

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktiku 3

**Zpracoval:** Radek Žemlička

**Naměřeno:** 22. května 2009

**Obor:** F    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

**Testováno:**

---

### Úloha č. 4:      **Určení teploty elektrického oblouku spektrálními metodami**

## 1 Teorie

Látky obecně vyzařují spojitě elektromagnetické záření které je nazýváno tepelným zářením. Intenzita tohoto záření pro každou vlnovou délku je funkcí teploty. Tato závislost je popsána Planckovým vyzařovacím zákonem. Samotné vyzařování ještě ovlivňuje míra toho, jak těleso odráží záření z okolí. Ideální těleso s nulovou odrazivostí se nazývá absolutně černé těleso. V praxi pak často pracujeme s takzvanými šedými tělesy, které se svými vlastnostmi absolutně černému tělesu blíží. Kromě tepelného záření existuje také celá řada mechanismů, které vyvolávají nespojitě záření. Například v plazmě vytvořené v elektrickém oblouku dochází k emisi světelných kvant vlivem stimulovaného přechodu elektronů z vyšších energetických hladin na nižší. Spektrálním rozkladem tohoto záření získáme takzvané emisní čárové spektrum, které je charakteristické pro každou látku, která se výboje účastní. Pro relativní intenzitu spektrální čáry s vlnovou délkou  $\lambda_{mn}$  vyvolanou seskokem z hladiny s energií  $m$  na hladinu s energií  $n$  platí:

$$I_{mn} \sim \frac{A_{mn}g_m}{\lambda_{mn}} e^{-\frac{E_m}{kT}} \quad (1)$$

nebo-li po úpravě:

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

kde  $E_m$  je excitační energie horní hladiny,  $I_m$  intenzita,  $A_{mn}g_m$  tabelovaná konstanta (viz návod),  $k$  Boltzmanova konstanta a  $T$  teplota oblouku. Závislost vynesená v grafu se nazývá pyrometrická přímka. Její směrnice má hodnotu:

$$A = -\frac{1}{kT} \quad (3)$$

## 2 Měření

### 2.1 Úkol 1

Úkolem bylo určit z pyrometrické přímky teplotu elektrického oblouku. K dispozici byla tabulková data z návodu a datový soubor Ze12.dat. Pomocí tohoto souboru byla tabulková data doplněna o příslušné hodnoty intenzit  $I_{mn}$ , viz kapitolu 2.1.1. Tato data s polu s vypočítanou hodnotou  $\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_{mn}}\right)$  jsou uvedena v tabulce 1. Rozsah vlnové délky byl v souboru menší, než v tabulkových hodnotách, proto bylo pracováno pouze s hodnotami, pro které bylo možné stanovit intenzitu  $I_{mn}$ . Graf závislosti  $\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_{mn}}\right)$  na  $E_m$  je zobrazen na obrázku 1.

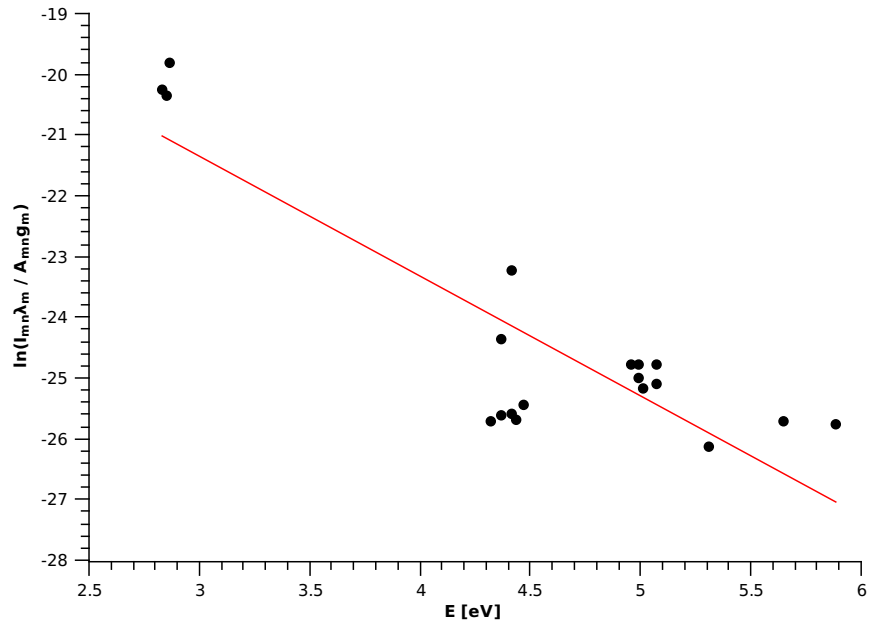
Směrnice grafu byla určena numericky standartní cestou. Její hodnota byla stanovena na

