

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM IV

Úloha č. 15

Název: Studium atomových emisních spekter

Pracoval: Štěpán Roučka stud. skup. FOF dne 4. 10. 2005

Odevzdal dne:..... vráceno:.....

Odevzdal dne:..... vráceno:.....

Odevzdal dne:.....

Posuzoval:..... dne..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

## 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, N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>. Určete vlnové délky nejjasnějších čar. Porovnejte s tabulkovými hodnotami.
5. Změřte vlnové délky čar H<sub>α</sub>, H<sub>β</sub>, H<sub>γ</sub> Balmerovy serie vodíkového spektra. Vypočítejte Rydbergovu konstantu.

## Teorie

Vlnové délky Balmerovy série vodíku jsou dány vztahem vycházejícím z Ritzeva kombinačního principu

$$\lambda_n = \frac{4n^2}{R_M(n^2 - 4)}, \quad n = 3, 4, 5, 6 \quad (1)$$

kde  $R_M$  souvisí s Rydbergovou konstantou  $R_\infty$  vztahem

$$R_\infty = R_M(1 + m_e/M) \quad (2)$$

kde  $m_e$  značí hmotnost elektronu a  $M$  značí hmotnost jádra.

## Měření

Nejprve jsem pomocí hranolového spektrometru odečetl polohy spektrálních čar rtuťové výbojky. Polohy byly odečteny v jednotkách stupnice spektrometru. Srovnáním s hodnotami tabelovanými v [1] jsem identifikoval vlnové délky jednotlivých čar. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 1.

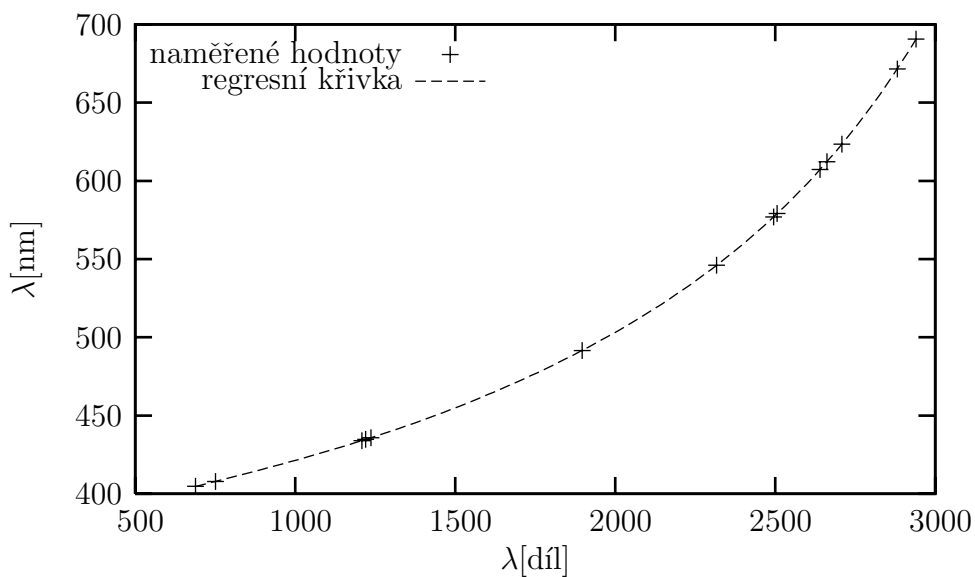
Závislostí vlnové délky na poloze spektrometru jsem proložil polynom pátého stupně, tím jsem získal vztah pro přepočet hodnot odečtených ze spektrometru na vlnové délky, tzv. disperzní závislost (3), jež je zakreslena v obrázku 1.

$$\lambda = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 \quad (3)$$

$\lambda[\text{nm}]$	690,7	671,6	623,4	612,3	607,3	579,1	577
$x[\text{díl}]$	2940	2882	2708	2662	2640	2506	2495
$\lambda[\text{nm}]$	546,1	491,6	435,8	434,8	433,9	407,8	404,7
$x[\text{díl}]$	2317	1897	1237	1220	1208	751	688

Tabulka 1: Kalibrace spektrometru

Koeficienty polynomu jsem určil nejprve na praktiku s pomocí poskytnutého programu v jazyce famulus, a potom také fitováním v programu gnuplot. Výsledné parametry a součet čtverců odchylek jsou uvedeny v tabulce 2. Přesnost parametrů z famula nebyla uvedena. Hodnoty vypočtené programem gnuplot se v rámci svých chyb shodují s výsledky famula. Jelikož součet čtverců odchylek  $\chi^2$  je nižší pro parametry z gnuplotu, výsledky famula nebudu nadále uvažovat. Křivka zakreslená v obrázku 1 je určena gnuplotem.



