Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 4

Úloha č. A15

Název: Studium atomových emisních spekter

Pracoval: Mária Šoltésová stud.sk.: FOF dne: 11.10.2006

Odevzdal dne: .....

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:..... dne: .....

Pracovná úloha:

1. S použitím spektra ortuti skalibrujte hranolový spektrometer.
2. Overte vlnovú dĺžku sodíkového dubletu.
3. Na základe pozorovania sodíkového dubletu diskutujte rozlišovaciu schopnosť spektrometru.
4. Prezrite si spektrá výbojok s náplňou He, Ne, N_2 a CO_2. Určte vlnové dĺžky najjasnejších čiar. Porovnajte s tabuľkovými hodnotami.
5. Zmerajte vlnové dĺžky čiar H_α, H_β, H_γ, Balmerovej série vodíkového spektra. Vypočítajte Rydbergovu konštantu.

Teoretická časť:

Úlohou optickej spektroskopie je študovať spektrálne zloženie svetla, teda rozdelenie jeho intenzity alebo energie v závislosti na vlnovej dĺžke. Spektrá rozlišujeme emisné a absorpčné, podľa toho, či skúmaná látka svetlo vysiela alebo pohlcuje. Pri izolovaných atómoch pozorujeme čiarové spektrá (emisiu alebo absorpciu pozorujeme len pri určitých diskrétnych hodnotách vlnovej dĺžky), spektrá molekúl sa zvyčajne skladajú z množstva čiar, hovoríme preto o pásových spektrách.

Vo viditeľnej oblasti môžeme v spektre vodíku pozorovať štyri spektrálne čiary Balmerovej série (n = 3, 4, 5, 6): červenú H_α, modrozelenú H_β, modrú H_γ a fialovú H_δ. Pre vlnové dĺžky týchto čiar platí vzťah z [1]

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

kde R je Rydbergova konštanta. Pre zjednodušený prípad obiehania elektrónu okolo nehybného jadra je vzťah pre Rydbergovu konštantu, vyjadrenú pomocou základných konštánt c, h, ε_0, elementárneho náboja e a hmotnosti elektrónu m_e, daný ako

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 c h^3}. \tag{2}$$

Pre presnejší výpočet treba uvažovať malý pohyb jadra okolo spoločného ťažiska atómu. Rydbergova konštanta R_M pri konečnej hmotnosti jadra M má potom tvar

$$R_M = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M}}. \tag{3}$$

Rozlišovacia schopnosť spektrometru daná ako

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \tag{4}$$

určuje minimálny rozdiel vlnových dĺžok λ a $\lambda + \Delta\lambda$ čiar, ktoré môžeme ešte prístrojom rozoznať.

Výsledky meraní:

Najprv sme skalibrovali hranolový spektrometer pomocou spektra ortuti. Na stupnici spektrometru sme odčítali uhol natočenia hranolu pre jednotlivé spektrálne čiary, ktorých vlnové dĺžky sme určili z tabuliek [2]. Namerané a tabuľkové hodnoty sú uvedené v tabuľke 1. Kalibračná závislosť je vynesená v priloženom grafe 1.

Pomocou programu, ktorý bol k dispozícii v praktiku, sme preložili nameranú disperznú závislosť polynómom piateho stupňa

$$\lambda = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5,$$

tým sme získali vzťah pre prepočet dielikov stupnice spektrometra na vlnovú dĺžku. Získané koeficienty sú uvedené v tabuľke 2, ich chyba nebola uvedená, preto uvažujeme, že je menšia ako polovica rádu za poslednou platnou cifrou. Aby sme určili chybu kalibrácie, vypočítame rozdiel medzi tabuľkovou vlnovou dĺžkou a vlnovou dĺžkou vypočítanou z fitovanej závislosti. Tento rozdiel v absolútnej hodnote je uvedený v tabuľke 1. Vypočítaná a tabuľková hodnota vlnovej dĺžky sa líšia maximálne o 2,2 nm. Predpokladáme, že kalibračná závislosť je dobre aproximovaná nájdeným polynómom aj mimo skúmané body, a chybu vlnovej dĺžky zmeranej spektrometrom odhadneme ako 3,0 nm.

Tabuľka 1: Kalibrácia spektrometru

λ_{tab} [nm]	uhol [°]	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
690,7	2944	691,5	0,8
671,6	2890	673,8	2,2
623,4	2714	624,2	0,8
612,3	2668	613,1	0,8
607,3	2648	608,4	1,1
579,1	2514	580,1	1,0
577,0	2502	577,8	0,8
546,1	2324	546,7	0,6
491,6	1906	492,1	0,5
435,8	1244	436,0	0,2
434,8	1220	434,4	0,4
433,9	1218	434,3	0,4
407,8	762	408,1	0,3
404,7	700	404,5	0,2

Tabuľka 2: Koeficienty disperznej závislosti

a_0	330,5
a_1	0,1975
a_2	$-2{,}125.10^{-4}$
a_3	$1{,}451.10^{-7}$
a_4	$-4{,}532.10^{-11}$
a_5	$5{,}984.10^{-15}$

Ďalej sme zmerali vlnové dĺžky spektrálnych čiar sodíka, namerané a tabuľkové hodnoty sú uvedené v tabuľke 3. Ako sodíkový dublet sa zvyčajne označujú dve žlté čiary.

