**Wstęp teoretyczny**

**Efekt Halla** – [zjawisko fizyczne](http://pl.wikipedia.org/wiki/Zjawisko_fizyczne) polegające na wystąpieniu różnicy potencjałów w przewodniku, w którym płynie [prąd elektryczny](http://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85d_elektryczny), gdy przewodnik znajduje się w poprzecznym do płynącego prądu [polu magnetycznym](http://pl.wikipedia.org/wiki/Pole_magnetyczne). Napięcie to, zwane napięciem Halla, pojawia się między płaszczyznami ograniczającymi przewodnik, prostopadle do płaszczyzny wyznaczanej przez kierunek prądu i wektor [indukcji pola magnetycznego](http://pl.wikipedia.org/wiki/Indukcja_magnetyczna). Jest ono spowodowane działaniem [siły Lorentza](http://pl.wikipedia.org/wiki/Si%C5%82a_Lorentza) na ładunki poruszające się w polu magnetycznym.

Zjawisko zostało odkryte w [1879](http://pl.wikipedia.org/wiki/1879) roku przez [Edwina H. Halla](http://pl.wikipedia.org/wiki/Edwin_Herbert_Hall) (wówczas doktoranta).

Niech przewodnik będzie prostopadłościanem o bokach *a, b, c*. Jeśli wzdłuż przewodnika (równolegle do *a*) płynie prąd o natężeniu *I* (nadając nośnikom prądu prędkość {\vec v_u}), zaś prostopadle do powierzchni przewodnika (równolegle do *c*) skierowane jest pole magnetyczne o indukcji {\vec B}, to na nośniki prądu doładunku *q* w kierunku *b* działa siła Lorentza:

{\vec F} = q {\vec v_u} \times {\vec B}

odchylając te ładunki do jednej ze ścianek. W ten sposób między tą ścianką a ścianką do niej przeciwną wytwarza się różnica gęstości ładunków, a więc i [pole elektryczne](http://pl.wikipedia.org/wiki/Pole_elektryczne) o natężeniu {\vec E}, które może być wyrażone przez różnicę [potencjałów](http://pl.wikipedia.org/wiki/Potencja%C5%82_elektryczny). Na kolejne nośniki działa też zatem siła kulombowska. Wypadkowa siła jest równa:

{\vec F} = q {\vec v_u} \times {\vec B} - q {\vec E}

W stanie równowagi, kiedy siła Lorentza i kulombowska równoważą się. Co prowadzi do równania:

 {\vec v_u} \times {\vec B} = {\vec E}U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{c} = R_{H}\frac {IB} c

lub gdzie:

*n* – [koncentracja](http://pl.wikipedia.org/wiki/Koncentracja_(fizyka)) nośników,

*q* – ładunek nośnika prądu (elektrony bądź dziury)

*c* – grubość płytki, wymiar w kierunku pola magnetycznego,

*I* – natężenie prądu,

*RH* – stała zależna od materiału (tzw. [stała Halla](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Sta%C5%82a_Halla&action=edit&redlink=1)).

*B* – wartość indukcji magnetycznej,

Napięcie U_H, powstałe pomiędzy ściankami przewodnika, nazywane jest **napięciem Halla**.

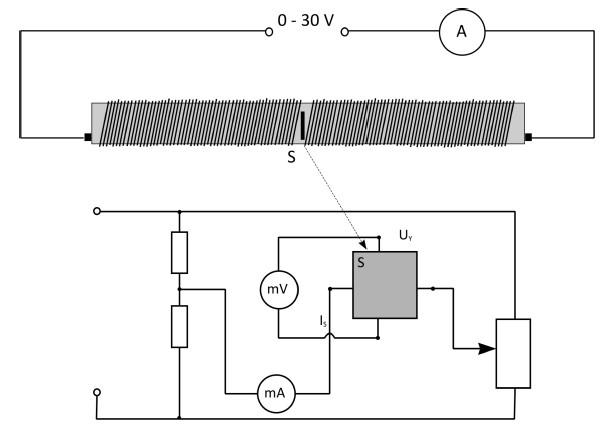
Efekt Halla umożliwia pomiar znaku ładunków poruszających się w przewodniku oraz ich [koncentrację](http://pl.wikipedia.org/wiki/Koncentracja_(fizyka)).

Dla znanych materiałów pomiar napięcia Halla pozwala określić wartość indukcji {\vec B} pola magnetycznego. Przyrządy wykorzystujące efekt Halla do pomiaru tej indukcji nazywają się [hallotronami](http://pl.wikipedia.org/wiki/Hallotron). Są one powszechnie wykorzystywane m.in. różnych czujnikach, np.: ABS, ESP.

Efekt Halla jest również podstawą dzialania [silnika Halla](http://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Halla)

**Układ pomiarowy**

Schemat układu pomiarowego przedstawia rysunek poniżej.

