

Wydział Wydział WFiS	Imię i nazwisko 1. Paulina Majchrzak 2. Jakub Kowalewski	Rok 2	Grupa 1	Zespół 2
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiS AGH	Temat: Hallotron			Nr ćwiczenia 43
Data wykonania 09.03.2022	Data oddania 16.03.2022	Zwrot do popr. 23.03.2022	Data oddania 06.04.2022	Data zaliczenia
				OCENA

Ćwiczenie nr 43: Hallotron

Abstrakt

W doświadczeniu wykonane zostało cechowanie hallotronu półprzewodnikowego za pomocą cewki. Za pomocą pomiarów natężenia prądu płynącego przez hallotron oraz napięcia Halla wyznaczono stałą hallotronu. W dalszej części zbadano zależność indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez cewkę, przez którą przepływa prąd elektryczny, oraz dwóch magnesów neodymowego oraz ferrytowego, od odległości od źródła pola. Wyniki dla cewki porównano z zależnościami teoretycznymi. Zmierzono także zależność pola od wysokości na jakiej znajdował się hallotron, w trzech różnych odległościach od źródła. Wyniki zestawiono na wspólnym wykresie oraz dla cewki porównano z teoretycznymi.

1. Wstęp teoretyczny

Efekt Halla jest to zjawisko polegające na wytworzeniu się napięcia poprzecznego w przewodniku (płytkę, hallotronie), podczas przepływu prądu, umieszczonego w polu magnetycznym. Na każdy ładunek elektryczny poruszający się w polu B działa siła Lorentza, opisana wzorem:

$$F_L = qvB \quad (1)$$

Poprze działanie tej siły na ładunki zakrzywiają swój tor ruchu i stopniowo gromadzą się po jednej stronie płytki. Powodują to wytworzenie różnicy potencjałów, gdyż po jednej ze stron zgromadziły się ładunki ujemne, zaś po drugiej dodatnie tym samym tworząc różnice potencjałów, czyli napięcie. Napięcia to nazywamy napięciem Halla. Wytwarza się pole elektryczne a siła działająca w tym polu z czasem zrównoważy siłę pochodzącą od pola magnetycznego:

$$qE = qvB \quad (2)$$

Z danego równania możemy wyznaczyć wzór na Napięcie Halla, które jest równe:

$$U_H = vBd \quad (3)$$

Z Napięcia Halla liczymy gęstość prądu. Gęstość prądu jest to stosunek natężenia prądu płynącego w przewodniku do pola powierzchni poprzecznej:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{I}{dh} \quad (4)$$

Wielkość tą można też opisać jako iloczyn prędkości nośników ładunków, ich koncentracji (ilość na jednostkę pola powierzchni poprzecznej) oraz wartości samego ładunku.

$$j = vnq \quad (5)$$

Wyznaczając po kolei z wzoru 5 prędkość, podstawiając za gęstość prądu wyrażenie 4 oraz otrzymane wartości wstawiając do wzoru 3 otrzymamy wzór na napięcie Halla (stała c – stała hallotronu).

$$U_H = \frac{1}{hnq} IB, \quad c = \frac{1}{hnq} \quad (6)$$

Relacja ta zazwyczaj nie jest spełniona dla rzeczywistych hallotronów. Do budowy hallotronu używa się najczęściej płytek z półprzewodników. Ciężko jest zrealizować idealną symetrię układu, a oporność płytki powodują wystąpienie dodatkowego napięcia:

$$U = U_H + U_R = cI_h B + I_h R \quad (7)$$

Prawo Biota-Savarta opisują nam przyczynę pola magnetycznego pochodzący od kawałka przewodnika liniowego o długości dl , w punkcie o odległości r od przewodnika przez który płynie prąd o natężeniu I_s :

$$dB = \frac{\mu_0 I_c}{4\pi} \frac{dl \times r}{r^3} \quad (8)$$

Na podstawie tego prawa możemy wyznaczyć wzór na indukcję magnetyczną pola generowanego przez cewkę, w odległości z od środka cewki:

$$B(z) = \frac{B_0}{\left(1 + \frac{z^2}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (9)$$

, gdzie B_0 to indukcja pochodząca od cewki, w jej środku:

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I_c}{2R} \quad (10)$$

Możemy także wyznaczyć zależność tą dla magnesu, traktując go jako dipol elektryczny:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi z^3} \quad (11)$$

