

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Temat: Wyznaczanie ładunku właściwego elektronu metodą poprzecznego pola magnetycznego (lampa Thomsona)			
Wydział	AEiI	Kierunek	Informatyka
Nr grupy	1	Rok akademicki	2023/2024
Rok studiów	2	Semestr	3

L.P.	Imię i nazwisko
1.	Karol Pitera
2.	Dominik Kłaput
3.	

Data pomiarów	13.12.2023
---------------	------------

Ocena poprawności elementów sprawozdania

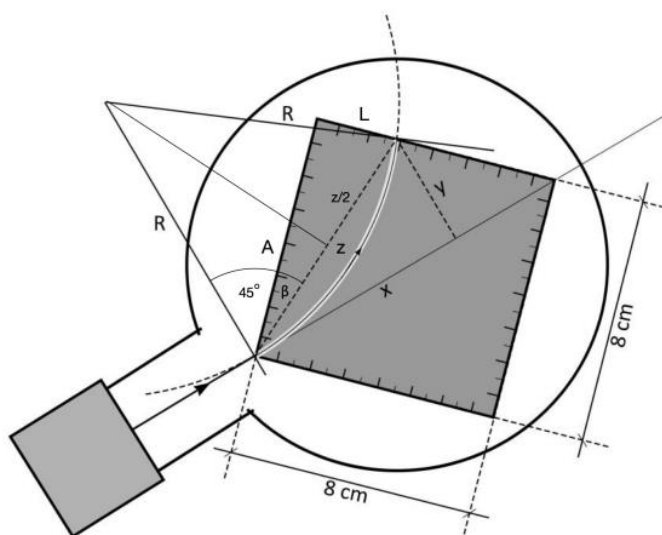
data oceny	wstęp i cel ćwiczenia	struktura sprawozdania	obliczenia	rachunek niepewność i	wykres	zapis końcowy	wnioski

Ocena końcowa:

Ocena lub liczba punktów	
Data i podpis	

Wstęp teoretyczny

Lampa Thomsona to szklana bańka, wypełniona powietrzem pod szczątkowym ciśnieniem. Głównym elementem lampy jest działo elektronów, widocznych w ciemni jako smuga, gdy oddziałują z ekranem pokrytym luminoforem. Ekran jest kwadratem o boku $A = 80 \text{ mm}$, oznaczonym skalą milimetrową na każdym z boków.



Rys.1: Lampa Thomsona [1]

Trajektorię strumienia elektronów emitowanych z katody zakrzywia w okrąg zewnętrzny, jednorodne pole magnetyczne, którego źródłem są dwie cewki w tzw. układzie Helmholtza, czyli na wspólnej osi, w odległości równej promieniowi cewek. Regulując napięcie przyspieszające (a więc prędkość elektronów) lub prąd płynący przez cewki (indukcję pola magnetycznego obecnego w obszarze lampy), można uzyskać różne promienie okręgów R.

Zadaniem eksperymentatora jest znalezienie takich par prądu cewki I_H oraz napięcia przyspieszającego U, dla których promień okręgu R jest jednakowy.

Długość R wyznacza się na podstawie śladu strumienia elektronów na luminoforze, w oparciu o odczytaną ze skali ekranu odległość L punktu przecięcia wiązki z krawędzią ekranu (rys. 1). Układ pomiarowy składa się z lampy Thomsona, zasilacza lampy umożliwiającego regulację napięcia przyspieszającego elektrony U, i z zasilacza prądu stałego płynącego w cewkach Helmholtza I_H

Powyższy wstęp teoretyczny w większości został zapożyczony z instrukcji do laboratorium [1]

Opracowanie pomiarów:

1. Obliczanie wartości promienia R dla każdej wartości L.

Dzięki posiadanym danym L oraz A (długości boku ekranu), skorzystaliśmy z twierdzenia Pitagorasa aby obliczyć podstawę trójkąta równoramiennego o bokach R, oznaczoną zmienną Z:

$$Z = \sqrt{A^2 + L^2}$$

Następnie wyznaczyliśmy jego kąt β przy podstawie:

$$\beta = \arccos\left(\frac{A}{Z}\right)$$

Obliczyliśmy wartość kąta α :

$$\alpha = 45^\circ + \beta$$

Który pozwolił nam na wyznaczenie wysokości trójkąta H o bokach R ze wzoru:

$$H = \frac{Z}{2} \cdot \tan \alpha$$

Następnie znając H obliczono długość boku R będącego równocześnie szukany promieniem:

$$R = \sqrt{H^2 + \left(\frac{Z}{2}\right)^2}$$

L [mm]	40	35	30
R [mm]	141,4	119,8	103,2
β [°]	26,6	23,6	20,6

2. Przeliczanie wartości prądu cewek Helmholtza I_H na wartość indukcji pola magnetycznego. Do obliczeń użyto wzoru:

$$B = kI_H$$

Gdzie:

$$\bullet \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \mu_o \cdot \frac{N}{R_H} = 0,0034669 \frac{T}{A}$$

μ_o - bezwzględna przenikalność magnetyczna, N – liczba zwojów w cewkach Helmholtza, R_H - promień cewek (równy odległości między cewkami)

Wyniki znajdują się w tabeli poniżej:

U, kV	L=40mm		L=35mm		L=30mm	
	I_H , A	B, mT	I_H , A	B, mT	I_H [A]	B, mT
2.4	0.447	1.549704	0.527	1.827056	0.596	2.066
2.6	0.47	1.629443	0.539	1.868659	0.627	2.174
2.8	0.491	1.702248	0.57	1.976133	0.66	2.288
3	0.5	1.73345	0.583	2.021203	0.68	2.357
3.2	0.512	1.775053	0.602	2.087074	0.693	2.403
3.4	0.531	1.840924	0.614	2.128677	0.711	2.465
3.6	0.54	1.872126	0.63	2.184147	0.731	2.534
3.8	0.566	1.962265	0.659	2.284687	0.752	2.607
4	0.581	2.014269	0.67	2.322823	0.773	2.680
4.2	0.588	2.038537	0.684	2.37136	0.79	2.739
4.4	0.611	2.118276	0.71	2.461499	0.806	2.794
4.6	0.619	2.146011	0.718	2.489234	0.821	2.846

3. Wyznaczenie zależności między napięciem U przyspieszającym elektrony a indukcją B pola magnetycznego.

Z zasady zachowania energii:

$$1^\circ \quad eU_A = \frac{mV^2}{2}$$

$$2^\circ \quad \frac{e}{m} \cdot U_A = \frac{V^2}{2}$$

Następnie z prawa dynamiki ruchu po okręgu:

$$3^\circ \quad \frac{mV^2}{R} = e \cdot V \cdot B$$

$$4^\circ \quad \frac{e}{m} = \frac{V}{B \cdot R}$$

$$5^\circ \quad \frac{e}{m} = \frac{V^2}{2U_A}$$

$$6^\circ \quad \frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A} \cdot \left(\frac{e}{m} \cdot B \cdot R \right)^2$$

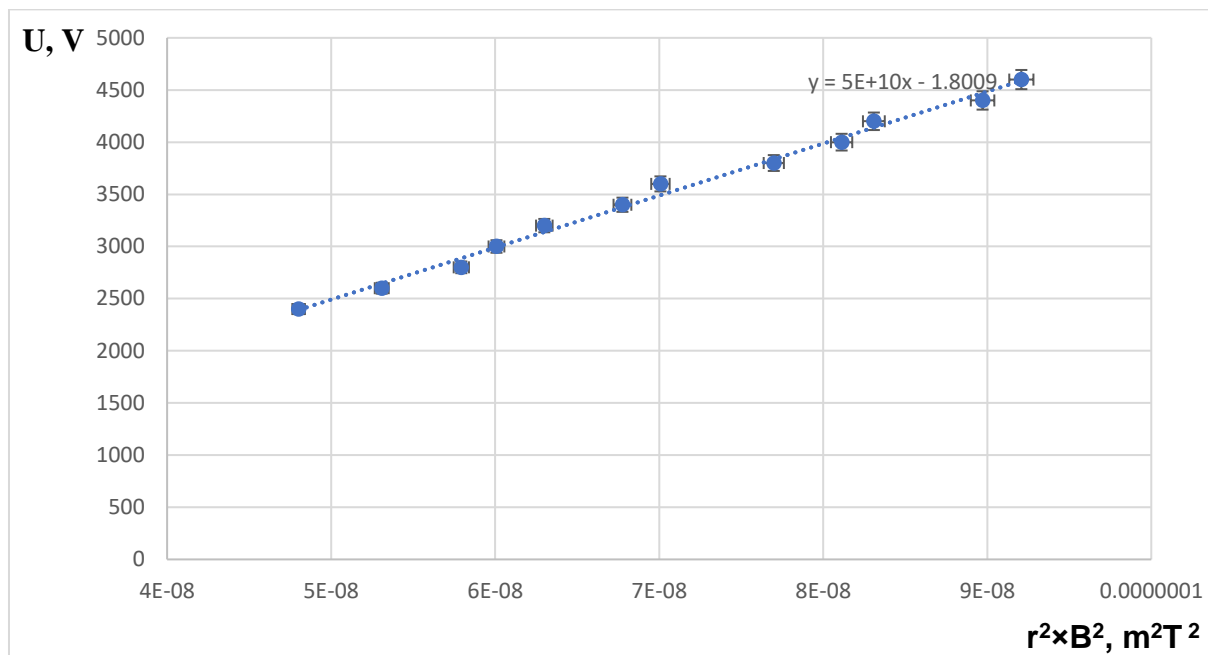
$$7^\circ \quad \frac{e}{m} = \frac{2U_A}{B^2 \cdot R^2}$$

