

**Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK**

**PRAKTIKUM IV**

Úloha č.: A15

Název: Štúdium atómových emisných spektier

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F3..... dne: 23. 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	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:.....

## Pracovné úlohy:

1. S použitím spektra ortuti okulibrujte hranolový spektrometer.
2. Overte vlnovú dĺžku sodíkového dupletu.
3. Na základe pozorovaní sodíkového dupletu diskutujte rozlišovaciu schopnosť spektrometra.
4. Prehliadnite si spektra výbojok s náplňou He, Ne, N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>. Určite vlnové dĺžky najjasnejších čiar. Porovnajte s tabuľkovými hodnotami.
5. Zmerajte vlnové dĺžky čiar H<sub>α</sub>, H<sub>β</sub>, H<sub>γ</sub> Balmerovej série vodíkového spektra. Vypočítajte Rydbergovu konštantu.

## Teoretická časť:

Úlohou optickej spektroskopie je študovať spektrálne zloženie svetla, t.j. rozdelenie jeho intenzity na vlnovej dĺžke. Spektroskopia umožňuje študovať látky bezkontaktným spôsobom, čo sa využíva predovšetkým v astronómii, kde je elektromagnetické žiarenie viac-menej jediným zdrojom informácií o vesmírnych objektoch.

Ak neberieme do úvahy tepelné žiarenie, môžu látky svetlo buď vysielat' alebo prijímať, potom hovoríme o emisnom alebo absorpčnom spektre (spektrá vznikajú pri prechode medzi rôznymi energetickými stavmi elektrónového obalu atómu alebo molekúl). Pri sledovaní vlastností izolovaných atómov a molekúl sú užitočné spektrá látok v plynenej fáze, kde sa vzájomné interakcie medzi molekulami či atómami uplatňujú omnoho slabšie ako v kvapalnej alebo pevnej fáze. Výrazne čiarové spektrá poskytujú izolované atómy. V spektrách molekúl sa objavuje veľký počet čiar v malej vzdialenosti, ktoré splyývajú do súvislých pásov.

Pri meraní absorpčných spektier využívame nedeštruktívny proces absorpcie žiarenia z iného zdroja. Pri pozorovaní emisného spektra musíme atómy alebo molekuly excitovať, čo sa najčastejšie prevádza pomocou elektrického výboja.

Na konci 19. storočia bol k dispozícii rozsiahly spektroskopický materiál. Balmer našiel empirický vzorec pre vlnové dĺžky  $\lambda$  jednej série vodíka pozorovateľné vo viditeľnom svetle (dnes nazývaná Balmerova séria)

$$\frac{1}{I_n} = R_M \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1)$$

kde  $n$  je prirodzené číslo väčšie ako 4 a  $R$  je Rydbergova konštantu.

Veľký pokrok v porozumení diskretných atómových spektier nastal po nástupe kvantovej mechaniky. Veľkým úspechom Bohrovej teórie bolo odvodenie presnej hodnoty Rydbergovej konštanty, viď [1]

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8e_0 c h^3}, \quad (2)$$

kde  $m_e$  je hmotnosť elektrónu,  $e$  náboj elektrónu,  $c$  rýchlosť svetla,  $h$  Planckova konštantu.

Táto hodnota bola odvodená za predpokladu, že hmotnosť atómového jadra  $M$  by bola oproti hmotnosti elektrónu  $m_e$  nekonečne veľká. Pretože v skutočnosti má pomer  $M/m_e$  konečnú hodnotu, i keď veľkú, je pre presnejší výpočet potrebné uvažovať malý pohyb jadra okolo spoločného ťažiska atómu. Na mieste hmotnosti  $m_e$  potom vystupuje redukovaná hmotnosť

$$m_r = \frac{m_e M}{m_e + M} \quad (3)$$

a Rydbergova konštantu  $R_M$  pri konečnej hmotnosti atómového jadra  $M$  má hodnotu

$$R_M = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{M}}. \quad (4)$$

## Výsledky meraní:

Najprv som pomocou hranolového spektrometra odčítal polohy spektrálnych čiar ortuťovej výbojky. Polohy boli odčítané v jednotkách stupnice spektrometra. Porovnaním s hodnotami tabelovanými v [1] som identifikoval vlnové dĺžky jednotlivých čiar, t.j. okalibroval som stupnicu spektrometra. Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1* a zobrazené v *grafe 1*.

