

Laboratorní úloha č. 4  
Studium fotoefektu a stanovení Planckovy  
konstanty

Max Šauer

8. prosince 2003

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úkol měření</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Seznam použitých přístrojů a pomůcek</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Výsledky měření</b>	<b>3</b>
3.1	Tabulky naměřených hodnot . . . . .	3
3.1.1	Spekol . . . . .	3
3.1.2	Rtuťová výbojka se sadou monochromatických filtrů . . . . .	3
3.2	Výpočty . . . . .	4
3.3	Vypočtené hodnoty . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Grafy</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>6</b>

## 1 Úkol měření

1. Na základě měření vnějšího fotoelektrického jevu stanovte velikost Planckovy konstanty  $h$
2. Určete mezní kmitočet a výstupní práci materiálu fotonky. Porovnejte tuto hodnotu s výstupními pracemi jiných materiálů a odhadněte z jakého materiálu je fotokatoda vyrobena
3. Určete chybu měření pro všechny veličiny vbodech 1 a 2
4. Vypracujte graf závislosti maximální kinetické energie elektronu na frekvenci záření  $W(k) = f(\nu)$
5. Změřte závislost fotoelektrického proudu na velikosti brzdícího potenciálu pro tři vlnové délky
6. Vypracujte graf závislosti fotoelektrického proudu na velikosti brzdícího potenciálu
7. Porovnejte hodnotu změřené Planckovy konstanty s tabulkovou hodnotou a rozdíl zhodnoťte
8. Měření a zpracování dat vbodech 1 až 7 proveďte zvlášť pro obě měřicí aparatury

## 2 Seznam použitých přístrojů a pomůcek

Přístroj Spekol, zdroj stejnosměrného napětí, Rtuťová výbojka, milivoltmetr, voltmetr, optická lavice se sadou monochromatických filtrů, přípravek s fotonkou a zesilovačem.

### 3 Výsledky měření

#### 3.1 Tabulky naměřených hodnot

##### 3.1.1 Spekol

Závislost kompenzačního napětí na vlnové délce:

$\lambda$ [nm]	380	400	425	450	475
$U_p$ [V]	0.85	0.74	0.62	0.52	0.45

Závislost proudu fotonkou na kompenzačním napětí:

$I$ [mA]	0	10	20	30	40	50
$U_{\lambda 375}$ [V]	0.87	0.65	0.52	0.41	0.33	0.26
$U_{\lambda 400}$ [V]	0.75	0.55	0.43	0.34	0.27	0.20
$U_{\lambda 425}$ [V]	0.63	0.45	0.35	0.28	0.22	0.18
$I$ [mA]	60	70	80	90	100	
$U_{\lambda 375}$ [V]	0.20	0.14	0.09	0.04	0	
$U_{\lambda 400}$ [V]	0.17	0.12	0.07	0.03	0	
$U_{\lambda 425}$ [V]	0.13	0.10	0.06	0.03	0	

##### 3.1.2 Rtuťová výbojka se sadou monochromatických filtrů

Závislost kompenzačního napětí na vlnové délce:

$\lambda$ [nm]	408	436	546	578
$U_p$ [V]	1.002	0.823	0.417	0.313

### 3.2 Výpočty

Kinetická energie elektronů  $W_k$  závisí lineárně na frekvenci dopadajícího záření  $\nu$ . Naměřenými body je tedy možné proložit přímkou o rovnici

$$W_k = eU_p = h^* - A^*. \quad (1)$$

Viz (18.5) z [1]. Použijeme *metodu nejmenších čtverců* popsanou v [1]. Tato metoda proloží naměřenými body přímkou tak, že součet čtverců vzdáleností jednotlivých bodů od přímky je minimální. Parametry přímky (1) jsou dány vztahy

$$\nu_i = \frac{c}{\lambda_i}, \quad (2)$$

$$h^* = \frac{n \sum_{i=1}^n \nu_i eU_{pi} - (\sum_{i=1}^n \nu_i) (\sum_{i=1}^n eU_{pi})}{n \sum_{i=1}^n \nu_i^2 - (\sum_{i=1}^n \nu_i)^2}, \quad (3)$$

$$A^* = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n eU_{pi} + h^* \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i, \quad (4)$$

kde  $h^*$  a  $A^*$  představují aproximaci (odhad regresních parametrů)  $h$  a  $A$  získanou pomocí metody nejmenších čtverců. Pravděpodobné chyby měření (směrodatné odchylky) jsou pak dány vzorci

$$\vartheta_h = \frac{2}{3} \frac{s}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\nu_i - \bar{\nu})^2}} \quad (5)$$

$$\vartheta_A = \frac{2}{3} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{\nu}^2}{\sum_{i=1}^n (\nu_i - \bar{\nu})^2}} \quad (6)$$

kde

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left( \sum_{i=1}^n (eU_{pi})^2 - A^* \sum_{i=1}^n (eU_{pi}) - h^* \sum_{i=1}^n (\nu_i eU_{pi}) \right)} \quad (7)$$

### 3.3 Vypočtené hodnoty

Spekol:

Planckova konstanta:

$$h = (4.102 \pm 0.089) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Výstupní práce:

$$A = (1.888 \pm 0.063) \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Frekvence dopadajícího záření:

$$\nu_p = (4.60 \pm 0.18) \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Vlnová délka:

$$\lambda = \frac{c}{\nu_p} = (651.7 \pm 0.2) \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Rtuťová výbojka se sadou monochromatických filtrů:

Planckova konstanta:

$$h = (4.989 \pm 0.099) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Výstupní práce:

$$A = (2.084 \pm 0.063) \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Frekvence dopadajícího záření:

$$\nu_p = (4.18 \pm 0.15) \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Vlnová délka:

$$\lambda = \frac{c}{\nu_p} = (717.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Výpočty provedeny pomocí webové aplikace serveru <http://herodes.feld.cvut.cz>

## 4 Grafy

1. Závislost kinetické energie elektronů na kmitočtu
  - Spekol
  - Rtuťová výbojka s monochrom. filtry
2. Závislost fotoelektrického proudu na velikosti brzdícího potenciálu

## 5 Závěr

Planckova konstanta  $h = (4.102 \pm 0.089) \cdot 10^{-34}$  Js naměřená na přístroji *Spekol* se od tabulkové hodnoty  $h = (6,626176 \pm 0,000036) \cdot 10^{-34}$  Js liší o 38.1%. Planckova konstanta určená z měření na rtuťové výbojce s monochromatickými filtry  $h = (4.989 \pm 0.099) \cdot 10^{-34}$  Js se od tabulkové liší o 24.7%. Tyto značné odchylky jsou zřejmě způsobeny systematickými chybami měření, například ne zcela monochromatickými filtry či (u přístroje *Spekol*) fotonkou, ve které není použito vakuum.

Z porovnání s tabulkou (18.1) z [1] vyplývá, že fotokatoda *Spekolu* by mohla být z cesia ( $A = (1.888 \pm 0.063) \cdot 10^{-19}$  J,  $\lambda = (651.7 \pm 0.2) \cdot 10^{-9}$  m).

## Literatura

- [1] Bednařík, Koníček, Jiříček: *FYZIKA I A II Fyzikální praktikum*, ČVUT 1999