

# Sprawozdanie 4

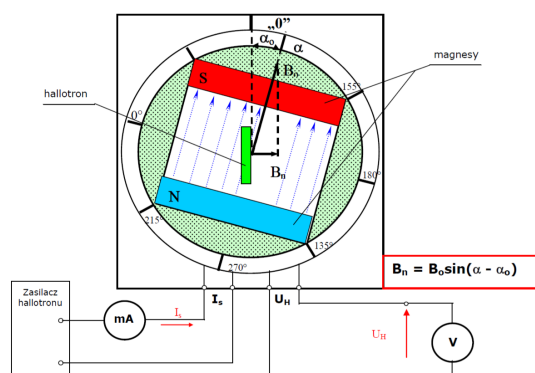
## Ćwiczenie 57c

Jan Bronicki  
Nr indeksu: 249011  
Marcin Radke  
Nr indeksu: 241554

### 1 Wstęp Teoretyczny

Celem ćwiczenia jest zbadanie efektu Halla. Zmierzymy  $U_H$  w zależności od  $\alpha$ , gdzie  $U_H$  jest napięciem jakie powstaje w skutek efektu Halla kiedy kręcimy hallotronem, a  $\alpha$  jest kątem o, który przekręciliśmy go. Narysujemy zatem wykresy, dla  $U_H(\alpha)$  oraz  $U_H(B_n)$ . Następnie na podstawie wykresów  $U_H(B_n)$  i  $U_H(I_s)$ , które powinny przypominać swoimi charakterystykami wykresy liniowe wyznaczymy współczynnik  $\gamma$ , gdzie  $U_H = \gamma I_s$ . Następnie  $\gamma$  posłuży nam do obliczenia koncentracji ładunków  $n = \frac{1}{\gamma e d}$ , gdzie  $e$  - ładunek,  $d$  - gęstość.

Rysunek 1: Schemat Hallotronu

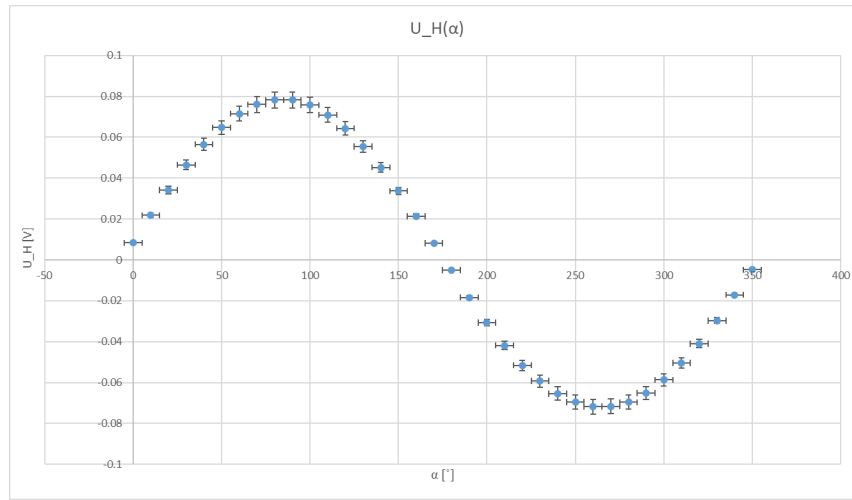


W naszym eksperymencie wykorzystamy następujące przyrządy:

- Hallotron umieszczony w polu magnetycznym wytworzonym przez Magnesy trwałe. Magnesy zamocowane są tak, by możliwy był pomiar zmian orientacji pola magnetycznego względem płaszczyzny hallotronu
- Zasilacz hallotronu
- Miliamperomierz do pomiaru natężenia prądu sterującego  $I_s$
- Woltomierz do pomiaru napięcia Hall'a  $U_H$
- Przewody elektryczne

## 2 Opracowanie wyników

Sporządziliśmy wykres  $U_H(\alpha)$ :



Rysunek 2: Wykres napięcia hallotronu od kąta

Oto przykładowe niepewności:

- Niepewność kąta  $\alpha$  założyliśmy jako stałą wynoszącą  $5^\circ$  (w radianach  $\approx 0.0873$ )
- $u(U_H) = \pm(0.05 \cdot rdg + 3 \cdot dgt) = \pm(0.05 \cdot 0.00832 + 3 \cdot 0.00001) \approx \pm 0.0004 \text{ V}$

Odczytana z wykresu wartość  $\alpha_0 \approx 175^\circ$ .

Na podstawie wzoru  $B_n = B_0 \sin(\alpha - \alpha_0)$  został narysowany wykres ?? opisujący  $U_H(B_n)$ . Jako wartość  $B_0$  zgodnie z instrukcją przyjęte zostało 0.5, a błąd  $B_0 = \pm 0.05 \text{ T}$ .

