

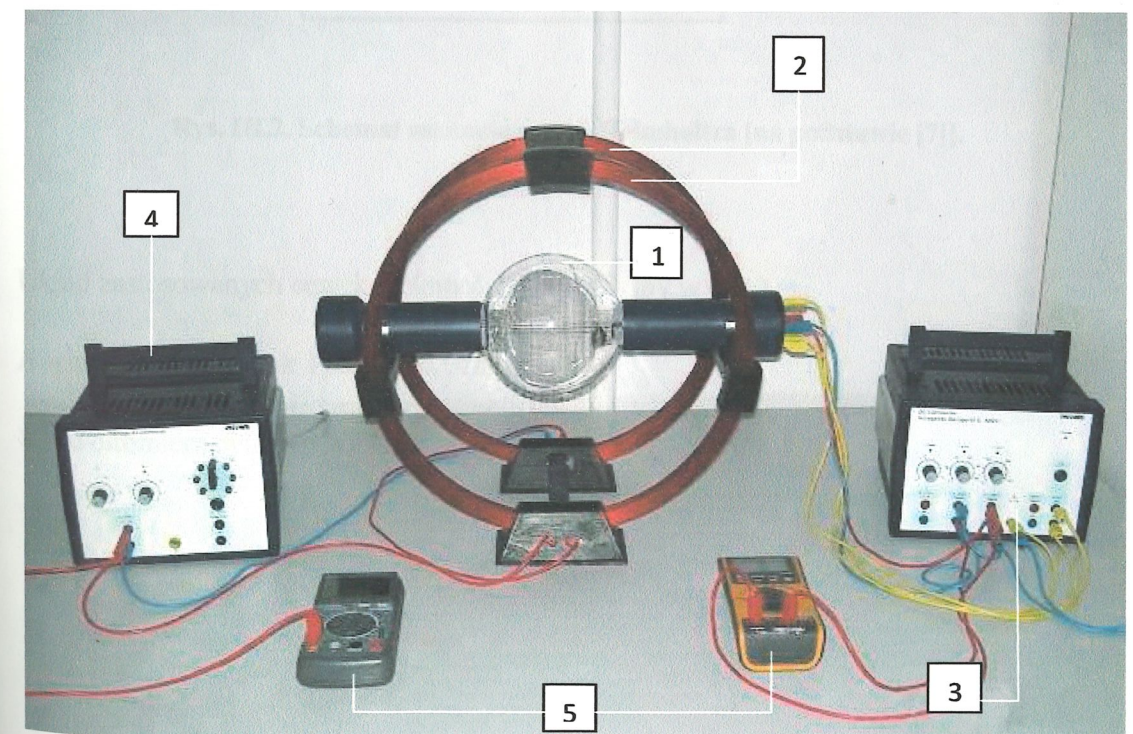
CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Rozdział III

III. Układ doświadczalny i zasada pomiaru ładunku właściwego e/m elektronu.

III.1. Układ doświadczalny do wyznaczania ładunku właściwego e/m elektronu.

Układ doświadczalny służący do wyznaczania ładunku właściwego elektronu przedstawiony jest na zdjęciu III.1.

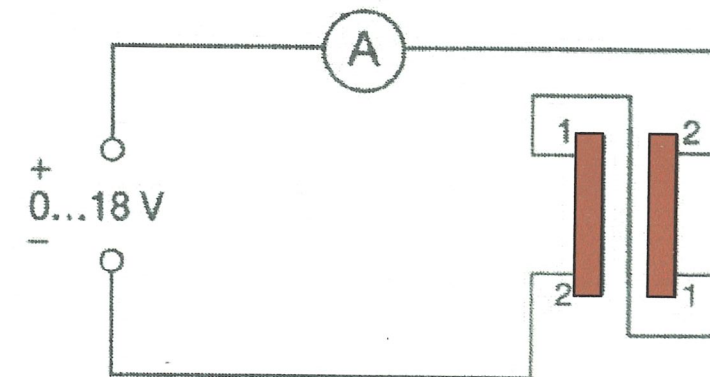


Rys. III.1. Aparatura służąca do pomiaru ładunku właściwego.

