

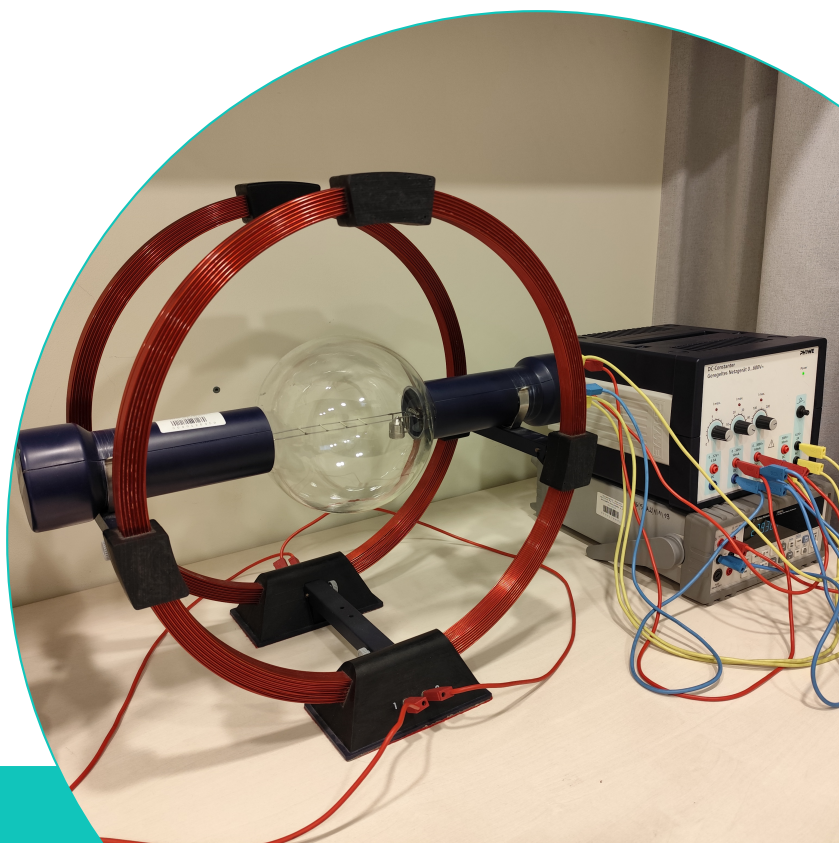


**DLF**

**DYDAKTYCZNE  
LABORATORIUM  
FIZYCZNE**

# Ćwiczenie 15

Wyznaczanie ładunku właściwego  
 $e/m$  elektronu

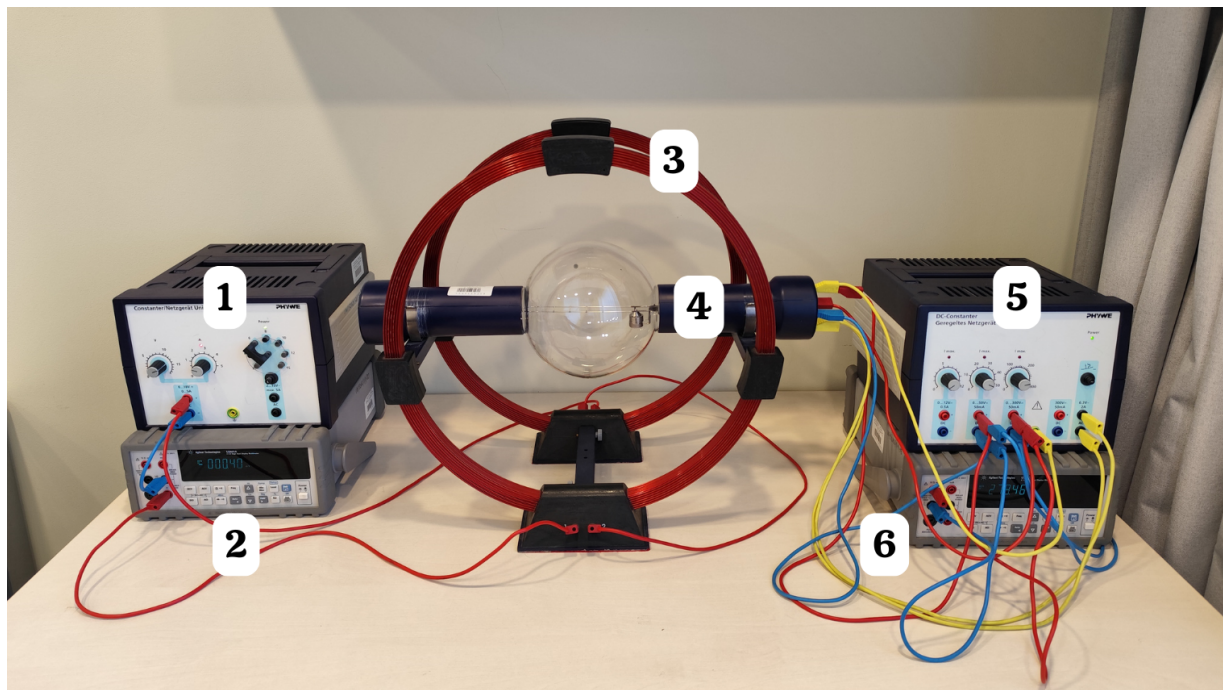


## I Proponowane zagadnienia do opracowania

1. Ładunek punktowy w polach elektrycznym i magnetycznym:
  - (a) wielkości charakteryzujące pola elektryczne i magnetyczne;
  - (b) ruch cząstek naładowanych w polach elektrycznym i magnetycznym:
    - siła elektrostatyczna,
    - energia potencjalna ładunku w polu elektrostatycznym,
    - siła Lorentza;
  - (c) pole magnetyczne przewodników z prądem:
    - obwodu kołowego,
    - solenoidu,
    - cewek Helmholtza;
  - (d) prawo Biota-Savarta-Laplace'a.
2. Metody wyznaczania ładunku właściwego  $e/m$  elektronu:
  - (a) ogniskowanie wiązki elektronów w podłużnym polu magnetycznym;
  - (b) metoda pól poprzecznych (Thomsona).
3. Budowa i zasada działania działa elektronowego.
4. Układ doświadczalny do wyznaczania ładunku właściwego  $e/m$  elektronu metodą Thomsona.
5. Atom argonu:
  - (a) konfiguracja elektronowa i poziomy energetyczne;
  - (b) energia wzbudzenia, energia jonizacji;
  - (c) przejścia elektronowe w argonie.
6. Zderzenia sprężyste i niesprężyste elektronów z atomami gazów.

