

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 18. března 2018

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

Úloha . 4: Optická emisní spektra atomů a molekul

1. Úkoly

- Identifikujte spektrální čáry emitovaného parami materiálu elektrod v oboukrovém výboji a určete jejich intenzitu. Ze sklonu pyrometrické přímky určete teplotu oblouku.
- Určete z naměřeného molekulového spektra radikálu OH rotační teplotu.

2. Teorie

Při přechodech elektronů z vyšších hladin na nižší dochází k vyzařování kvant energie. Toto emitované záření může mít energii odpovídající vlnovým délkám z viditelné oblasti a my pak pozorujeme emisní spektrum daného atomu. V tomto spektru můžeme pozorovat jednotlivé spektrální čáry, které odpovídají diskrétnímu rozložení energií. Pro intenzitu spektrální čáry vlnové délky λ_{mn} , která vznikla přechodem elektronu z m -té horní hladiny (s energií E_m) na n -tou hladinu (s energií E_n), můžeme psát rovnici

$$I_{mn} = \frac{hc}{4\pi\lambda_{mn}} \cdot \frac{A_{mn}g_m}{\sigma} e^{-\frac{E_m}{kT}}, \quad (1)$$

kde h je Planckova konstanta, c je rychlost světla, E_m je excitační energie, A_{mn} pravděpodobnost přechodu elektronu z m -té na n -tou hladinu, σ je stavová suma, g_m je statistická rovnováha energetického stavu, k je Boltzmannova konstanta a T je absolutní teplota zářící látky při termodynamické rovnováze.

Měřením můžeme zjistit pouze relativní intenzitu spektrální čáry, pro níž platí

$$I_{mn} \sim \frac{A_{mn}g_m}{\lambda_{mn}} e^{-\frac{E_m}{kT}}, \quad (2)$$

který můžeme zlogaritmováním převést do vztahu

$$\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_m}\right) = f(E_m) \quad (3)$$

Po vynesení této závislosti do grafu, můžeme provést lineární fit. Tuto přímku zveme pyrometrickou přímkou, z jejíž směrnice $A = -1/(kT)$ můžeme určit absolutní teplotu T .

Abychom určili rotační teplotu radikálu OH, užijeme směrnice pyrometrické přímky pro $N'(N' + 1)$:

$$\ln \frac{I_{n''v''j''}^{n'v'j'}}{\tilde{\nu}^4 S_{j''j'}} = -\frac{B_{v'}}{kT} N'(N' + 1) + konst., \quad (4)$$

kde $I_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ je intenzita spektrální čáry, $B_{v'}$ rotační konstanta pro horní vibrační stav, N' je rotační kvantové číslo horního stavu, $\tilde{\nu}$ vlnčet uvažované rotační čáry, $S_{j''j'}$ je Hönl-Londonův faktor daného přechodu, k

Boltzmannova konstanta, h Planckova konstanta, c je rychlost světla a T je kýžená teplota. Pro vlnovou délku λ uvažované rotační čáry zjistíme vlnčet $\tilde{\nu}$ takto:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Pro teplotu pak platí:

$$T = -\frac{B_{\nu'} hc}{kA} \quad (6)$$

3. Postup měření

Měření již bylo provedeno. K vyhodnocování jsem použil data s číslem 8.

