků k osvětlení celé plochy mřížky. Na vstupu má štěrbinu, jejíž šířku lze měnit šroubkem **1**. Štěrbinu leží v ohniskové rovině achromatické (bez barevné vady) spojně čočky, která je umístěna na výstupu z kolimátoru. Kolimátor je pevně spojen s podstavcem.

Dalekohled **4** můžeme při uvolnění šroubu **6** volně otáčet; při utažení šroubu **6** s ním lze jemně pohybovat pomocí mikrometrického šroubu **7**. S dalekohledem je pevně spojena noniová stupnice, na níž odečítáme polohu dalekohledu s přesností na desetiny stupně. Střed zorného pole dalekohledu je vyznačen nitkovým křížem.

Postup při měření spektremetrem:

- 1) Zdroj světla postavte těsně ke štěrbině kolimátoru.
- 2) Uvolněte šroub 6 a přesuňte dalekohled 4 proti kolimátoru 2 tak, aby byl vidět přímý obraz štěrbiny.



Obr. 2 Spektrometr (goniometr)

- 1 – šroub pro nastavení šířky štěrbiny
- 2 – kolimátor
- 3 – mřížka (nebo hranol)
- 4 – dalekohled
- 5 – kruh s úhломěrnou stupnicí
- 6 – uvolňovací šroub na hrubý posuv dalekohledu
- 7 – jemný posuv dalekohledu (po přitažení šroubu 6)
- 8 – uvolňovací šroub pro nastavení kruhu se stupnicí
- 9 – okulár
- 10 – nonius

- 3) Vysouváním a zasouváním okuláru 9 zaostříte obraz štěrbiny. Šroubem 1 nastavte šířku štěrbiny co nejmenší, ale tak aby byl dostatek světla pro pozorování maxim

druhého řádu. Pro maximální jas je nutno zdroj světla posouváním do stran umístit do optimální polohy.

- 4) Dotáhněte opět šroub 6 a mikrometrickým šroubem 7 dolad'te polohu tak, aby se nitkový kříž kryl se středem štěrbiny.
- 5) Na pravé straně dalekohledu je připevněn nonius. Přiléhající kruh je rozdělen na 360° . Pokud se nulová ryska nonia nekryje s ryskou 0° kruhu, opravte nastavení kruhu po uvolnění šroubu 8. Pak šroub opět dobře utáhněte.
- 6) Po uvolnění šroubu 6 pak můžete zaměřovat jednotlivá maxima prvních a druhých řádů. Jemný posuv docílíte opět podle bodu 4). Úhly ohybových maxim pro jednotlivé barvy měřte na obě strany od přímého paprsku. Při měření vpravo se úhly dají odečíst přímo – $\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_n$, při měření vlevo odečtete úhly $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, a úhel od přímého paprsku získáte jako $\alpha''_i = 360^\circ - \beta_i$

(doplňek do 360°). Z nalezených hodnot pak berte průměr $\alpha_i = \frac{\alpha'_i + \alpha''_i}{2}$.

- 7) Úhly měřte s přesností 0,1 °. U méně viditelných čar můžete zvětšit šířku štěrbin; pak ovšem nastavujte při měření nitkový kříž na levý okraj čáry.
- 8) Spektrometr je vhodné zakrýt černou látkou kvůli omezení vnějšího světla. Je však nutno průběžně kontrolovat, zda látka nebrání chodu paprsků.

Měření

Vlastní měření sestává ze dvou samostatných částí:

A. Zjištění mřížkové konstanty pomocí světla o známé vlnové délce.

Jako zdroj se použije sodíková výbojka, která vydává světlo žluté barvy s vlnovou délkou $\lambda = 589,3$ nm (průměrná vlnová délka sodíkového dubletu). Ze změřených úhlů ohybových maxim 1. a 2. řádu **pro tuto žlutou barvu** se vypočte ze vzorce (2) mřížková konstanta a jako výsledek se vezme aritmetický průměr.

B. Měření emisního spektra vodíku ve viditelné oblasti

Spektrum vodíku se měří pomocí Balmerovy lampy, jež je plněna vodními parami. Ve výboji se molekula H_2O štěpí na radikály H a OH a to umožňuje pozorování spektra samostatného vodíku.

Pro zápis a výpočet naměřených hodnot můžete použít následující tabulku:

řád	barva	α [°]	β [°]	$\alpha'' = 360 - \beta$ [°]	$\alpha = \frac{\alpha' + \alpha''}{2}$ [°]	$\sin(\alpha)$	λ [nm]	n	R [cm ⁻¹]
1	fialová1								
	fialová2								
	modrozelená								
	oranžová							–	–
	červená								
2	fialová1								
	fialová2								
	modrozelená								
	oranžová							–	–
	červená								
3	fialová2								
	modrozelená								

Pozn.: oranžová barva nepatří vodíku.

K výpočtu vlnové délky čar použijte mřížkovou konstantu změřenou v bodu A.

Pracovní úkol

- 1) Pro sodíkovou výbojku změřte polohy ohybových maxim 1. a 2. řádu na obě strany od přímého paprsku (pouze žluté čáry!).
- 2) Vypočtete mřížkovou konstantu d a počet vrypů na 1 mm.
- 3) Proměřte spektrum Balmerovy lampy do 3. řádu (viz tabulka). Pozor – fialová1 je hůře viditelná a ve 2. řádu již nemusí být znatelná.
- 4) Vypočtete vlnové délky jednotlivých barev.

- 5) Přiřaďte jednotlivým barvám kvantová čísla.
- 6) Na základě Balmerova vztahu vypočtete pro každou vlnovou délku Rydbergovu konstantu R . Dále spočtete její střední hodnotu a směrodatnou chybu. Veškeré informace týkající se chyb měření najdete v úvodní části skript v kapitole „Chyby měření“.
- 7) Sestrojte graf závislosti výrazu $1/\lambda$ na $(1/4 - 1/n^2)$. Pomocí lineární regrese (viz „Chyby měření“, odst. D) najděte rovnici této přímkové závislosti. Směrnici přímky je Rydbergova konstanta.
- 8) Porovnejte obě hodnoty Rydbergovy konstanty s tabulkovou hodnotou $R = 109\,737,314\,3\text{ cm}^{-1}$.