Obrázek 1: Disperzní křivka

Abych určil chybu kalibrace, vypočetl jsem rozdíl mezi tabelovanými hodnotami spektrálních čar rtuti a hodnotou odhadnuté kalibrační závislosti v daném bodě. Odchylka nabývala maximální hodnoty 0.19 nm. Předpokládám, že kalibrační závislost je nalezeným polynomem dobře aproximována i mimo zkoumané body a odchylku vlnové délky změřené spektrometrem odhaduji na 0.5 nm.

parametr	famulus	gnuplot
a	359.0	$352 \pm 7$
b	0.1048	$0.12 \pm 0.02$
c	$-9.965 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \pm 0.3 \cdot 10^{-4}$
d	$8.087 \cdot 10^{-8}$	$9 \pm 2 \cdot 10^{-8}$
e	$-2.792 \cdot 10^{-11}$	$-3.1 \pm 0.6 \cdot 10^{-11}$
f	$4.177 \cdot 10^{-15}$	$4.5 \pm 0.6 \cdot 10^{-15}$
$\chi^2$	$9.9 \cdot 10^{-2}$	$9.3 \cdot 10^{-2}$

Tabulka 2: Koefficienty disperzní závislosti

Po přistavení sodíkové výbojky ke spektrometru byl nalezen sodíkový dublet. Poloha čar dubletu odečtená ze stupnice spektrometru, přepočítaná na nanometry, i tabelovaná hodnota  $\lambda_{\text{tab}}$  jsou uvedeny v tabulce 3. Jak již bylo uvedeno, všechny chyby určení vlnových délek odhaduji na 0.5 nm a do tabulek je tedy nezapisuji.

$\lambda$ [díl]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tab}}$ [nm]
2558	589.5	589.592
2556	589.1	588.995

Tabulka 3: Vlnová délka sodíkového dubletu

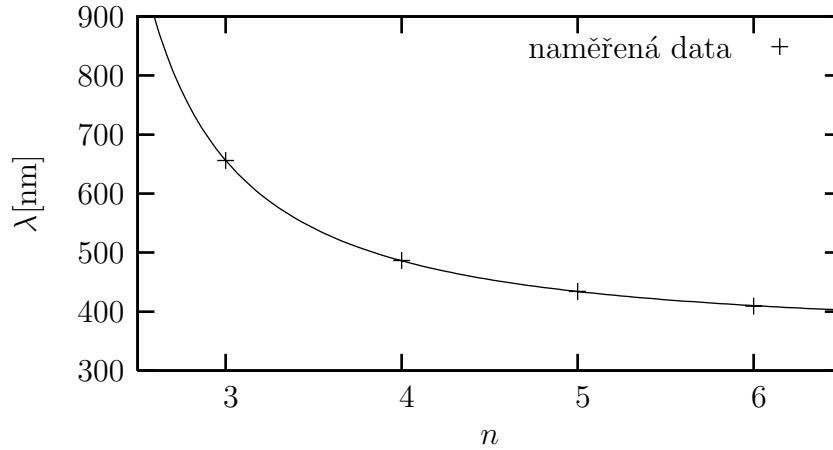
Rozlišovací schopnost spektrometru objektivně závisí na šířce vstupní štěrbině a subjektivně také na intenzitě vstupujícího světla. Ověřil jsem, že při šířce štěrbině nastavené na 0.25 mm byly čáry dubletu na pomezí rozlišitelnosti. Při šířce nastavené na 0.20 mm však čáry nebyly vidět vůbec, z čehož usuzuji na nesprávné seřízení štěrbině. Pokud byla štěrbině při nastavení 0.20 mm zavřená, lze odhadnout, že na pomezí rozlišitelnosti sodíkového dubletu byla šířka štěrbině 0.05 mm. Tento odhad však není důležitý. Podstatné je, že vím, že při nastavení 0.25 mm jsou rozlišitelné dvě spektrální čáry vzdálené 0.6 nm a s tímto nastavením provedu další měření.

