

## Wyznaczanie $e/m$ za pomocą podłużnego pola magnetycznego

### Zagadnienia:

1. Ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym i magnetycznym.
2. Budowa i zasada działania lampy oscyloskopowej.
3. Wyprowadzenie wzoru na  $e/m$  dla metody podłużnego pola magnetycznego.

### Literatura:

1. Jerzy Massalski, Fizyka dla inżynierów cz. II, PWN W-wa 1975.
2. W.F. Nozdriew, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki ogólnej, PWN W-wa 1974, str.213-220
3. Tadeusz Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN W-wa 1980, str. 438-442.
4. Szczepan Szczeniowski, Fizyka doświadczalna cz. III, PWN W-wa 1972, str. 253-261, 301-306.
5. Arkadiusz Piekara, Elektryczność i magnetyzm, PWN W-wa 1970, str. 202-204.

## Wprowadzenie

### 1. Ruch elektronu w polu elektrycznym i magnetycznym.

Na elektron znajdujący się w polu elektromagnetycznym działa siła Lorentza składająca się z dwóch członów.

Pierwszy pochodzi od działania pola elektrycznego  $\vec{E}$ , drugi od pola magnetycznego o indukcji  $\vec{B}$ .

$$m\vec{a} = e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{B}$$

gdzie  $\vec{a}$  i  $\vec{v}$  przyspieszenie i prędkość elektronu.

Siła działająca na elektron w polu elektrycznym skierowana jest wzdłuż linii sił pola elektrycznego, a w polu magnetycznym prostopadle do kierunku linii sił indukcji magnetycznej i do prędkości  $\vec{v}$ .  
Przyspieszenie wynosi

$$\vec{a} = \frac{e}{m} (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Wartość  $e/m$  oznacza ładunek właściwy, gdzie:

$e$  – ładunek elektronu swobodnego

$m$  – masa spoczynkowa elektronu

Wielkość  $e/m$  jest jedną z podstawowych stałych fizycznych pojawiającą się w zagadnieniach elektrodynamiki klasycznej i kwantowej.

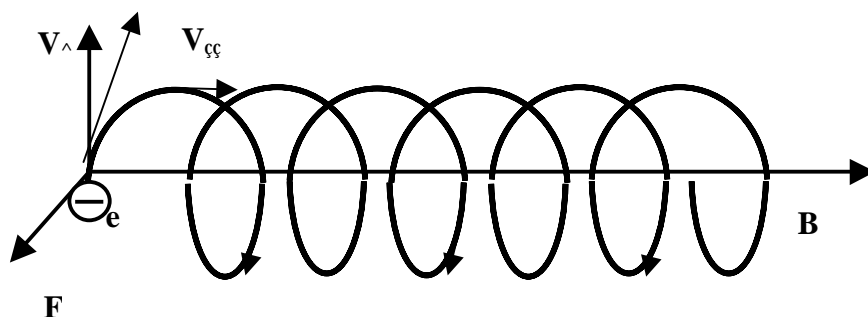
Obecnie osiągnięta dokładność określenia stałej  $e/m$  daje:

$$\frac{e}{m} = (1.758797 \pm 0.000006) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$$

### 2. Wyznaczanie $e/m$ metodą podłużnego pola magnetycznego.

Prędkość elektronu poruszającego się w polu magnetycznym można rozłożyć na dwie składowe  $\vec{V}_\perp$  i  $\vec{V}_{\parallel}$  /prostopadłą i równoległą do linii sił pola magnetycznego/

Pole  $B$  nie wpływa na składową równoległą prędkości, a wpływa na zmianę składowej normalnej prędkości / ruch po okręgu /. W wyniku złożenia tych dwóch ruchów elektron porusza się po linii śrubowej.



W ruchu po okręgu siła Lorentza spełnia rolę siły dośrodkowej:

$$eB_{\perp} = \frac{mV_{\perp}^2}{R}$$

Okres obiegu elektronu jest równy:

$$T = \frac{2\pi m}{eB}$$

W czasie równym okresowi obiegu elektron poruszający się ruchem prostoliniowym wzdłuż linii sił pola przebędzie drogę:

$$L = v_{\parallel} T$$

Ponieważ  $V_{\parallel} = V \cos \alpha$

$$L = \frac{2\pi m V \cos \alpha}{eB}$$

Gdy  $\alpha$  jest małym kątem to  $\cos \alpha \cong 1$

$$L = \frac{2\pi m V}{eB}$$

Stąd wniosek, że wszystkie elektrony wychodzące jednego punktu pod małymi, lecz różnymi, kątami do kierunku pola  $\vec{B}$  zostaną po wykonaniu jednego obiegu zogniskowane w jednym punkcie. Gdy elektron przyspieszony został w polu elektrycznym o różnicy potencjałów  $U$  to uzyskał energię kinetyczną:

$$\frac{mV^2}{2} = eU$$

Po uwzględnieniu poprzednich wzorów otrzymujemy:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{L^2 B^2}$$

