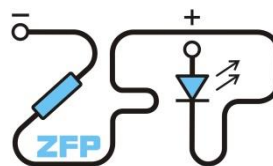


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum IV



Úloha č. 15

Název úlohy: Studium atomových emisních spekter

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 13.12.2016

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

- 1) S použitím spektra rtuti zkalibrujte hranolový spektrometr. Pro vyloučení hrubých chyb vynesete kalibrační křivku ihned do grafu.
- 2) Ověřte vlnové délky sodíkových dubletů (alespoň tří).
- 3) Na základě pozorování sodíkových dubletů diskutujte rozlišovací schopnost spektrometru. Diskutujte přesnost takto určené rozlišovací schopnosti.
- 4) Prohlédněte si spektra výbojek s náplní  $He$ ,  $Ne$ ,  $Ar$ ,  $N_2$  a  $CO_2$ . Určete vlnové délky nejjasnějších čar. Porovnejte s tabulkovými hodnotami.
- 5) Změřte vlnové délky čar  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  Balmerovy serie vodíkového spektra. Vypočítejte Rydbergovu konstantu.

## Teoretická část

Při přechodu elektronu z energetické hladiny  $E_i$  na energetickou hladinu  $E_f$  platí pro vlnovou délku  $\lambda$  vyzářeného (nebo absorbovaného pokud  $E_i < E_f$ ) světla vztah [1]

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{|E_i - E_f|} \quad (1)$$

kde  $\hbar$  je Planckova konstanta a  $c$  je rychlost světla ve vakuu. Pro obecné molekuly nebo složitější atomy jsou energetické hladiny prakticky neurčitelné analyticky, ale pro vodík lze vlnové délky světla vznikajícího při přechodech mezi energetickými hladinami vyjádřit jako

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{R \left| \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right|} \quad (2)$$

kde  $R$  je Rydbergova konstanta a  $n_i$  jsou přirozená čísla. Ve viditelné části spektra se nachází přechody pro  $n_i = 2$ ,  $n_j \in \{3,4,5,6\}$  značené po řadě jako  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  a  $H_\delta$ . Vztah (2) pro ně lze upravit na

$$\lambda_j = \frac{4n_j^2}{R(n_j^2 - 4)} \quad (3)$$

Pro Rydbergovu konstantu počítanou v limitě pro nekonečnou hmotnost jádra platí vztah (tabulková hodnota je převzata z [2])

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{64\pi^3 \varepsilon_0^2 c \hbar^3} \cong 1.097373 \times 10^7 m^{-1} \quad (4)$$

kde  $m_e$  je hmotnost elektronu,  $e$  elementární náboj a  $\varepsilon_0$  permitivita vakua. Pro konečnou hmotnost jádra dostaneme

$$R = R_\infty \left( 1 + \frac{m_e}{M} \right) \quad (5)$$

kde  $M$  je hmotnost jádra.

Při měření spektrometrem je relevantní parametr tzv. rozlišení spektrometru dané definitoricky vztahem

$$R_o = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (6)$$

kde  $\Delta\lambda$  je nejmenší rozlišitelný rozdíl vlnových délek při absolutní hodnotě vlnové délky rovné  $\lambda$ .

## Výsledky měření

### Kalibrace spektrometru

Spektrometr byl kalibrován pomocí rtuťové výbojky. Tabulkové vlnové délky spektrálních čar jsou v tabulce 1.

Tabulka 1 – spektrální čáry rtuti – převzato z [1]

Barva	Relativní intenzita orientačně <sup>1)</sup>	Vlnová délka (nm)
červená	1	690.7
červená	0.8	671.6
červená	0.8	623.4
červená	0.3	612.3
červená	0.5	607.3
žlutá	10	579.1
žlutá	2	577.0
zelená	20	546.1
modrozelená	0.5	491.6
modrá	5	435.8
modrá	0.5	434.8
modrá	0.2	433.9
fialová	1.5	407.8
fialová	3	404.7

Na stupnici spektrometru byly v dílcích odečteny jednotlivé spektrální čáry. Chyba určení počtu dílků je odhadnuta jako  $u_N = 2$  dílky.

Tabulka 2 – Naměřené počty dílků na stupnici spektrometru pro jednotlivé spektrální čáry rtuti

$\lambda$ [nm]	počet dílků	$\lambda$ [nm]	počet dílků
690.7	2938	546.1	2316
671.6	2878	491.6	1896
623.4	2706	435.8	1238
612.3	2660	434.8	1218
607.3	2638	433.9	1204
579.1	2506	407.8	746
577.0	2494		

