

Pracovní úkol:

- 1) S použitím spektra rtuti zkalibrujte hranolový spektrometr.
- 2) Ověřte vlnovou délku sodíkového dubletu.
- 3) Na základě pozorování sodíkového dubletu diskutujte rozlišovací schopnost spektrometru.
- 4) Prohlédněte si spektra výbojek s náplní He, Ne, N₂ a CO₂. Určete vlnové délky nejjasnějších čar. Porovnejte s tabulkovými hodnotami.
- 5) Změřte vlnové délky čar H_{alfa}, H_{beta}, H_{gamma} Balmerovy serie vodíkového spektra. Vypočítejte Rydbergovu konstantu

Teorie:

Úkolem optické spektroskopie je studovat spektrální složení světla, tj. rozdělení intenzit v závislosti na vlnové délce.

Látky mohou světlo buď vysílat nebo přijímat, mluvíme o emisním či absorpčním spektru (vznikají při přechodech mezi různě energetickými stavy elektronového obalu atomů nebo molekul). Při sledování vlastností molekul nebo atomů jsou vhodná spektra látek v plynné fázi, kde se málo uplatňují interakce mezi částicemi a můžeme pozorovat čárová spektra. Výrazná čárová spektra poskytují atomy, ve spektru molekul se objevuje velký počet čar v malé vzdálenosti, které nám splynou v pásy.

Při měření absorpčních spekter využíváme nedestruktivního procesu absorpce záření z jiného zdroje, zatímco pro pozorování emisního spektra musíme atomy nebo molekuly excitovat, což se provádí nejčastěji pomocí elektrického výboje.

Na konci 19. století byl k dispozici rozsáhlý spektroskopický materiál a byla snaha poskytnout naměřeným čarám nějaký řád. Balmer našel empirický vzorec pro vlnové délky λ jedné série vodíku pozorovatelné ve viditelném světle (dnes nazývaná Balmerova série):

$$\frac{1}{\lambda_n} = \sigma = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

kde n je přirozené číslo větší než 4 a R je Rydbergova konstanta. Ve viditelné oblasti leží 4 čáry vodíkového atomového spektra (červená H_{alfa}, modrozelená H_{beta}, modrá H_{gamma} a fialová H_{delta}).

Velký pokrok v porozumění diskretním atomovým spektrům nastal po nástupu kvantové mechaniky. Velkým úspěchem Bohrovy jednoduché teorie bylo odvození přesné hodnoty Rydbergovy konstanty:

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0 c h^3} \quad (2)$$

Tato hodnota byla odvozena za předpokladu nekonečně velké hmotnosti jádra. V případě konečné hmotnosti M je třeba nahradit m_e redukovanou hmotností a dostáváme:

$$R = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M}} \quad (3)$$

Rozlišovací schopnost spektrometru určuje minimální rozdíl vlnových délek λ , $\lambda + d\lambda$ čar, které lze právě ještě přístrojem rozlišit. Je definovaná vztahem:

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} \quad (4)$$

Vypracování:

Nejprve jsem s použitím spektra rtuti zkalibrovala hranolový spektrometr. Polohy jednotlivých čar jsem odečetla pomocí úhlové stupnice na spektrometru. Naměřené hodnoty uvádím v tabulce č. 1. Chybu měření odhaduji na 3 dílky stupnice spektrometru. Srovnáním s tabelovanými hodnotami ([2]) jsem identifikovala vlnové délky jednotlivých čar v nanometrech. Pomocí programu, který byl k dispozici v praxi, jsem získala kalibrační křivku, která je zakreslena v grafu č. 1. Získanými daty jsem proložila polynom pátého stupně a získala vztah pro přepočítání hodnot odečtených na spektrometru x na vlnovou délku. Regresní vztah má tvar:

$$\lambda[\text{nm}] = 3,761 \cdot 10^2 + 4,785 \cdot 10^{-2} x - 3,035 \cdot 10^{-5} x^2 + 4,284 \cdot 10^{-8} x^3 - 1,852 \cdot 10^{-11} x^4 + 3,340 \cdot 10^{-15} x^5$$

Tento vztah jsem použila pro výpočet vlnových délek v dalších úkolech. Program neuvádí chybu kalibrace. Pokusila jsem se ji odhadnout vypočtením rozdílu mezi tabelovanými hodnotami a hodnotami vypočítanými podle určené disperzní křivky. Maximální hodnota odchylky byla 0,3 nm.

barva	x [dílky]	λ_{tab} [nm]
červená	2934	690,7
červená	2874	671,6
červená	2704	623,4
červená	2660	612,3
červená	2638	607,3
žlutá	2506	579,1
žlutá	2496	577,0
zelená	2314	546,1
modrozelená	1892	491,6
modrá	1234	435,8
modrá	1214	434,8
modrá	1202	433,9
fialová	750	407,8
fialová	682	404,7

Tabulka č.1: Kalibrace spektrometru

Proměřila jsem vlnové délky sodíkového dubletu. Rozlišila jsem celkem tři dublety. Vypočítané i tabelované hodnoty vlnových délek uvádím v tabulce č. 2. Chybu určené vlnové délky odhaduji na 0,3 nm. V tabulce č. 2 uvádím i odchylka vypočtené hodnoty od tabulkové.