$A = (-2, 0 \pm 0, 3)eV = (1, 2 \pm 0, 2) \cdot 10^{19}J$   
ze vztahu 3 plyne:

$$T = (5800 \pm 900)K$$

| $\lambda_{mn}[nm]$ | $E_m[eV]$ | $A_{mn}g_{mn} \cdot 10^8[s^1]$ | $I$      | $ln \left( \frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_{mn}} \right)$ |
|--------------------|-----------|--------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|
| 429,413            | 4,371     | 0,71                           | 4334,41  | -24,36                                                      |
| 429,924            | 5,308     | 5,2                            | 5427,93  | -26,13                                                      |
| 430,791            | 4,434     | 5,9                            | 9480,93  | -25,70                                                      |
| 431,509            | 5,070     | 1,5                            | 4375,12  | -25,10                                                      |
| 432,576            | 4,473     | 6,1                            | 12439,80 | -25,45                                                      |
| 433,705            | 4,415     | 0,23                           | 4293,44  | -23,24                                                      |
| 435,274            | 5,070     | 1                              | 4010,54  | -24,77                                                      |
| 436,977            | 5,882     | 2,2                            | 3286,51  | -25,75                                                      |
| 437,593            | 2,832     | 0,0094                         | 3457,19  | -20,25                                                      |
| 438,357            | 4,321     | 7,7                            | 12044,20 | -25,71                                                      |
| 440,475            | 4,371     | 4,4                            | 7470,87  | -25,62                                                      |
| 441,512            | 4,415     | 2,8                            | 4883,74  | -25,59                                                      |
| 442,731            | 2,851     | 0,0099                         | 3236,69  | -20,35                                                      |
| 444,234            | 4,988     | 1,1                            | 3406,71  | -25,01                                                      |
| 444,320            | 5,647     | 1,9                            | 2921,56  | -25,71                                                      |
| 444,772            | 5,009     | 1,1                            | 2913,71  | -25,16                                                      |
| 445,912            | 4,988     | 1                              | 3848,73  | -24,79                                                      |
| 446,165            | 2,865     | 0,00520                        | 2887,84  | -19,82                                                      |
| 445,912            | 4,955     | 1                              | 3848,73  | -24,79                                                      |

Tabulka 1: Konstanty a výsledky pro některé spektrální čáry



Obrázek 1: Graf z jehož směrnice lze vypočítat teplotu elektrického oblouku

### 2.1.1 Určení intenzity $I_{mn}$ z datového souboru Ze12.dat

Datový soubor Ze12.dat byl rozdělen na dva soubory: Ze12.lambda.dat a Ze12.I.dat. Pro určení Intenzit příslušících vlnovým délkám uvedeným v tabulce v návodu, byl použit následující skript v c++:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <vector>
#include <sstream>

using std::vector;
using std::string;

double to_double(std::string const& str) {
    std::istringstream ss(str);
    double d;
    ss >> d;

    return d;
}

int main(){
    std::ifstream soubor1("Ze12_lambda.dat");
    std::ifstream soubor2("Ze2_I.dat");

    string line;
    vector<string> lambda_s;
    vector<string> energy_s;

    while (getline(soubor1, line))
        lambda_s.push_back(line);

    while (getline(soubor2, line))
        energy_s.push_back(line);

    vector<double> lambda;
    vector<double> energy;

    for (int j = 0; j != lambda_s.size(); j++){
        double number = to_double(lambda_s[j]);
        lambda.push_back(number);
    }
    for (int j = 0; j != energy_s.size(); j++){
        double number = to_double(energy_s[j]);
        energy.push_back(number);
    }

    double d;
    std::cin >> d;
    int i = 0;

    while (d > lambda[i])
        i++;
}
```

```

double smernice = ((energy[i] - energy[i-1])/(lambda[i] - lambda[i-1]));

double en = energy[i-1] + smernice*(d - lambda[i-1]);

std::cout << en << std::endl;

