

1 wstęp teoretyczny

W 1879r Hall wymyślił doświadczenie, które pozwala określić znak ładunku płynącego w przewodniku z prądem. Pasek miedziany umieszczano w polu magnetycznym o indukcji B między dwoma biegunami elektromagnesu tak, aby linie pola magnetycznego były prostopadłe do płaszczyzny paska. Pole to działa na pasek siłą $F = il \times B$. Ponieważ siła działa na ładunki będą one odchylane w jedną stronę powodując powstanie różnicy potencjałów (napięcie Halla). Na podstawie znaku napięcia Halla ustalić można znak ładunków będących nośnikami prądu. Doświadczenie wykazuje, że nośnikami ładunków w metalach są elektrony.

Do ujęcia ilościowego i przeanalizowania efektu Halla wykorzystano model swobodnych elektronów w metalu. Magnetyczna siła działająca na elektrony wyraża się wzorem

$$\vec{F} = q \vec{v}_\mu \times \vec{B} \quad (1)$$

Ruch ten nie trwa nieskończenie długo, ponieważ przesunięcie ładunków powoduje powstanie poprzecznego pola elektrycznego Halla E_H , które przeciwstawia się dalszemu przesuwaniu ładunków w poprzek przewodnika. Pole to powstało w skutek wytworzonej różnicy potencjałów i jest związana z nią zależnością:

$$\begin{aligned} \vec{E}_H &= \frac{V_{xy}}{d} \\ qE_H + q(\vec{v}_\mu \times \vec{B}) &= 0 \\ \vec{E}_H &= -\vec{v}_\mu \times \vec{B} \end{aligned} \quad (2)$$

Wykorzystując efekt Halla można również znaleźć liczbę ładunków w jednostce objętości (n).

$$\vec{E}_H = \frac{j}{ne} \vec{B} \rightarrow n = \frac{jB}{eE_H} \quad (3)$$

Zgodność równania z doświadczeniem jest dobra dla metali jednowartościowych. Dla metali wielowartościowych oraz dla półprzewodników interpretacja ta stanowi zbyt uproszczenie.

Natknęto się na następujące problemy:

- zmierzone wartości średniej drogi swobodnej okazywały się o kilka rzędów wielkości większe niż wartości oczekiwane
- pomiary ciepła właściwego wykazały, że tylko mała część elektronów bierze udział w procesie przewodnictwa
- pomiary efektu Halla wykazały, że w ciałach stałych w przenoszeniu ładunków biorą udział zarówno nośniki ujemne jak i dodatnie.
- w żaden sposób nie dało się wyjaśnić transportu ładunku w izolatorach i półprzewodnikach

Konieczne stało się wówczas wyjaśnienie oparte o kwantową budowę atomu. W doświadczeniu mierzona jest wartość napięcia Halla i natężenia prądu płynącego przez próbkę. Mierzona jest natężenie prądu płynącego przez cewki. Na podstawie natężenia prądu cewki dzięki krzywej kalibracyjnej wyznaczyć można wartość indukcji pola magnetycznego, w którym umieszczona jest próbka.

Na podstawie poniższego wzoru wyznacę wartość stałej Halla.

