

KATEDRA FYZIKY VŠB-TU OSTRAVA		
Student	Název práce  <b>Měření měrného náboje elektronu</b>	Fyzika II (lab. cvičení)
Skupina		Datum
Spolupracoval		Podpis

## 1 Cíle měření

1. Přesvědčit se o vlivu magnetického a elektrického pole na pohyb elektronu pozorováním stopy elektronů v baňce se zředěným plynem
2. Změřit měrný náboj elektronu

## 2 Měřicí prostředky

Wehneltova trubice, pár Helmholtzových cívek, dva stabilizované zdroje napětí A a B (viz nástěnka v laboratoři), 2 digitální multimetry, 13 spojovacích vodičů

## 3 Kompendium teorie

Pokud je elektron hmotnosti  $m_e$  urychlen napětím  $U$ , získá kinetickou energii  $E_k$  odpovídající práci  $W$  elektrické síly na elektron působící při přenesení elektronu mezi místy v elektrickém poli s rozdílem potenciálů  $U$ :

$$W = |e|U = \frac{1}{2}m_e v^2 = E_k, \quad (1)$$

kde  $v$  je velikost rychlosti elektronu a  $|e|$  velikost náboje elektronu. V magnetickém poli intenzity  $\mathbf{B}$  působí na elektron, který se pohybuje rychlostí  $\mathbf{v}$ , tzv. magnetická síla

$$\mathbf{F}_m = e\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2)$$

o velikosti

$$F_m = B|e|v \sin \alpha, \quad (3)$$

kde  $\alpha$  je úhel mezi vektory  $\mathbf{v}$  a  $\mathbf{B}$ .

V homogenním magnetickém poli se proto elektron pohybuje pod vlivem magnetické síly obecně po šroubovici s osou rovnoběžnou s magnetickými indukčními čarami homogenního pole vyjma dvou speciálních případů: a) Vektor rychlosti elektronu je rovnoběžný s magnetickými indukčními čarami, pak  $F_m = 0$ . b) Vektor rychlosti je kolmý k magnetickým indukčním čarám. Elektron se bude pohybovat rovnoměrně po kružnici poloměru  $r_e$ . Magnetická síla je současně silou dostředivou. Srovnajme velikost síly dostředivé a magnetické síly ve speciálním případě b):

$$m_e \frac{v^2}{r_e} = |e|vB. \quad (4)$$

Pro rychlost elektronu dostaneme vztah:

$$v = \frac{|e|}{m_e} Br_e. \quad (5)$$

Rychlost z rovnosti [5] dosadíme do [1] a vyjádříme měrný náboj elektronu:

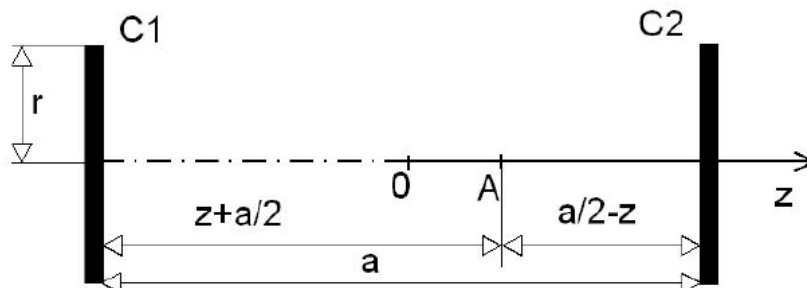


Figure 1: Vzájemná poloha osy  $z$  a cívek C1 a C2.

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{(Br_e)^2}. \quad (6)$$

V našem uspořádání aparatury splývají osy Helmholtzových cívek v jednu, která spojuje středy cívek. Odvození velikosti magnetické indukce v bodě A, který je na ose  $z$  (obr. 1), vycházejí z Biotova-Savartova zákona, dává výsledek

$$B_A = \frac{\mu_0 N I r^2}{2} \left\{ \left( r^2 + \left( \frac{a}{2} - z \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} + \left( r^2 + \left( z + \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \right\}, \quad (7)$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua ( $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$ ),  $r$  poloměr cívek ( $r = 0,2 \text{ m}$ ),  $I$  proud v závitě cívek,  $z$   $z$ -ová souřadnice bodu A (Osa  $z$  prochází středy cívek a má počátek ve středu úsečky, která spojuje středy cívek.),  $N$  počet závitů každé cívky ( $N = 154$ ),  $a$  vzdálenost cívek. V Helmholtzově uspořádání, v němž se vzdálenost cívek rovná jejich poloměru ( $r = a$ ) a každá má  $N$  závitů, dostáváme pro pole ve středu spojnice středů cívek vztah:

$$B = \left( \frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 N \frac{I}{r}. \quad (8)$$

Žhavená katoda emituje elektrony, které excitují atomy zředěného inertního plynu. Excitovaný stav atomů není stabilní, proto záhy přechází do stavu základního, což doprovází vyzařování světelného záření. Tím jsme popsali, velmi stručně, zviditelnění trajektorie elektronu radioluminiscencí.