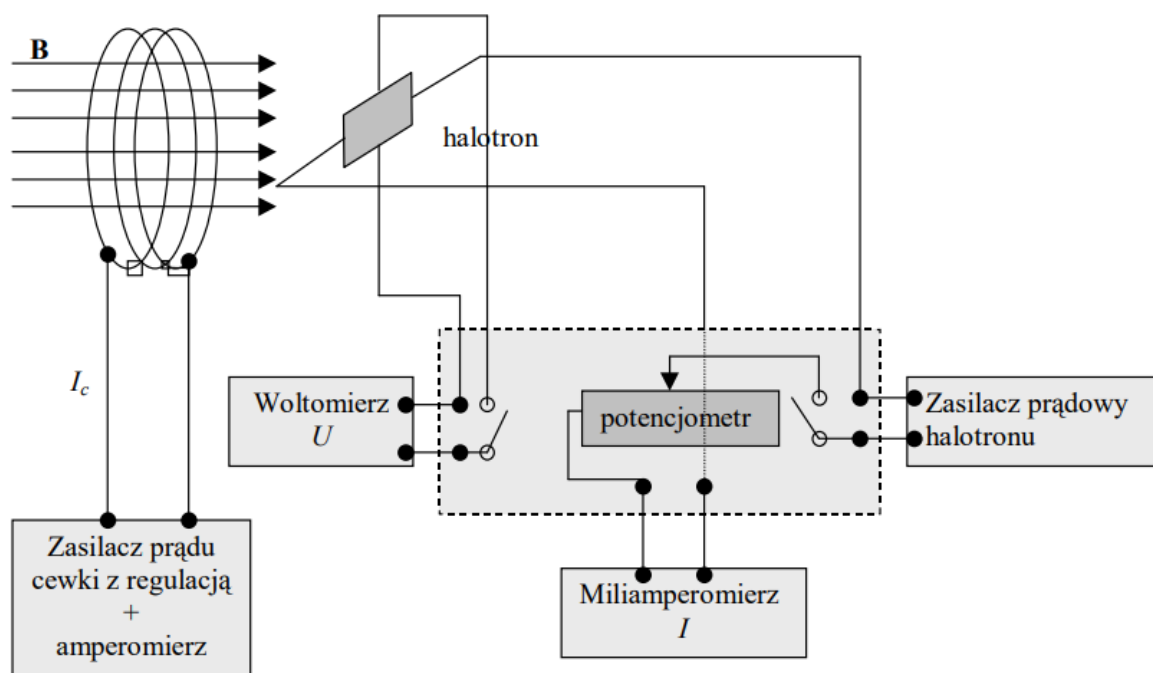
Do wyznaczenia teoretycznych wartości indukcji pola magnetycznego wokół cewki przydatny będzie także wzór otrzymany za pomocą prawa Biota-Savarta:

$$B = \frac{\mu_0 N I_c}{4\pi} 2 \sum_{k=1}^n \frac{\Delta l_k \times r_k}{|r_k|^3} \quad (12)$$

2. Aparatura użyta w doświadczeniu:

Aparatura użyta w doświadczeniu:

- Woltomierz Digital multimetr V562, firmy Meratronik, zakres 200mV, niepewność 0,1 mV
- Amperomierz (multimetr) UNI-T UT70A, niepewność 0,1 mA
- hallotron półprzewodnikowy
- cewka o promieniu równym 4,75 cm, 40 zwojów,
- magnes neodymowy
- magnes ferrytowy

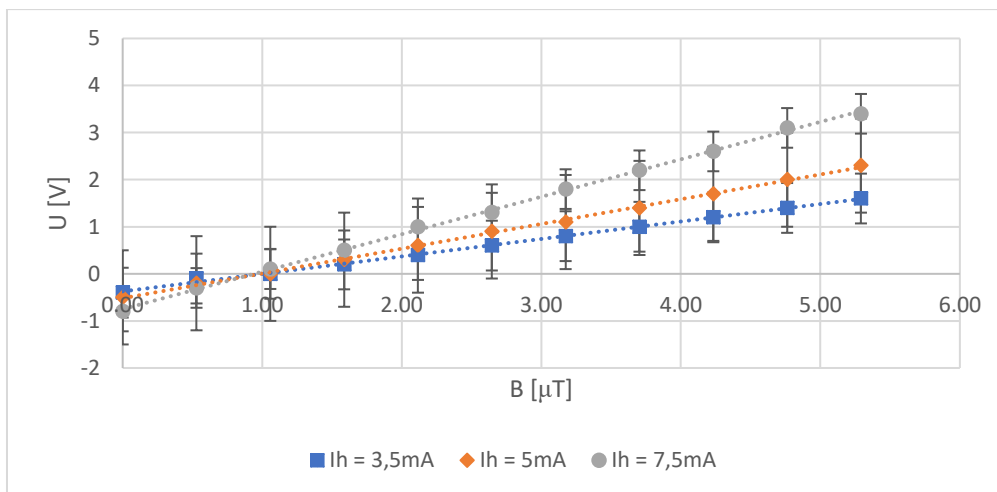


Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego. Zasilacz podłączony cewki wraz z amperomierzem. Część układu połączona z hallotronem – woltomierz, miliamperomierz.