W skład układu wchodzi:

- 1 lampa elektronowa
- 2 układ cewek Helmholtza
- 3 zasilacz napięciowy lampy
- 4 zasilacz prądowy cewki Helmholtza
- 5 mierniki.

Schematy połączeń elektrycznych układu ilustrują rysunki III.2 i III.3.

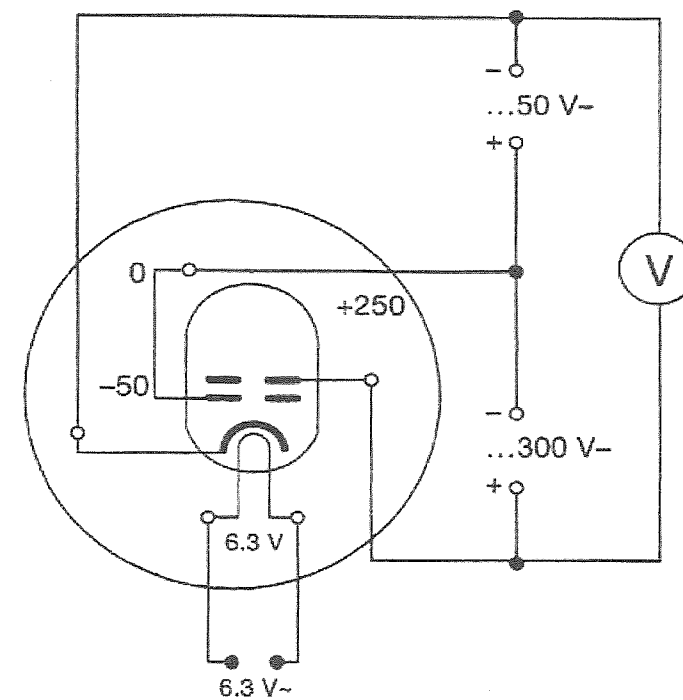


Rys. III.2. Schemat zasilania cewek Helmholtza [na podstawie [7]].

Układ zastosowanych cewek Helmholtza jest opisany w (I.8.);

A – amperomierz Peak Tech 2000 DMM ;

V – woltomierz cyfrowy AX-18B.



Rys III.3. Schemat obwodów zasilających działo elektronowe [7].

Działo elektronowe znajduje się w kulistej szklanej bańce [7]. Jego zadaniem jest wytworzenie wiązki elektronowej. Zbudowane jest ono z katody, siatki i anody. Do tych elektrod przyłożone są regulowane napięcia, odpowiednio: 6,3V, -50V i 250V. Obwód pośredniego żarzenia katody (materiał: tlenek baru) umożliwia uwalnianie z niej elektronów w procesie termoemisji. Powierzchnia metalu stanowi barierę potencjału dla elektronów, którą muszą pokonać, by wyrwać się z metalu. Stany energetyczne poniżej poziomu Fermiego są w zdecydowanej większości obsadzone. Obsadzenie maleje przy przejściu do energii powyżej poziomu Fermiego. Praca wyjścia to energia potrzebna do przeniesienia elektronu z poziomu Fermiego na poziom F_c (energia elektronu na zewnątrz metalu). Przyjmuje się, że:

$$W = e\Phi, \quad (\text{III.1.})$$

gdzie Φ – potencjał wyjścia mierzony w woltach.

Aby pokonać próg potencjału Φ i wyrwać się z metalu, elektrony muszą dostać dodatkową energię [6], [10], [17]. W miarę wzrostu temperatury elektrony w pobliżu poziomu Fermiego mogą zwiększyć swoją energię o wielkość rzędu kT i przejść na wyższe poziomy energetyczne. Jeśli praca wyjścia jest porównywalna z kT wtedy mogą nawet opuścić metal, pokonując potencjał wyjścia. Typowa energia Fermiego jest rzędu kilku elektronowoltów, natomiast energia kT w temperaturze pokojowej (300°K) wynosi ok. $0,025\text{eV}$, jest więc niewielkim ułamkiem energii Fermiego.

Aby elektron mógł opuścić powierzchnię metalu składowa jego prędkości w kierunku prostopadłym do powierzchni katody, musi spełniać warunek:

$$\frac{mv_x^2}{2} \geq \Phi + E_F . \quad (\text{III.2.})$$

W termoemisji źródłem energii dostarczanej elektronom koniecznej do pokonania powierzchniowej bariery potencjału, są drgania cieplne sieci krystalicznej, a warunek (III.2.) w praktyce spełniony jest w wysokich temperaturach, np. dla wolframu w temperaturze rzędu 1000 K .

