

13. OHYB DRÁHY ELEKTRONU V MAGNETICKÉM POLI

(měřený na zařízení Leybold)

Měřicí potřeby:

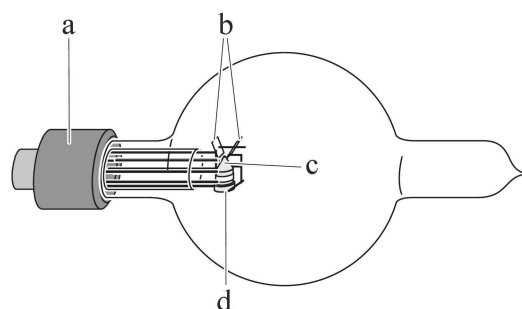
- 1) elektronka s elektronovou tryskou
- 2) Helmholtzovy cívky
- 3) odečítací zařízení se zrcátkem
- 4) stejnosměrný voltmetr
- 5) stejnosměrný ampérmetr
- 6) napájecí zdroj pro elektronku
- 7) napájecí zdroj pro H. cívky

Obecná část

Pohybuje-li se elektron v magnetickém a elektrickém poli, působí na něj tzv. Lorentzova síla:

$$\mathbf{F} = -e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) , \quad (1)$$

kde e je velikost náboje elektronu, \mathbf{E} intenzita elektrického pole, \mathbf{v} rychlost elektronu a \mathbf{B} magnetická indukce. Měrný náboj elektronu je poměr velikosti náboje e elektronu k jeho hmotnosti m . Nejnázorněji lze demonstrovat platnost vztahu (1) a stanovit měrný náboj elektronu pomocí skleněné baňky s elektronovou tryskou (obr. 1), plněné plynem o nízkém tlaku. Z elektronové trysky vychází paprsek tvořený elektrony s konstantní rychlostí. Při své cestě plynem excitují a ionizují jeho atomy, ty vyzařují fotony, takže dráhu paprsku lze ve tmě dobře pozorovat.



Obr. 1 Baňka s el. tryskou
a – patice, b – vychylovací destičky,
c – anoda, d – katoda+Wehneltův válec

Elektronová tryska se skládá ze žhavené katody, z níž vystupují elektrony, Wehneltova válce a kónické anody s otvorem. Záporné předpětí na Wehneltově válci (podobně jako u mřížky v elektronce zvané *trioda*) řídí množství elektronů opouštějících prostor katody a fokusuje jejich tok do malého prostoru. Elektrony jsou urychleny elektrickým polem mezi katodou a anodou, jež je připojena na napětí U , a získají tak kinetickou energii:

$$E_k = eU , \quad (2)$$

kde e je náboj elektronu ($1,602 \times 10^{-19}$ C). Urychlené elektrony projdou otvorem v anodě a dostanou se do prostoru bez elektrického pole, kde pokračují dále vlastní setrvačností. Podle klasické mechaniky (relativistické efekty jsou zanedbatelné) pro rychlost elektronů v platí:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 . \quad (3)$$

Platí-li vztah (1), elektronový svazek by se měl v magnetickém poli ohýbat. V našem experimentálním uspořádání je intenzita elektrického pole $\mathbf{E} = 0$ a magne-

tické pole je kolmé na rychlost elektronů letících z trysky, takže můžeme vztah (1) zjednodušit na prostý součin:

$$F = evB . \quad (4)$$

Jak plyne z definice vektorového součinu, je směr síly F stále kolmý na rychlost, což je ovšem případ pohybu po kružnici, kde je dostředivá síla rovněž stále kolmá na obvodovou rychlost. Právě tato síla „udržuje“ těleso na kruhové dráze. Elektron bude tedy opisovat kružnici tak, že nastane rovnost mezi Lorentzovou silou a odstředivou silou:

$$evB = m \frac{v^2}{R} , \quad (5)$$

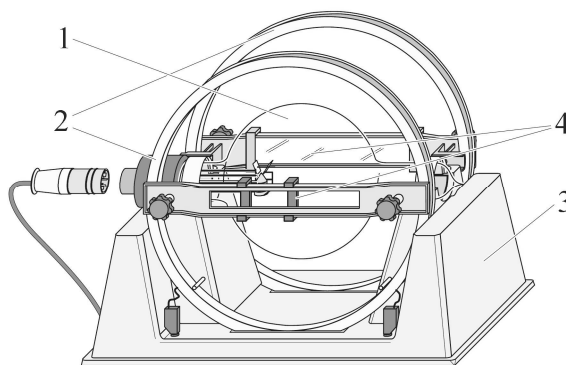
kde R je poloměr kružnice a m je hmotnost elektronu. Vyjádříme-li z (5) rychlost a dosadíme do vztahu (3) s použitím (2), získáme konečný vztah pro měrný náboj elektronu:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2} \quad (6)$$

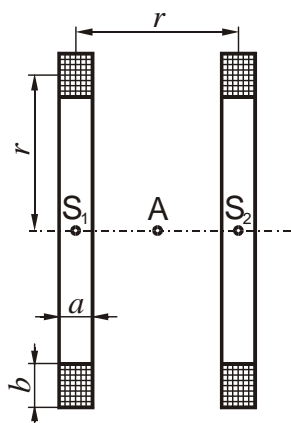
Měření

Pro určité urychlovací napětí U nastavíme takové magnetické pole, aby elektrony opisovaly kružnici zvoleného poloměru. Měření provedeme vícekrát pro různá urychlovací napětí, abychom mohli stanovit statistickou chybu (viz dále).