Rozlišovacia schopnosť spektrometru závisí na šírke štrbiny a na relatívnej intenzite čiar. Nebolo jednoduché nastaviť šírku štrbiny, pri ktorej boli obe čiary rozoznateľné. Pri menšej šírke štrbiny čiary neboli viditeľné a pri väčšej šírke štrbiny obe čiary splývali. Z toho odhadujeme, že takto vzdialené čiary boli na pomedzí rozoznateľnosti. Rozlišovaciu schopnosť teda môžeme na základe vzťahu (4) odhadnúť ako $R \approx 1000$, ide však len o rádový odhad, pretože jeho hodnota závisí na člene v menovateli vo vzťahu (4), ktorého hodnotu len odhadujeme.

Tabuľka 3: Spektrum sodíka

uhol [°]	λ [nm]	λ_{tab} [nm]	farba
2686 2684	617,4 616,9	616,1 615,4	červená
2562 2560	589,7 589,3	589,6 589,0	žltá
2458 2458	569,5 569,5	568,9 568,8	žltozelená
2120 2120	517,5 517,5	515,4 514,9	zelená
1966 1966	498,7 498,7	498,2 497,9	modrozelená
1650 1650	466,9 466,9	466,9 616,1	fialová

Ďalej sme pozorovali spektrá výbojok s héliom, neónom a oxidom uhličitým. Namerané vlnové dĺžky najjasnejších čiar a ich tabuľkové hodnoty λ_{tab} sú uvedené v tabuľkách 4 – 6. Chybu určenia vlnovej dĺžky uvažujeme vo všetkých prípadoch 3,0 nm, preto nie je v tabuľkách explicitne uvedená.

Svetlo héliovej výbojky bolo slabo fialová, takmer biele, bolo viditeľných niekoľko intenzívnych čiar, ktoré boli dobre rozoznateľné a rozmiestené približne rovnomerne v celom viditeľnom rozsahu.

Tabuľka 4: Spektrum He

uhol [°]	λ [nm]	λ_{tab} [nm]	farba
2978	703,4	667,8	červená
2870	667,5	656,0	červená
2548	586,8	587,6	žltá
2016	504,6	504,8	modrozelená
1988	501,3	501,6	modrozelená
1906	492,1	492,2	modrozelená
1692	470,7	468,6	modrá
1400	446,7	447,1	fialová
1282	438,5	434,8	fialová

Pri CO_2 pozorovali pásové spektrum, typické pre molekuly. Jednotlivé pásy pozostávali s jednej intenzívnej čiary a množstva menej intenzívnych čiar, ktoré už neboli rozoznateľné. Zmerali sme vlnové dĺžky intenzívnych čiar, neboli však k dispozícii tabuľkové hodnoty, s ktorými by sme vlnové dĺžky mohli porovnať.

Tabuľka 6: Spektrum CO_2

uhol [°]	λ [nm]	farba
2642	607,1	červená
2408	560,6	zelená
2136	519,6	zelená
1820	483,1	modrá
1454	450,8	fialová

Svetlo neónovej výbojky bolo červené, v spektre bolo viditeľné veľké množstvo červených čiar rôznej intenzity, ktoré boli tesne veľa seba. Zmerali sme vlnovú dĺžku najintenzívnejších červených čiar a niekoľkých menej výrazných čiar vo zvyšnom rozsahu viditeľného svetla.

Tabuľka 5: Spektrum Ne

uhol [°]	λ [nm]	λ_{tab} [nm]	farba
2881	670,9	667,8	červená
2844	659,7	659,9	červená
2812	650,4	650,7	červená
2779	641,2	640,2	červená
2748	632,9	683,3	červená
2752	634,0	633,4	červená
2732	628,8	626,6	červená
2672	614,0	614,3	oranžová
2588	595,2	596,5	žltá
2278	539,6	540,1	zelená
1846	485,7	484,9	modrozelená

Ďalej sme pozorovali spektrum vodíka a identifikovali tri čiary Balmerovej série. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 7. K dispozícii boli dve trubice naplnené vodíkom, v prípade trubice 2 boli spektrálne čiary lepšie viditeľné, namerané vlnové dĺžky sa preto lepšie zhodujú s tabuľkovými hodnotami. Na výpočet Rydbergovej konštanty boli teda použité namerané hodnoty trubice 2. Pomocou lineárnej regresie podľa vzťahu (1) sme určili Rydbergovu konštantu R_∞ ako