Tabuľka 1 – Kalibrácia spektrometra

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda_{tab}$ [nm]
2946	690,4
2888	671,6
2714	623,4
2668	612,3
2646	607,3
2512	579,1
2501	577,0
2323	546,1
1904	491,6
1243	435,8
1226	434,8
1213	433,9
762	407,8
693	404,7

Nameranou závislosťou vlnovej dĺžky na polohe na stupnici spektrometra som preložil polynóm piateho stupňa; tým som dostal vzťah na prepočet hodnôt odčítaných zo spektrometra na vlnové dĺžky, t.j. disperznú závislosť

$$I = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5. \quad (5)$$

Koeficienty polynómu (5) som určil dvoma spôsobmi:

- pomocou programu poskytnutého v praktiku
- pomocou programu *Origin*

Zistené hodnoty koeficientov sú uvedené v *tabuľke 2*; krivky získané oboma spôsobmi sú zobrazené v *grafe 1*.

Tabuľka 2 – Koeficienty disperznej závislosti

parameter	praktikum	Origin
$a_0$	$3,331 \cdot 10^2$	$(3,647 \pm 0,094) \cdot 10^2$
$a_1$	$1,953 \cdot 10^{-1}$	$(8,2 \pm 3,2) \cdot 10^{-2}$
$a_2$	$-2,183 \cdot 10^{-4}$	$-(6,7 \pm 4,0) \cdot 10^{-5}$
$a_3$	$1,528 \cdot 10^{-7}$	$(5,9 \pm 2,4) \cdot 10^{-8}$
$a_4$	$-4,848 \cdot 10^{-11}$	$-(2,11 \pm 0,66) \cdot 10^{-12}$
$a_5$	$3,331 \cdot 10^{-15}$	$(3,38 \pm 0,70) \cdot 10^{-15}$

Hodnoty jednotlivých parametrov určené oboma spôsobmi sa odlišujú, no výsledné krivky sa prekrývajú, vid' *graf 1*. Presnosť parametrov z programu v praktiku nebola uvedená, a preto v ďalších výpočtoch budem používať hodnoty z programu *Origin*.

Ako náhodnú chybu kalibrácie uvažujem jeden dielik na spektrometre (to sú dva stupne na stupnici spektrometra), t.j. približne 0,4 nm.

Po pristavení sodíkovej výbojky ku spektrometru som našiel tri sodíkové dublety. Poloha čiar dubletov odčítaná zo stupnice a zodpovedajúce vlnové dĺžky vypočítané podľa vzťahu (5) sú uvedené v *tabuľke 3*. V tejto tabuľke sú uvedené aj tabuľkové hodnoty (podľa tabuliek priložených ku študijnému textu). Všetky chyby určenia vlnových dĺžok odhadujem na 0,5 nm.

Tabuľka 3 – Vlnové dĺžky sodíkových dubletov

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{tab}$ [nm]
2683	615,9	615,423
2685	616,4	616,076
2562	589,1	588,995
2566	589,9	589,592
2455	568,4	568,861
2458	568,9	568,922

Rozlišovacia schopnosť spektrometra závisí na šírke vstupnej štrbiny a na intenzite vstupujúceho svetla. Pri určovaní vlnovej dĺžky sodíkových dubletov som nastavil šírku vstupnej štrbiny približne na 0,24 nm, t.j. tak aby spektrálne čiary boli ešte rozlíšiteľné. Ak šírka vstupnej štrbiny bola nastavená na 0,20 nm, tak čiaru už nebolo vôbec vidieť.

Pri nastavení šírky štrbiny 0,24 nm boli rozlíšiteľné dve spektrálne čiary vzdialené  $dI = 0,5\text{ nm}$ , t.j. pre rozlišovaciu schopnosť spektrometra platí

$$\frac{I}{dI} = 1140.$$

Ďalej som pozoroval spektrá výbojok naplnených Ne (jasné čiary predovšetkým v červenej oblasti), He (osamotené výrazné čiary) a CO<sub>2</sub> (molekulárne pásy). Výbojka s N<sub>2</sub> nebola v praktiku k dispozícii. Pre meranie výbojok s Ne, He odhadujem chybu určenia polohy spektrálnych čiar na 0,5 nm a pre meranie výbojky s CO<sub>2</sub> odhadujem chybu na 1 nm. Namerané a tabuľkové hodnoty sú uvedené v tabuľkách 4 – 6.