3. Sposób wykonania i obliczenia.

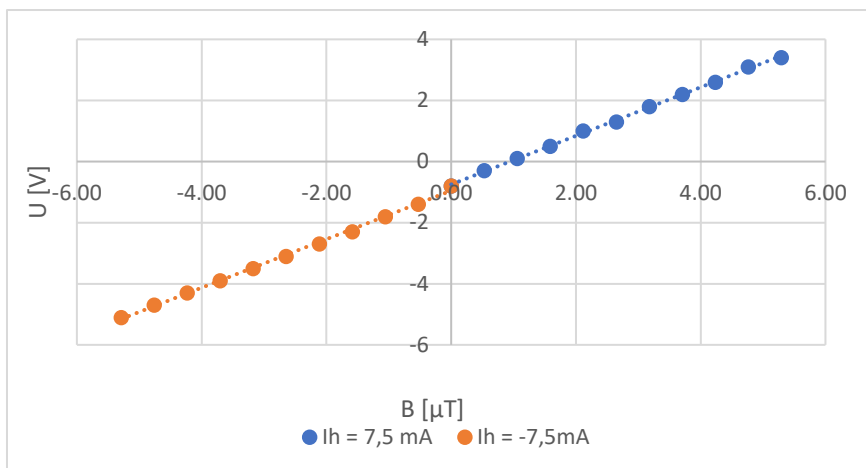
Doświadczenie rozpoczęliśmy od cechowania hallotronu. Ustawiliśmy prąd hallotronu I_h na wartość 3,5mA umieszczając jednocześnie hallotron w centrum cewki. Następnie zaczęliśmy zwiększać natężenie prądu płynącego w cewce I_c od 0 do 10 mA, zmieniając go co 1 mA. Dla każdej wartości odczytaliśmy napięcie na woltomierzu. Analogiczne pomiary wykonaliśmy dla I_h równego 5 i 7,5 mA. Dla większej dokładności cechowania pomiar dla 7,5 mA powtórzyliśmy także w odwróconej kalibracji.

Korzystając z wzoru 10 wyliczyliśmy wartość indukcji pola wytwarzanego przez cewkę w jej środku dla każdej wartości prądu płynącego przez cewkę (wyniki umieszczone w tabelach 1,2,3 w aneksie). Zależności wartości $U(B)$ dla trzech różnych prądów w hallotronie przedstawia poniższy wykres.



Wykres 1. Punkty otrzymane w wyniku pomiaru napięcia wytworzonego na hallotronie oraz wyznaczonych dla nich wartości indukcji magnetycznej, dla trzech różnych wartości prądu I_h , otrzymana zależność $U(B)$.

Dla prądu hallotronu o wartości 7,5 mA wykonane zostały także pomiary dla odwrotnej kalibracji.



Wykres 2. Punkty otrzymane w wyniku pomiaru napięcia wytworzonego na hallotronie oraz wyznaczonych dla nich wartości indukcji magnetycznej, dla wartości prądu $I_h = 7,5$ mA dla dwóch kalibracji, otrzymana zależność $U(B)$.

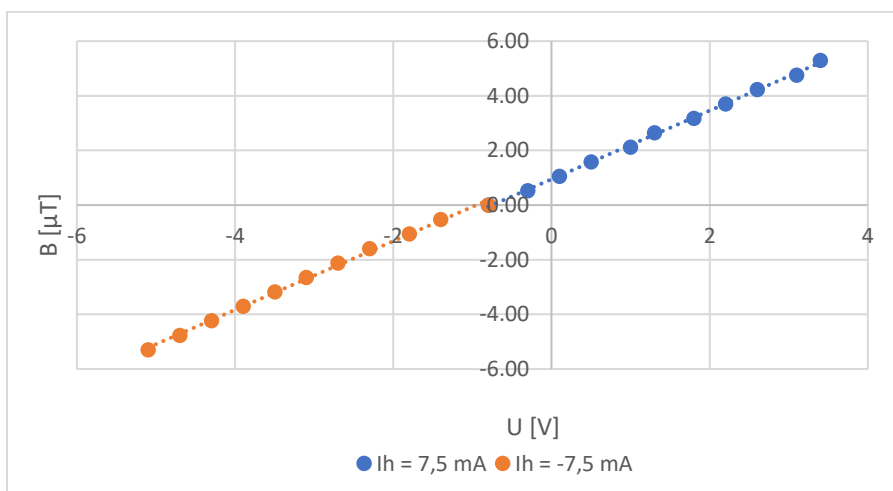
Na powyższym wykresie możemy zaobserwować że proste regresji dla danych pomiarów prawie się pokrywają.