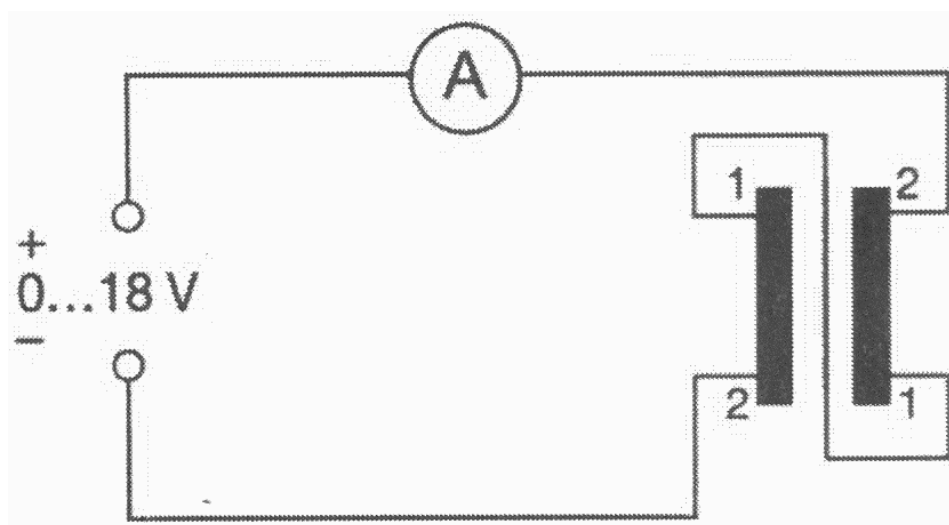
## II Zadania doświadczalne

1. Zapoznać się z układem pomiarowym przedstawionym na rys.1



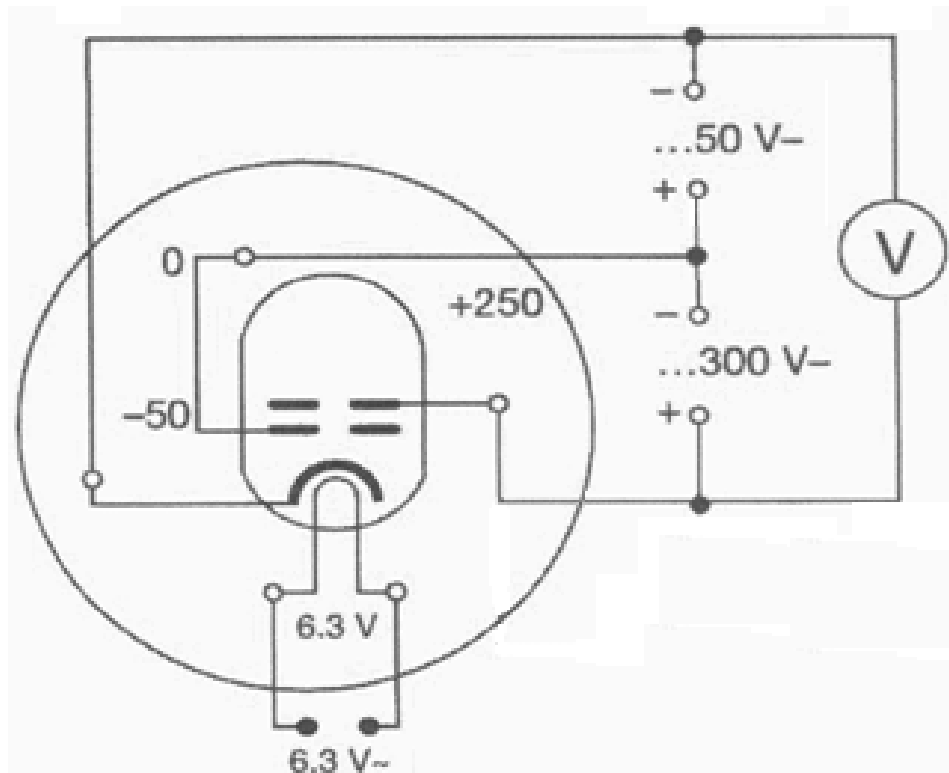
Rys. 1: Aparatura do wyznaczenia ładunku  $e/m$  elektronu: 1 - zasilacz; 2, 6 - mierniki uniwersalne; 3 - para cewek Helmholtza; 4 - lampa z działem elektronowym; 5 - zasilacz wielofunkcyjny.

2. Przygotować układ doświadczalny do pomiarów.
  - (a) Sprawdzić, czy cewki Helmholtza są podłączone zgodnie ze schematem przedstawionym na rys.2 tzn. szeregowo do obwodu zasilającego.



Rys. 2: Schemat zasilania cewek Helmholtza (źródło: Phywe).

- (b) Podłączyć obwody zasilające lampę elektronową zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3.



Rys. 3: Schemat obwodów zasilających lampę elektronową (źródło: Phywe).

- (c) Upewnić się, że pokrętki napięć zasilających 50 V i 250 V są w pozycji „0”.
- (d) Włączyć zasilacz wielofunkcyjny (5 na rys. 1) i ustawić wartości napięć 50 V i 250 V odpowiednio na siatce i na anodzie. Po pojawieniu się wyraźnie widocznej, niebiesko zabarwionej wiązki elektronów (po kilku minutach), włączyć zasilacz prądowy cewek Helmholtza (1 na rys. 1).
- (e) Ustawiane wartości napięcia kontrolować za pomocą miernika uniwersalnego (6 na rys. 1). Miernik ustawić na pomiar napięcia naciskając przycisk **DCV**, a następnie ustawić odpowiedni zakres (**V**) klikając przycisk  $\Delta$ .
- (f) Manipulując wartością napięcia i natężenia prądu płynącego przez cewki Helmholtza zakrzywić wiązkę elektronów tak, aby poruszała się po okręgu. Jeśli wiązka elektronów porusza się po spirali a nie po okręgu, ustawić lampę we właściwej pozycji przekręcając delikatnie jej uchwyty w zamocowaniach.
- (g) Na mierniku uniwersalnym (2 na rys. 1) ustawić pomiar natężenia prądu klikając przycisk **DCI**. Ustawić zakres pomiarowy na ampery **A** naciskając przycisk  $\Delta$ .



### Uwaga!

Maksymalne dopuszczalne natężenie prądu  $I$  płynącego przez cewki wynosi 5 A.