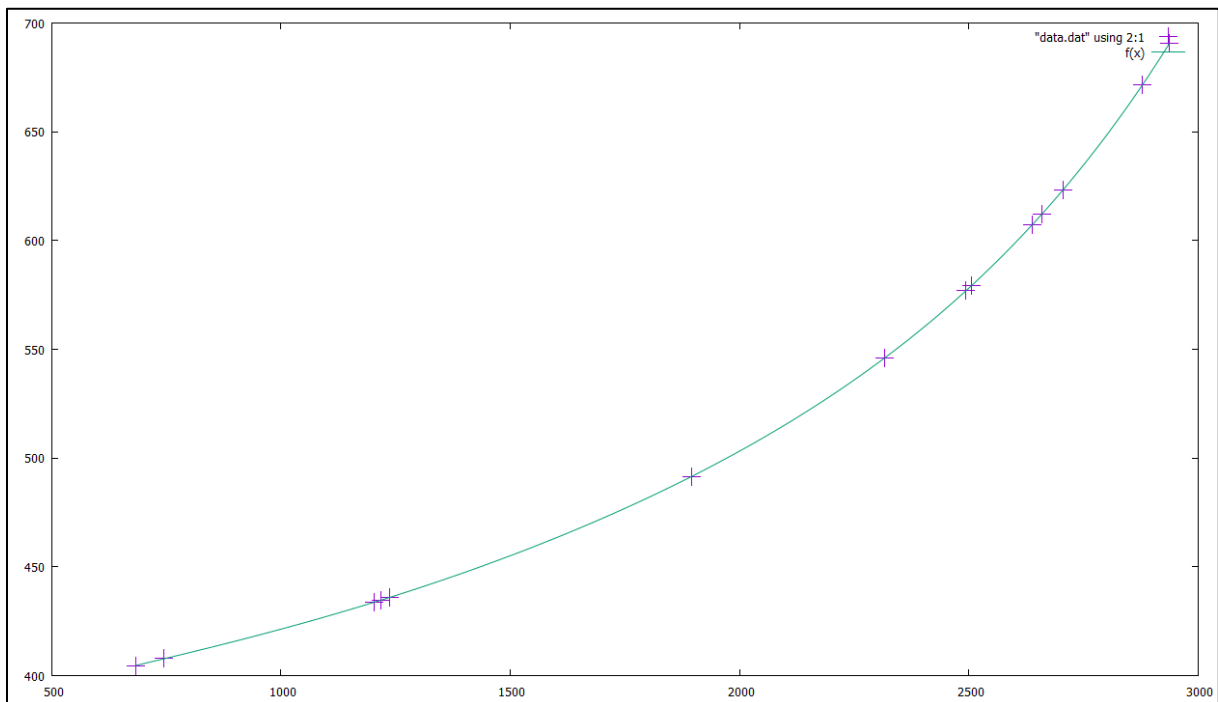
Pomocí programu Gnuplot byla závislost vlnové délky na počtu dílků na stupnici  $N$  nafitována polynomem pátého řádu

$$\lambda[nm] = \sum_0^5 a_k N^k \quad (7)$$

Výsledné hodnoty parametrů  $a_k$  jsou

$$\begin{aligned} a_5 &= (3.7 \pm 0.9)10^{-15} \\ a_4 &= (-2.4 \pm 0.8)10^{-11} \\ a_3 &= (6.8 \pm 2.9)10^{-8} \\ a_2 &= (-7.9 \pm 4.9)10^{-5} \\ a_1 &= 0.090 \pm 0.039 \\ a_0 &= 363 \pm 11 \end{aligned}$$

Fit je i přes velké chyby parametrů obstojný, jak je vidět z grafu 1.



Graf 1 – Fit závislosti vlnové délky na počtu dílků na stupnici spektrometru

## Rozlišení spektrometru

Byly změřeny tři sodíkové dublety. U všech z nich byly spektrální čáry rozlišitelné. Chyba určených vlnových délek je odhadnuta jako

$$u_{\lambda} = u_N \sum_1^5 ka_k N^{k-1} \quad (8)$$

Tabulka 3 – Naměřené vlnové délky dubletů a jim odpovídající rozlišení spektrometru

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tabulková}}$ [nm]	$R_o$
2448	568.4±0.4	568.266	1023
2452	569.1±0.4	568.822	
2556	589.4±0.4	588.995	987
2558	589.8±0.4	589.592	
2674	615.6±0.5	615.423	943
2678	616.6±0.5	616.076	

Rozlišení bylo určeno podle rovnice (6) po dosazení tabulkových hodnot vlnových délek dubletů. Protože byly všechny dublety rozlišitelné, je rozlišení spektrometru rovno alespoň nejvyšší z hodnot v tabulce 3, tj.  $R_o \geq 1023$ .

## Plynové výbojky

Byla zkoumána spektra výbojek s *He*, *Ne*, *Ar*, *N<sub>2</sub>* a *CO<sub>2</sub>*. Pro každý plyn bylo vybráno několik nejlépe viditelných čar a u nich určena vlnová délka. Porovnání s tabulkovými hodnotami pochází z tabulek, které byly dostupné u úlohy v praktiku.

