

**FYZIKÁLNE PRAKTIKUM**

## Fyzikálne praktikum 3

Vypracoval: Patrik Žilka

Obor: AF    Ročník: II    Semester: IV

Testované:

**Úloha č. 4:    Optické emisné spektrá atómov a molekúl****1. Teória**

V prvej časti tohto praktika sa vyhodnocuje spektrum voľných atómov (železo vyparené oblúkovým výbojom). Spektrum takého atomárneho plynu je tvorené množstvom spektrálnych čiar, kde každá z nich odpovedá prechodu elektrónu medzi dvoma presne definovanými energiovými hladinami. Najjednoduchšou aplikáciou optickej emisnej spektroskopie je v takomto prípade stanovenie excitačnej teploty žiariacich atómov.

V druhej časti sa vyhodnocuje spektrum dvojatómovej častice OH excitovanej v plazmate. Spektrum výboja s obsahom molekulárnych plynov je tvorené pásovými štruktúrami. Tieto spektrálne pásy vzniknú vzájomným prekrytím čiar odpovedajúcich prechodom medzi hladinami, ktorých energia je súčtom elektrónových, vibračných a tiež rotačných príspevkov. Z intenzít spektrálnych čiar je tak možné spočítať jednotlivé teploty: excitačnú, vibračnú a rotačnú. Pretože rotačné kvantá sú veľmi malé, dochádza veľmi efektívne k nastoleniu rovnováhy medzi populáciou rotačných stavov a tepelným pohybom neutrálnych častíc. Preto rotačná teplota meraná v plazmate je približne rovná teplote translačnej a teda skutočnej teplote neutrálneho plynu v plazmate.

Pre intenzitu spektrálnej čiary vlnovej dĺžky  $\lambda_{mn}$ , ktorá vzniká prechodom elektrónu z  $m$ -té hornej hladiny o energii  $E_m$  na  $n$ -tú dolnú hladinu s energiou  $E_n$ , platí:

$$I_{mn} = \frac{hc}{4\pi\lambda_{mn}} A_{mn} \frac{g_m}{\sigma} \exp\left(-\frac{E_m}{kT}\right) \sim \frac{A_{mn}g_m}{\lambda_m} \exp\left(-\frac{E_m}{kT}\right), \quad (1)$$

kde  $E_m$  je excitačná energia hornej hladiny,  $A_{mn}$  je pravdepodobnosť prechodu z  $m$ -tej hladiny na  $n$ -tú hladinu,  $g_m$  je štatistická váha horného energetického stavu,  $\sigma$  je stavová suma,  $h$  je Planckova konštanta,  $c$  je rýchlosť svetla,  $k$  je Boltzmannova konštanta a  $T$  je absolútna teplota žiariacej látky pri termodynamickovej rovnováhe. Po úprave tejto rovnice sa môže zostrojiť graf závislosti:

$$y = \ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_m}\right) = f(E_m), \quad (2)$$

dostane sa tak tzv. pyrometrická priamka a z tej smernice sa dá jednoznačne určiť absolútna teplota žiariacej látky  $T$ .

Intenzita rotačnej čiary dvojatómovej molekuly je daná rovnicou:

$$I = C\tilde{\nu}^4 S_{J',J''} \exp\left[-\frac{B_v N'(N'+1)hc}{kT}\right], \quad (3)$$

kde  $B_v$  je rotačná konštanta pre horný vibračný stav,  $N'$  je rotačné kvantové číslo, pre ktoré v tomto prípade platí  $N' = J' - 1/2$ ,  $J'$  je kvantové číslo pre celkový moment hybnosti,  $C$  je konštanta, ktorá má rovnakú hodnotu pre všetky rotačné čiary v rovnakej vetve,  $\tilde{\nu}^4$  je vlnčet uvažovanej rotačnej čiary,  $S_{J',J''}$  je Hönl-Londonov intenzitný faktor daného prechodu a  $T$  je hľadaná teplota.