$$R_H = \frac{U_H d}{I_H B} \quad (4)$$

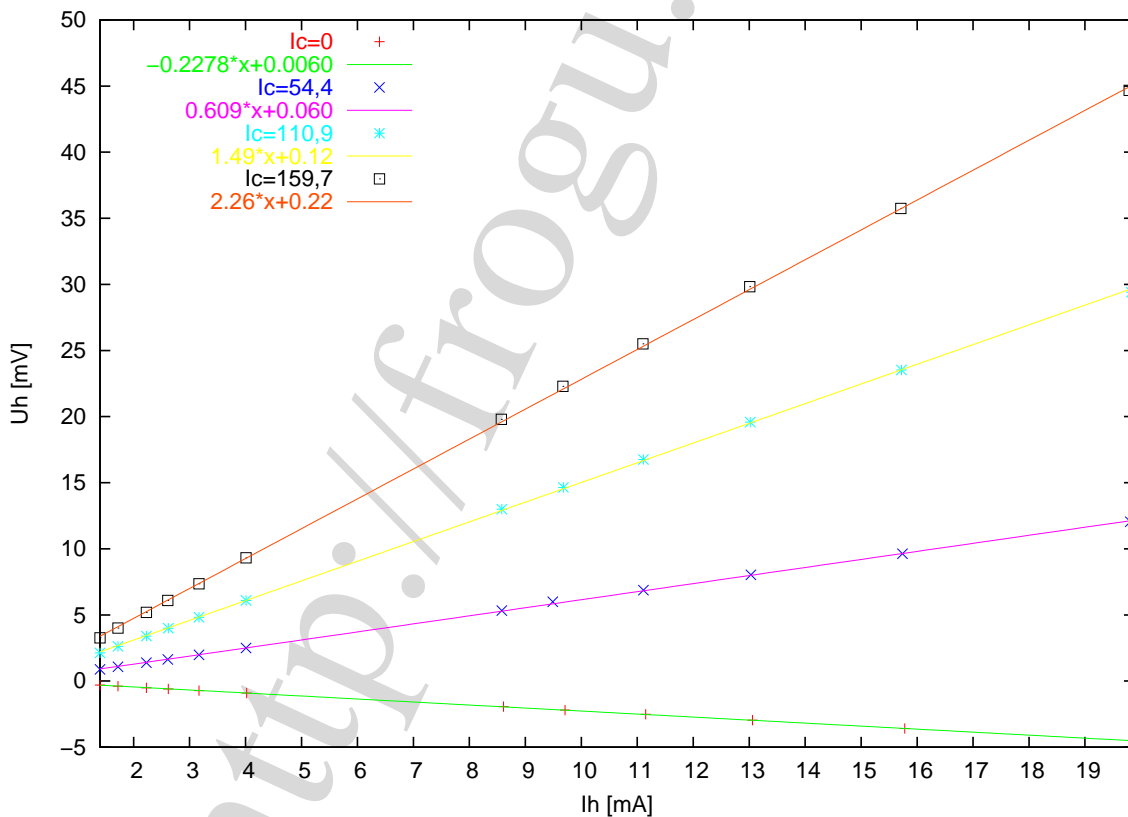
2 plan pracy

1. Montaż układu pomiarowego
2. po 3 serie pomiarów przy $I_C = 0$, oraz dla trzech innych wartości natężenia I_C
3. Rozmontowanie układu pomiarowego

3 opracowanie wyników

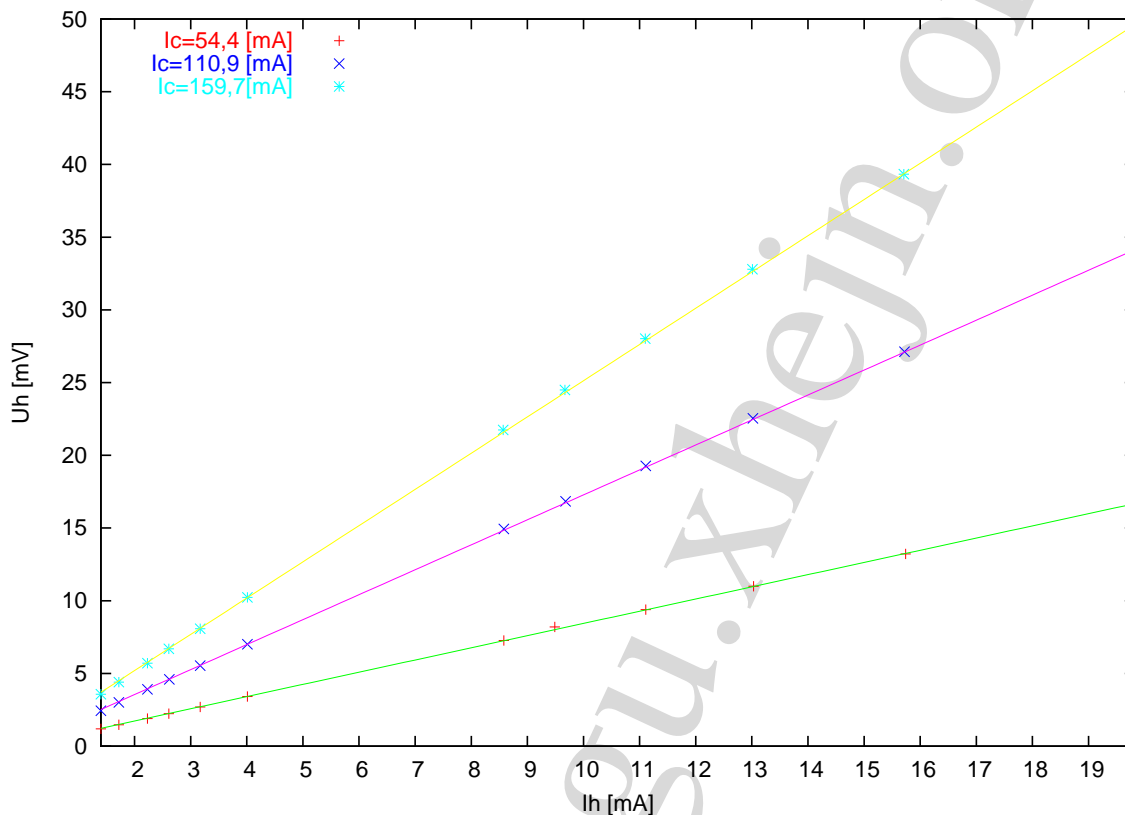
Ponieważ wartości U_H w trzech seriach pomiarowych dla każdego natężenia prądu cewki różniły się od siebie w prawie wszystkich przypadkach o niepewność przyrządu wzięłam pod uwagę tylko pierwsze serie pomiarowe.

