

# Sprawozdanie 4

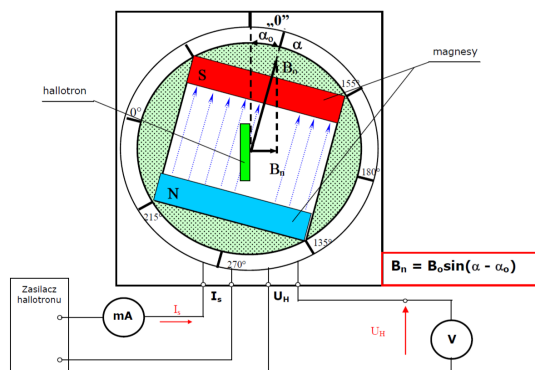
## Ćwiczenie 57c

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



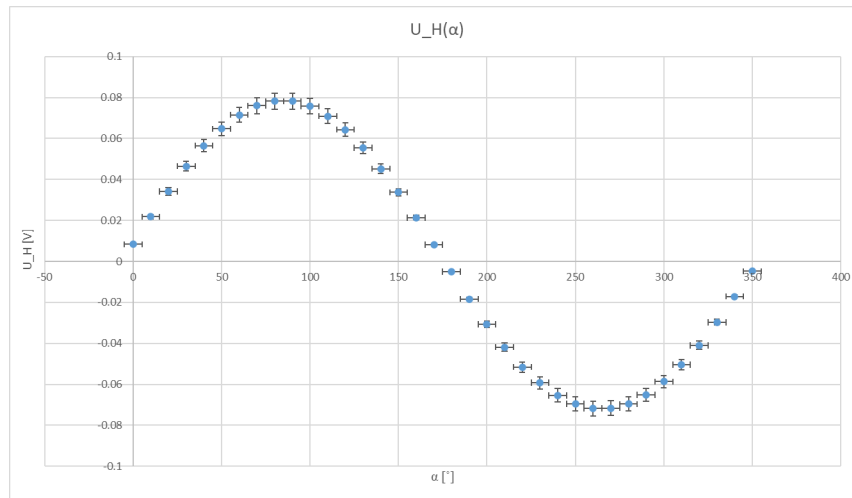
W naszym eksperymencie wykorzystamy następujące przyrządy:

- 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

Kat:	U[V]
0	0,00832
10	0,0218
20	0,03412
30	0,04642
40	0,05649
50	0,06467
60	0,07151
70	0,07595
80	0,07823
90	0,07821
100	0,07571
110	0,0709
120	0,06432
130	0,05545
140	0,04521
150	0,03375
160	0,02134
170	0,00808
180	-0,00505
190	-0,01834
200	-0,03073
210	-0,0419
220	-0,05161
230	-0,05925
240	-0,06542
250	-0,06949
260	-0,07179
270	-0,07162
280	-0,06966
290	-0,06517
300	-0,05873
310	-0,05044
320	-0,04101
330	-0,02971
340	-0,01714
350	-0,00479

Sporządziliśmy wykres  $U_H(\alpha)$ :



Rysunek 2: Wykres napięcia hallotronu od kąta

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  $B_0 = \pm 0,05 T$ .

Dzięki wykresowi 2 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  $\gamma_s = \frac{|A|}{I_s}$ .

$$y = -0,1508x + 0,0025$$

$$u(A) \approx \pm 0,0003$$

$$u(B) \approx \pm 0,0001$$

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  $\alpha_0 \approx 175^\circ$ .

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  $\pm 0.0873 \text{ [rad]}$

U[V]	B_n
0,00832	-0,04358
0,0218	-0,12941
0,03412	-0,21131
0,04642	-0,28679
0,05649	-0,35355
0,06467	-0,40958
0,07151	-0,45315
0,07595	-0,48296
0,07823	-0,4981
0,07821	-0,4981
0,07571	-0,48296
0,0709	-0,45315
0,06432	-0,40958
0,05545	-0,35355
0,04521	-0,28679
0,03375	-0,21131
0,02134	-0,12941
0,00808	-0,04358
-0,00505	0,043578
-0,01834	0,12941
-0,03073	0,211309
-0,0419	0,286788
-0,05161	0,353553
-0,05925	0,409576
-0,06542	0,453154
-0,06949	0,482963
-0,07179	0,498097
-0,07162	0,498097
-0,06966	0,482963
-0,06517	0,453154
-0,05873	0,409576
-0,05044	0,353553
-0,04101	0,286788
-0,02971	0,211309
-0,01714	0,12941
-0,00479	0,043578

Na tej podstawie możemy wyliczyć  $\gamma_s$ .