Logaritmovaným vzťahom (3) je možné dostať lineárnu závislosť a teda pyrometrickú priamku a z jej smernice určiť rotačnú teplotu  $T$ :

$$\ln \frac{I}{\tilde{\nu}^4 S_{J',J''}} = -\frac{B_v hc}{kT} N'(N'+1) + konst \quad (4)$$

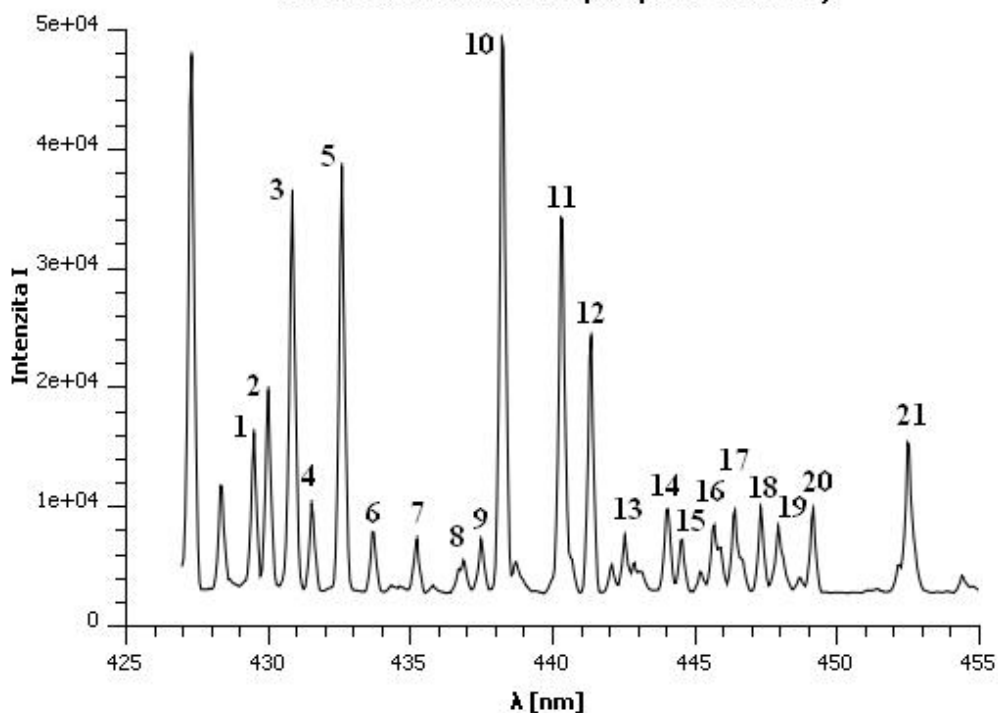
## 2. Meranie

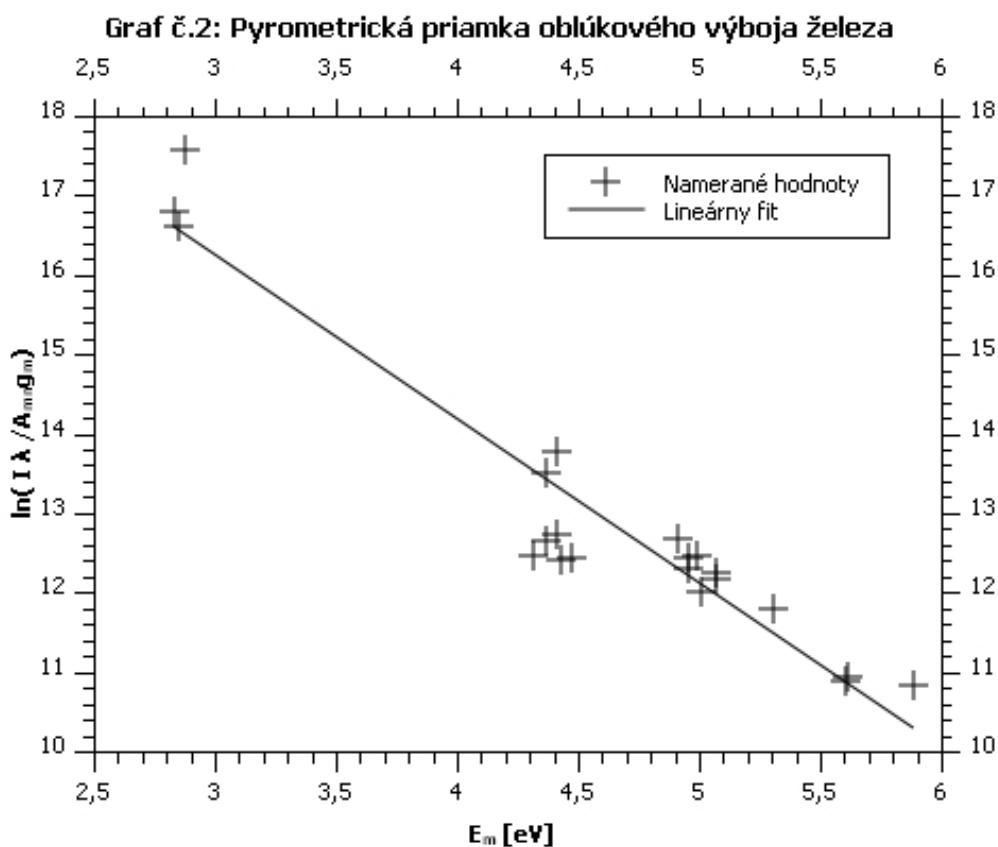
### 2.1. Meranie teploty oblúkového výboja