Pozorováním sodíkového dubletu jsem došla k závěru, že čáry jsou právě na hranici rozlišitelnosti a rozlišovací schopnost jsem tedy určila ze vztahu (4), kde za $d\lambda$ jsem dosadila rozdíl vypočtených vlnových délek čar sodíkového dubletu z tabulky č. 2. Rozlišovací schopnost spektrometru je větší než 1000.

barva	x [dílky]	λ_{vyp} [nm]	λ_{tab} [nm]	Odchylka od tabelované hodnoty [%]
žlutá	2558	589,8	589,6	0,03
žlutá	2556	589,4	589,0	0,07
žlutooranžová	2674	615,9	616,1	0,03
žlutooranžová	2672	615,4	615,4	0,00
oranžová	2454	569,5	568,9	0,11
oranžová	2452	569,1	568,3	0,14

Tabulka č. 2: Sodíkový dublet

Prohlédla jsem si spektra výbojek s náplní Ne, He a CO₂ (Výbojka s N₂ nebyla k dispozici). Pro čáry, které se mi zdály nejjasnější, jsem určila vlnové délky. Naměřené a tabelované hodnoty vlnových délek i jejich odchylka jsou uvedeny v tabulkách č. 3-6. U CO₂ byly vidět spektrální pásy, hodnoty na jejich hranici jsou zapsány v tabulce č.5. Jejich polohy nebyly v [2] uvedeny. Chybu v určení jejich polohy odhaduji na 2nm.

barva	x [dílky]	λ_{vyp} [nm]	λ_{tab} [nm]	odchylka od tabulkové hodnoty [%]
červená	2780	643,4	644,5	0,2
oranžová	2676	616,4	618,2	0,3
žlutá	2586	595,8	594,5	0,2
žlutozelená	2542	586,5	587,2	0,1
zelená	2284	541,1	540,1	0,2
modrozelená	2242	534,9	536,0	0,2
modrozelená	2082	513,5	514,5	0,2
modrá	1856	488,1	488,5	0,1
modrá	1684	471,5	471,8	0,1
fialová	1478	454,0	454,0	0,0

Tabulka č. 3 : Spektrum Ne

barva	x [dílky]	λ_{vyp} [nm]	λ_{tab} [nm]	odchylka od tabulkové hodnoty [%]
červená	2876	671,9	667,9	0,6
žlutá	2558	589,8	587,6	0,4
modrozelená	1994	503,0	501,6	0,3
modrá	1686	471,7	468,6	0,7
modrá	1410	448,7	447,1	0,4

Tabulka č. 4 : Spektrum He

Barva hranice pásu	x [dílky]	λ_{vyp} [nm]
červená	2848	663,2
červeno-oranžová	2676	616,4
červeno-oranžová	2614	601,9
zluto-zelená	2464	571,3
zelená	2368	554,4
zelená	2186	527,0
zeleno-modrá	2104	516,2
zelenomodrá-modrá	1876	490,1
modrá-modrofialová	1782	480,7
modrofialová	1656	469,0
modrofialová	1510	456,6
fialová	1412	448,9
fialová	1234	436,0

Tabulka č. 5 : Spektrum CO₂

Dále jsem pozorovala spektrum vodíku a identifikovala v něm některé čáry Balmerovy série. Vlnové délky čar H_{alfa}, H_{beta}, H_{gamma} jsou uvedeny v tabulce č. 6. Přenos měřené odhaduji na 2nm.

čára	barva	x [dílky]	λ_{vyp} [nm]	λ_{tab} [nm]	odchylka od tabulkové hodnoty [%]
H α	červená	2830	657,8	656,3	0,2
H β	modrozelená	1852	487,6	486,1	0,3
H γ	modrá	1212	434,6	434,0	0,1
H δ	fialová	786	409,7	410,2	0,1

Tabulka č. 6: Balmerova série spektra atomu vodíku

V tabulce č. 7 jsou pro jednotlivé čáry vodíku vypočítány hodnoty Rydbergovy konstanty podle vztahu (1). Výslednou hodnotu Rydbergovy konstanty jsem určila jako aritmetický průměr hodnot z této tabulky : $R = (1,096 \pm 0,002) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Čára	n	λ_{vyp} [nm]	R [10^7 m^{-1}]
H α	3	657,8	1,0946
H β	4	487,6	1,0938
H γ	5	434,6	1,0957
H δ	6	409,7	1,0984

Tabulka č. 7: Hodnota Rydbergovy konstanty

Diskuse:

Všechny vlnové délky, které jsem pozorovala jsou ve shodě s tabelovanými hodnotami (s chybou menší než 1 %) . Polynom 5.stupně tedy dobře vystihuje pozorovanou disperzní závislost. Chybu určení počtu dílků odhaduji jako 2 (nejmenší dílek stupnice). Největším problémem u pozorování některých čar bylo to, že byly málo intenzivní. Musela jsem rozšířit štěrbinu, čímž došlo k rozmazání. Vypočítaná hodnota Rydbergovy konstanty

$$R = (1,096 \pm 0,002) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ souhlasí v rámci chyby s tabelovanou hodnotou } 1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Závěr:

Okalibrovala jsem hranolový spektrometr s použitím spektra rtuti(tabulka č. 1, graf č. 1). Proměřila jsem vlnovou délku sodíkového dubletu (tabulka č. 2). Určila jsem rozlišovací schopnost spektrometru na základě pozorování sodíkového dubletu jako větší než 1000. Pozorovala jsem jasné čáry ve spektru výbojek s náplní Ne, He a CO₂(tabulky č. 3-5). U molekul CO₂ se jednalo o pásové spektrum. Změřila jsem vlnové délky čar H α , H β , H γ a H δ Balmerovy serie vodíkového spektra (tabulka č. 6). Na základě tohoto měření jsem vypočítala Rydbergovu konstantu

$$R = (1,096 \pm 0,002) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Použitá literatura:

- [1] studijní text k úloze A15 (na <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>)
- [2] tabulky, které byly k dispozici v praktiku
- [3] Brož J., Roskovec V., Valouch M.: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL , Praha, 1980