## Instrukcja wykonania ćwiczenia

### 1. Aparatura

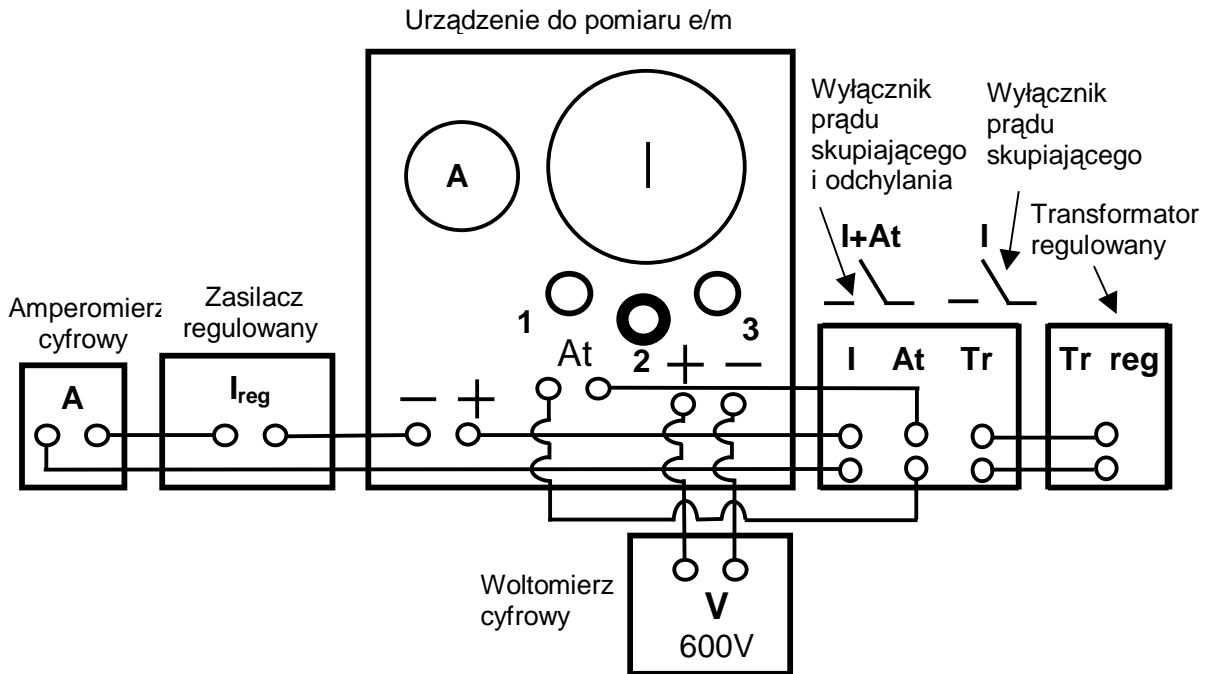
Do wytwarzania strumienia elektronów służy lampa oscyloskopowa. Umieszczona jest wewnątrz cewki, w której wytwarza się stałe pole magnetyczne. Cewka ta zasilana jest z zasilacza prądu stałego, a lampa oscyloskopowa przez prostownik oscyloskopu. Płytki odchylenia pionowego lampy podłączone są do autotransformatora (transformatora), a płytki odchylenia poziomego uziemione. Indukcja magnetyczna cewki wyraża się wzorem:

$$B = \frac{\mu I n}{\sqrt{d^2 + L^2}}$$

gdzie:  $I$  – natężenie prądu  
 $n$  – liczba zwoi  
 $d$  – średnica solenoidu  
 $L$  – długość cewki

### 2. Przebieg pomiarów

a) Zestawić aparaturę według schematu:



1, 3 – regulacje płamki  
2 – regulacja napięcia przyspieszającego

- Po uruchomieniu wszystkich przyrządów należy pokręteł 2 pod lampą oscyloskopową ustawić planowane napięcie anodowe, następnie pokrętełami 1 i 3 zogniskować wiązkę elektronów. Za moment zogniskowania należy uznać taki stan płamki, kiedy przy braku poświaty i ostrych jej granicach jej rozmiary są minimalne.
- Podać na płytki odchylenia pionowego niewielkie napięcie zmienne z transformatora. Na ekranie powinna ukazać się krótka, pionowa linia.
- Włączyć prąd cewki ogniskującej zwiększając jego natężenie aż do momentu ponownego zogniskowania wiązki elektronów. Poprzez równoczesne wyłączenie napięcia odchyłającego i prądu ogniskującego porównać obraz płamki z obrazem początkowym. Jeżeli będą się pokrywały uznać

strumień elektronów za zogniskowany i odczytać wartość prądu ogniskującego. Pomiar powtórzyć kilkakrotnie.

- e) Postępowanie opisane w podpunktach b–d powtórzyć dla kilku przyspieszających napięć anodowych.

**Uwaga!** Wzór na  $e/m$  jest słuszny, gdy elektron przechodzi jeden zwój linii śrubowej.

Do obliczeń wykorzystać następujące dane:

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| długość zwojnicy                    | $L = 93 \text{ mm}$                                      |
| średnica wewnętrzna zwojnicy        | $d = 65 \text{ mm}$                                      |
| liczba zwoi                         | $n = 630 \setminus 6 \text{ warstw po } 105 \text{ zw.}$ |
| grubość drutu uzwojeń               | $= 0.9 \text{ mm}$                                       |
| odległość początku płytek od ekranu | $L = 81 \text{ mm}$                                      |
| długość płytek                      | $= 16 \text{ mm}$  |
| odległość pomiędzy nimi             | $\cong 4 \text{ mm.}$                                    |