- Wykonać pomiary wartości napięcia anodowego  $U$  oraz natężenia prądu  $I$  w cewkach Helmholtza niezbędne do obliczenia ładunku  $e/m$  elektronu ze wzoru:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{(Br)^2}. \quad (1)$$

W tym celu zmieniać napięcie  $U$  w zakresie od 300 V do 140 V, co 20 V. Dla każdej wartości napięcia dobierać i zapisywać wartości natężenia prądu  $I$  w cewkach Helmholtza, przy których wiązka elektronów pada na kolejne „szczeble drabinki” wewnątrz lampy.

Promienie szczebli drabinki wynoszą kolejno  $r = 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$  m ( $\Delta r = 0.001$  m).

- Obliczyć wielkości indukcji pola magnetycznego cewek Helmholtza dla ustalonych w II.3 wartości natężenia prądu  $I$ .

Promienie cewek wynoszą  $R = 0.2 \pm 0.02$  m; liczba zwoi w jednej cewce to  $n = 154$ .

- Obliczyć wartość ładunku właściwego  $e/m$  elektronu wraz z niepewnością pomiarową.
- Porównać otrzymaną wartość z danymi tablicowymi.
- Zinterpretować niebieskie zabarwienie toru wiązki elektronów w lampie.

## III Zestaw przyrządów

- Zasilacz prądowy cewek Helmholtza.
- Miernik uniwersalny (amperomierz).
- Układ cewek Helmholtza.
- Lampa z działem elektronowym.
- Regulowany zasilacz napięciowy: 6.3 VAC; 0 - 50 VDC; 0-600 VDC.
- Miernik uniwersalny (woltomierz).