Współczynniki prostych mają wartość wraz z niepewnościami odpowiednio:

$$\begin{array}{lll} a = 0,7955 \text{ m}^2/\text{s} & u(a) = 0,0083 \text{ m}^2/\text{s} & \text{oraz} \\ a_{odw} = 0,7938 \text{ m}^2/\text{s} & u(a_{odw}) = 0,0125 \text{ m}^2/\text{s} & \text{dla odwrotnej kalibracji.} \end{array}$$

Porównując obie wartości w granicach niepewności pomiarowych widzimy że są one sobie równe, co potwierdza że proste te powinny się pokrywać.

$$\begin{array}{lll} |a - a_{odw}| & < & u(a) + u(a_{odw}) \\ |0,7955 - 0,7938| = 0,0017 \text{ m}^2/\text{s} & < & 0,0083 + 0,0125 = 0,0208 \text{ m}^2/\text{s} \end{array}$$



Wykres 3. Punkty otrzymane w wyniku pomiaru napięcia wytworzonego na hallotronie oraz wyznaczonych dla nich wartości indukcji magnetycznej, dla wartości prądu $I_h = 7,5$ mA dla dwóch kalibracji, otrzymana zależność $B(U_h)$.

Jak widać dla odwrotnej relacji także współczynniki pokrywają się w granicach niepewności pomiarowych:

$$\begin{aligned} a &= 1,256 \text{ s/m}^2 & u(a) &= 0,013 \text{ s/m}^2 & \text{oraz} \\ a_{odw} &= 1,257 \text{ s/m}^2 & u(a_{odw}) &= 0,020 \text{ s/m}^2 & \text{dla odwrotnej kalibracji.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |a - a_{odw}| &< u(a) + u(a_{odw}) \\ |1,256 - 1,257| = 0,001 \text{ s/m}^2 &< 0,013 + 0,020 = 0,033 \text{ s/m}^2 \end{aligned}$$

Z regresji liniowej w programie Excel, za pomocą funkcji „reglinp”, wyznaczyliśmy współczynniki prostych z ich niepewnościami dla trzech pierwszych zależności przedstawionych na wykresie 1. Na podstawie wzoru 7 możemy wyznaczyć wartość stałej hallotronu jako iloraz współczynnika kierunkowego prostej oraz prądu płynącego przez hallotron. Ostatecznie przyjmujemy jako wynik średnią arytmetyczną otrzymanych wartości c .

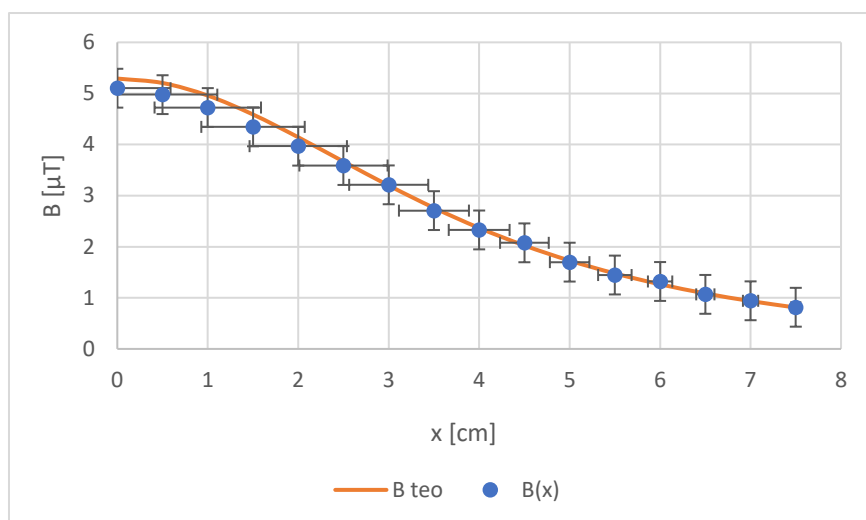
Tabela 10. Wyniki regresji liniowej dla zależności $U(B)$, wraz z niepewnościami otrzymanymi z funkcji „reglinp” w programie Excel. Podana też została stała hallotronu oraz jej niepewność wyznaczona z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych.

I_h [mA]	a [m ² /s]	b [V]	$u(a)$ [m ² /s]	$u(b)$ [V]	c [m ² /sA]	$u(c)$ [m ² /sA]
3,5	0,3711	-0,373	0,0052	0,016	106	30
5	0,5258	-0,518	0,0058	0,018	105	21
7,5	0,7955	-0,750	0,0083	0,026	106	14
średnia:					106	22

W dalszej części doświadczenia przystąpiliśmy do badania zależności pola magnetycznego w różnych odległościach od cewki. Pomiarzy wykonaliśmy dla odległości od 0 do 8,5 cm, zmieniając ją co 0,5 cm przy stałej wysokości (na osi symetrii cewki) jednocześnie odczytując napięcie.

Za pomocą wzoru 7 możemy wyliczyć indukcję magnetyczną dla danych odległości (wyniki obliczeń znajdują się w tabeli 4. w aneksie).

Wartości B w różnych odległościach od cewki na osi symetrii możemy porównać z wartościami „teoretycznymi” wyznaczonymi z wzoru 9.



