

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 15

Název: Studium atomových emisních spekter

Vypracoval: Vít MAREK stud. sk. F/3 dne 28.10.2001

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>alfa</sub>, H<sub>beta</sub>, H<sub>gamma</sub> Balmerovy serie vodíkového spektra. Vypočítejte Rydbergovu konstantu.

### Teorie:

Pro hranolové spektrometry se pro oblast viditelného záření používá k proložení závislosti vlnové délky světla na otočení tzv. Hartmannův vztah. Pro náš spektrometr mohu použít jeho úpravu

$$\lambda = c + \frac{b}{a - n} \quad (1) \text{ kde } \lambda \text{ je vlnová délka světla, } n \text{ úhel otočení}$$

Rozlišovací schopnost je definována

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} \quad (2) \text{ kde } d\lambda \text{ je vzdálenost ještě dvou rozlišitelných spektrálních čar}$$

Pro vlnové délky Balmerovy série spektra vodíku platí vztah

$$\lambda = \frac{4}{R} \left( 1 - \frac{n^2}{4} \right) \quad (3) \text{ kde } R \text{ je Rydbergova konstanta, } (n = 3, 4, 5 \text{ pro } H_{\alpha}, H_{\beta} \text{ a } H_{\gamma})$$

Podrobněji viz. [1].

### Výsledky měření:

1, Nejdříve jsem proměřil závislost pozorované vlnové délky světla na otočení bubínku spektrometru pro spektrum rtuti. Chybu měření jsem odhadl na  $2^\circ$ . Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tabulka 1. – Závislost  $\lambda$  na otočení bubínku pro spektrum rtuti

Měření	$n [^\circ]$	$\lambda [\text{nm}]$
1	558	<b>404,7</b>
2	622	<b>407,8</b>
3	1078	<b>433,9</b>
4	1091	<b>434,8</b>
5	1108	<b>435,8</b>
6	1769	<b>491,6</b>
7	1808	497,0*
8	1946	<b>512,9</b>
9	2092	529,1*
10	2118	<b>535,4</b>
11	2188	<b>546,1</b>
12	2315	567,6*
13	2366	<b>577,0</b>
14	2376	<b>579,1</b>
15	2411	<b>587,1</b>
16	2426	
17	2510	<b>607,3</b>
18	2532	<b>612,3</b>
19	2579	<b>623,4</b>
20	2752	<b>671,6</b>
21	2811	<b>690,7</b>

$n$  otočení bubínku spektrometru,  
 $\lambda$  vlnová délka spekter rtuti

Odpovídající vlnové délky příslušející jednotlivým otočením jsem určil podle [2]. Nejjasnějším čarám jsem přiřadil hodnoty vlnových délek přímo (438,5; 491,6; 535,4 a 579,1 nm). Ostatní hodnoty

jsem přiřadil podle poměru vzdáleností od již známých hodnot. Závislost  $\lambda$  na otočení bubínku je zakreslena v *grafu 1* a fitována funkcí (1) v programu Origin 6. Získané koeficienty jsou:

$$a = (4120 \pm 20) [^{\circ}]$$

$$b = (613\,000 \pm 9000) [nm. ^{\circ}]$$

$$c = (235 \pm 2) [nm]$$

**2,** Stejným způsobem jsem změřil i dublet sodíku:  $n_1 = 2425^{\circ}$ ,  $n_2 = 2428^{\circ}$ . Podle kalibrační křivky získané v *bodě 1* odpovídají těmto otočením vlnové délky  $\lambda_1 = (488,9 \pm 7,7) [nm]$  a  $\lambda_2 = (489,5 \pm 7,7) [nm]$ .

**3,** Dosazením do vztahu (2) vlnové délky sodíkového dubletu získám přibližnou rozlišovací schopnost spektrometru  $R \approx 960$ .

**4,** Určená spektra He, Ne, N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> jsou zaznamenána v tabulkách 2 – 5. Jsou tam i tabulkové hodnoty získané z [4] a [5].