Przykładowe obliczenia  $B_n$  oraz jej niepewności:

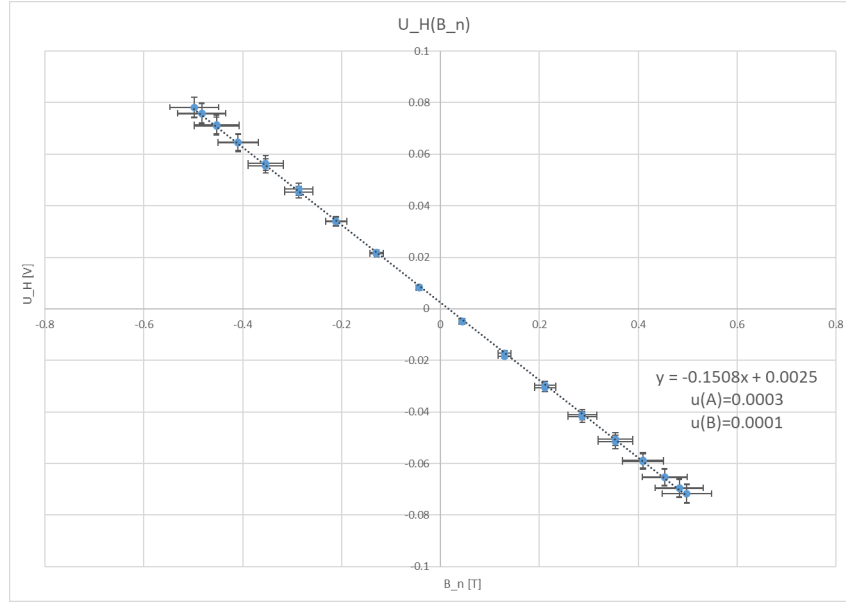
- $B_n = B_0 \sin(\alpha - \alpha_0) = 0.5 \cdot \sin(0^\circ - 175^\circ) \approx -0.04358 \text{ T}$
- $u(B_n) = \sqrt{(B_0^2 \cdot \cos^2(\alpha - 175^\circ) \cdot u^2(\alpha) + \sin^2(\alpha - 175^\circ) \cdot u^2(B_0)} =$   
 $= \sqrt{(0.5^2 \cdot \cos^2(0^\circ - 175^\circ) \cdot 0.0873^2 + \sin^2(0^\circ - 175^\circ) \cdot 0.05^2} \approx \pm 0.00578 \text{ T}$
- Niepewność  $u(\alpha) = \pm 5^\circ$  została wyrażona w radianach i wynosi około  $\pm 0.0873 \text{ [rad]}$

Dzięki wykresowi 3 uzyskujemy jego linię regresji  $y = Ax + B$ , gdzie  $|A| = \gamma I_s$  z czego otrzymujemy, że  $\gamma = \frac{|A|}{I_s}$ , dla rozróżnienia tutaj otrzymanego współczynnika  $\gamma$  dopasujemy mu indeks "s" otrzymując  $\gamma_s = \frac{|A|}{I_s}$ .

$$y = -0.1508x + 0.0025$$

$$u(A) \approx \pm 0.0003$$

$$u(B) \approx \pm 0.0001$$



Rysunek 3: Wykres napięcia hallotronu  $U_H$  od indukcji magnetycznej  $B_n$

Na tej podstawie możemy wyliczyć  $\gamma_s$ .

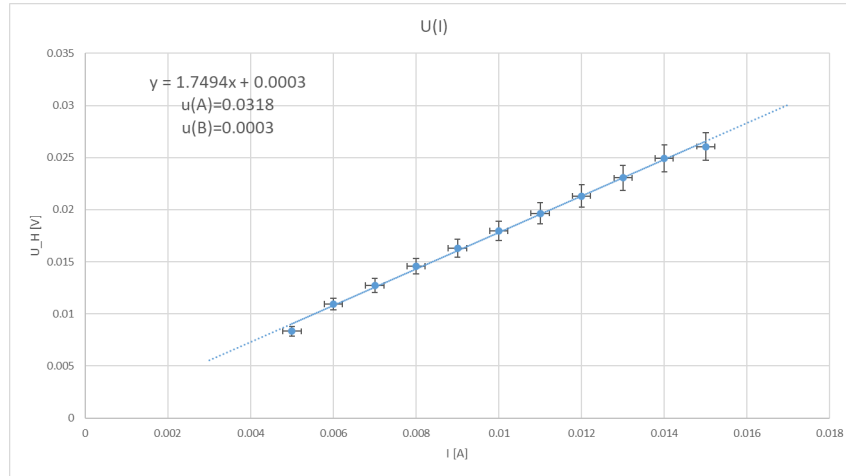
$$\gamma_s = \frac{|A|}{I_s} = \frac{0.1508}{0.005} \approx 30.16$$

$$u(A) = \pm 0.0003$$

$$u(I) = \frac{Klasa \cdot Zakres}{100 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0.5 \cdot 0.0075}{100 \cdot \sqrt{3}} \approx \pm 0.0002 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} u(\gamma_s) &= \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(A) \cdot \left( \frac{1}{I_s} \right)^2 + u^2(I_s) \cdot \left( \frac{A}{I_s^2} \right)^2} = \\ &= \sqrt{0.0003^2 \cdot \left( \frac{1}{0.005} \right)^2 + 0.00002^2 \cdot \left( \frac{0.1508}{0.005^2} \right)^2} \approx \pm 0.1347 \end{aligned}$$