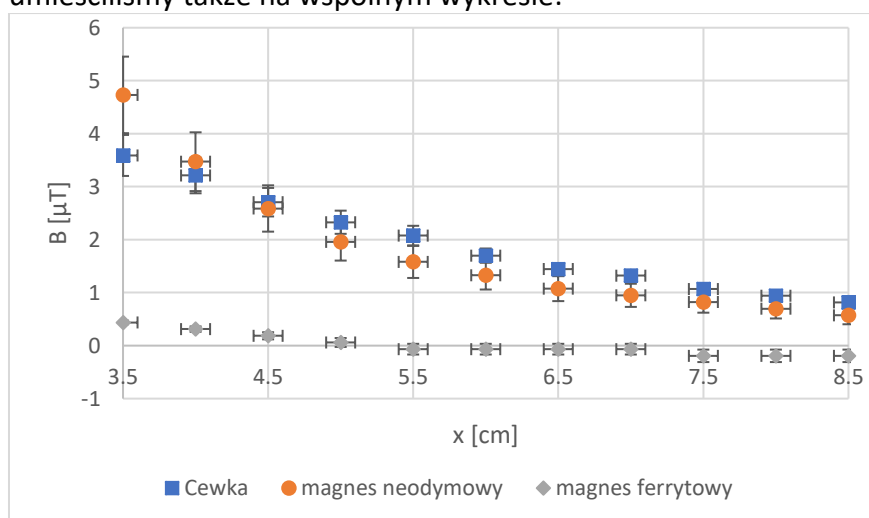
Wykres 4. Zależności indukcji magnetycznej od odległości od cewki, wytwarzającej pole, wraz z słupkami niepewności pomiarowych. Niepewności wyznaczone dla każdego punktu oddzielnie z prawa przenoszenia niepewności. Wyniki umieszczone przy odpowiednich wartościach B , w tabelach w aneksie.

Punkty pomiarowe przypadają niżej na wykresie jednak po przeskalowaniu widzimy że zależność pokrywa się z wartościami teoretycznymi w granicach błędów pomiarowych, zaznaczonych za pomocą słupków błędów na powyższym wykresie.

Analogicznie wykonaliśmy pomiary wartości napięcia w danych odległościach dla magnesów ferrytowego oraz neodymowego.

Wartości indukcji także wyznaczamy za pomocą wzoru 7. a wyniki znajdują się w tabelach 6. i 8. w aneksie. Niepewności pomiarowe zarówno dla indukcji przy pomiarach dla cewki, jak i magnesów, są wyznaczone z prawa przenoszenia niepewności oraz wzoru. Umieszczone zostały w odpowiednio wymienionych tabelach.

Dla porównania wyników otrzymanych dla cewki oraz magnesów punkty pomiarowe umieściliśmy także na wspólnym wykresie:

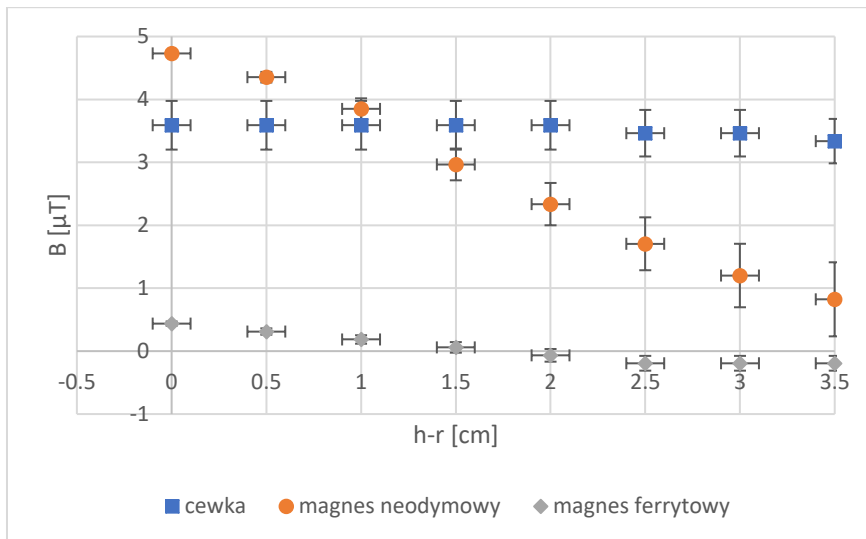


Wykres 5. Zależność $B(x)$ dla cewki, magnesu neodymowego, magnesu ferrytowego, wraz z zaznaczonymi słupkami niepewności pomiarowych. Niepewności dla odległości przyjęte jako 0,1cm (dokładność linijki), a dla B wyznaczone z prawa przenoszenia niepewności oraz umieszczone w odpowiednich tabelach przy wynikach.

Wraz z odległością widzimy duże zmiany wartości indukcji magnetycznej dla magnesu neodymowego, mniejsze dla cewki oraz znikome dla magnesu ferrytowego (wytworzonego najslabsze pole, ujemne wartości pojawiają się z powodu większych wartości współczynnika b równego w naszej zależności $I_h R$, w porównaniu do wartości mierzonego napięcia).

