

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. Spektroskopie umožňuje studovat látky v podstatě bezkontaktně, čehož se využívá především v astronomii, kde je elektromagnetické záření víceméně jediným zdrojem informací o vesmírných objektech.

Pomineme-li tepelné záření, mohou látky světlo buď vysílat nebo přijímat, mluvíme pak 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 čarům nějaký řád. Balmer našel empirický vzorec pro vlnové délky λ jedné série vodíku pozorovatelné ve viditelném světle (dnes nazývaná Balmerova série):

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

kde n je přirozené číslo větší než 4 a R je Rydbergova konstanta.

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 s výsledkem:

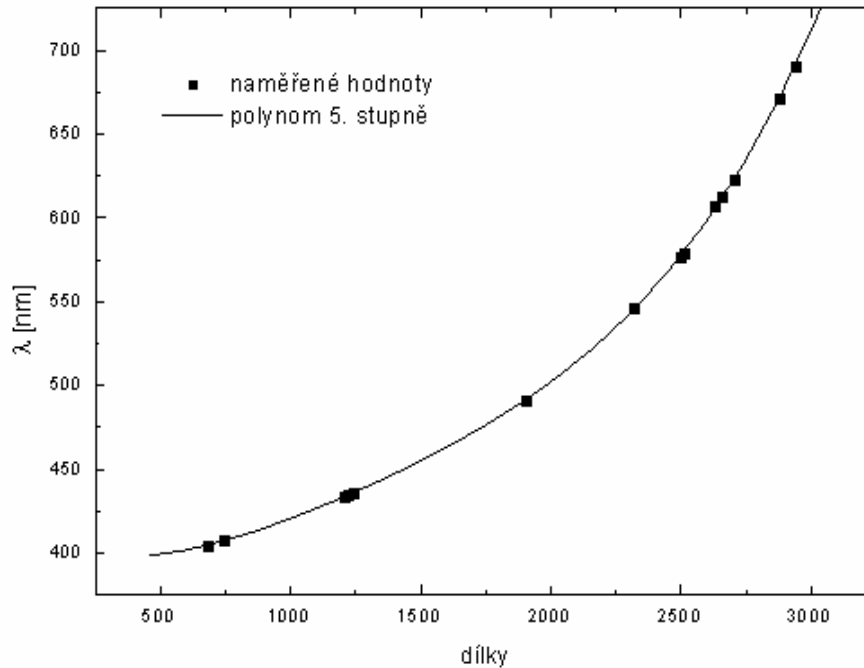
$$R = \frac{R_\infty}{1 + m_e / M} \quad (3)$$

Měření

Měření jsem provedla pomocí hranolového spektrometru. Nejprve jsem provedla kalibraci stupnice spektrometru pomocí čar rtuti. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1 a v Grafu 1, kde jsem navíc proložila naměřené hodnoty polynomem 5. stupně. Tabulkové vlnové délky spektrálních čar budu považovat za absolutně přesné. Chybu měření odhaduji na 3 dílky stupnice spektrometru.

λ_{tab} [nm]	690,7	671,6	623,4	612,3	607,3	579,1	577,0
dílky	2939	2878	2707	2660	2632	2511	2500
λ_{tab} [nm]	546,1	491,6	435,8	434,8	433,9	407,8	404,7
dílky	2321	1902	1241	1220	1208	744	682

Graf 1: Kalibrace spektrometru



Koeficienty polynomu jsem určila nejprve v praktiku pomocí poskytnutého programu v jazyce famulus a potom také fitováním v programu Origin. Výsledné parametry jsou uvedeny v Tabulce 2. Přesnost parametrů z famula nebyla uvedena. Hodnoty vypočítané programem Origin se dobře shodují s výsledky famula.

Tabulka 2: Koeficienty závislosti		
	Origin	famulus
a_0	$409,2 \pm 13,5$	409,2
a_1	$(-7,19 \pm 0,53) \cdot 10^{-2}$	$-7,19 \cdot 10^{-2}$
a_2	$(1,33 \pm 0,24) \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$
a_3	$(-6,28 \pm 0,38) \cdot 10^{-8}$	$-6,28 \cdot 10^{-8}$
a_4	$(1,38 \pm 0,12) \cdot 10^{-11}$	$1,38 \cdot 10^{-11}$
a_5	$(-4,15 \pm 0,65) \cdot 10^{-16}$	$-4,15 \cdot 10^{-16}$

Změřené vlnové délky čar tří sodíkových dubletů jsou:

$(590,3 \pm 0,6)\text{nm}$ [589,6 nm]	$(515,1 \pm 0,4)\text{nm}$ [515,4 nm]	$(498,3 \pm 0,3)\text{nm}$ [498,3 nm]
$(590,0 \pm 0,6)\text{nm}$ [589,0 nm]	$(514,9 \pm 0,4)\text{nm}$ [514,9 nm]	$(497,9 \pm 0,3)\text{nm}$ [497,9 nm]

kde jsou v hranaté závorce uvedené tabelované hodnoty

Dále jsem pozorovala vodíkové spektrum a identifikovala některé čáry Balmerovy série (viz. Tabulka 3). Pozorování vlnových délek nižších než čára H_γ bylo však obtížné. Vzhledem k nízké intenzitě světla bylo nutné rozšířit štěrbinu, což vedlo k silnému rozmazání čáry. V Grafu 2 jsem lineární regresí ze vztahu (1) určila hodnotu Rydbergovy konstanty:

$$R = (1,0969 \pm 0,0008) \cdot 10^7 \text{m}^{-1}$$

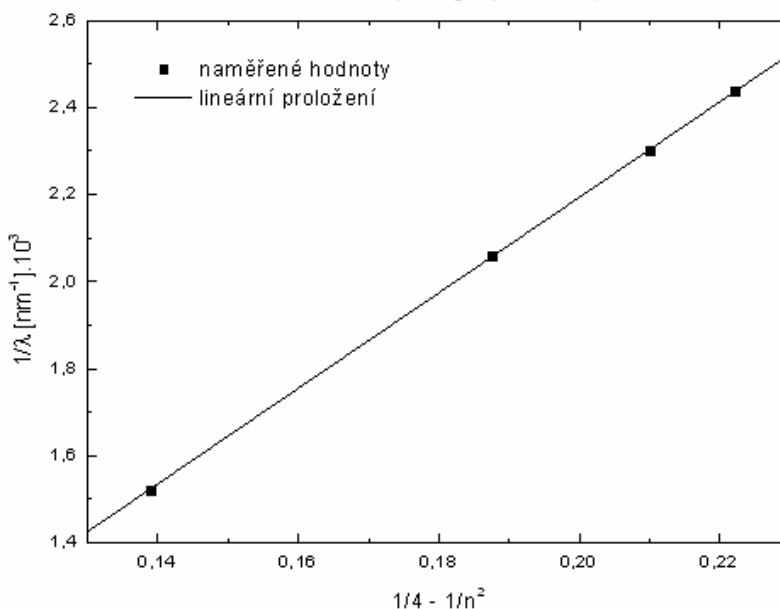
Pro atom vodíku (se započtením konečné hmotnosti protonu) je tabulková hodnota $R = 1,0968 \cdot 10^7 \text{m}^{-1}$ (viz [2]).

Dále jsem pozorovala spektra výbojek naplněných Ne (jasné čáry především v červené oblasti), He (osamocené výrazné čáry) a CO_2 (molekulární pásy). Výbojka s N_2 nebyla v praktiku k dispozici. Srovnání změřených a tabulkových vlnových délek je uvedeno v Tabulce 3. V případě CO_2 jsem pozorovala molekulární pásy, takže vlnové délky v Tabulce 3 přísluší nejjasnější části pásu a chybí srovnání s tabulkovými hodnotami, protože v poskytnutých tabulkách nebyly uvedeny.

Tabulka 3: Pozorované spektrální čáry pro jednotlivé plyny

H ₂			He			Ne			CO ₂		
λ_{toe} [nm]	dílky	$\lambda_{\text{měř}}$ [nm]	λ_{toe} [nm]	dílky	$\lambda_{\text{měř}}$ [nm]	λ_{toe} [nm]	dílky	$\lambda_{\text{měř}}$ [nm]	dílky	$\lambda_{\text{měř}}$ [nm]	
H _{α}	656,3	2834	658,3 ± 0,9	706,5	2980	704,7 ± 1,0	640,2	2769	640,0 ± 0,8	2852	663,6 ± 0,9
H _{β}	486,1	1848	485,9 ± 0,3	667,8	2869	668,7 ± 0,9	626,7	2718	626,6 ± 0,8	2746	633,9 ± 0,8
H _{γ}	434,0	1213	434,2 ± 0,2	587,6	2551	588,0 ± 0,6	616,4	2681	617,4 ± 0,7	2650	610,0 ± 0,7
H _{δ}	410,2	797	409,9 ± 1,0	504,8	2081	511,9 ± 0,4	603,0	2620	603,1 ± 0,7	2410	560,8 ± 0,5
				501,6	1989	500,9 ± 0,3	585,2	2538	585,3 ± 0,6	2142	519,7 ± 0,4
				492,2	1900	491,2 ± 0,3	540,1	2281	539,5 ± 0,5	1822	483,3 ± 0,3
				471,3	1687	470,7 ± 0,3				1454	451,6 ± 0,2
				447,1	1395	447,1 ± 0,2				1300	440,2 ± 0,2
				438,8	1274	438,4 ± 0,2					
				414,4	893	414,8 ± 0,2					
				412,1	884	414,3 ± 0,2					

Graf 2: Určení Rydbergovy konstanty



Diskuze

Všechny pozorované vlnové délky jsou ve shodě s tabelovanými hodnotami, což svědčí o oprávněnosti aproximace kalibrační křivky polynomem.

Největším problémem při odečítání byla nízká intenzita některých čar, a proto jsem musela volit mezi velkým rozmazáním a špatnou viditelností. Určení Rydbergovy konstanty je taktéž ve shodě s teorií.

Závěr

Zkalibrovala jsem stupnici hranolového spektrometru, pomocí sodíkového dubletu určila dolní mez jeho rozlišení a pozorovala jsem spektra vybraných plynů. Pozorováním spektra vodíku jsem určila Rydbergovu konstantu:

$$R = (1,0969 \pm 0,0008) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

kteřá se shoduje s tabulkovou hodnotou.

Literatura

- [1] Studijní text k fyzikálnímu praktiku IV. - <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
 [2] <http://scienceworld.wolfram.com/physics/RydbergConstant.html>