Tabulka 2. – Spektrum He ( $n$  úhel otočení,  $\lambda$  vlnová délka,  $er \lambda$  její chyba,  $\lambda_{TAB}$  tabulková hodnota)

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda [nm]$	$er \lambda [nm]$	$\lambda_{TAB} [nm]$
1	1150	438,5	5,3	438,8
2	1270	447,0	5,5	447,1
3	1561	470,8	5,8	471,3
4	1773	491,9	6,2	492,1
5	1858	501,4	6,3	501,6
6	1884	504,5	6,4	504,8
7	2418	587,5	7,6	587,6
8	2738	667,2	8,9	667,8
9	2852	705,1	9,4	706,5

Tabulka 3. – Spektrum Ne

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda [nm]$	$er \lambda [nm]$	$\lambda_{TAB} [nm]$
1	2900	723,1	9,7	723,5
2	2882	716,2	9,6	717,4
3	2846	702,9	9,4	702,4
4	2815	692,1	9,2	692,9
5	2750	670,9	8,9	671,7
6	2740	667,8	8,9	667,8
7	2712	659,4	8,7	659,9
8	2690	653,0	8,6	653,3
9	2671	647,7	8,6	650,7
10	2643	640,0	8,4	640,2
11	2636	638,2	8,4	638,3
12	2618	633,4	8,3	633,4
13	2606	630,3	8,3	630,5
14	2591	626,5	8,2	626,6
15	2571	621,6	8,2	621,7
16	2557	618,2	8,1	618,2
17	2550	616,5	8,1	616,4
18	2541	614,4	8,0	614,3
19	2534	612,7	8,0	612,8
20	2520	609,5	8,0	609,6
21	2511	607,4	7,9	607,4
22	2491	603,0	7,9	603,0
23	2452	594,5	7,7	594,5
24	2422	588,3	7,6	588,2
25	2408	585,5	7,6	585,2
26	2390	581,9	7,5	582,0
27	2382	580,3	7,5	580,4
28	2362	576,4	7,5	576,4
29	2354	574,9	7,4	574,8

Tabulka 4. – Spektrum N<sub>2</sub>

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda [nm]$	$er \lambda [nm]$
1	2774	678,5	9,0
2	2759	673,7	9,0
3	2746	669,7	8,9
4	2734	666,0	8,8
5	2720	661,8	8,8
6	2693	653,9	8,7
7	2665	646,0	8,5
8	2640	639,2	8,4
9	2612	631,9	8,3
10	2585	625,0	8,2
11	2559	618,7	8,1
12	2533	612,5	8,0
13	2508	606,8	7,9
14	2483	601,2	7,8
15	2458	595,8	7,8
16	2432	590,3	7,7
17	2406	585,1	7,6
18	2382	580,3	7,5
19	2356	575,3	7,4
21	2083	530,4	6,8
22	1988	517,4	6,6
23	1895	505,8	6,4
24	1816	496,6	6,2
25	1765	491,0	6,1
26	1665	480,7	6,0
27	1569	471,6	5,9
28	1504	465,8	5,8
29	1396	456,7	5,6
30	1287	448,3	5,5

30	2338	571,9	7,4	571,9
31	2322	569,0	7,4	
32	2304	565,7	7,3	565,7

31	1185	440,9	5,4
32	1081	433,9	5,3
33	962	426,5	5,2

Tabulka 3.

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{TAB}}$ [nm]
33	2250	556,3	7,2	556,3
34	2179	544,8	7,0	
35	2169	543,2	7,0	
36	2148	540,0	6,9	540,1
37	2129	537,1	6,9	
38	2109	534,2	6,8	534,1
39	2100	532,8	6,8	533,1
40	1942	511,5	6,5	514,5
41	1910	507,6	6,4	
42	1876	503,5	6,3	503,8
43	1556	470,4	5,8	470,4

Tabulka 4.

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]
34	846	419,8	5,1
35	734	413,7	5,0
36	574	405,7	4,8

Tabulka 5. Spektrum  $\text{CO}_2$

Měření	$n [^{\circ}]$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]
1	2700	655,9	8,7
2	2513	607,9	8,0
3	2277	561,0	7,2
4	2004	519,5	6,6
5	1691	483,3	6,0
6	1320	450,8	5,5

5. Záznam hodnot  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  a  $H_{\gamma}$  Balmerovy série spektra vodíku je v *tabulce 6*. V *tabulce 6* jsou pak příslušné vypočtené hodnoty Rydbergovy konstanty podle vztahu (3).