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

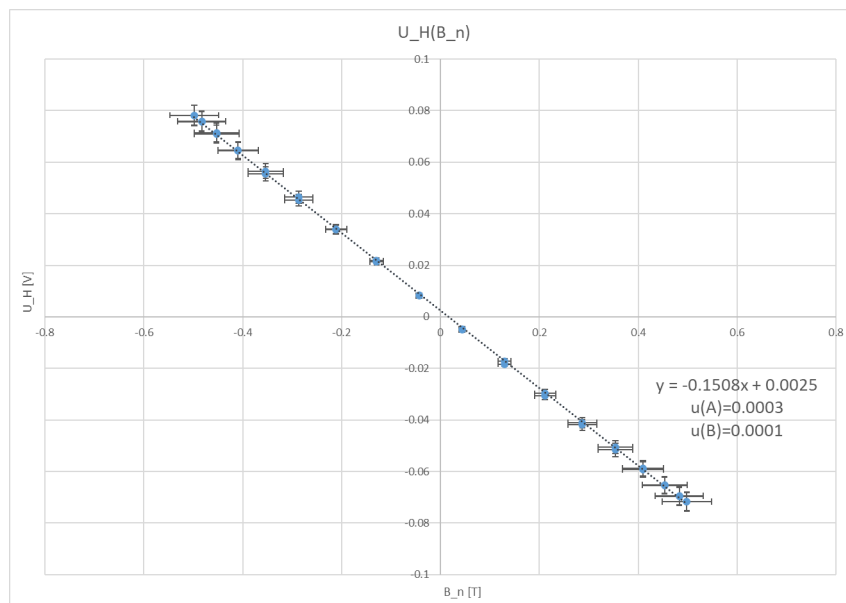
$$u(A) = \pm 0.0003$$

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

$$u(\gamma_s) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(A) \cdot \left( \frac{1}{I_s} \right)^2 + u^2(I_s) \cdot \left( \frac{A}{I_s^2} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{0.0003^2 \cdot \left( \frac{1}{0.005} \right)^2 + 0.00002^2 \cdot \left( \frac{0.1508}{0.005^2} \right)^2} \approx \pm 0.14$$

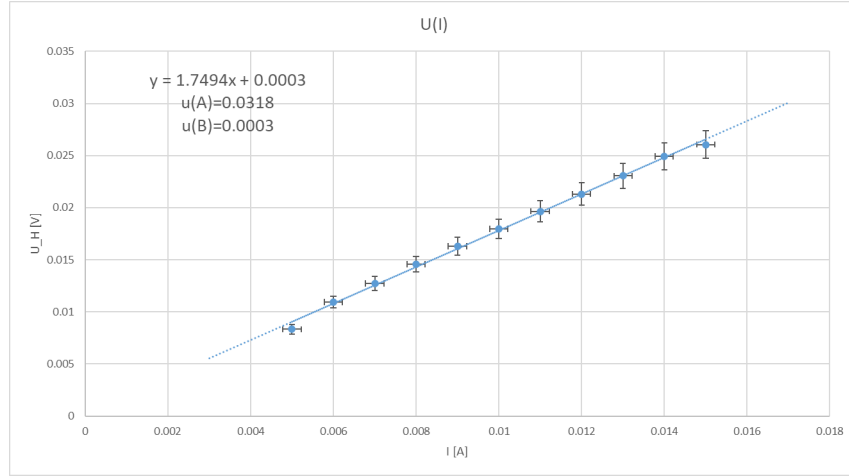
W związku z sinusoidą zawartą we wzorze na  $B_n$  niepewność  $B_n$  waha się oraz w pewnych momentach (wizualizowanych na skrajnych wartościach indukcji) owe niepewności osiągają dość duże wartości. Co za tym idzie  $\gamma_s$ , która jest na podstawie wyliczonych  $B_n$  obliczana również jest opatrzona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



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

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  $B = const..$

I[A]	U[V]
0,005	0,00832
0,006	0,01093
0,007	0,01273
0,008	0,01456
0,009	0,01629
0,01	0,01795
0,011	0,01965
0,012	0,02131
0,013	0,02305
0,014	0,02492
0,015	0,02605



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

Otrzymana prosta  $y = Ax + B$  wynosi:

$$y = 1.7494x + 0.0003$$

$$u(A) \approx \pm 0.0318$$

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

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

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

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

$$u(\gamma_s) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(A) \cdot \left( \frac{1}{B} \right)^2 + u^2(B) \cdot \left( \frac{A}{B^2} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{0.0003^2 \cdot \left( \frac{1}{0.043578} \right)^2 + 0.0058^2 \cdot \left( \frac{1.7494}{0.043578^2} \right)^2} \approx \pm 5.4$$

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

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

$$u(\bar{\gamma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(30.16 - 35.15)^2 + (40.14 - 35.15)^2}{2(2-1)}} \approx 5.00$$

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

$$u(n) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} = \sqrt{u^2(\bar{\gamma}) \cdot \left( \frac{1}{\bar{\gamma}^2 e d} \right)^2 + u^2(d) \cdot \left( \frac{1}{\gamma e d^2} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{4.99^2 \cdot \left( \frac{1}{35.15^2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + (1 \cdot 10^{-7})^2 \cdot \left( \frac{1}{35.15 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot (2 \cdot 10^{-6})^2} \right)^2} \approx \pm 140 \cdot 10^{20}$$

### 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 kąta hallotronu. Przez owe niepewności wykres 2 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 obarczona dużą niepewnością.