return 0;
}

```

po jehož spuštění stačí napsat na standardní vstup vlnovou délku, načež se na standardní výstup vypíše hledaná intenzita

## 2.2 Úkol 2

Druhým úkolem bylo určit teplotu elektrického oblouku pomocí měření intenzit spektrálních čar a znalosti vztahu, tzv. pyrometrické přímky (vztah 4):

$$\ln \frac{I}{v^4 S} = -\frac{B_v h c}{k T} N(N+1) + konst \quad (4)$$

kde  $I$  je měřená intenzita spektrální čáry,  $v$  vlnčet spektrální čáry,  $S$  Honl-Londonův intenzivní faktor daného přechodu,  $B_v$  rotační konstanta,  $h$  Planckova konstanta,  $c$  rychlost světla,  $k$  Boltzmanova konstanta,  $T$  hledaná teplota a  $N$  rotační kvantové číslo. Byl použit soubor OH-10.spc s již naměřenými výsledky. Tyto výsledky byly zpracovány dle návodu. Hodonty s kterými bylo dále pracováno shrnuje tabulka 2. Ze vztahu 4 je zřejmé, že pro výpočet teploty oblouku stačí najít směrnici lineární závislosti  $\ln \frac{I}{S \cdot v^4}$  na  $N(N+1)$ . Tato závislost byla vynesena do grafu na obrázku 2 a směrnice z něj numericky vypočítána:

$$A = -0,037$$

Ze vztahu 5:

$$T = -\frac{B_v h c}{k A} \quad (5)$$

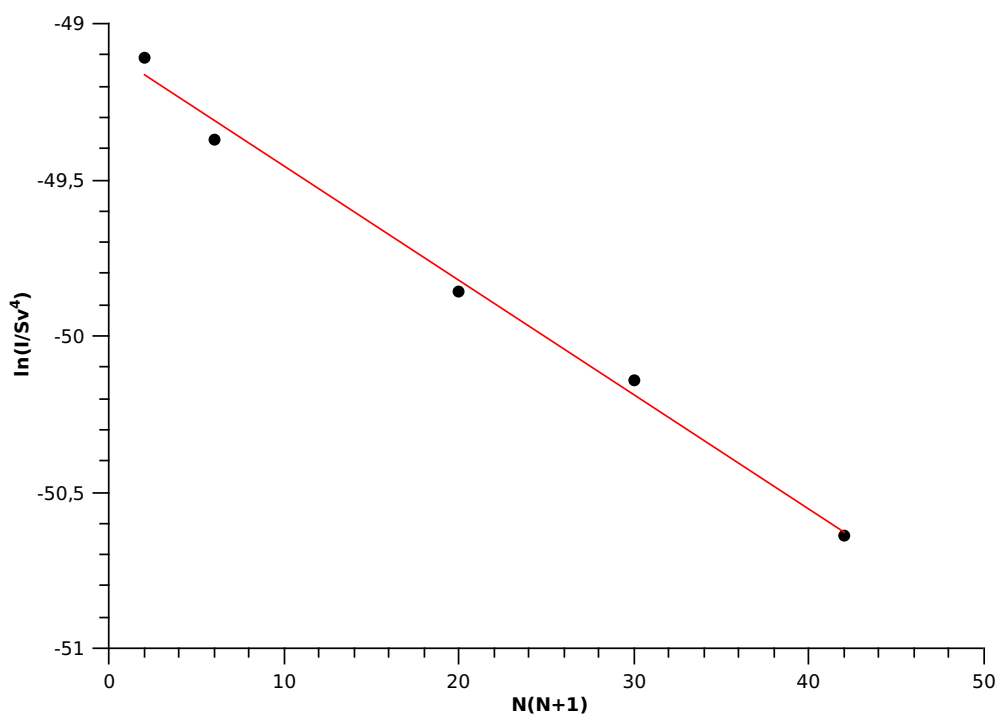
plyne, že:

$$T = 498 K$$

Program Span1.6 stanovil teplotu na  $T = 514 K$ .

| $N$ | $J$ | $S$   | $\lambda[nm]$ | $v \cdot 10^6[m^{-1}]$ | $I$   | $\ln \frac{I}{S \cdot v^4}$ |
|-----|-----|-------|---------------|------------------------|-------|-----------------------------|
| 1   | 1,5 | 0,563 | 307,861       | 3,248                  | 29543 | -49,11                      |
| 2   | 2,5 | 1,065 | 307,995       | 3,247                  | 42874 | -49,37                      |
| 4   | 4,5 | 2,100 | 308,327       | 3,243                  | 51734 | -49,86                      |
| 5   | 5,5 | 2,640 | 308,520       | 3,241                  | 48612 | -50,14                      |
| 6   | 6,5 | 3,160 | 308,735       | 3,239                  | 35492 | -50,64                      |

Tabulka 2: Hodnoty sloužící k výpočtu teploty elektrického oblouku.



Obrázek 2: Graf závislosti  $\ln \frac{I}{Sv^4}$  na  $N(N+1)$

### 3 Závěr

Byla měřena teplota elektrického oblouku pomocí pyrometrické přímky. V prvním úkolu je velká chyba měření pravděpodobně způsobena tím, že plazma při vyzařování není v přesné dynamické rovnováze, a proto také nevyzařuje přesně podle vzorce. Ve druhém případě se výsledek našeho výpočtu téměř shoduje s výsledkem vypočítaným programem Span1.6. Avšak, ačkoli jsem postupoval přesně podle návodu, je možné, že jsem některou ze spektrálních čar identifikoval špatně. V takovém případě, pak žádný program na kontrolu nepomůže, protože by pracoval se stejnou chybou, jako já.