

Ćwiczenie 351

Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu metodą podłużnego pola magnetycznego

Przed zapoznaniem się z instrukcją i przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy opanować następujący materiał teoretyczny:

1. Ładunek elektronu, ładunek właściwy. [1] lub [2].
2. Ruch ładunku elektrycznego w polach elektrycznym i magnetycznym. [[1] lub [2].
3. Metoda podłużnego pola magnetycznego wyznaczania ładunku właściwego elektronu. [2] lub [3]
4. Budowa lampy oscyloskopowej. [4].

Cel ćwiczenia

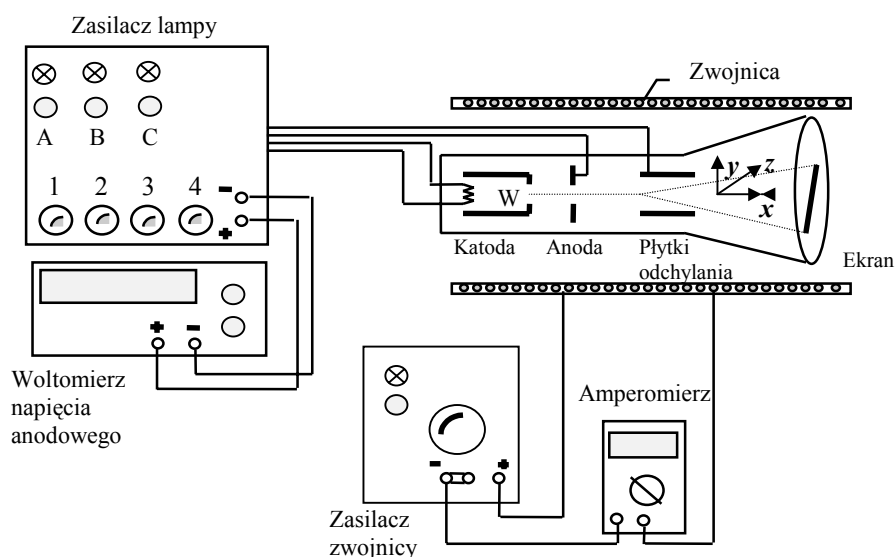
Celem ćwiczenia jest wyznaczenie tak zwanego ładunku właściwego elektronu, czyli stosunku ładunku elektronu do jego masy spoczynkowej e/m .

Metoda pomiaru

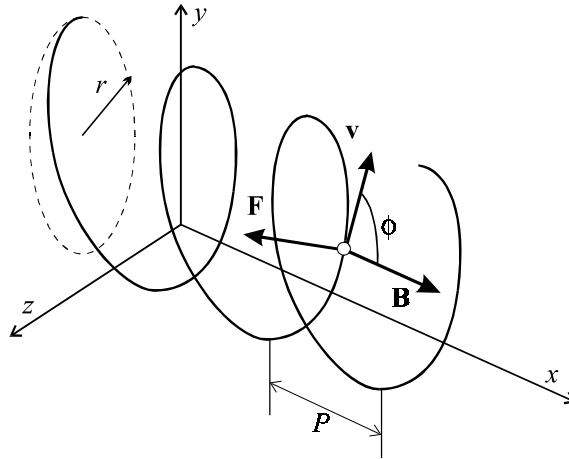
Wyznaczenie ładunku właściwego elektronu możliwe jest między innymi na podstawie badań parametrów ruchu elektronów w polach elektrycznym i magnetycznym. W ćwiczeniu zastosowano tak zwaną metodę podłużnego pola magnetycznego. Metoda ta oparta jest na kontrolowaniu toru ruchu rozbieżnej wiązki elektronów w lampie oscyloskopowej umieszczonej w polu magnetycznym zwojnicy równoległym do osi lampy (rys. 1). Elektrony emitowane przez rozżarzoną katodę są przyspieszane przez oddziaływanie elektrostatyczne zespołu anod i uformowane w wiązkę przez ujemnie naładowaną elektrodę zwaną cylindrem Wehnelta W. Wiązka ta następnie przechodzi przez zespół płytek odchyłania pionowego równoległe do ich powierzchni i ostatecznie trafia w pokrytą luminoforem powierzchnię ekranu lampy, tworząc na niej świecący ślad.

Pole magnetyczne zwojnicy o indukcji \mathbf{B} oddziałuje na elektrony poruszające się z prędkością \mathbf{v} siłą Lorentza \mathbf{F} daną wzorem

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



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego



Rys. 2. Tor ruchu elektronów w polu magnetycznym

Wartość tej siły zależy od kąta ϕ pomiędzy kierunkiem ruchu elektronów (wektora ich prędkości \mathbf{v}) i wektorem indukcji pola magnetycznego \mathbf{B} (rys. 2). Jeśli kąt ten wynosi 0 lub π to siła Lorentza ma wartość zero i pole magnetyczne nie wpływa na ruch elektronów. W każdym innym przypadku siła jest różna od zera i zawsze skierowana prostopadle do płaszczyzny utworzonej przez wektory \mathbf{v} i \mathbf{B} . Taki kierunek wektora siły sprawia, że pełni ona rolę siły dośrodkowej wprawiając elektrony w ruch po okręgu w płaszczyźnie yz . Warunkiem koniecznym takiego ruchu jest niezerowa składowa prędkości wzdłuż kierunku prostopadłego do wektora \mathbf{B} np. wzdłuż y . Przemienne pole elektryczne przyłożone do płytek odchyłania pionowego oddziałuje na wiązkę elektronów, zapewniając wystąpienie takiej niezerowej składowej prędkości v_y . Ruch elektronów w lampie jest więc ruchem złożonym z ruchu jednostajnego po okręgu w płaszczyźnie yz i ruchu jednostajnego prostoliniowego wzdłuż osi x . Tor tego ruchu złożonego ma kształt linii śrubowej (rys. 2).

Elektrony przyspieszone różnicą potencjałów U w obszarze zespołu anod mają jednakową prędkość v_x wzdłuż osi x równą

$$v_x = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \quad (2)$$

a zatem drogę l do ekranu lampy wszystkie pokonują w tym samym czasie, równym

$$t = l / v_x = l / \sqrt{2eU/m} \quad (3)$$

Rzuty torów ruchu poszczególnych elektronów na płaszczyznę yz są okręgami. Ich promień r zależy od indukcji pola magnetycznego B oraz od składowych v_y prędkości, które elektrony uzyskują dzięki oddziaływaniu płytek odchyłających:

$$r = \frac{m v_y}{eB} \quad (4)$$

Okres obiegu T czyli czas potrzebny na opisanie przez elektrony pełnego okręgu, nie zależy od promienia okręgu i jest dla wszystkich elektronów taki sam:

$$T = \frac{2\pi m}{eB} \quad (5)$$

Po upływie pewnego czasu t elektrony przebywają określoną odległość w kierunku x . Mogą wtedy znajdować się w punktach różnie oddalonych od osi x . Wszystkie takie punkty tworzą na płaszczyźnie yz ślad przekroju rozbieżnej wiązki elektronów. Ma on kształt odcinka, ponieważ wszystkie elektrony tworzą go w tym samym momencie i w tym samym stadium ruchu po okręgu - leżą więc na cięciwie okręgu. W różnych punktach osi x odcinek ten może być oczywiście różnie nachylony i mieć różną długość. Dobierając odpowiednią wartość indukcji pola magnetycznego można doprowadzić do sytuacji, kiedy czas przebycia drogi l wzdłuż osi x w lampie będzie równy okresowi obiegu elektronów w ruchu po okręgu T (lub całkowitej jego wielokrotności nT). Wówczas wszystkie elektrony trafią w jeden punkt na ekranie lampy. Ten stan nazywamy ogniskowaniem wiązki. Warunek ogniskowania otrzymuje się z porównania wzorów (3) i (5). Pozwala on na obliczenie szukanego stosunku e/m :

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U n^2}{l^2 B^2}, \quad (6)$$

gdzie n jest krotnością ogniskowania.

6. Pomiary z punktów 1 - 4 powtórzyć dla co najmniej 20 różnych wartości napięcia anodowego obejmując zakres od 350 V do 700 V.
Uwaga. W przypadku zaniku napięcia anodowego (zablokowania się zasilacza) należy skrócić pokrętkę 4 w lewo i na kilka sekund wyłączyć zasilanie lampy przyciskiem A.
7. Zwrócić uwagę na możliwość wielokrotnego zogniskowania wiązki przy tym samym napięciu anodowym po zwiększeniu natężenia prądu zwojnicy.

Zakończenie ćwiczenia

1. Skrócić potencjometry napięcia anodowego i natężenia prądu zwojnicy w położenia minimum to jest w lewo do oporu.
2. Wyłączyć napięcie anodowe, odchyłania i zasilanie lampy (przyciskami C, B, A)
3. Wyłączyć zasilacz zwojnicy.
4. Wyłączyć zasilanie woltomierza, i amperomierza.
5. Rozłączyć połączenia kablowe.

Opracowanie sprawozdania

1. Wykreslić zależność $U(B^2)$.
2. Obliczyć współczynnik nachylenia a prostej o postaci $y = ax$ i jego błąd Δa metodą najmniejszych kwadratów.
3. Obliczyć wartości e/m według wzoru (10). Przyjąć krotność $n = 1$ oraz długość drogi elektronów w użytej w ćwiczeniu lampie oscyloskopowej $l = 0,072 \pm 0,004$ m.
4. Obliczyć błąd bezwzględny wyznaczonej wartości e/m według wzoru

$$\Delta(e/m) = \left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta a}{a} \right) (e/m). \quad (12)$$

5. Przedyskutować przebieg pomiarów i ich wynik. Przedstawić porównanie uzyskanej wartości e/m z danymi tablicowymi. Wskazać źródła niedokładności.

Literatura

- [1] R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. II, PWN, Warszawa, 1998.
- [2] I. W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, t. 2, PWN, Warszawa, 2002
- [3] T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa, 1978.
- [4] J. Karniewicz, T. Sokołowski, *Podstawy fizyki laboratoryjnej*, skrypt PŁ, Łódź, 1996.