4. Zpracování měření

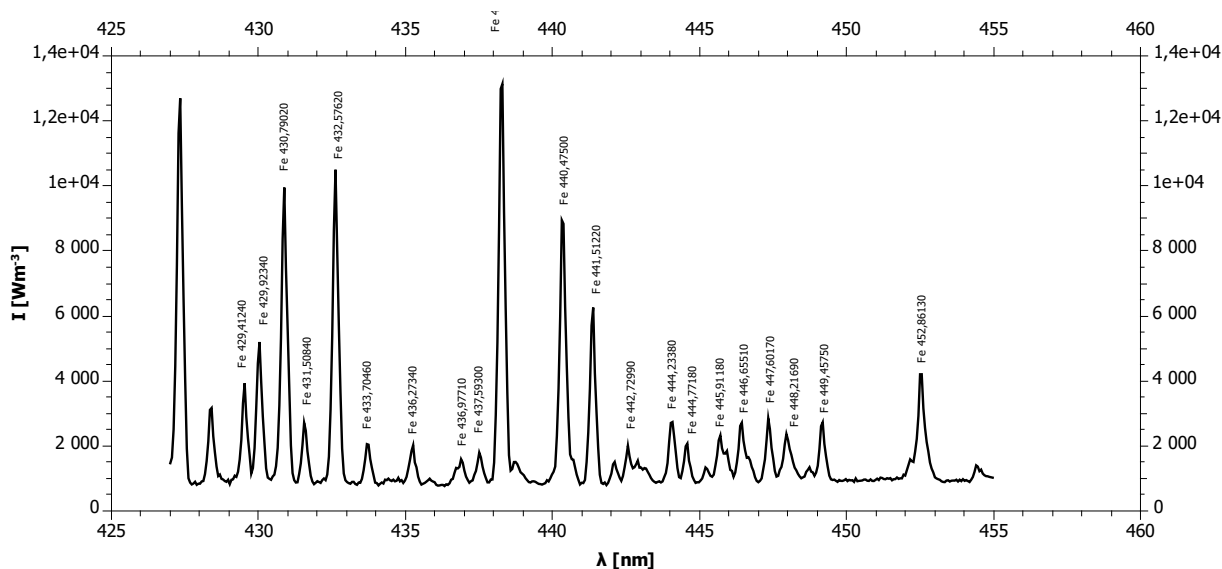
4.1. Měření pro Fe

Nejprve jsem pomocí programu *Spectrum Analyzer 1.7* a pomocí tabulky z návodu identifikoval spektrální čáry železa, provedl korekci datového vzorku, aby nejmenší hodnota byla rovna nule a vypsál důležité charakteristiky do tabulky 1. Následně jsem zkonstruoval pyrometrickou příku, jejíž směrnice je

$$A = (-2,2 \pm 0,2) \text{ J}^{-1} \quad (7)$$

z níž jsem vypočítal teplotu T jako:

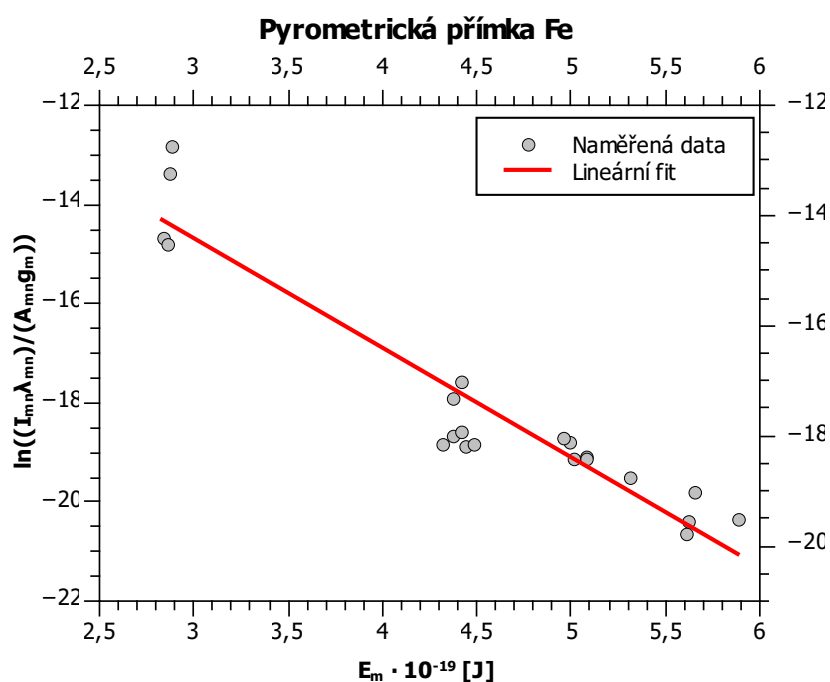
$$T = (3278 \pm 253) \text{ K} \quad (8)$$



Obrázek 1: Spektrální čáry železa.

Tabulka 1: Tabulka naměřených a spočtených hodnot veličin pro železo.