Tabulka 6. – Spektrum vodíku

Měření	čára	$n [^{\circ}]$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]	$\lambda_{\text{TAB}}$ [nm]	$R [\text{m}^{-1}]$	er $R [\text{m}^{-1}]$
1	$H_{\alpha}$	2700	655,9	8,7	656,2	$10,98 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$
2	$H_{\beta}$	1714	485,7	6,1	486,1	$10,98 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$
3	$H_{\gamma}$	1072	433,4	5,3	434,0	$10,99 \cdot 10^6$	$0,13 \cdot 10^6$
4						$10,98 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^6$

kde  $R$  je Rydbergova konstanta,  $er R$  její chyba

### Diskuse:

Při přiřazování naměřených spekter jim odpovídajícím (tabulkovým hodnotám) jsem narazil na některé, kterým jsem jen ztěžil přiřazoval jim odpovídající tabulkové hodnoty. Čárám označeným v *tabulce 1* hvězdičkou odpovídají čáry velmi malé intenzity. Jedné z čar dokonce neodpovídá žádná tabulková hodnota. Může to být způsobeno nějakou příměsí ve rtuťové výbojce. Při proložení závislosti křivkou (1) jsem získal její koeficienty s poměrně velkými chybami ( $>1\%$ ), což vede k poměrně velkým chybám při určení vlnových délek v *bodech 2-5*. Jak je však vidět provnáním naměřených hodnot s tabulkovými, je jejich odchylka od skutečných hodnot o řád menší než uváděná chyba. Chyba by se mohla zmenšit, byla-li by křivka prokládána jen několika body (při 3 bodech by v našem případě byla chyba nulová).

Určování rozlišovací schopnosti spektrometru pomocí sodíkového dubletu není asi také nejřesnější. Při proměřování spektra Neonu jsem si udělal poznámku k měření 43, že jde o triplet. Podle tabulek se skutečně jedná o triplet, jehož jednotlivé čáry jsou od sebe vzdáleny 0,4 a 0,2 nm. To by při vlnové délce 470 nm rozlišovací schopnost spektrometru  $R$  více než zdvojnásobilo.

Při určování spektra neonu jsem našel vlnové délky, které však neonu nepatří. Jedná se hlavně o zelenou část spektra. Při prověření i ostatních inertních plynů jsem však nenašel jejich původce.

Spektrum dusíku z mnoha posloupností postupně na intenzitě ubývajících čar. Proměřoval jsem vždy jen první nejjasnější. Jedná se pravděpodobně o rozštěp hladin z důvodu vazby  $N=N$ .

Spektrum oxidu uhličitého bylo dosti podobné spektru dusíku, jen v červené oblasti byla jedna jasná osamocená čára (*měření 1*). Ta pravděpodobně patří uhlíku ( $\approx 658 \text{ nm}$ ).

### **Závěr:**

- 1, Kalibrační křivka hranolového spektrometru je zakreslena v *grafu 1*.
- 2, Vlnová délka sodíkového dubletu je v souladu s tabulkovými hodnotami.
- 3, Diskuse rozlišovací schopnosti viz. Diskuse.
- 4, Spektra výbojek s náplní *He*, *Ne*, *N<sub>2</sub>* a *CO<sub>2</sub>* jsou zaznamenána v *tabulkách 2-5*.
- 5, Měřené spektrum vodíku je zaznamenáno v *tabulce 6*. Vypočtená Rydbergova konstanta je  $R = (10.98 \pm 0.14) \cdot 10^6 [\text{m}^{-1}]$

### **Použitá literatura:**

- [1] Studijní text k úloze 15 (F IV): <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm>
- [2] Spektrum *Hg*: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/elem/e08094.html>
- [3] Spektrum *Na*: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/elem/e02394.htm>
- [4] Spektrum *He*: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/elem/e00294.html>
- [5] Spektrum *Ne*: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/elem/e01094.html>
- [6] Spektrum *H*: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/elem/e00194.html>