

6.3 Specifický náboj elektronu

Elektrony urychlené v elektrickém poli vlétnou do magnetického pole orientovaného kolmo na směr jejich pohybu. Zde se působením Lorentzovy síly jejich trajektorie zakříví. Specifický náboj elektronu se určuje ze znalosti urychlujícího napětí a indukce magnetického pole. Záření α se vychyluje jak v elektrickém, tak magnetickém poli. Ve vzduchu se pohltí po uběhnutí několika centimetrů.

Princip měření

Je-li elektron o hmotnosti m_e a s nábojem e urychlován rozdílem potenciálů U , získá kinetickou energii

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2,$$

kde v je rychlost elektronu. V magnetickém poli \vec{B} na elektron pohybující se rychlostí \vec{v} působí Lorentzova síla

$$\vec{F} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}.$$

Je-li magnetické pole homogenní, elektron se začne pohybovat ve spirále s osou rovnoběžnou se směrem magnetických siločar. Tato trajektorie pro případ, kdy je směr rychlosti \vec{v} kolmý na vektor magnetické indukce \vec{B} , je zjednodušena na kružnici o poloměru r . Protože na elektron pohybující se po kružnici působí dostředivá síla

$$m_e \cdot \frac{v^2}{r},$$

která se rovná uvedené síle Lorentzově, dostáváme vztah

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r,$$

kde B je velikost indukce magnetického pole. Pro určení indukce magnetického pole vyjdeme z první Maxwellovy rovnice v bezčasovém tvaru

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0,$$

kde integrujeme přes uzavřenou oblast G , a ze čtvrté Maxwellovy rovnice

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot \oint_A \vec{j} \cdot d\vec{A},$$

kde:

C je uzavřená křivka ohraničující oblast A ,

j hustota elektrického proudu,

μ_0 permeabilita vakua $1,257 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$.

Pro indukci magnetického pole kruhové proudové smyčky v bodu ležícím na ose smyčky ve vzdálenosti a dostáváme vztah

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}},$$

kde R je poloměr proudové smyčky.

Při Helmholtzově uspořádání cívek ($a = R$) s počtem závitů n dostáváme pro pole ve středu mezi cívkami vztah

$$B = (4/5)^{3/2} \cdot \mu_0 \cdot n \cdot \frac{I}{R}.$$

Princip měření

Trubice je naplněna argonem pod nízkým tlakem (10^{-1} Pa). Letící elektrony procházejí srážkami s molekulami argonu a ionizují jej. Trajektorie elektronového paprsku je tak zviditelněna díky luminiscenci vzniklé rekombinací argonových iontů. Kladně nabití ionty argonu mají vedle toho pozitivní efekt na fokusaci paprsku elektronů. Stupnice v podélné ose trubice má dílky ve vzdálenostech $d = 4, 6, 8$ a 10 cm opatřené luminiscenčním nátěrem, a slouží k přesnějšímu určení poloměru kruhové dráhy.

Urychlovací potenciál zdroje je možno plynule měnit dvěma potenciometry „50..0 V“ a „0..250 V“ v rozsahu $0 - 300$ V. Helmholtzovy cívky mají poloměr $R = 0,2$ m a počet závitů $n = 154$.

Potřeby

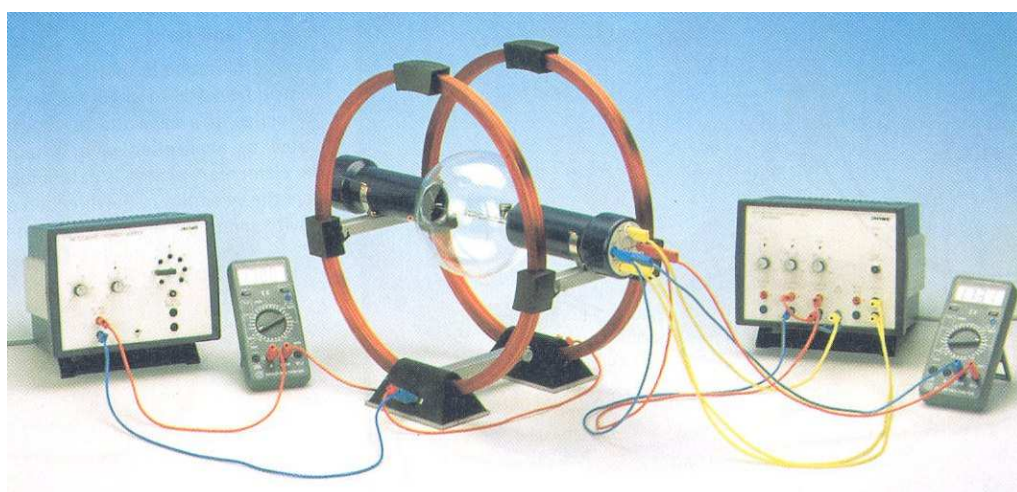
Trubice naplněná argonem, regulovatelný zdroj střídavého napětí o velikosti $6,3$ V pro žhavení katody, mřížky, anody a Helmholtzových cívek, dva potenciometry v rozsahu $0 - 300$ V.

Prostudujte

Macháček, M.: Encyklopedie fyziky, Mladá fronta, 1995.

Úkoly

1. Seznamte se s aparaturou.
2. Při změnách urychlovacího napětí po 20 V od 100 do 300 V a poloměru drah $r = 2, 3, 4, 5$ cm měřte proud protékající Helmholtzovými cívkami.
3. Ze vztahů uvedených v textu odvoďte vztah, podle kterého určíte specifický náboj elektronu $\frac{e}{m_e}$ a na základě naměřených dat určete jeho velikost.
4. Určete specifický náboj elektronu $\frac{e}{m_e}$ z drah elektronového paprsku zakřivených v magnetickém poli o měnící se indukci \vec{B} .



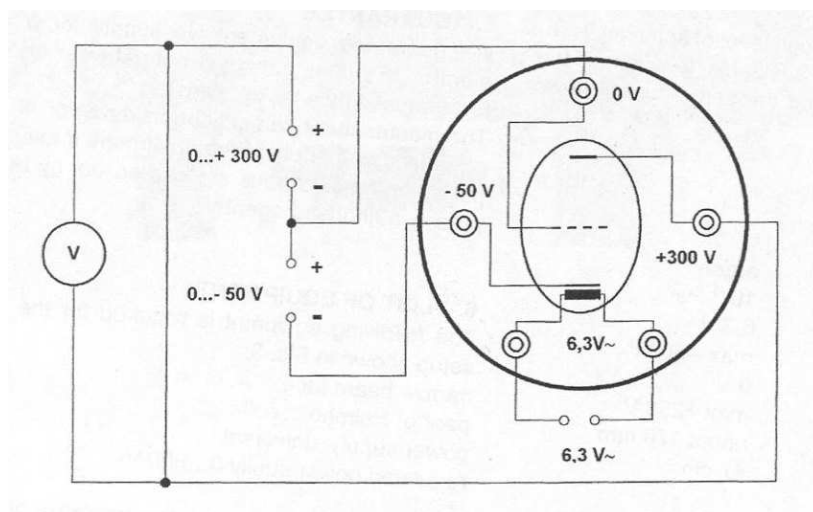
Obr. 6.6: Sestavená aparatura

Kontrolní otázky

- Když začnete otáčet trubicí v pevném závěsu, světélkující trajektorie svazku elektronů vytváří spirály. Vysvětlete proč?
- Mohli bychom podobný pokus dělat s pozitrony (částice s nábojem $+e$, antičástice k elektronu) ?

Postup měření

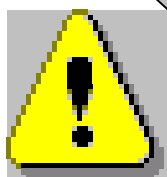
1. Sestavte Helmholtzovy cívky a do klipsů na jejich rozpěrách umístěte vakuovou trubici podobně, jako na obrázku 6.6.



Obr. 6.7: Schéma zapojení aparatury

2. Propojte trubici se zdrojem elektrické energie podle schématu na obrázku 6.7. Střídavé napětí 6,3 V slouží ke žhavení katody, napětí na anodě a mřížce se dá regulovat potenciometry. Energie elektronů je dána celkovým urychlovacím napětím (součet napětí mřížky a anody, až 300 V), které je měřeno voltmetrem.

Upozornění



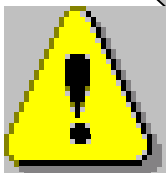
- Před zapnutím žhavení trubice se ujistěte, že oba potenciometry „50..0 V“ a „0..250 V“ jsou nastaveny na nulu. V opačném případě může při zahřívání dojít k poškození aparatury.
- Maximální povolená hodnota proudu tekoucího cívkami (3 A) nesmí být překročena.

3. Helmholtzovy cívky musí být zapojeny v sérii tak, aby mezi sebou vytvářely homogenní magnetické pole. Toho se docílí propojením zdířek 1-1 a přivedením proudu na zdířky č. 2. Sériovým zapojením je zajištěno, že oběma cívkami poteče stejný proud. Elektrický proud tekoucí cívkami měřte ampérmetrem o odpovídajícím rozsahu.
4. Zhruba po jedné až dvou minutách zahřívání je již možno nastavit oba potenciometry na pracovní napětí a pozorovat trajektorii katodového paprsku. Má-li magnetické pole správnou polaritu, můžete v zatemněné místnosti pozorovat zakřivenou světélkující

trajektorii. Nedochází-li ke stáčení dráhy elektronů, jsou cívky zapojeny tak, že se jejich pole vzájemně ruší a je nutno je přepólovat.

5. Anodové napětí se nastavuje potenciometrem „0..250 V“, zatímco potenciometr „50..0 V“ (napětí mřížky) upravuje jas a ostrost paprsku elektronů. Paprsek dosahuje plné intenzity zhruba po dvou až třech minutách žhavení.
6. Na trubici nastavujte požadované urychlovací napětí 100 – 300 V, vždy po 20 V.
7. Změnou intenzity magnetického pole (změnou proudu tekoucího cívkami) a rychlostí elektronů (urychlující a zaostřující napětí) může být poloměr dráhy nastaven tak, aby souhlasil s některým z poloměrů vyznačených luminiscenčními značkami. Značky označují poloměr drah $r = 2, 3, 4$ a 5 cm a musí být čas od času aktivovány lampou nebo jiným světelným zdrojem. Má-li trajektorie tvar spirály, je nutno pootočit celou trubici podél její podélné osy.
8. Zapisujte hodnoty proudu pro jednotlivé vzdálenosti a velikosti urychlovacího napětí do přehledné tabulky. Na základě naměřených hodnot a vzorců uvedených v teoretické části určete specifický náboj elektronu.
9. Přesnost měření velmi závisí na určení poloměru kruhové dráhy a proudu cívkami. Pracujte tedy pečlivě. Díky pomůcce pro určení poloměru dráhy elektronů lze dosáhnout relativní chyby v přesnosti měření poloměru méně než 1 %.

Upozornění



- Při přestávce během měření je potřeba stáhnout oba potenciometry zpět na nulu. Toto opatření prodlužuje životnost trubice.