## 4 Pokyny k vlastnímu měření

1. Srovnajte obr. 2 a 3 se skutečným uspořádáním měřicích prostředků na pracovním stole a vyčkejte pokynů vyučujícího.
2. **Před připojením zdroje A do sítě nechte zkontrolovat vyučujícím, zda jsou potenciometry 9 a 10 (potenciometry na zdroji A – viz obrázek na nástěnce v laboratoři) nastaveny na nule!!** V opačném případě může dojít v průběhu žhavení katody k narušení jejího povrchu. Asi po jedné minutě žhavení nastaví pedagog potenciometry 9 a 10 na pracovní napětí. Potenciál anody je volen potenciometrem 9, zatímco potenciál mřížky potenciometrem 10. Jas a ostrost paprsku elektronů v trubici se ladí potenciometrem 10. Maximální jas je dosažen po 2-3 minutách. Laboratoř zatemněte! Urychlovací napětí měříte multimetrem, který je součástí obvodu s Wehneltovou trubicí.
3. 3) Zapněte multimetr, který je v obvodu s cívkami. Nechte cívkami procházet proud. **Proud nesmí překročit 5 A – aktuální hodnotu proudu odečítáte z multimetru!** Pokud uvidíte světelnou stopu ve tvaru spirály, pootočte trubicí podél její podélné osy tak, abyste pozorovali stopu ve tvaru kružnice.



Figure 2: Aparatura pro měření měrného náboje elektronu.

4. Pro různé poloměry světelné stopy elektronů (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm) a urychlovací napětí 300 V, 280 V, ..., změřte odpovídající proudy, které procházejí cívkami. Příčky jsou pokryty luminiscenčním nátěrem, který pomáhá zviditelnit průsečík světelné stopy elektronů a příčky.
5. Každé dvojici hodnot urychlovací napětí – proud tekoucí cívkami přiřadte výpočtem hodnotu měrného náboje elektronu a stanovte střední hodnotu měrného náboje ze všech měření. Spočítejte směrodatnou odchylku měrného náboje

$$s_{\frac{e}{m_e}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left( \left( \frac{e}{m_e} \right)_i - \bar{\frac{e}{m_e}} \right)^2}{N(N-1)}}, \quad (9)$$

kde  $\bar{\frac{e}{m_e}}$  je střední hodnota měrného náboje,  $\left( \frac{e}{m_e} \right)_i$  je  $i$ -tá hodnota měrného náboje ( $i = 1, \dots, N$ ) a  $N$  je počet měření.

6. Střední hodnotu měrného náboje porovnejte s tabulkovou hodnotou  $\left( \frac{e}{m_e} \right)_{\text{TAB}}$  užitím relativní odchylky  $\delta_r$  v procentech:

$$\delta_r = \frac{\left| \left( \frac{e}{m_e} \right)_{\text{TAB}} - \bar{\frac{e}{m_e}} \right|}{\left( \frac{e}{m_e} \right)_{\text{TAB}}} \cdot 100 \%. \quad (10)$$

Výsledek měření запиšte ve tvaru:

$\frac{e}{m_e} = (\text{podle směrodatné odchylky zaokrouhlená střední hodnota} \pm s_{\frac{e}{m_e}} \text{ zaokrouhlená na dvě platné cifry}) \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$

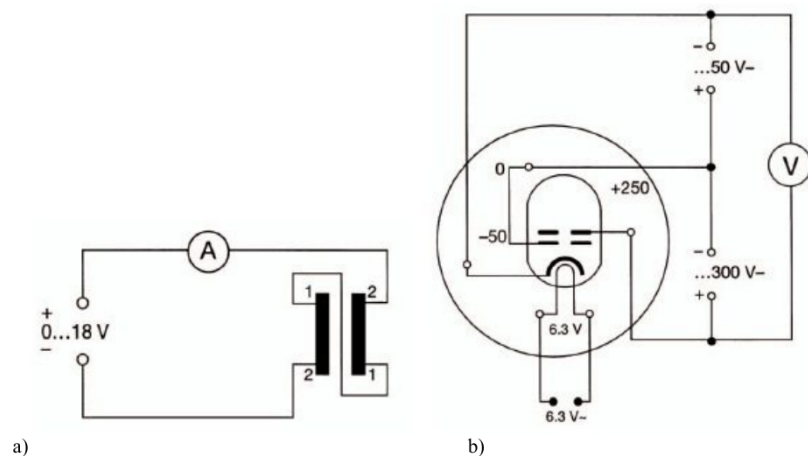


Figure 3: Obrázek 3 a) Aby cívkami procházel stejný proud, jsou cívky zapojeny v sérii. b) Schéma zapojení Wehneltovy trubice v obvodu.