Dla trzech wybranych wartości odległości, pomiary wykonaliśmy także dla różnych wysokości.

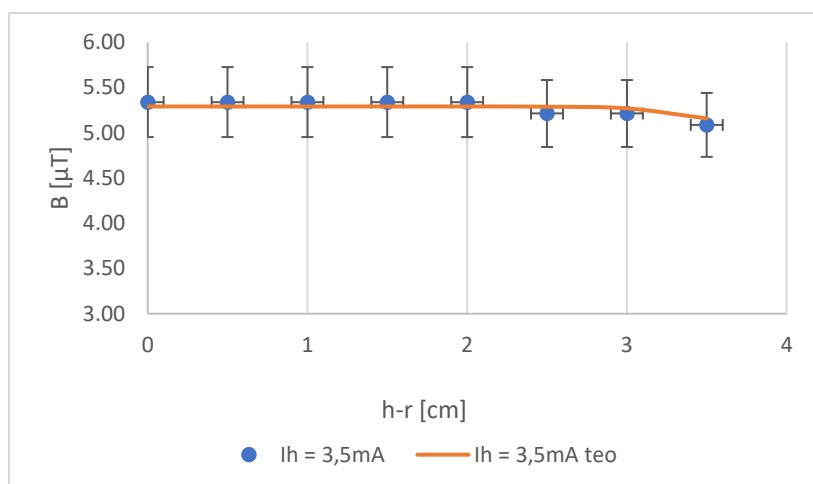
Porównaliśmy zmiany pola w pionie dla cewki oraz dwóch magnesów. Poniższy wykres obrazuje zależność wartości indukcji pola od wysokości (mierzona od środka w górę, ze względu na symetryczność w przeciwną stronę rozkład pola będzie analogiczny) dla jednej, tej samej odległości od obiektów, równej 3,5 cm.



Wykres 6. Zależność indukcji magnetycznej od wysokości liczonej od środka dla cewki, magnesu neodymowego oraz ferrytowego w odległości 3,5cm, wraz z zaznaczonymi słupkami niepewności pomiarowych. Niepewności dla wysokości przyjęte jako 0,1cm (dokładność linijki), a dla B wyznaczone z prawa przenoszenia niepewności oraz umieszczone w odpowiednich tabelach przy wynikach.

Jak można zauważyć na wykresie ale i po wynikach obserwacji (tabele 5,7,9 w aneksie) największe różnice pola w zależności od wysokości pojawiają się w przypadku magnesu neodymowego. Dla cewki i magnesu ferrytowego różnice są bardzo małe, wręcz wartość utrzymuje się na podobnym poziomie wraz z wzrostem wysokości.

Dla cewki wyznaczone wartości indukcji w zależności od wysokości możemy porównać z zależnością teoretyczną. Wyniki teoretyczne otrzymane zostały za pomocą wzoru 12. Weźmiemy pod uwagę tylko składową w kierunku osi symetrii cewki, ponieważ ta wielkość była mierzona za pomocą hallotronu.



Wykres 7. Zależność indukcji magnetycznej od wysokości liczonej od środka dla cewki, przeskalowana. Wyniki pomiarów i obliczeń składowej wzdłuż osi symetrii cewki, wraz z niepewnościami, wyznaczonymi z prawa przenoszenia niepewności – zaznaczone słupki niepewności. Krzywa teoretyczna wyznaczona za pomocą wzoru 12.

Jak widać nasze wyniki po przeskalowaniu pokrywają się w granicach niepewności z krzywą teoretyczną. Zależność nie jest porównana z teoretyczną dla magnesów z powodu trudności w wyznaczeniu jej.

Wszystkie niepewności pomiarów B wyznaczone są z prawa przenoszenia niepewności za pomocą odpowiednich wzorów, wyliczone w programie "Excel" oraz umieszczone we wszystkich tabelach w aneksie.

4. Podsumowanie i wnioski.

Doświadczenie rozpoczęliśmy od cechowania naszego hallotronu. Za pomocą zmierzonych wartości napięcia wytworzonego na hallotronie oraz natężenia prądu płynącego przez niego wyznaczyliśmy współczynniki prostych regresji liniowych. Z otrzymanych wartości udało się wyznaczyć następującą wartość wraz z jej niepewnością:

$$c = 106 \text{ m}^2/\text{sA} \quad u(c) = 22 \text{ m}^2/\text{sA}$$

Wielkość ta głównie zależy od jakości i technologii wytwarzania materiału przewodzącego.