Tabuľka 4 – Spektrálne čiary Ne

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{tab}$ [nm]
2952	692,3	692,947
2888	671,7	671,704
2874	667,4	667,828
2850	660,2	659,895
2826	653,3	653,288
2817	650,7	650,653
2780	640,5	640,225
2772	638,4	638,299
2754	633,6	633,443
2727	626,7	626,495
2686	616,6	617,489
2676	614,3	614,306
2588	594,5	594,483
2544	585,4	585,249

Tabuľka 5 – Spektrálne čiary He

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{tab}$ [nm]
2876	668,0	667,815
2556	587,9	587,562
2024	505,2	504,774
1992	501,5	501,568
1910	492,4	492,193
1702	471,8	471,314
1404	447,2	447,148

Tabuľka 6 – Spektrálne čiary He

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda$ [nm]
2648	607,8
2414	561,1
2141	519,8
1822	483,3

Ďalej som pozoroval vodíkové spektrum a identifikoval tri čiary Balmerovej série. Prvé dve čiary sa dali dobre identifikovať, ale intenzita tretej čiary bola dosť nízka a v okolí sa vyskytovalo mnoho molekulárnych čiar. Presnosť týchto meraní odhadujem na 1 nm. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 7.

Tabuľka 6 – Spektrálne čiary H<sub>2</sub> (Balmerová séria)

$\lambda$ [dieliky]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{tab}$ [nm]
2837	656,4	656,29
1852	486,3	486,13
1215	434,0	434,05

V tabuľke 7 sú uvedené hodnoty Rydbergovej konštanty pre jednotlivé spektrálne čiary vodíkového spektra

Tabuľka 7 – Určenie Rydbergovej konštanty

	$n$	$\lambda$ [nm]	$R$ [ $10^7 m^{-1}$ ]
$H_\alpha$	3	656,4	1,0968
$H_\beta$	4	486,3	1,0967
$H_\gamma$	5	434,0	1,0972

Hodnotu Rydbergovej konštanty  $R$  som určil ako aritmetický priemer jednotlivých hodnôt v tabuľke 7. (Výslednú hodnotu  $R$  som neurčoval metódou lineárnej regresie, pretože k dispozícii by som mal len tri body, ktorými by som prekladal priamku.)

$$R_M = (1,0969 \pm 0,0003) \cdot 10^7 m^{-1}.$$

Podľa vzťahu (4) som určil hodnotu  $R_\infty$

$$R_\infty = (1,0972 \pm 0,0003) \cdot 10^7 m^{-1}.$$

Tabuľková hodnota Rydbergovej konštanty podľa [3] je  $R_\infty = 1,0974 \cdot 10^7 m^{-1}$ .

### Diskusia:

Na jednotlivé merania som používal hranolový spektrometer, ktorý som okalibroval pomocou ortuťovej výbojky. Pozorované vlnové dĺžky sú v zhode s tabuľkovými hodnotami, t.j. dokazuje to oprávnenosť aproximácie kalibračnej krivky polynómom 5. stupňa (koeficienty tohto polynómu sú uvedené v tabuľke 2).

Na základe pozorovania sodíkových dubletov som určil dolnú hranicu rozlišovacej schopnosti hranolového spektrometra  $I/dI = 1140$ . Skutočná rozlišovacia schopnosť je väčšia.

Chybu určenia vlnovej dĺžky jednotlivých spektrálnych čiar odhadujem na 0,5 nm (pri meraní výbojok s CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub> odhadujem chybu na 1 nm). Pri určovaní polôh spektrálnych čiar s nízkou intenzitou bolo potrebné rozšíriť vstupnú štrbinu na úkor ostrosti spektrálnych čiar.

Pomocou vypočítaných vlnových dĺžok čiar Balmerovej série som určil Rydbergovu konštantu  $R_\infty = (1,0972 \pm 0,0003) \cdot 10^7 m^{-1}$  – zistená hodnota je v zhode s tabuľkovou hodnotou.

## Záver:

Okalibroval som stupnicu hranolového spektrometra. Pomocou sodíkového dubletu som určil dolnú hranicu jeho rozlíšenia.

Pozoroval som spektrálne čiary  $Ne$ ,  $He$ ,  $CO_2$  a  $H_2$ . Na základe spektra  $H_2$  som určil Rydbergovu konštantu

$$R_M = (1,0969 \pm 0,0003) \cdot 10^7 m^{-1},$$

$$R_\infty = (1,0972 \pm 0,0003) \cdot 10^7 m^{-1},$$

Tabuľková hodnota Rydbergovej konštanty podľa [3] je  $R_\infty = 1,0974 \cdot 10^7 m^{-1}$ .

## Literatúra:

[1] Študijný text k úlohe A14; <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

[3] Mikulčák, J., Klimeš, B. Široký, J., Šůla, V., Zemánek, F.; Matematické fyzikální a chemické tabulky, Prometheus, Praha 1997