$$8^\circ \quad U_A = \frac{e \cdot B^2 \cdot R^2}{2m}$$

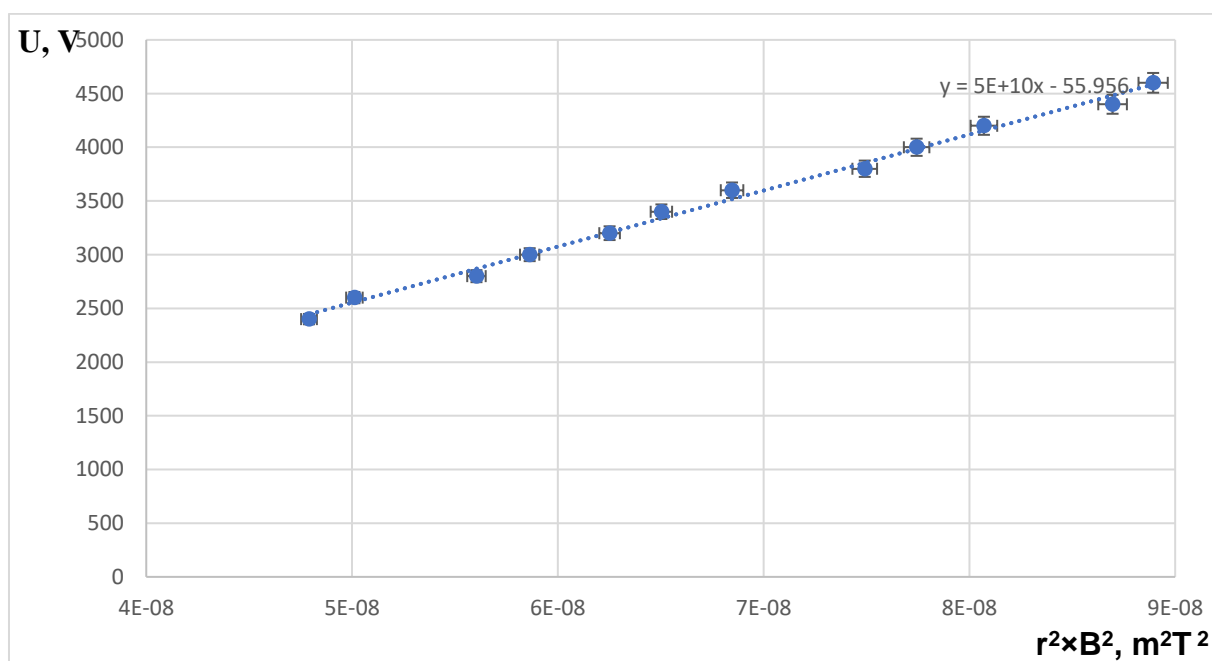
4. Wykreślanie zależności $U(R^2B^2)$:

	$r^2 \times B^2, \text{ mm}^2 \text{T}^2$		
U[kV]	r = 141mm	r = 120mm	r = 103mm
2.4	48.02	47.91	45.47
2.6	53.09	50.12	50.32
2.8	57.94	56.05	55.76
3	60.08	58.63	59.19
3.2	63.00	62.52	61.48
3.4	67.76	65.03	64.71
3.6	70.08	68.47	68.40
3.8	76.99	74.91	72.39
4	81.12	77.44	76.49
4.2	83.09	80.71	79.89
4.4	89.71	86.96	83.16
4.6	92.08	88.93	86.28

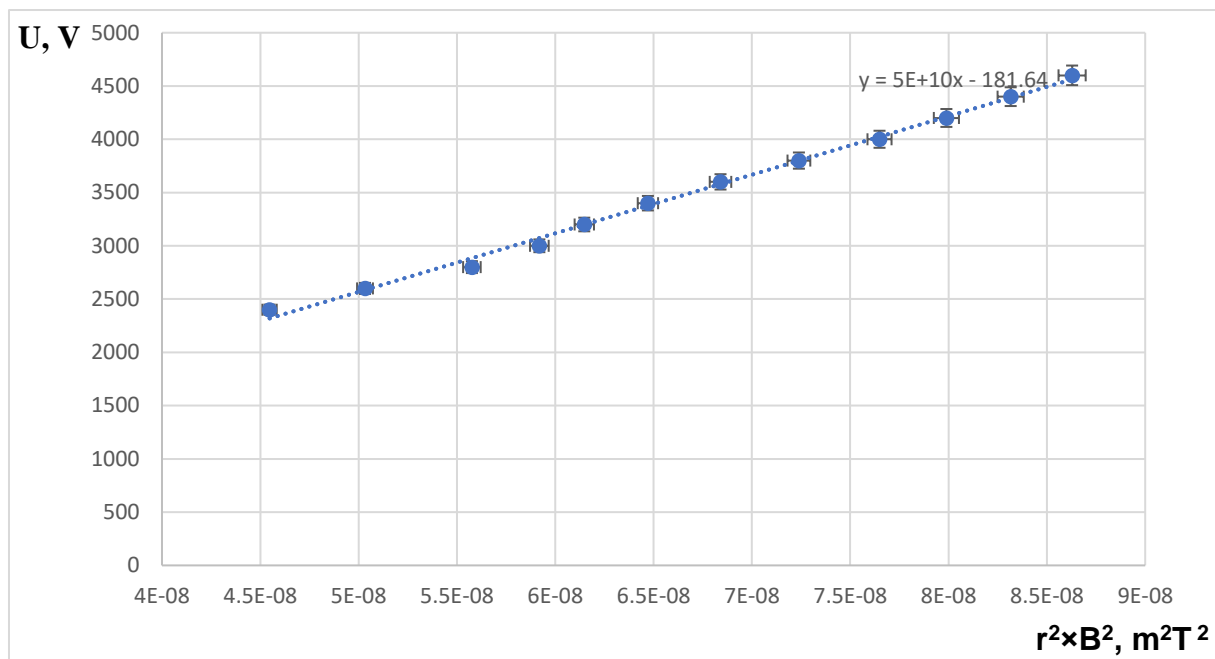
Dla lepszej wizualizacji funkcji trendu umieszczonej na wykresie nie użyliśmy jednostek miary



Rys.2: Wykres przedstawiający zależność napięcia U od współczynnika $r^2 \times B^2$ dla $r = 0,141m$



Rys.3: Wykres przedstawiający zależność napięcia U od współczynnika $r^2 \times B^2$ dla $r = 0,12m$



Rys.4: Wykres przedstawiający zależność napięcia U od współczynnika $r^2 \times B^2$ dla $r = 0,103m$