Tabulka 4 – Naměřené vlnové délky spektrálních čar argonu

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tabulková}}$ [nm]
2124	518.5±0.3	518.775
2374	555.4±0.3	555.870
2402	560.2±0.3	560.673
2564	591.0±0.4	591.208
2620	603.1±0.4	603.212
2776	641.7±0.5	641.632
2954	696.3±0.7	696.543
2982	706.1±0.7	-

Tabulka 5 – Naměřené vlnové délky spektrálních čar hélia

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tabulková}}$ [nm]
1394	447.0±0.1	447.148
1688	471.1±0.2	471.014
1900	492.0±0.2	492.193
1982	501.1±0.2	501.568
2226	532.4±0.3	-
2546	587.3±0.4	587.562
2674	615.6±0.5	-
2866	667.7±0.6	667.815
2982	706.1±0.7	706.519

Tabulka 6 – Naměřené vlnové délky spektrálních čar neonu

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tabulková}}$ [nm]
2274	539.5±0.3	540.0562
2536	585.3±0.4	585.2488
2580	594.4±0.4	594.4834
2648	609.5±0.5	609.6163
2668	614.2±0.5	614.306
2720	627.0±0.5	626.6495
2772	640.6±0.5	640.225
2808	650.6±0.6	650.6528
2868	668.3±0.6	667.828

Pro  $N_2$  a  $CO_2$  jsou (s výjimkou prvních tří čar v tabulce 8 u dusíku) spektra pásová, hodnoty v tabulkách jsou vybrané hrany některých pásů.

Tabulka 7 – Naměřené vlnové délky hran spektrálních pásů  $CO_2$

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]
1448	451.0±0.2
1814	483.1±0.2
2136	520.0±0.3
2406	560.9±0.3
2644	608.6±0.5

Tabulka 8 – Naměřené vlnové délky hran spektrálních pásů  $N_2$

<i>počet dílků</i>	$\lambda$ [nm]
1314	441.2±0.1
1522	456.9±0.2
1698	472.0±0.2
2150	521.9±0.3
2360	553.1±0.3
2490	576.2±0.4
2516	581.3±0.4
2540	586.1±0.4
2566	591.4±0.4
2592	597.0±0.4
2618	602.7±0.4
2642	608.1±0.5
2666	613.7±0.5
2690	619.5±0.5
2718	626.5±0.5
2746	633.7±0.5
2774	641.1±0.5
2800	648.3±0.6
2826	655.8±0.6
2854	664.0±0.6
2880	672.0±0.6
2906	680.3±0.6

## Balmerova série

Byly naměřeny spektrální čáry  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  ( $H_\delta$  již nebyla vidět). Z nich byla podle rovnice (3) určena Rydbergova konstanta. Její chyba byla odhadnuta jako

$$u_R = R \left| \frac{u_N}{N} \right| \quad (9)$$

Tabulka 9 – Naměřené vlnové délky spektrálních čar vodíku

spektrální čára	počet dílků	$\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{tabulková}}$ [nm]	$R$ [ $10^7 m^{-1}$ ]
$H_\gamma, n_j = 5$	1204	433.8±0.1	434.047	1.0978±0.0018
$H_\beta, n_j = 4$	1842	486.0±0.2	486.133	1.0975±0.0012
$H_\alpha, n_j = 3$	2828	656.3±0.6	656.285	1.0970±0.0008

Výsledná Rydbergova konstanta dohromady za všechna měření je

$$R = (1.0974 \pm 0.0015)10^7 m^{-1}$$

$R_\infty$  získáme ze vztahu (5) za použití  $\frac{m_e}{M} \cong \frac{1}{1837}$

$$R_\infty = (1.0968 \pm 0.0015)10^7 m^{-1}$$

## Diskuze výsledků

Fit závislosti vlnové délky na počtu dílků na stupnici dobře odpovídal skutečnosti, jak je vidět z typicky velmi dobrého souhlasu naměřených vlnových délek s tabulkovými, nebo z grafu 1.

Skutečné rozlišení spektrometru je pravděpodobně ještě o něco větší než uvedená hodnota 1023, protože dle mého názoru by šlo rozlišit ještě o něco bližší spektrální čáry.

Naměřená spektra plynů typicky dobře odpovídají tabulkovým hodnotám v rámci uvedených experimentálních chyb. U dvou spektrálních čar hélia a jedné argonu nebyla v tabulkách nalezena odpovídající hodnota. To může být způsobeno buď hrubou experimentální chybou, nebo nedostatečnou obsáhlostí tabulek.

Pro  $N_2$  a  $CO_2$  nebyly tabulkové hodnoty k dispozici.

Výsledná Rydbergova konstanta  $R_\infty = (1.0968 \pm 0.0015)10^7 m^{-1}$  odpovídá v rámci experimentální chyby tabulkové hodnotě [2]  $R_\infty = 1.097373 \times 10^7 m^{-1}$ .

## Závěr

Byl nakalibrován hranolový spektrometr.

Byly ověřeny vlnové délky sodíkových dubletů a určeno rozlišení

$$R_o \geq 1023$$

Byla změřena spektra výbojek s  $He$ ,  $Ne$ ,  $Ar$ ,  $N_2$  a  $CO_2$  a porovnána s tabulkovými hodnotami.

Byly změřeny vlnové délky čar  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  Balmerovy série a určena Rydbergova konstanta

$$R_\infty = (1.0968 \pm 0.0015)10^7 m^{-1}$$

## **Použitá literatura**

- [1] studijní text dostupný dne 14.12.2016 na  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_415.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_415.pdf)  
[2] tabulka fyzikálních konstant dostupná dne 14.12.2016 na  
<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>