Na vytvoření značně homogenního magnetického pole se používají Helmholtzovy cívky (obr. 3). Např. v bodech S_1 a S_2 na ose cívek je magnetické pole jen o 5 % menší než ve středu



Obr. 2 Zařízení pro měření e/m
1 – baňka s elektronovou tryskou,
2 – Helmholtzovy cívky, 3 – základna,
4 – odečítací zařízení



Obr. 3 Helmholtzovy cívky

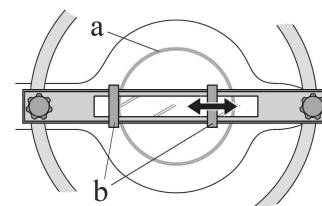
cívek A . Helmholtzovy cívky se skládají ze dvou cívek umístěných ve vzájemné vzdálenosti rovné jejich poloměru r tak, že jejich osy splývají. Cívky jsou zapojeny v sérii tak, aby jimi protékal proud v souhlasném smyslu. Magnetické pole má tedy od obou cívek stejný směr, rovnoběžný s osou cívek. Za předpokladu, že rozměry vinutí a i b jsou zanedbatelně malé oproti poloměru r , je indukce magnetického pole na ose v bodě A dána vztahem:

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{N}{r} I , \quad (7)$$

kde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ VsA}^{-1}\text{m}^{-1}$ je permeabilita vakua,

$N=130$ je počet závitů jedné cívky, poloměr cívky $r = 0,155$ m a I je proud tekoucí cívkami.

Poloměr kružnice opisované elektronovým paprskem lze odečíst měřicím zařízením se dvěma posuvnými ryskami, které je namontováno na Helmholtzových cívkách (obr. 4). Na zadní cívce je zrcátko, které zajišťuje kolmý pohled při odečítání. Při měření je třeba dostat do zákrytu vnitřní hranu rysky, měřený předmět a jeho zrcadlový obraz – v našem případě osu elektronového paprsku, nebo elektronovou trysku. Vzdálenost vnitřních hran rysek se změří obyčejným pravítkem.



Obr. 4

a – elektronový paprsek
b – posuvné rysky

Zařízení je zapojeno, kabely nerozpojujte. Nepřekračujte maximální povolené anodové napětí 300 V !!

Stanovení chyby měření

Pro zvýšení přesnosti provádíme měření N -krát pro různá urychlovací napětí. Ze vztahu (6) tak získáme N výsledků, z nich stanovíme aritmetický průměr a jeho směrodatnou chybu (jež má povahu statistickou, náhodnou). Toto je však pouze část celkové chyby. Druhou, dokonce větší část, tvoří totiž chyba daná nepřesností použitých přístrojů, tzv. přístrojová chyba. Určuje se podle pravidel uvedených v kapitole „Chyby měření“ a je dána chybou použitého voltmetru, chybou v určení magnetické indukce a chybou v určení poloměru kružnice opisované paprskem.

Chyba magnetické indukce závisí na použitém ampérmetru, nepřesnosti geometrických rozměrů cívek a na faktu, že se pohybujeme mimo osu Helmholtzových cívek (vztah (7) platí přesně pouze pro bod A). Může dosahovat až 3 %. Chyba v určení přesného zákrytu elektronového paprsku s odečítací ryskou je ještě větší - závisí na pozorovateli, a na faktu, že kulová baňka opticky zkresluje (obraz je větší než předmět uvnitř). Ukazuje se, že všechny tyto chyby dohromady mohou činit až 12 %, takže nečekejte příliš přesný výsledek, i když vám statistická chyba vyjde malá.

Pracovní úkol

- 1) Podle pokynu vyučujícího zvolte průměr kružnice pohybu elektronů a nastavte podle toho odečítací zařízení.
- 2) Anodové napětí měňte v rozsahu 150 až 300 V po 10 V. Pro každé napětí zjistěte potřebný proud Helmholtzových cívek. Nepřekračujte maximální proud cívek 2 A!!
- 3) Vypočítejte pro každé měření měrný náboj elektronu ze vzorce (6).
- 4) Z vypočtených hodnot měrného náboje elektronu určete aritmetický průměr, jeho směrodatnou chybu a výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou.