

WYZNACZANIE ŁADUNKU WŁAŚCIWEGO ELEKTRONU

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie ładunku właściwego elektronu poprzez badanie toru wiązki elektronowej lampy oscyloskopowej.

Zagadnienia: Pole elektryczne, pole magnetyczne, ruch ładunku w polach elektrycznym i magnetycznym, siła Lorentza.

52.1. Wprowadzenie

Energia kinetyczna $mV^2/2$ jaką uzyskuje elektron w polu elektrycznym przyspieszany różnicą potencjałów U jest równa eU , gdzie e jest ładunkiem elementarnym. W ten sposób, kosztem pracy pola elektrycznego, elektron nabywa prędkość równą $\sqrt{2(e/m)U}$, gdzie m jest masą elektronu, a stosunek e/m jest nazywany ładunkiem właściwym elektronu. Elektron ma ładunek ujemny $-e$ i jeżeli porusza się z prędkością V w polu magnetycznym o indukcji B , to poddany jest działaniu siły Lorentza, która jest równa $-eV \times B$, gdzie $V \times B$ oznacza iloczyn wektorowy prędkości elektronu i indukcji magnetycznej. Siła Lorentza powoduje, że tor po którym porusza się elektron zakrzywia się i jest w ogólności linią śrubową o osi równoległej do linii sił pola magnetycznego. Jeżeli kierunek wektora prędkości jest prostopadły do wektora indukcji (prostopadły do linii sił pola magnetycznego) to elektron porusza się po okręgu, którego promień r łatwo obliczyć przyrównując wartość siły Lorentza z wyrażeniem na siłę dośrodkową w ruchu po okręgu, $eVB = mV^2/r$. Stąd, po podstawieniu wyrażenia na prędkość uzyskaną przez elektron w polu elektrycznym otrzymujemy wzór na ładunek właściwy elektronu:

$$e/m = 2U/(Br)^2 \quad (52.1)$$

Pole elektryczne przyspieszające elektrony w lampie oscyloskopowej uzyskuje się w wyniku różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami działa elektronowego. Pole elektryczne prostopadłe do początkowej prędkości elektronów pojawia się po przyłożeniu napięcia między płytkami odchylającymi lampy oscyloskopowej. Powstaje wtedy jednorodne pole elektryczne, takie jak między okładkami kondensatora płaskiego, powodujące zakrzywienie toru ruchu elektronów w kształt paraboli. Jednorodne pole magnetyczne można uzyskać przez zastosowanie cewek (solenoidów), to jest wielu zwojów cienkiego drutu nawiniętych ściśle jeden obok drugiego, często w kilku (lub więcej) warstwach jedna na drugiej. Wartość indukcji magnetycznej uzyskiwanej w cewkach zależy przede wszystkim od wartości natężenia prądu elektrycznego płynącego przez uzwojenie cewki, ale też od przenikalności magnetycznej ośrodka i budowy geometrycznej cewki. Jednorodność pola

magnetycznego najłatwiej uzyskać używając długich cewek - solenoidów. Stosuje się też w tym celu układ dwóch krótkich cewek o dość znacznej średnicy zwanych cewkami Helmholtza. Wartość indukcji magnetycznej w dowolnym punkcie w pobliżu dowolnego układu zwojów (i prądów) w cewkach można obliczyć wychodząc z prawa Biota-Savarta.