W związku z sinusoidą zawartą we wzorze na  $B_n$  niepewność  $B_n$  waha się oraz w pewnych momentach (widzianych na skrajnych wartościach indukcji) owe niepewności osiągają dość duże wartości. Co za tym idzie  $\gamma_s$ , która jest na podstawie wyliczonych  $B_n$  obliczana również jest opatrzona sporą wartością niepewności.



Rysunek 4: Wykres napięcia  $U_H$  od natężenia  $I_s$

Następnie ponownie spróbujemy wyliczyć współczynnik  $\gamma$  tym razem na podstawie pomiarów napięcia  $U_H$  od natężenia  $I_s$  (które tym razem nie jest stałe i jest przedmiotem naszych pomiarów). Jak widać na otrzymanym wykresie ?? zależność, którą utrzymaliśmy jest liniowa, a w tym przypadku mając  $y = Ax + B$  współczynnik  $A$  będzie się równał  $A = \gamma B$ . Ponownie, dla rozróżnienia współczynniki  $\gamma$  tutaj otrzymanemu nadamy indeks, dla jego rozróżnienia ("h"). Tak więc otrzymujemy taką zależność  $\gamma_h = \frac{|A|}{B}$ . W tych pomiarach indukcja  $B$  jest taka, że  $B = const..$

Otrzymana prosta  $y = Ax + B$  wynosi:

$$\begin{aligned} y &= 1.7494x + 0.0003 \\ u(A) &\approx \pm 0.0318 \\ u(B) &\approx \pm 0.0003 \end{aligned}$$

Następnie możemy przejść do wyliczania  $\gamma_h$ . Pomiary napięcia od natężenia były robione dla kąta  $\alpha = 0^\circ$  tak więc  $B_n \approx -0.043578$ .

$$\gamma_h = \frac{|A|}{B}$$

$$\gamma_h = \frac{1.7494}{0.043578} \approx 40.14$$

$$\begin{aligned} u(\gamma_s) &= \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(A) \cdot \left( \frac{1}{B} \right)^2 + u^2(B) \cdot \left( \frac{A}{B^2} \right)^2} = \\ &= \sqrt{0.0003^2 \cdot \left( \frac{1}{0.04358} \right)^2 + 0.0058^2 \cdot \left( \frac{1.7494}{0.04358^2} \right)^2} \approx \pm 5.34 \end{aligned}$$

Następnie na potrzeby obliczenia koncentracji  $n$  obliczymy średnie  $\gamma$ .

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_h + \gamma_s}{2} = \frac{40.14 + 30.16}{2} \approx 35.15$$

$$u(\bar{\gamma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(30.16 - 35.15)^2 + (40.14 - 35.15)^2}{2(2-1)}} \approx 4.99$$

$$n = \frac{1}{35.15 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \approx 887.937 \cdot 10^{20}$$

$$\begin{aligned} u(n) &= \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(\bar{\gamma}) \cdot \left( \frac{1}{\bar{\gamma}^2 e d} \right)^2 + u^2(d) \cdot \left( \frac{1}{\gamma e d^2} \right)^2} = \\ &= \sqrt{4.99^2 \cdot \left( \frac{1}{35.15^2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + (1 \cdot 10^{-7})^2 \cdot \left( \frac{1}{35.15 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot (2 \cdot 10^{-6})^2} \right)^2} \approx \pm 133.644 \cdot 10^{20} \end{aligned}$$

### 3 Wnioski

Pierwsza część pomiaru potwierdza działanie efektu Halla generując sygnał sinusoidalny tworząc prąd zmienny. Niestety duże niepewności pomiarowe analogowego amperomierza oraz bardzo duże niepewności kątu hallotronu. Przez owe niepewności wykres 3 bardzo dobrze pokazuje jak bardzo prosta  $y$  mogła się zmienić przez co zmieniony byłby parametr  $A$  co znacząco wpłynęło by to na wartość  $\gamma_s$ .  $\gamma_h$  również posiadało duże niepewności ze względu na indukcję  $B$ . Obie wartości  $\gamma$  dość różnią się od siebie co jest spowodowane owymi niepewnościami. Aby obliczyć koncentrację  $n$  wyliczyliśmy średnią obu  $\gamma$  i jej niepewność. Wyliczona koncentracja również jest przez to obciążona dużą niepewnością.