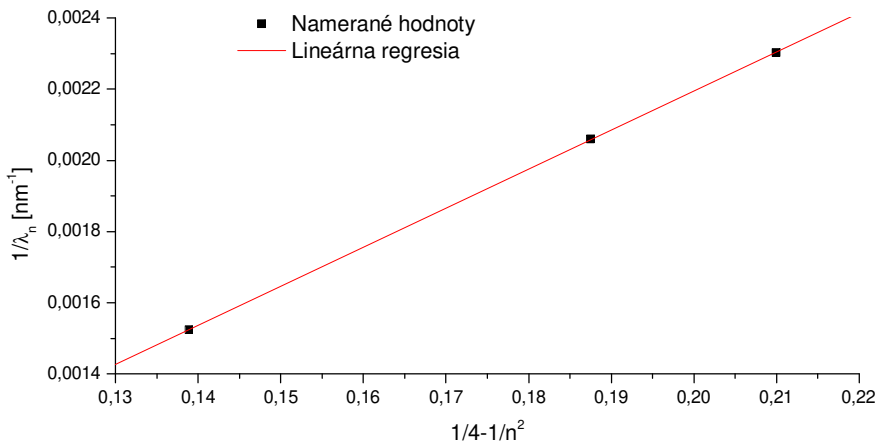
$$R_\infty = (1{,}0970 \pm 0{,}0007).10^7 \ \text{m}^{-1}.$$

Podľa vzťahu (3) sme určili konštantu R_M ako

$$R_M = (1{,}0967 \pm 0{,}0007).10^7 \ \text{m}^{-1}.$$

Odchýlky sú určené ako chyby lineárnej regresie, chyba R_M je určená prenesením chyby R_∞.

Graf 2: Určenie Rydbergovej konštanty



Tabuľka 7: Spektrum vodíka

	trubica 1		trubica 2		
čiara	uhol 1 [°]	λ_1 [nm]	uhol 2 [°]	λ_2 [nm]	λ_{tab} [nm]
H_α	2834	656,7	2832	656,1	656,2
H_β	1848	485,9	1844	485,5	486,0
H_γ	1262	437,1	1220	434,4	434,0

Diskusia:

Pomocou spektra ortuti sme okalibrovali stupnicu spektrometra. Závislosť uhlu natočenia na vlnovej dĺžke nie je lineárna, aproximovali sme ju polynómom piateho stupňa. Chybu kalibrácie sme odhadli podľa rozdielov tabuľkových vlnových dĺžok a vlnových dĺžok určených z aproximácie v daných bodoch ako 3,0 nm.

Na základe toho, že vlnové dĺžky sodíkového dubletu boli na hranici rozoznateľnosti spektroskopom, mohli sme odhadnúť rozlišovaciu schopnosť spektroskopu. Namerané vlnové dĺžky sodíkového dubletu sa v rámci chyby zhodujú s tabuľkovými hodnotami.

Zmerali sme spektrá Ne, He a CO_2. Namerané vlnové dĺžky sa vo väčšine prípadov zhodujú s tabuľkovými hodnotami. V spektre He a Ne sa však vyskytujú čiary, ktorých nameraná vlnová dĺžka sa od tabuľkovej líši o viac ako 5%. Táto odchýlka je zrejme spôsobená nesprávnym identifikovaním čiary s tabuľkovou vlnovou dĺžkou.

V spektre vodíka sme identifikovali tri čiary Balmerovej série H_α, H_β a H_γ, ich vlnové dĺžky namerané pre trubicu 2 sa zhodujú s tabuľkovými hodnotami. Čiary pozorované v trubici 1 boli veľmi nejasné, preto sa čiaru H_γ nepodarilo identifikovať správne. Z vodíkového spektra sme určili Rydbergovu konštantu lineárnou regresiou. Po korekcii na konečnú hmotnosť jadra vodíku vychádza táto konštanta o niečo menšia. Tabuľková hodnota [2] udáva $R_\infty = 1{,}0974.10^7$ m^{-1}, čo je v zhode s vypočítanou hodnotou.

Záver:

Okalibrovali sme stupnicu spektrometru a určili sme prevodný vzťah medzi dielikmi spektrometra a vlnovou dĺžkou (priložený graf 1). Zmerali sme vlnovú dĺžku sodíkového dubletu a diskutovali rozlišovaciu schopnosť spektrometru. Zmerali sme spektrá výbojok naplnených He, Ne a CO_2. Zmerali sme spektrum vodíka, v ktorom sme identifikovali čiary Balmerovej série H_α, H_β a H_γ. Na základe tohto merania sme určili Rydbergovu konštantu ako

$$R_\infty = (1{,}0970 \pm 0{,}0007).10^7 \text{ m}^{-1} \text{ a}$$

$$R_M = (1{,}0967 \pm 0{,}0007).10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Literatúra:

[1] Študijný text k úlohe č. A 15, http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp
[2] Tabuľky priložené k úlohe A 15 v praktiku IV