52.2.1 Metoda Thomsona

W tej metodzie wykorzystujemy lampę oscyloskopową, której działo elektronowe jest źródłem wiązki elektronów formowanej i przyspieszanej przez pole elektryczne zespołu elektrod działła. Elektrony wiązki wystrzelone z działła poruszają się w kierunku ekranu fluorescencyjnego lampy i przechodzą przez obszar poprzecznego pola elektrycznego, którego natężenie można regulować poprzez zmianę napięcia U_p przyłożonego do płytek odchylających lampy oscyloskopowej, w wyniku czego wiązka elektronów jest odchylana poprzecznie. W efekcie, na ekranie lampy zaobserwujemy przesunięcie plamki w kierunku krawędzi ekranu, proporcjonalnie do przyłożonego napięcia U_p . Lampa oscyloskopowa jest umieszczona tak, że obszar pomiędzy jej płytkami odchylającymi znajduje się w centrum pomiędzy cewkami Helmholtza. Prąd elektryczny płynący w uzwojeniu cewek jest źródłem jednorodnego pola magnetycznego o kierunku prostopadłym do pola elektrycznego. Pole magnetyczne może również spowodować przesunięcie plamki na ekranie lampy oscyloskopowej proporcjonalnie do indukcji B , a co za tym idzie do wartości prądu cewek. Jeżeli plamka jest odchylona o y , to można pokazać, że promień toru elektronu r wyniesie w przybliżeniu LD/y , gdzie L jest odległością ekranu lampy od centrum obszaru pola magnetycznego o kołowym przekroju o średnicy D .

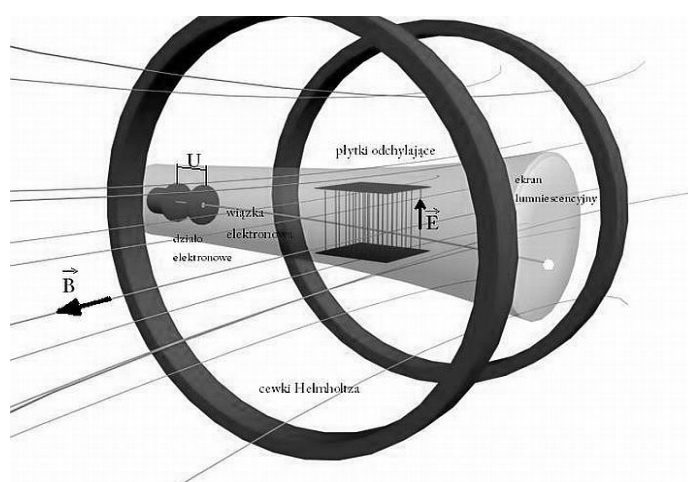


Fig 52.1 Układ poprzecznych pól elektrycznego i magnetycznego w metodzie Thomsona

Oba przesunięcia można wzajemnie skompensować, ponieważ na elektron z wiązki przechodzącej przez obszar skrzyżowanych pól; elektrycznego o natężeniu U_p/d , gdzie d jest odległością po-

między płytkami odchylającymi lampy oscyloskopowej i magnetycznego o indukcji B , działa siła Coulomba (siła elektrostatyczna); eU_p/d i konkurująca z nią siła Lorentza o wartości eVB . Po zrównoważeniu obu sił poprzez odpowiedni dobór napięcia odchylającego U_p i natężenia prądu cewek Helmholtza I , wiązka nie zostanie odchylona i plamka zajmie centralne położenie na ekranie. Korzystając z warunku równowagi sił $eU_p/d = eVB = mV^2/r$, po wyeliminowaniu V z równań i zastosowaniu przybliżonego podstawienia za r , dostajemy wzór z którego obliczamy ładunek właściwy elektronu w metodzie Thomsona:

$$e/m = U_p y / (B^2 d L D), \quad (52.2)$$

gdzie indukcję pola magnetycznego obliczamy z wzoru: $B = \mu_0 n I / (R (1 + (a/R)^2)^{3/2})$,

gdzie: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ - jest przenikalnością magnetyczną próżni, a I jest natężeniem prądu elektrycznego w n zwojach cewek Helmholtza o promieniu R oraz a jest połową odległości pomiędzy cewkami.

52.2 Metoda podłużnego pola

W tej metodzie również wykorzystujemy lampę oscyloskopową, tym razem umieszczoną wewnątrz długiego solenoidu, wzdłuż jego osi symetrii. Linie sił pola magnetycznego utworzonego przez prąd elektryczny płynący przez uzwojenie solenoidu są wtedy równoległe do wiązki elektronów wystrzeliwanych z działa elektronowego lampy oscyloskopowej z prędkością podłużną $V_{||}$ w kierunku ekranu.