Tabuľka č.1: Identifikované spektrálne čiary železa z oblúkového výboja a ich charakteristiky:

$n$	$\lambda$ [nm]	$E_m$ [eV]	$A_{mn}g_m [10^{-8} s^{-1}]$	$I$ [j]	$\ln(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_m})$
1	429,413	4,371	0,71	12249	13,52
2	429,924	5,308	5,2	15923	11,79
3	430,791	4,434	5,9	33083	12,39
4	431,509	5,070	1,5	7244	12,25
5	432,576	4,473	6,1	35623	12,44
6	433,705	4,415	0,23	5026	13,76
7	435,274	5,070	1,0	4412	12,17
8	436,977	5,882	2,2	2557	10,84
9	437,593	2,832	0,0094	4204	16,79
10	438,357	4,312	7,7	45591	12,47
11	440,475	4,371	4,4	31525	12,66
12	441,512	4,415	2,8	21525	12,73
13	442,731	2,851	0,0099	3654	16,61
14	444,234	4,988	1,1	6386	12,46
15	444,772	5,009	1,1	4010	12,00
16	445,912	4,955	1,0	4924	12,30
17	446,655	5,606	5,3	6387	10,89
18	447,602	5,614	5,4	6779	10,94
19	448,217	2,875	0,0053	5123	17,58
20	449,457	4,955	1,22	6747	12,42
21	452,862	4,913	1,8	12564	12,66

Graf č.1: Spektrum železa z elektrického oblúka (označenie čiar je totožné s tabuľkou č.1 pod parametrom n)





Výsledná smernica z lineárneho fitu ( $y(x) = ax + b$ ) z grafu č.2:  $a_1 = (-2.07 \pm 0.14) \text{ eV}^{-1}$

Výsledná teplota oblúka:  $T_1 = -\frac{1}{ka_1} = (5610 \pm 380) \text{ K}$   $\delta_r = 6.8\%$

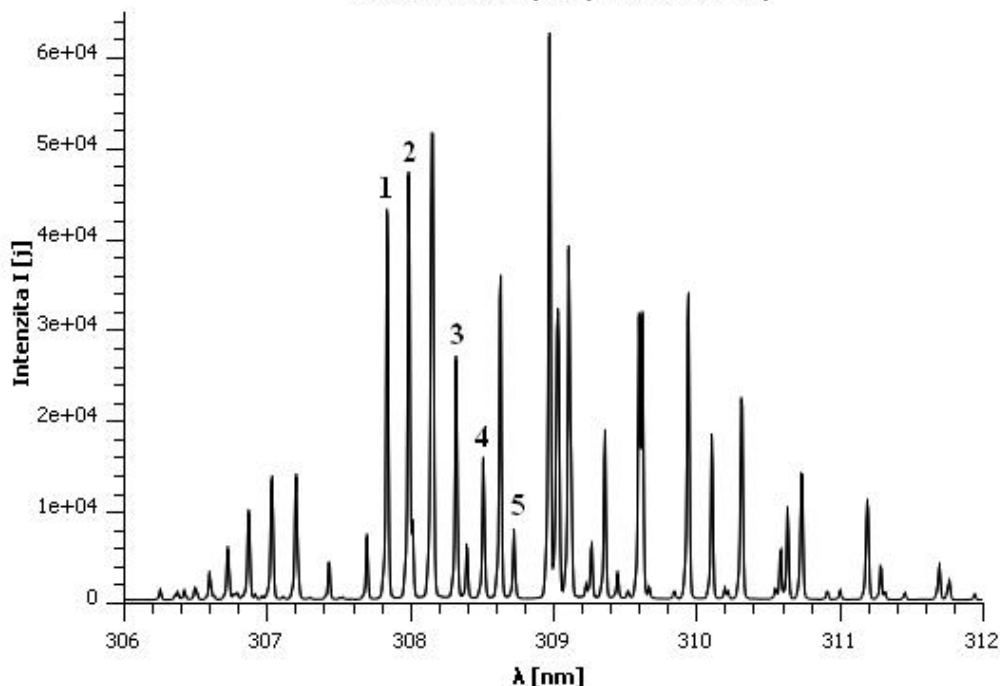
## 2.2. Meranie rotačnej teploty radikálov OH