Według równania Richardsona i Dushmana natężenie prądu termoemisji I wynosi:

$$I = AST^2 \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right) , \quad (\text{III.3.})$$

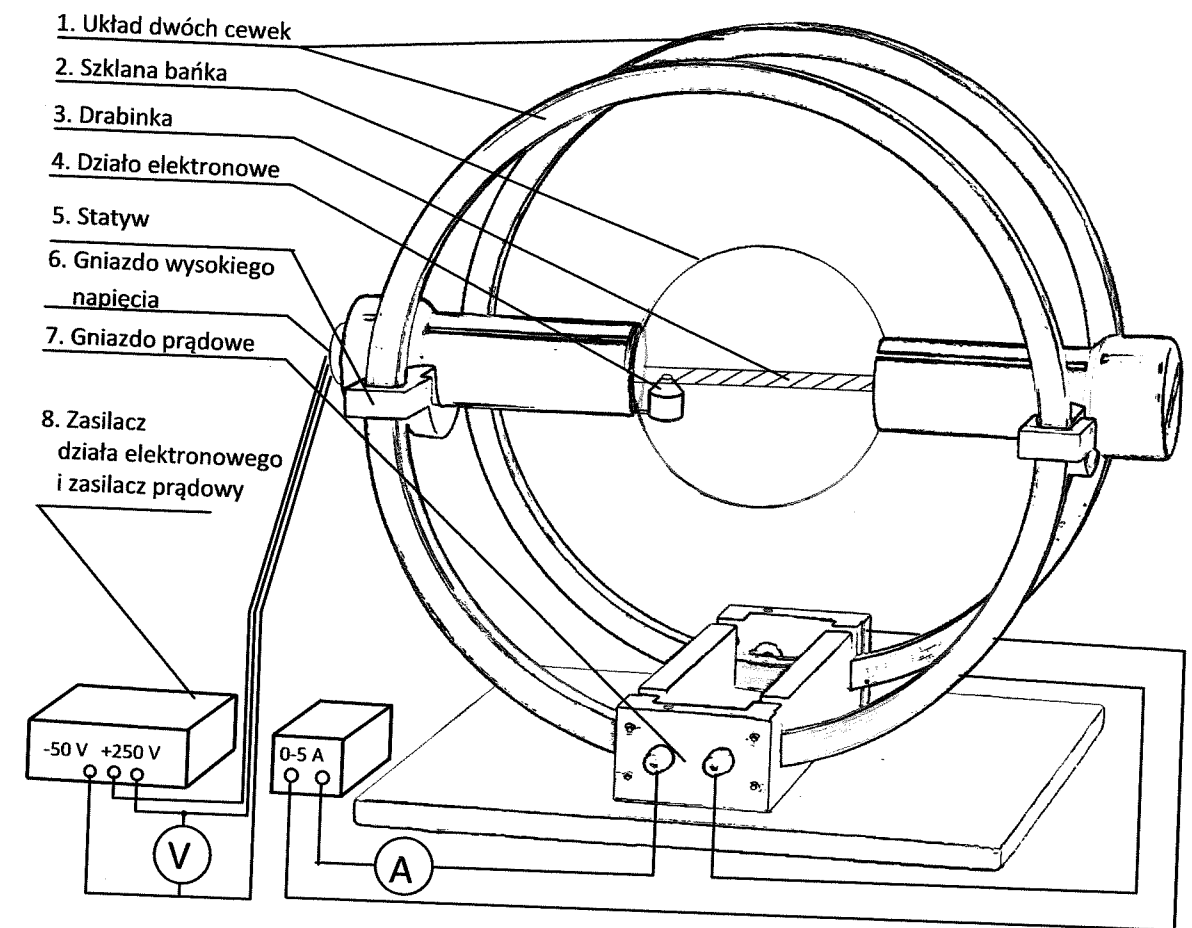
gdzie: A – stała Richardsona (zależna od temperatury, rodzaju powierzchni katody),

T – temperatura,

Φ – praca wyjścia dla dowolnego materiału.