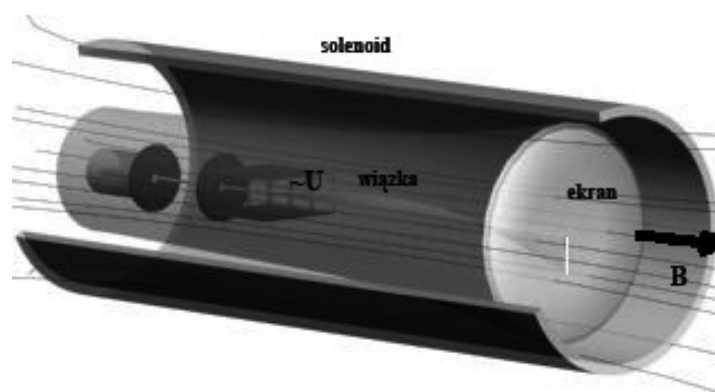


Fig 52.2 Konfiguracja stałego pola magnetycznego i zmiennego pola elektrycznego w metodzie pola podłużnego.

Na ekranie otrzymujemy świecący odcinek, ponieważ do płytek odchylających lampy oscyloskopowej przyłożone jest niewielkie napięcie zmienne przez co elektronom wiązki nadaje się także niewielkie i różne prędkości poprzeczne V_T prostopadłe do prędkości V_{II} i zarazem prostopadłe do wektora indukcji magnetycznej \mathbf{B} , co oznacza że na elektrony działa niezerowa siła Lorentza powodująca ruch elektronów po liniach śrubowych kończących się w różnych punktach ekranu układających się w odcinek. Jednakże, po odpowiednim dobraniu napięcia U przyspieszającego elektrony wiązki i natężenia prądu elektrycznego I solenoidu, na ekranie lampy oscyloskopowej uzyskuje się ostrą plamkę. Wynika to stąd, że wszystkie elektrony wiązki poruszają się wtedy po liniach śrubowych wychodzących z obszaru pomiędzy płytkami odchylającymi i kończących się na ekranie w jednym i tym samym punkcie. Dla uzyskania takiego rezultatu konieczne jest aby każdy elektron wiązki w jednakowym czasie przebył odległość L od płytek odchylających do ekranu i równocześnie wykonał pełen obrót po okręgu o promieniu r , leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do kierunku linii sił pola magnetycznego; $L/V_{II} = 2\pi r/V_T$. Ponadto, ponieważ $V_{II} = \sqrt{2(e/m)U}$ i $eV_T B = mV_T^2/r$ to po prostych przekształceniach otrzymujemy wzór z którego obliczamy ładunek właściwy elektronu w metodzie podłużnego pola:

$$e/m = 8\pi^2 U / (BL)^2, \quad (52.3)$$

gdzie wartość indukcji magnetycznej obliczamy z wzoru dla cewek - solenoidów o gęstości zwojów $N = n/l_c$ (tj. długich cewek o średnicy znacznie mniejszej od długości l_c na której nawinięto n zwojów); $B = \mu_0 NI$, gdzie $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Tm/A}$ jest przenikalnością magnetyczną próżni.

Przykładowe pytania:

1. Do czego służy działło elektronowe, płytki odchylające i ekran fluorescencyjny lampy oscyloskopowej?
2. Jak rozumiesz pojęcia; jednorodne pole elektryczne i jednorodne pole magnetyczne? Jak można takie pola otrzymać?
3. Jaka siła działa na elektron w polu elektrycznym (podaj wzór)? Jaki jest tor ruchu elektronu w jednorodnym polu elektrycznym?
4. Jaka siła działa na elektron w polu magnetycznym (podaj wzór)? Jaki jest tor ruchu elektronu w jednorodnym polu magnetycznym?
5. Na czym polega sposób wyznaczenia ładunku właściwego elektronu metodą Thomsona?
6. Na czym polega sposób wyznaczenia ładunku właściwego elektronu metodą podłużnego pola magnetycznego?