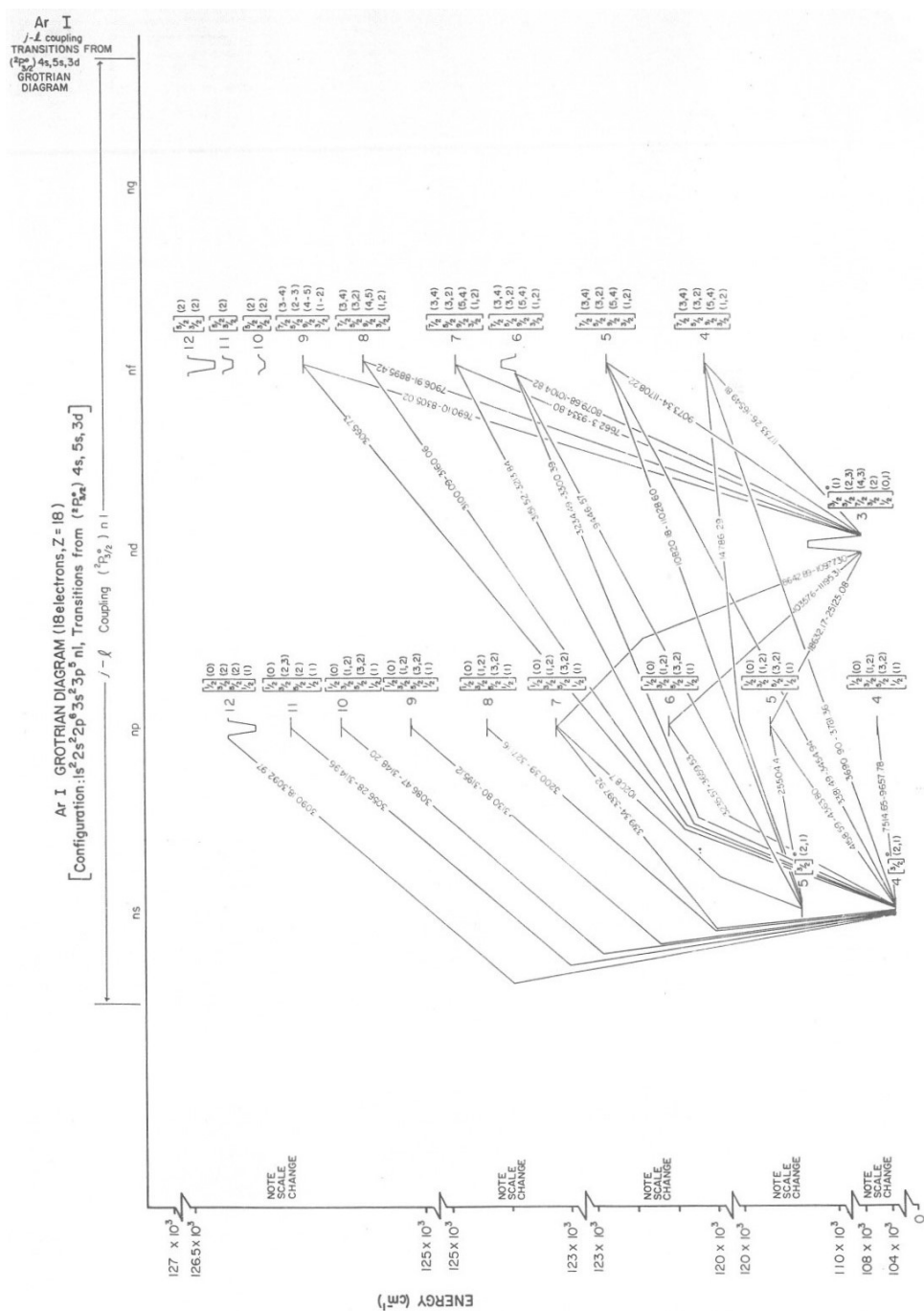
**Uwaga!**

Działo elektronowe spełnia niemieckie przepisy bezpieczeństwa z dnia 8 stycznia 1987 roku (§5(2) - RöV) dotyczące dozwolonych dawek promieniowania rentgenowskiego w działach elektronowych.

## IV Literatura

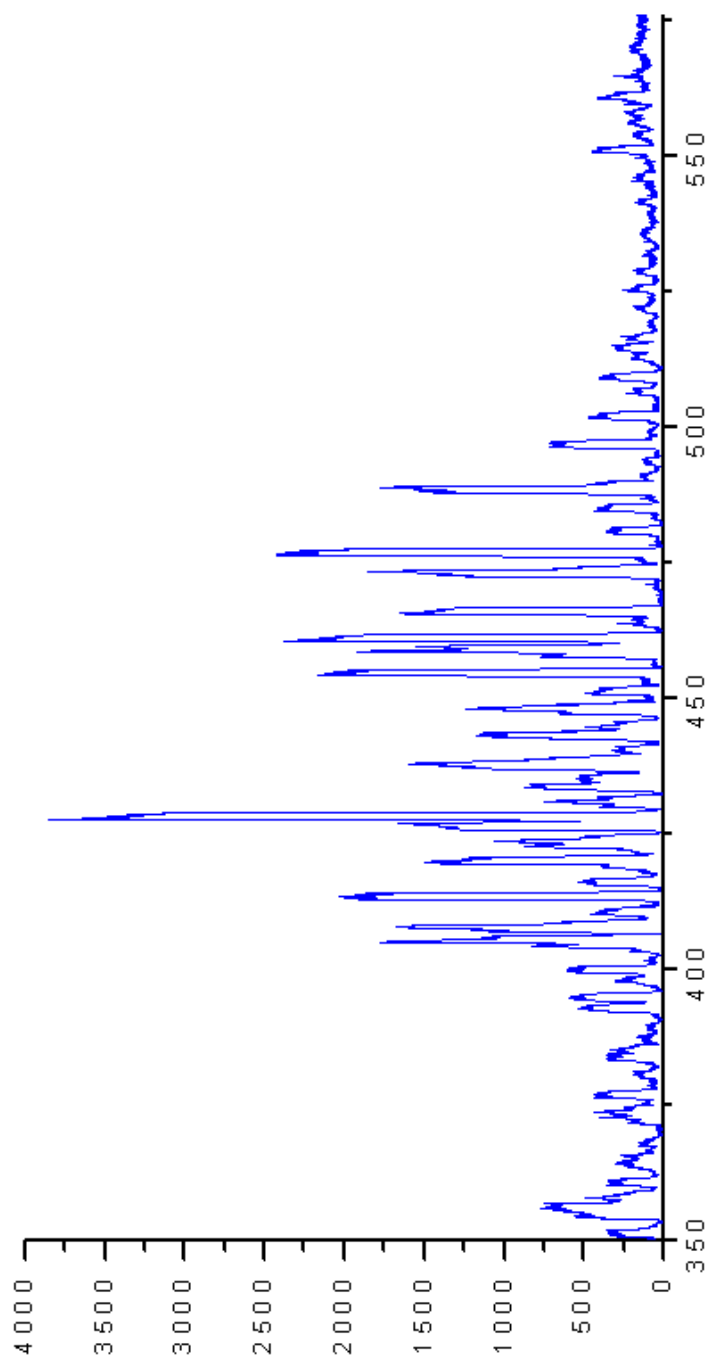
1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker – „Podstawy fizyki”, T. 3, PWN, Warszawa 2005.
2. R. P. Feynman – „Feynmana wykłady z fizyki”, T.2.1., PWN, Warszawa 2004.
3. H. A. Enge, M. R. Wehr, J. A. Richards – „Wstęp do fizyki atomowej”, PWN, Warszawa 1983.
4. Z. Leś – „Wstęp do spektroskopii atomowej ”, PWN, Warszawa Kraków, 1972.
5. J. Ginter – „Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego”, PWN, Warszawa 1996.
6. F. Kaczmarek – „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki dla zaawansowanych”, PWN, Warszawa 1986.
7. T. Wicka – „Wyznaczanie ładunku właściwego  $e/m$  elektronu”, praca magisterska UG, 2009.
8. PHYWE Systeme GmbH & Co – “Physics Laboratory Experiments”, manuals: 06959.00, 06960.00, set P2510200.
9. J. Sobelman – “Atomic Spectra and Radiative Transition”, Springer, 1979.
10. S. Bashkin, J.D. Stoner – “Atomic Energy – Level and Grotrian Diagrams”, Vol. II, North-Holland Publishing Company 1978.
11. F. J. Bueche – “Principles of Physics”, Springer, New York 2002.
12. B. H. Brandsen – “Physics of Atoms and Molecules”, Longman Scientific & Technical, Harlow 1994.
13. W. Demtröder – “Atoms, Molecules and Photons”, Springer Verlag, Berlin 2006.
14. E. W. Mc Daniel – “Atomic Collisions – Electron & Photon Projectiles”, John Wiley & Sons, New York 1989.
15. F. W. Sears, H.D. Young, M.W. Zemansky – “University Physics”, Pearson Addison – Wesley, San Francisco 2004.
16. R. P. Feynman, R. Leighton, M. Sands – “The Feynman Lectures on Physics”, Wesley 2005.