Dále bylo pozorováno vodíkové spektrum a identifikovány některé čáry Balmerovy série. Pozorování vlnových délek nižších, než je čára  $H_\gamma$  bylo však problematické. Vzhledem k nízké intenzitě světla bylo nutné rošířit štěrbinu, což vedlo k silnému rozmazání. Přesnot těchto měření odhaduji na 2 nm. Výsledky jsou zapsány v tabulce 4.

Fitováním vztahu (1) na polohy čar v závislosti na  $n$  jsem určil Rydbergovu konstantu. Jako váhu jsem použil odhadnuté chyby. Výsledkem jsou

$\lambda$ [díl]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tab}}$ [nm]
2830	656.2	$H_\alpha$ 656.29
1847	486.4	$H_\beta$ 486.13
1209	434.0	$H_\gamma$ 434.05
1234	435.6	
1322	441.6	
1090	426.6	
864	413.9	
776	409.2	$H_\delta$ 410.17
980	420.2	

Tabulka 4: Spektrální čáry vodíku porovnané s Balmerovou sérií



Obrázek 2: Určení Rydbergovy konstanty

hodnoty

$$R_M = (1.0971 \pm 0.0003) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$R_\infty = (1.0977 \pm 0.0003) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Tabelovaná hodnota Rydbergovy konstanty dle [2] je  $R_\infty = 1.0974 \cdot 10^7$ . Fitování je graficky znázorněno v grafu 2. Naměřená hodnota je v rámci přesnosti shodná s hodnotou tabelovanou.

Nakonec jsem odečetl některé z nejsilnějších spektrálních čar plynů He, Ne a CO<sub>2</sub>. Výsledky jsou zapsány v tabulkách 5, 6, 7. U CO<sub>2</sub> byly pozorovány pouze spektrální pásy, jejichž střední polohu jsem zapsal do tabulky 7. Polohy pásů CO<sub>2</sub> nebyly v poskytnutých tabulkách uvedeny a chybu v určení jejich polohy odhaduji na 2 nm.

## Diskuse

Všechny pozorované vlnové délky jsou ve shodě s tabelovanými hodnotami, což svědčí o oprávněnosti aproximace kalibrační křivky polynomem. Pokud není uvedeno jinak, odhaduji chybu určení vlnové délky na 0.5 nm, vzhledem k odchýlkám kalibračních měření. Největším problémem při odečítání byla nízká intenzita některých čar, kdy jsem musel volit mezi velkým rozmazáním a nízkou viditelností. Určení Rydbergovy konstanty je taktéž ve shodě s teorií.

## Závěr

Pomocí vlastnoručně okalibrovaného spektrometru jsem pozoroval spektrální čáry některých plynů a na základě pozorování jsem úspěšně určil Rydbergovu konstantu

$$R_{\infty} = (1.0977 \pm 0.0003) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

## Literatura

- [1] Studijní texty, úloha 15: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/> a materiály v praxi
- [2] Mikulčák, J., Klimeš, B., Široký, J., Šůla, V., Zemánek, F.: Matematické fyzikální a chemické tabulky. Prometheus, Praha 1997.

$\lambda$ [díl]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tab}}$ [nm]
2548	587.4	587.56
1399	447.2	447.15
2869	667.8	667.8
1987	501.7	501.57
1902	492.2	492.19

Tabulka 5: Spektrální čáry helia porovnané s tabelovanými hodnotami

$\lambda$ [díl]	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tab}}$ [nm]
2701	621.7	621.73
2722	626.9	626.65
2537	585.2	585.25
2553	588.5	588.19
2278	540.1	540.06
1845	486.2	488.49

Tabulka 6: Spektrální čáry neonu porovnané s tabelovanými hodnotami

$\lambda$ [díl]	$\lambda$ [nm]
2406	560.8
2131	519.4
1815	483.1
1448	450.8

Tabulka 7: Spektrální pásy oxidu uhličitého