Pomiary dla prądu I_h równego 7,5 mA wykonaliśmy także dla odwrotnej kalibracji. Dla zależności $B(U_h)$ otrzymaliśmy następujące współczynniki prostych kierunkowych, wraz z niepewnościami:

$$a = 1,256 \text{ s/m}^2 \quad u(a) = 0,013 \text{ s/m}^2 \quad \text{oraz} \\ a_{odw} = 1,257 \text{ s/m}^2 \quad u(a_{odw}) = 0,020 \text{ s/m}^2 \quad \text{dla odwrotnej kalibracji.}$$

Co pokazuje że proste te się pokrywają w granicach niepewności pomiarowych:

$$|1,256 - 1,257| = 0,001 \text{ s/m}^2 < 0,013 + 0,020 = 0,033 \text{ s/m}^2$$

Za pomocą tej stałej badaliśmy w dalszej części zależności pól wytwarzanych przez cewkę z prądem oraz dwa magnesy (neodymowy i ferrytowy) w zależności od odległości od środka cewki lub w trzech określonych odległościach w zależności od wysokości od środka.

Wyniki zostały porównane razem na wspólnych wykresach (wykresy 5,6). Wartości dla cewki zostały porównane także z zależnościami teoretycznymi wyznaczonymi za pomocą odpowiednich wzorów (wykresy 4,7). Nasze wyniki zgadzają się w granicach błędów pomiarowych z teorią. Wraz z odległością od cewki indukcja magnetyczna odpowiednio maleje, podobnie dla wysokości. W odległości od środka na osi pionowej spadek jednak jest bardzo wolny, ze względu na odległość od cewki nie większą niż promień. W bliskiej odległości pole wewnątrz solenoidu jest zbliżone do jednorodnego.

5. Literatura

- Rys [1] – z instrukcji wykonania doświadczenia 43 ze strony Pracowni Fizycznej AGH
http://www.ftj.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/43_opis.pdf (z dnia 03.05.2022)

- [Elektromagnetyzm i Optyka - Czytaj online - Open AGH](#)

- [Przeczytaj - Zintegrowana Platforma Edukacyjna \(zpe.gov.pl\)](#)

6. Aneks

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności przy $I_h = 3,5$ mA dla cewki o promieniu $r = 0,0475$ m., I_c – prąd cewki.

I_c [mA]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
0	-0,4	0,00	0,53
1	-0,1	0,53	0,53
2	0	1,06	0,53
3	0,2	1,59	0,53
4	0,4	2,12	0,53
5	0,6	2,65	0,53
6	0,8	3,17	0,53
7	1	3,70	0,53
8	1,2	4,23	0,54
9	1,4	4,76	0,54
10	1,6	5,29	0,54

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 5$ mA dla cewki o promieniu $r = 0,0475$ m.

I_c [mA]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
0	-0,5	0,00	0,53
1	-0,2	0,53	0,53
2	0	1,06	0,53
3	0,3	1,59	0,53
4	0,6	2,12	0,53

5	0,9	2,65	0,53
6	1,1	3,17	0,53
7	1,4	3,70	0,53
8	1,7	4,23	0,54
9	2	4,76	0,54
10	2,3	5,29	0,54

Tabela 3. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 7,5$ mA dla cewki o promieniu $r = 0,0475$ m.

I_c [mA]	U [V]	Odw. Kalibr.	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
0	-0,8	-0,8	0,00	0,53
1	-0,3	-1,4	0,53	0,53
2	0,1	-1,8	1,06	0,53
3	0,5	-2,3	1,59	0,53
4	1	-2,7	2,12	0,53
5	1,3	-3,1	2,65	0,53
6	1,8	-3,5	3,17	0,53
7	2,2	-3,9	3,70	0,53
8	2,6	-4,3	4,23	0,54
9	3,1	-4,7	4,76	0,54
10	3,4	-5,1	5,29	0,54

Tabela 4. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_c = 10$ mA, $I_h = 7,5$ mA, dla różnych odległości od cewki.

odległość [cm]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
0	3,5	5,10	0,59
0,5	3,6	5,23	0,61
1	3,5	5,10	0,59
1,5	3,4	4,98	0,57
2	3,2	4,72	0,54
2,5	2,9	4,35	0,49
3	2,6	3,97	0,44
3,5	2,3	3,59	0,39
4	2	3,21	0,34
4,5	1,6	2,71	0,27
5	1,3	2,33	0,22
5,5	1,1	2,08	0,19
6	0,8	1,70	0,13
6,5	0,6	1,45	0,10
7	0,5	1,320	0,084
7,5	0,3	1,068	0,051
8	0,2	0,942	0,034
8,5	0,1	0,816	0,017

Tabela 5. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_c = 10 \text{ mA}$, $I_h = 7,5 \text{ mA}$, dla wysokości dla cewki, $h-r$ – wysokość mierzona od środka cewki.