## V Dodatek A - Poziomy i przejścia elektronowe w argonie



Rys. 4: Schemat poziomów energetycznych i przejść elektronowych w atomie argonu.

## VI Dodatek B - Widmo emisyjne argonu



Rys. 5: Widmo emisji argonu.

## VII Dodatek C - Przydatne wzory

Elektron o masie  $m_0$  i ładunku  $e$  przyspieszony przez różnicę potencjału  $\vec{U}$  uzyskuje energię kinetyczną o wartości:

$$E_k = e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2, \quad (2)$$

gdzie  $v$  opisuje wartość prędkości elektronu.

W polu magnetycznym  $\vec{B}$  siła Lorentza działająca na elektron o prędkości  $\vec{v}$  zadana jest wzorem:

$$\vec{F}_L = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}. \quad (3)$$

Dla jednorodnego pola magnetycznego, jak w przypadku układu cewek Helmholtza, elektron porusza się po spirali wzdłuż linii sił pola magnetycznego. Kiedy  $\vec{v}$  jest prostopadły do  $\vec{B}$  elektron porusza się po okręgu o promieniu  $r$ .

Ponieważ wartość siły dośrodkowej  $m_0 \cdot \frac{v^2}{r}$  jest równa wartości siły Lorentza otrzymujemy

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r. \quad (4)$$

Podstawiając  $v$  do równania (2) mamy

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{(B \cdot r)^2}. \quad (5)$$

Dla symetrycznego układu dwóch cewek, rozmieszczonych w odległości  $a$ , składowa siły pola magnetycznego wzdłuż osi  $z$  wyraża się wzorem

$$B_z = \mu_0 \cdot I \cdot R^2 \left[ \left( R^2 + \left( z - \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} + \left( R^2 + \left( z + \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (6)$$

gdzie  $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$ .

Dla układu dwóch cewek Helmholtza ( $a = R$ ) o liczbie zwojów  $n$  otrzymujemy:

$$B = \left( \frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \mu_0 \cdot n \cdot \frac{I}{R}. \quad (7)$$

Dla cewek z układu doświadczalnego  $R = 0.2 \text{ m}$  i  $n = 154$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{(6.93 \cdot 10^{-4} \cdot I \cdot r)^2}. \quad (8)$$

Wartość literaturowa:  $\frac{e}{m} = 1.759 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$