λ_{mn} [nm]	$I_m n$ [Wm ⁻³]	$A_{mn} g_m \cdot 10^8$	$E_m \cdot 10^{-19}$ [eV]	$\ln \left(\frac{I_{mn} \lambda_{mn}}{A_{mn} g_m} \right)$
429,412	2879,000	0,7100	4,371	-17,86608494
429,923	4127,583	5,2000	5,308	-19,49579551
430,790	9035,333	5,9000	4,434	-18,83662436
431,508	1860,727	1,5000	5,070	-19,04564674
432,576	9659,136	6,1000	4,473	-18,79906206
433,705	1259,769	0,2300	4,415	-17,55546784
435,273	1187,818	1,0000	5,070	-19,08034352
436,977	758,000	2,2000	5,882	-20,31408449
437,593	921,500	0,0093	2,832	-14,65115839
438,354	12022,000	7,7000	4,312	-18,79989033
440,475	8130,913	4,4000	4,371	-18,62651365
441,512	5452,000	2,8000	4,415	-18,57186727
442,730	857,857	0,0099	2,851	-14,77357332
444,234	1773,000	1,1000	4,988	-18,75472218
444,772	1127,333	1,9000	5,647	-19,75287361
445,912	1270,615	1,1000	5,009	-19,08412369
446,655	1716,333	1,0000	4,955	-18,68645908
447,602	1872,636	0,0052	2,865	-13,33808834
448,217	1331,800	5,3000	5,606	-20,60433417
449,458	1711,786	5,4000	5,614	-20,36925657
452,861	3292,500	0,0053	2,875	-12,78115451



Obrázek 2: Graf závislosti přirozeného logaritmu sledovaných veličin na excitační energii proložený přímkou - Pyrometrická přímka.

4.2. Měření pro OH radikál

Podobný postup jsem provedl i pro spektrum OH radikálu. K identifikaci už jsem ovšem neměl tabulku jako u železa, ale použil jsem program *Lifbase 2.1.1*.

Z proložení grafy lienární závislosti jsem získal hodnotu směrnice

$$A = (-86,5 \pm 3,7) \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

a z ní dopočetl teplotu

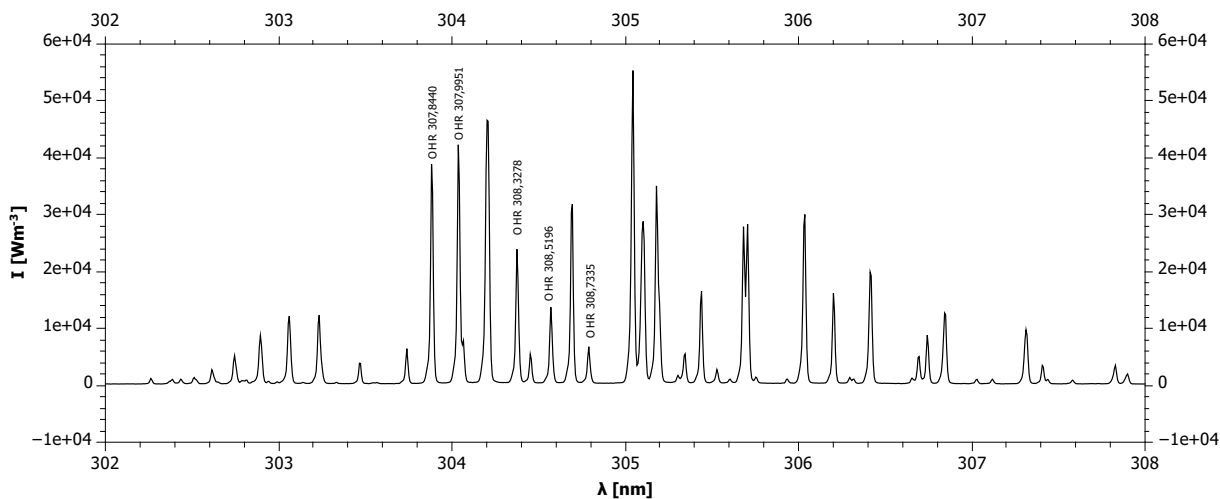
$$T = (328 \pm 14) \text{ K} \quad (10)$$

Teplota spočtená samotným programem je

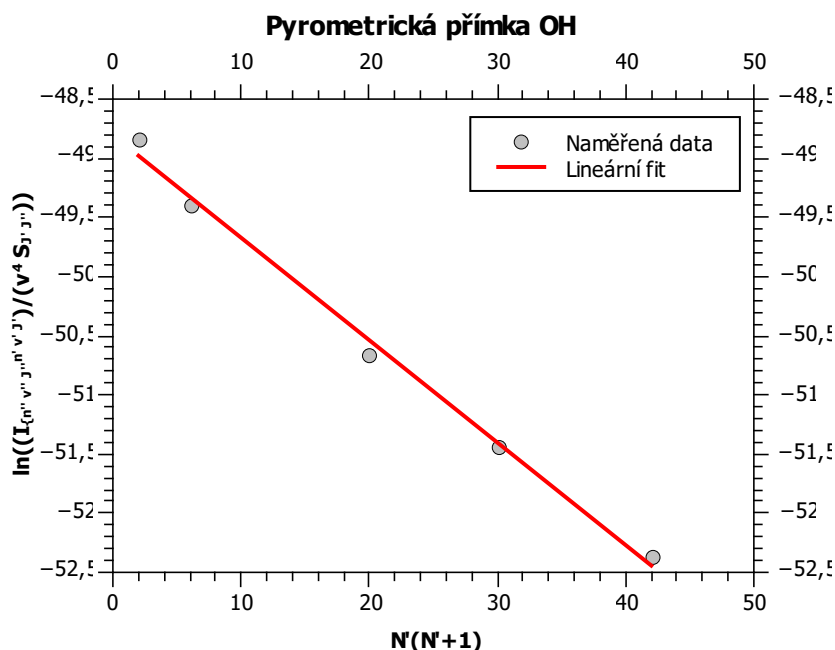
$$T = (315 \pm 12) \text{ K} \quad (11)$$

Tabulka 2: Tabulka naměřených hodnot pro OH radikál.

N'	λ [nm]	$I_{n''v''J''}^{n'v'J'}$	$S_{J'J''}$	$\tilde{\nu}^A$	$\ln \frac{I_{n''v''J''}^{n'v'J'}}{\tilde{\nu}^A S_{J'J''}}$	$N'(N' + 1)$
1,00	307,84	38475,41	0,563	3248398,54	-48,8424405	2
2,00	308,00	41843,17	1,065	3246804,9	-49,39401887	6
4,00	308,33	23349,72	2,100	3243301,447	-50,65200655	20
5,00	308,52	13292,87	2,640	3241285,157	-51,44171794	30
6,00	308,73	6350,50	3,160	3239036,348	-52,35742888	42



Obrázek 3: Spektrální čáry OH radikálu.



Obrázek 4: Graf závislosti $\ln \frac{I_{n''v''j''}}{v^4 S_{j''}}$ na součinu rotačních kvantových čísel $N'(N' + 1)$ proložené přímkou - Pyrometrická přímka.

5. Závěr

V této úloze už jsem využil naměřených dat s číslem 8. Zkoumal jsem optická emisní spektra atomu železa a OH radikálu. Pomocí programu *Specter Analyzer 1.7* jsem identifikoval jednotlivé spektrální čáry, upravil posun daného spektra a pomocí tabulkových hodnot v návodu jsem vypočetl jednotlivé veličiny a sestavil grafy 2 a 4, které jsem proložil přímkou. Ze směrnic těchto přímek jsem dopočítal jednotlivé teploty

$$T_{\text{Fe}} = (3278 \pm 253) \text{ K}$$

$$T_{\text{OH}} = (328 \pm 14) \text{ K}$$

Teplota pro OH spočtená přímo programem je

$$T_{\text{OH-P}} = (315 \pm 12) \text{ K}$$

Relativní nejistoty daných měření jsou

$$R(T_{\text{Fe}}) = 8 \%$$

$$R(T_{\text{OH}}) = 4 \%$$

$$R(T_{\text{OH-P}}) = 4 \%$$

Nejistoty byly nejspíše nejvíce způsobeny necitlivě posouváním grafů v programu *Specter Analyzer 1.7*. Následným zkracováním a roztahováním těchto spekter. Hodnota teploty spočtená programem si v rámci chyby odpovídají.

Velikost rotační teploty OH-radikálu jsem našel¹ jako $104 \pm 4 \text{ K}$, což by se s mým měřením neslučovalo. Alespon je tedy možné tvrdit, že jsem naměřil řádově stejnou teplotu. Pro teplotu oblouku se mi nepodařilo najít přesné hodnoty. Našel jsem pouze tabulku², která popisuje různé teploty pro různé případy a teploty se pohybují od $3\,000 \text{ °C}$ do $24\,000 \text{ °C}$.

¹Zde: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/9345/DPTX_2005_1_11320_NSZZ016_218042_0_44522.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²Zde: <https://hypertextbook.com/facts/2003/EstherDorzin.shtml>