

# University of South Bohemia

Faculty of Science



Praktika IV

Difrakce elektronů

Datum: 22.12.2023  
Jmeno: Martin Skok  
Obor: Fyzika  
Hodnoceni:

## 1 Úkoly

- Změřte specifický náboj elektronu
- Ze známé hodnoty elementárního náboje vypočtete hmotnost elektronu
- Pozorujte difrakci elektronového svazku na stínítku baňky
- Určete vzdálenosti mezi rovinami grafitové difrakční mřížky

## 2 Seznam pomůcek

Thompsonova Trubice, Helmholtzovy cívky, vysokonapěťový zdroj, proudový zdroj, posuvné měřítko, luminiscenční deska, propojovací vodiče, elektronová difrakční trubice

## 3 Teorie

### 3.1 Specifický náboj elektronu

Helmholtzovy cívky tvoří homogení magnetické pole. Uvnitř těchto cívek je katodová trubice která generuje paprsek elektronů. Směr pohybu elektronu je kolmý k magnetickému poli. Aby byly trajektorie elektronů vidět, experiment se provede ve skleněné nádobě naplněné neonovým plynem. Intenzita magnetického pole je dána jako

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 N}{R} I \quad (1)$$

Kde  $N$  je počet závitů, což bude v našem případě 320 a  $R$  je poloměr cívky, což je v našem případě 62mm.

Poloměr zakřivení dráhy elektronů bude pro tento případ. Vše se odvodí z geometrie problému.

$$r = \frac{(80mm)^2 + e^2}{\sqrt{2}(80mm - e)} \quad (2)$$

A konečně specifický náboj pak získáme pomocí

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{(Br)^2} \quad (3)$$

Kde  $V$  je napětí.

### 3.2 Difrakce elektronu

Podle L.D.Broglieho mají elektrony a další částice vlnovou délku, která je nepřímo úměrná jejich hybnosti.

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (4)$$

Díky tomu mají rychlé elektrony velmi krátkou vlnovou délku, která je srovnatelná s rozestupy mezi atomovými vrstvami v krystalech. Protože elektrony mají vlnovou povahu, mohou podléhat difrakci. Kinetická energie elektronu je

$$T = eV = \frac{p^2}{2m_e} \quad (5)$$

Vyjádříme hybnost a dosadíme do rovnice nahoře

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV}} \quad (6)$$

Z difrakce na jedné šterbině vím, že

$$2d \sin(\alpha) = n\lambda \quad (7)$$

Z geometri problému můžeme vyjádřit úhel z této rovnice

$$\tan(2\alpha) = \frac{\frac{D}{2}}{l_1 + l_2} \quad (8)$$

Kde  $l_1 = L - R$  a  $l_2 = \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}}$

$L = 135mm$  a  $R = 65mm$  jsou parametry trubice.

To vše pak můžeme dát dohromady a dostaneme tuto rovnici:

$$d = n\lambda \cdot \frac{1}{2 \sin\left(\frac{1}{2} \arctan\left(\frac{D}{2(l_1 + l_2)}\right)\right)} \quad (9)$$

## 4 Postup měření

### 4.1 Specifický náboj elektronu

Nejdříve jsem zapojil měření s Helmholtovými cívkami a všechny potenciometry jsem nastavil na nulu. Zapnul jsem vysokonapěťový zdroj a počkal jsem, až se katoda nažhaví. Nastavil jsem urychlovací na 2 kV. Na luminiscenční desce byl vidět svazek. Zapnul jsem porudový zdroj a zvyšoval proud, dokud svazek nedosáhl stupnice na hodnotě 40mm. Zvyšoval jsem proud v cívkách a zaznamenával hodnoty pro různé hodnoty ohybu. Potom jsem zvýšil napětí na 3kV a opakovl měření proudu. To jsem zopakoval pro hodnoty 4kV, 5kV.

### 4.2 Difrakce elektronu

Před zapnutím jsem stáhnul zdroj na nulu. Zvyšoval jsem napětí na 4KV. Na skle jsem potom viděl dva prstence. Pomocí posuvného měřítka jsem změřil průměry obou prstenců. Toto jsem udělal i pro další napětí do 5KV.

## 5 Data

### 5.1 Specifický náboj elektronu

ohyb $e[mm]$	$2KV$ Proud $I[A]$	$3KV$ Proud $I[A]$	$4KV$ Proud $I[A]$	$5KV$ Proud $I[A]$
40	0.235	0.29	0.345	0.365
30	0.335	0.41	0.485	0.515
20	0.435	0.54	0.62	0.67
10	0.54	0.665	0.77	0.83
0	0.62	0.78	0.895	0.965

Specifický náboj elektronu jsem počítal podle rovnice 3.

$2KV$	$3KV$	$4KV$	$5KV$
Specifický náboj $\frac{q}{m} \left[ \frac{C}{kg} \cdot 10^{11} \right]$			
1.681	1.656	1.56	1.743
1.553	1.555	1.482	1.642
1.528	1.488	1.505	1.61
1.477	1.461	1.453	1.563
1.51	1.431	1.449	1.558

Aritmetický průměr:

$$\overline{\left( \frac{q}{m} \right)} = 1.545288 \cdot 10^{11}$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma_{\frac{q}{m}} = 0.083 \cdot 10^{11}$$

Teď můžeme vypočítat hmotnost elektronu ze známého náboje elektronu

$$m_e = \frac{e}{\frac{q}{m}} = \frac{1.602177 \cdot 10^{(-19)}}{1.545288 \cdot 10^{11}} = 10.3682 \cdot 10^{-31}$$

$$\sigma_{m_e} = 0.019326 \cdot 10^{-31}$$

### 5.2 Difrakce elektronu

Napětí $V[KV]$	$D_1[mm]$	$D_2[mm]$
4.0	26	44
4.2	25	42
4.4	25	42
4.6	26	40
4.8	25	39
5.0	23	38

Vzdálenosti mezi rovinami grafitové difrakční mřížky jsem získal ze vztahu 9.

Napětí $V[KV]$	$d_1[pm]$	$d_2[pm]$
4.0	200.12	116.822
4.2	203.206	119.64
4.4	198.534	116.889
4.6	186.613	120.229
4.8	190.082	120.809
5.0	202.617	121.574

$$\overline{d_1} = 196.862 \cdot 10^{12}$$

$$\sigma_{d_1} = 6.295 \cdot 10^{12}$$

$$\overline{d_2} = 119.327 \cdot 10^{12}$$

$$\sigma_{d_2} = 1.843 \cdot 10^{12}$$

## 6 Diskuse

Úkolem bylo určit specifický náboj a následně hmotnost elektronu. Potom jsem měl určit vzdálenosti rovin v krystalové mřížce. Výsledné hodnoty se od tabulkových lišil i mimo rozsah chyb. [1] [2]

Chyby mohly být způsobeny nepřesným změřeným vzdáleností pomocí posuvného měřítka. Taky elektronové svazky které jsem pozoroval a pak odečítal na stupnici bylo velmi nepřesné. Činil jsem tak pouze svým okem a mím "smyslem o přesnosti".

## 7 Závěr

Naměřené hodnoty:

Specifický náboj

$$\frac{q}{m} = (1.545 \pm 0.083) \cdot 10^{11} \left[ \frac{C}{kg} \right]$$

Hmotnost elektronu

$$m_e = (10.368 \pm 0.019) \cdot 10^{-31} [kg]$$

vzdálenost rovin krystalové mřížky grafitu

$$d_1 = (196.862 \pm 6.295) \cdot 10^{12} [m]$$

$$d_2 = (119.327 \pm 1.843) \cdot 10^{12} [m]$$

## References

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mass-to-charge\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Mass-to-charge_ratio)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron\\_mass](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_mass)
- [3] <https://virtuelle-experimente.de/en/b-feld/b-feld/versuchsaufbau.php>