Tabuľka č.2: Identifikované spektrálne čiary radikálu OH a ich charakteristiky:

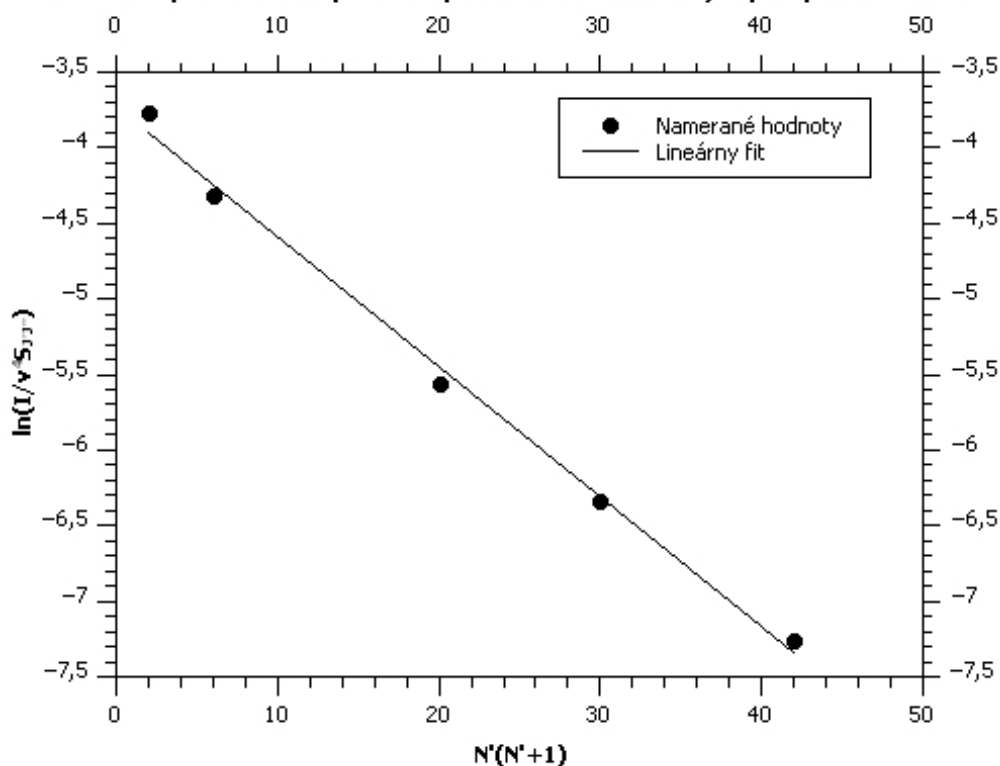
$n$	$\lambda$ [nm]	$N'$	$J'$	$S_{J',J''}$	$I$	$N'(N' + 1)$	$\ln \frac{I}{\nu^4 S_{J',J''}}$
1	307,844	1	3/2	0,563	42447	2	-3,763
2	307,995	2	5/2	1,065	46478	6	-4,309
3	308,328	4	9/2	2,100	26083	20	-5,565
4	308,520	5	11/2	2,640	15062	30	-6,342
5	308,734	6	13/2	3,160	7161	42	-7,265

Hodnota rotačnej konštanty pre horný vibračný stav je  $B_{v'}$  = 1696.6  $\text{m}^{-1}$

Graf č.3: Spektrum radikálu OH (označenie čiar je totožné s tabuľkou č.2 pod parametrom n)



Graf č.4: Pyrometrická priamka pre určenie rotačnej teploty radikálu OH



Výsledná smernica z lineárneho fitu ( $y(x) = ax + b$ ) z grafu č.4:  $a_2 = (-0.0862 \pm 0.0036)$

Výsledná rotačná teplota OH:  $T_2 = -\frac{B_v/hc}{ka_2} = (283 \pm 12) \text{ K}$        $\delta_r = 4.2\%$

### 3. Záver

V praktiku sa namerala excitačná teplota atómov železa v oblúkovom výboji na  $5610 \pm 380 \text{ K}$ . Rotačná teplota radikálov OH bola určená na  $283 \pm 12 \text{ K}$ , pričom program Spectrum analyzer 1.7 ju určil na  $318 \pm 12 \text{ K}$ . Rozdiel v teplotách je spôsobený použitým rôznymi spektroskopickými konštantami.