Ujemne napięcie -50V ustawiane za pomocą potencjometru na siatce umożliwia formowanie wiązki elektronów, co ma wpływ na ostrość i jasność wiązki. Potencjometr 250V pozwala na regulację napięcia przyspieszającego na anodzie.

Schematyczny rysunek III.4. dotyczy lampy elektronowej wraz z jej zamocowaniem.



Rys.III.4. Schemat lampy elektronowej.

Lampa umieszczona jest w środku układu dwóch współosiowych cewek Helmholtza służących do wytworzenia pola magnetycznego [7]. Lampą tą, nazwijmy ją lampą elektronową, można obracać za pomocą przymocowanych do niej, odpowiednich uchwytów. Układ cewek składa się z dwóch identycznych równoległych do siebie cewek, połączonych szeregowo. W każdej z tych cewek prąd elektryczny płynie w tym samym kierunku. Cewki te składają się z 154 zwojów. Odległość między cewkami jest równa ich promieniom $R=0,2$ m. Taki układ, zgodnie z opisem w podrozdziale (I.8.), pozwala na uzyskanie jednorodnego pola magnetycznego. W bańce na osi cewek znajduje się działo elektronowe emitujące wiązkę elektronów. Pod wpływem pola magnetycznego wytworzona wiązka elektronów porusza się po spirali. Zapewniając dokładnie prostopadłą orientację wiązki elektronowej opuszczającej działo względem kierunku pola magnetycznego cewek Helmholtza tzn. pokręcając uchwytami lampy w

statywie, uzyskuje się ruch elektronów po okręgach, których promień zależy od wielkości pola magnetycznego. Wewnątrz lampy znajduje się metalowa drabinka pokryta fosforyzującą farbą świecąca pod wpływem padających na nią elektronów. Drabinka ta ma cztery szczeble w odległościach kolejno 4, 6, 8 i 10 cm od wylotu działa elektronowego [7]. Regulując wartość prądu płynącego przez cewki Helmholtza można uzyskać tor ruchu elektronów, przy którym przecinają one jeden z czterech szczebli drabinki. Pozwala to łatwo odczytać średnice okręgów, po których poruszają się elektrony.

Lampa wypełniona jest argonem pod niskim ciśnieniem około 0,1 Pa [7]. Obecność tego gazu szlachetnego o bardzo małym ciśnieniu odgrywa bardzo ważną rolę w formowaniu wiązki elektronów w lampie. Elektrony zderzając się z atomami argonu powodują ich jonizację. Wtórne elektrony powstałe w wyniku jonizacji atomów argonu są usuwane z wiązki (rozpraszane w różnych kierunkach). Pozostałe dodatnie jony argonu na skutek oddziaływań elektrostatycznych z pierwotnymi elektronami wiązki, pomagają w formowaniu wąskiego strumienia elektronów na całej długości okręgów, po których się poruszają. Ponadto dzięki rekombinacji jonów argonu następuje świecenie argonu, co umożliwia obserwację toru ruchu elektronów. W podrozdziale IV.2. podjęto próbę identyfikacji przejść elektronowych w atomach argonu skutkujących pojawieniem się w lampie wyraźnie widocznych torów ruchu elektronów o niebieskim zabarwieniu.

Lampa wraz z układem cewek tworzy swoiste urządzenie pomiarowe pozwalające na dokładne wyznaczenie wielkości ładunku właściwego e/m elektronu.

III.2. Przygotowanie układu do pomiaru.

Obwód połączono tak jak na schemacie na rysunku III.2. Szeregowe połączenie cewek zapewniało przepływ prądu o tym samym natężeniu w obu uzwojeniach. Przewody podłączono do gniazd prądowych obu cewek tak, aby w obu cewkach prąd płynął w tym samym kierunku. Woltomierz mierzył napięcie między zaciskami zasilacza oznaczonymi -50V i 250V. Przed włączeniem lampy wyzerowano oba zakresy pomiarowe -50V i 250V. Po tych czynnościach wstępnych w ciemni przeprowadzono pomiary. Dobrano warunki, w których wiązka elektronów była optymalnie widoczna, tzn. za pomocą potencjometru -50V ustawiano odpowiednie napięcie na siatce,