5. Następnie wyznaczyliśmy współczynniki kierunkowe prostych korzystając z metody regresji liniowej.

Dla $R = 141 \text{ mm}$:

$$a_1 = 4,99 \times 10^{10}$$

$$b_1 = -1,8$$

$$u(a_1) = 1,28 \times 10^9$$

$$u(b_1) = 91,6$$

zatem:

$$a_1 = 4,99(13) \times 10^{10}$$

$$b_1 = -1,8(92)$$

Dla $R = 120 \text{ mm}$:

$$a_2 = 5,22 \times 10^{10}$$

$$b_2 = -56$$

$$u(a_2) = 1,22 \times 10^9$$

$$u(b_2) = 84,8$$

zatem:

$$a_2 = 5,22(12) \times 10^{10}$$

$$b_2 = -56(85)$$

Dla R = 103 mm:

$$a_3 = 5,49 \times 10^{10} \quad b_3 = -181,64$$

$$u(a_3) = 1,09 \times 10^9 \quad u(b_3) = 74,34$$

zatem:

$$a_3 = 55,2(11) \quad b_3 = -182(74)$$

6. Wyznaczyliśmy ładunek właściwy elektronu e/m .

Do obliczenia e/m wykorzystaliśmy wzór:

$$U_A = \frac{e \cdot B^2 \cdot R^2}{2m}$$

Który można przekształcić do:

$$U_A = \frac{e}{2m} \cdot (B^2 \cdot R^2) \quad \text{Gdzie:}$$

- U_A to X

- $B^2 R^2$ to Y

Powyższą postać można przekształcić do:

$$Y = \frac{e}{2m} \cdot X$$

$$\frac{e}{2m} = a$$

Zatem:

$$\frac{e}{m} = 2a$$

R, mm	141	120	103
$e/m, \text{C/kg} \times 10^{11}$	0,99	1,04	1,09

Zatem średnia wartość ładunku właściwego wynosi:

$$\frac{e}{m}_{\text{sr}} = 1,04 \text{ C/kg} \times 10^{11}$$

7. Obliczyliśmy niepewności $u(e/m)$ oraz zapisaliśmy wyniki w odpowiednim formacie.

Korzystamy ze wzoru na propagację niepewności:

$$u\left(\frac{e}{m}\right) = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{e}{m}}{\partial a} u(a)\right)^2}$$

R, mm	141	120	103
$u(e/m), \text{C/kg} \times 10^9$	2,56	2,44	2,18
$e/m, \text{C/kg} \times 10^{11}$	0,990(26)	1,040(24)	1,090(22)

8. Wyznaczyliśmy niepewność rozszerzoną $U(e/m)$:

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = k \cdot u_{sr}\left(\frac{e}{m}\right) \quad \text{gdzie } k=2 \text{ (współczynnik poziomu ufności)}$$

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 2 \cdot 2,39 \cdot 10^9 = 4,78 \cdot 10^9$$

Wartość tablicowa [2] ładunku właściwego elektronu wynosi:

$$\frac{e}{m} = 1,759 \cdot 10^{11}$$

Wartość bezwzględna z różnicy pomiędzy wartością tablicową ładunku właściwego elektronu, a tą obliczoną przez nas wynosi:

$$\left| 1,759 \cdot 10^{11} - 1,04 \cdot 10^{11} \right| = 7,19 \cdot 10^{10} \text{ C/kg}$$

Obliczona wartość jest większa od wyznaczonej przez nas niepewności rozszerzonej.

Wnioski:

W trakcie badania wyraźnie zaobserwowaliśmy zależność między energią strumienia elektronów a siłą indukcji pola magnetycznego, zmieniając jeden z tych parametrów natychmiast widzieliśmy znaczącą zmianę w torze ruchu elektronów.

Linia którą na luminoforze znaczyły przelatujące cząstki, była dość szeroka co bez wątpienia wpłynęło na dokładność pomiarów. Jednak mimo tego zależności $U(R^2 \times B^2)$ okazały się mieć w przybliżeniu oczekiwany charakter liniowy.

Podczas testu zgodności różnica tablicowego wyniku ładunku właściwego elektronu i wyniku obliczonego przez nas okazała się większa od niepewności rozszerzonej. Zatem doświadczenie należy uznać za niezgodne. Przypuszczamy, że głównymi przyczynami niepowodzenia były błąd ludzki oraz nasze niewielkie doświadczenie.

Bibliografia:

[1] Instrukcja do powyższego laboratorium:

https://platforma.polsl.pl/rif/pluginfile.php/126/mod_resource/content/12/P2-E1-InstrukcjaStrona.pdf

[2] Wartości tablicowe ładunku właściwego elektronu:

<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>

[3] Ruch cząstki naładowanej w polu magnetycznym – OpenStax:

<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-2/pages/11-3-ruch-czastki-na%C5%BCadowanej-w-polu-magnetycznym>