Do danych doświadczalnych dopasowałem proste o równaniu $y = ax + b$. Dopasowania dokonałem za pomocą programu „gnuplot”. Dopasowanie dokonywane jest metodą „nieliniowych najmniejszych kwadratów”, przy wykorzystaniu algorytmu „Marquadrat-Lavenberg”. Otrzymane wyniki zamieściłem na wykresie. W legendzie zaznaczyłem kolor punktów dla każdej wartości I_C , tuż pod nimi zamieściłem równanie „fitowanej” prostej oraz jej kolor na wykresie.



Zaobserwować można, że przy zerowym natężeniu prądu cewki (I_C) występuje pewne ujemne napięcie (U_H) oraz natężenie prądu (I_H). Powodem tego może być obecność innych pól magnetycznych (np. ziemskiego). Do dalszych rozważań zmierzone wartości pomniejszyłem o wartości przy $I_C = 0$

Do tak przetworzonych danych dopasowałem proste $y = ax + b$. Poniżej zamieściłem wykreślone dane wraz z dopasowanymi prostymi.



Wartości parametrów a oraz b dla poszczególnych dopasowań zebrałem w tabeli poniżej

$I_C=54,4$		
$a=$	$0,8385 \pm 0,0033$	(0,3952%)
$b=$	$0,056 \pm 0,032$	(58,16%)
$I_C=110,9$		
$a=$	$1,7162 \pm 0,0046$	(0,2655%)
$b=$	$0,117 \pm 0,045$	(38,09%)
$I_C=159,7$		
$a=$	$2,4916 \pm 0,0075$	(0,3022%)
$b=$	$0,214 \pm 0,073$	(34,32%)

Aby wyznaczyć wartość stałej Halla skożytałem ze wzoru

$$R_H = \frac{U_H d}{I_H B} \quad (5)$$

Potrzebną do wzoru wartość indukcji magnetycznej obliczyłem posługując się krzywą kalibracji ($B[mT] = 0,656 * I_C[mA] - 1,12$). Niepewność B wyznaczyłem metodą różniczki zupełnej.

I_C [mA]	B [mT]
54,4	$34,57 \pm 0,53$
110,9	$71,63 \pm 0,60$
159,7	$103,64 \pm 0,69$

R_H obliczyłem korzystając ze wspomnianego wzoru. Dla każdej serii pomiarowej obliczy-

łem wartość stałej Halla i uśredniłem.

I_C [mV]	$10^{-13} R_H [\frac{Vm}{AT}]$
54,4	$245,68 \pm 0,73$
110,9	$242,89 \pm 0,60$
159,7	$244,69 \pm 0,79$

Następnie uśredniłem otrzymane wartości. Otrzymana wartość stałej Halla wynosi $R_H = 10^{-13} (244,42 \pm 0,71) [\frac{Vm}{AT}]$.

Wiedząc, że $R_H = (nq)^{-1} \rightarrow n = (qR_H)^{-1}$ obliczyłem ilość swobodnych nośników prądu, która wynosi $15,5710^{15}$.

4 poprawa

4.1 Stała Halla z nachylenia prostej

$$U_H = \frac{R_H B}{d} I_H \quad \rightarrow \quad R_H = \frac{ad}{B} \quad (6)$$

Usredniona już wartość stałej Halla wynosi $R_H = 2,41 * 10^{-5} [\frac{Vm}{AT}]$

Wiedząc, że $n = (qR_H)^{-1}$ wyznaczyłem ilość swobodnych nośników prądu, która wynosi $n = 2,95 * 10^{23}$ co jest równe mniej więcej połowie mola.