odległość [cm]	$h-r$ [cm]	U [V]	B [μT]	$u(B)$ [μT]
3,5	0	2,3	3,59	0,39
	0,5	2,3	3,59	0,39
	1	2,3	3,59	0,39
	1,5	2,3	3,59	0,39
	2	2,3	3,59	0,39
	2,5	2,2	3,46	0,37
	3	2,2	3,46	0,37
	3,5	2,1	3,34	0,35
4,5	0	1,6	2,71	0,27
	0,5	1,6	2,71	0,27
	1	1,6	2,71	0,27
	1,5	1,6	2,71	0,27
	2	1,6	2,71	0,27
	2,5	1,5	2,58	0,25
	3	1,4	2,45	0,24
	3,5	1,3	2,33	0,22
7,5	0	0,3	1,068	0,051
	0,5	0,3	1,068	0,051
	1	0,3	1,068	0,051
	1,5	0,3	1,068	0,051
	2	0,2	0,942	0,034
	2,5	0,2	0,942	0,034
	3	0,1	0,816	0,017
	3,5	0,1	0,816	0,017

Tabela 6. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 7,5 \text{ mA}$ pomiary dla magnesu Neodymowego w różnych odległościach.

odległość [cm]	U [V]	B [μT]	$u(B)$ [μT]
3,5	-4,3	-4,73	0,72
4	-3,3	-3,47	0,55
4,5	-2,6	-2,59	0,44
5	-2,1	-1,96	0,35
5,5	-1,8	-1,58	0,30
6	-1,6	-1,33	0,27
6,5	-1,4	-1,08	0,24
7	-1,3	-0,95	0,22
7,5	-1,2	-0,82	0,20
8	-1,1	-0,70	0,18
8,5	-1	-0,57	0,17
9	-1	-0,57	0,17

Tabela 7. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 7,5 \text{ mA}$ pomiary dla magnesu Neodymowego wysokości dla różnych odległości.

odległość [cm]	$h-r$ [cm]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
3,5	0	-4,3	-4,73	0,00
	0,5	-4	-4,35	0,08
	1	-3,6	-3,85	0,17
	1,5	-2,9	-2,97	0,25
	2	-2,4	-2,34	0,34
	2,5	-1,9	-1,71	0,42
	3	-1,5	-1,20	0,50
	3,5	-1,2	-0,82	0,59
4,5	0	-2,6	-2,59	0,00
	0,5	-2,5	-2,46	0,08
	1	-2,3	-2,21	0,17
	1,5	-2,1	-1,96	0,25
	2	-1,9	-1,71	0,34
	2,5	-1,6	-1,33	0,42
	3	-1,4	-1,08	0,50
	3,5	-1,2	-0,82	0,59
7,5	0	-1,2	-0,82	0,00
	0,5	-1,2	-0,82	0,08
	1	-1,2	-0,82	0,17
	1,5	-1,1	-0,70	0,25
	2	-1,1	-0,70	0,34
	2,5	-1,1	-0,70	0,42
	3	-1	-0,57	0,50
	3,5	-1	-0,57	0,59

Tabela 8. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 7,5$ mA pomiary dla magnesu Ferrytowego w różnych odległościach.

odległość [cm]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
3,5	-0,2	0,437	0,034
4	-0,3	0,311	0,050
4,5	-0,4	0,185	0,067
5	-0,5	0,059	0,084
5,5	-0,6	-0,07	0,10
6	-0,6	-0,07	0,10
6,5	-0,6	-0,07	0,10
7	-0,6	-0,07	0,10
7,5	-0,7	-0,19	0,12
8	-0,7	-0,19	0,12
8,5	-0,7	-0,19	0,12
9	-0,7	-0,19	0,12
9,5	-0,7	-0,19	0,12

Tabela 9. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości B i jej niepewności dla $I_h = 7,5$ mA pomiary dla magnesu Ferrytowego wysokości dla różnych odległości.

odległość [cm]	$h-r$ [cm]	U [V]	B [μ T]	$u(B)$ [μ T]
----------------	------------	---------	----------------	-------------------

3,5	0	-0,2	0,437	0,034
	0,5	-0,3	0,311	0,050
	1	-0,4	0,185	0,067
	1,5	-0,5	0,059	0,084
	2	-0,6	-0,07	0,10
	2,5	-0,7	-0,19	0,12
	3	-0,7	-0,19	0,12
	3,5	-0,7	-0,19	0,12
4,5	0	-0,4	0,19	0,07
	0,5	-0,5	0,06	0,08
	1	-0,5	0,06	0,08
	1,5	-0,5	0,06	0,08
	2	-0,6	-0,07	0,10
	2,5	-0,6	-0,07	0,10
	3	-0,7	-0,19	0,12
	3,5	-0,7	-0,19	0,12
7,5	0	-0,7	-0,19	0,12
	0,5	-0,7	-0,19	0,12
	1	-0,7	-0,19	0,12
	1,5	-0,7	-0,19	0,12
	2	-0,7	-0,19	0,12
	2,5	-0,7	-0,19	0,12
	3	-0,7	-0,19	0,12
	3,5	-0,7	-0,19	0,12