uzyskując żadaną ostrość i jasność promienia. Wartość napięcia na anodzie ustawiono wstępnie na około 100 V. Po uzyskaniu odpowiedniej intensywności wiązki elektronów (po 2-3 minutach) włączono zasilanie prądu płynącego przez cewki Helmholtza. Maksymalne dopuszczalne natężenie prądu I płynącego przez cewki wynosi 5 A. Po włączeniu zasilania prądu obserwowano zakrzywienie toru elektronów w gazie. Lampę ustawiono, pokręcając uchwyty lampy, w takiej pozycji, aby elektrony z działa elektronowego wylatywały w kierunku dokładnie prostopadłym do kierunku pola magnetycznego. Przy właściwym ustawieniu lampy, elektrony zataczały okrąg a nie spiralę. Zmieniając prędkość elektronów (tj. napięcie U anody przyspieszającej elektrony) oraz wielkość indukcji pola magnetycznego B (tj. natężenie prądu I w cewkach Helmholtza) tak dobierano promienie orbit elektronów, aby wiązka elektronowa przechodziła przez jeden z poprzecznych drucików, stanowiących „szczeble drabinki” w lampie. Znaczniki te fosforyzowały (światło o żółto-zielonym zabarwieniu) pod wpływem wiązki elektronów co pozwalało na określenie wielkości promieni kolejnych orbit elektronowych: $r = 0,02, 0,03, 0,04, 0,05$ m.

III.3. Zasada pomiaru i sposób wyliczenia stosunku e/m .

Energia kinetyczna elektronu o ładunku e i masie m uzyskana pod wpływem różnicy potencjałów U wynosi [7]:

$$eU = \frac{1}{2}mv^2, \quad (\text{III.4.})$$

gdzie v jest prędkością elektronu.

W polu magnetycznym o indukcji B na poruszający się elektron działa siła Lorentza:

$$\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B}). \quad (\text{III.5.})$$

W przypadku, gdy pole magnetyczne jest jednorodne, elektron porusza się po torze spiralnym wzdłuż linii sił pola magnetycznego. Przy dokładnym „skrzyżowaniu”

kierunków pól elektrycznego i magnetycznego \vec{v} jest prostopadłe do \vec{B} i wtedy elektrony poruszają się po okręgach. W takich warunkach siła Lorentza wynosi:

$$F = evB. \quad (\text{III.6.})$$

Siła ta jest równa sile dośrodkowej, zatem:

$$evB = \frac{mv^2}{r}. \quad (\text{III.7.})$$

Po prostym przekształceniu korzystając z równań (III.4.) i (III.7.) wielkość ładunku właściwego elektronu można wyliczyć jako:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{(Br)^2}. \quad (\text{III.8.})$$

Wszystkie wielkości po prawej stronie równania (III.8.) uzyskuje się z danych pomiarowych.

Wielkość indukcji pola magnetycznego wylicza się na podstawie prawa Biota-Savarta-Laplace'a (dokładniejszy opis znajduje się w podrozdziale I.8.):

$$B = \mu_0 I R^2 \left\{ \left(R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} + \left(R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right\}, \quad (\text{III.9.})$$

gdzie: $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am (przenikalność magnetyczna próżni),

I - natężenie prądu płynącego przez cewki,

a - odległość między cewkami.

Odległość z mierzona jest od punktu leżącego pośrodku cewek, w odległości $a/2$ od płaszczyzny każdej cewki. W otoczeniu punktu $z = 0$ pole magnetyczne jest najbardziej jednorodne, gdy $a = R$. W takim przypadku wzór (III.5.) przyjmuje postać:

$$B = \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \frac{\mu_0 I n}{R}. \quad (\text{III.10.})$$

W wykorzystywanym w doświadczeniu urządzeniu pomiarowym promień każdej z cewek wynosi 0,2 m. Każda z cewek składa się z 154 zwojów.

Po wstawieniu danych doświadczalnych otrzymuje się:

$$B = 6,93 \times 10^{-4} \text{ T} \quad (\text{III.11.})$$

Wstawiając wartość indukcji magnetycznej z równania (III.11.) do równania (III.8.) można wyliczyć wartość ładunku właściwego e/m jako:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{(6,93 \times 10^{-4} \text{ T} r)^2} \quad (\text{III.12})$$