Fig. 1: Schemat poglądowy układu pomiarowego badania efektu Halla

Sonda Halla umieszczona jest w solenoidzie, przez który płynie prąd o natężeniu I. Pod wpływem pola

magnetycznego indukowanego wewnątrz solenoidu, w sondzie Halla, przez która płynie prąd sterujący IS, generuje się napięcie poprzeczne UY , mierzone przy pomocy miliwoltomierza cyfrowego. Jedna ze składowych napięcia poprzecznego jest napięcie Halla UH, pojawiające sie w układzie przy obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Pomiar pierwszy polega na zmierzeniu napięcia poprzecznego pojawiającego się w próbce przy nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego. Napięcie poprzeczne UY jest suma spadków napiec, które są wywołane przez różne efekty towarzyszące zjawisku Halla:

*UY = UH + UE + UN + URL + UA;*

gdzie UE- napięcie wywołane efektem Ettingshausena, UN – napięcie Nernsta, URL – napięcie Righi -

Leduca, UA – napięcie asymetrii, wynikające z asymetrycznego ustawienia sond napięciowych na badanej próbce.

Kolejne pomiary przeprowadza się dla niezerowego pola magnetycznego i odejmuje się wyniki pierwszego pomiaru. W wyniku odjęcia wszystkich towarzyszących napiec poprzecznych, otrzymuje się napięcie Halla UH.Opracowanie wyników pomiaru

Zmierzyliśmy wartości napięcia poprzecznego UY w zależności od natężenia prądu sterującego, płynącego przez próbkę IS. Pomiary wykonaliśmy dla prądu I płynącego przez solenoid, mającego wartości 0A, 0.5A, 1A, 1.5A, 2A. Wyniki pomiarów są przedstawione w tabeli poniżej.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | UY, mV | | | | |
| lp. | IS, mA | 0A | 0.5A | 1A | 1.5A | 2A |
| 1 | -6 | 2 | 2,9 | 3,7 | 4,6 | 5,4 |
| 2 | -5,5 | 1,8 | 2,7 | 3,4 | 4,2 | 5 |
| 3 | -5 | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 3,9 | 4,5 |
| 4 | -4,5 | 1,5 | 2,2 | 2,8 | 3,5 | 4,1 |
| 5 | -4 | 1,3 | 1,9 | 2,5 | 3,1 | 3,6 |
| 6 | -3,5 | 1,2 | 1,7 | 2,2 | 2,7 | 3,2 |
| 7 | -3 | 1 | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,7 |
| 8 | -2,5 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,3 |
| 9 | -2 | 0,6 | 0,9 | 1,3 | 1,5 | 1,8 |
| 10 | -1,5 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 |
| 11 | -1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| 12 | -0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0,5 | -0,1 | -0,2 | -0,3 | -0,4 | -0,4 |
| 15 | 1 | -0,3 | -0,5 | -0,6 | -0,8 | -0,9 |
| 16 | 1,5 | -0,5 | -0,7 | -0,9 | -1,2 | -1,4 |
| 17 | 2 | -0,7 | -1 | -1,3 | -1,6 | -1,9 |
| 18 | 2,5 | -0,9 | -1,3 | -1,6 | -2 | -2,3 |
| 19 | 3 | -1,1 | -1,5 | -2 | -2,4 | -2,8 |
| 20 | 3,5 | -1,3 | -1,8 | -2,3 | -2,8 | -3,3 |
| 21 | 4 | -1,5 | -2,1 | -2,7 | -3,2 | -3,8 |
| 22 | 4,5 | -1,7 | -2,3 | -3 | -3,6 | -4,2 |
| 23 | 5 | -1,9 | -2,6 | -3,3 | -4 | -4,7 |
| 24 | 5,5 | -2,1 | -2,9 | -3,7 | -4,4 | -5,2 |
| 25 | 6 | -2,3 | -3,1 | -4 | -4,9 | -5,6 |

Od wszystkich napięć poprzecznych odjęliśmy napięcie występujące przy zerowym prądzie cewki, dla odpowiadających wartości prądu IS. Otrzymane wartości przedstawia tabela poniżej.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | UH, mV | | | |
| lp. | IS, mA | 0.5A | 1A | 1.5A | 2A |
| 1 | -6 | 0,9 | 1,7 | 2,6 | 3,4 |
| 2 | -5,5 | 0,9 | 1,6 | 2,4 | 3,2 |
| 3 | -5 | 0,7 | 1,4 | 2,2 | 2,8 |
| 4 | -4,5 | 0,7 | 1,3 | 2 | 2,6 |
| 5 | -4 | 0,6 | 1,2 | 1,8 | 2,3 |
| 6 | -3,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| 7 | -3 | 0,5 | 0,9 | 1,3 | 1,7 |
| 8 | -2,5 | 0,4 | 0,8 | 1,1 | 1,5 |
| 9 | -2 | 0,3 | 0,7 | 0,9 | 1,2 |
| 10 | -1,5 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| 11 | -1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 |
| 12 | -0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0,5 | -0,1 | -0,2 | -0,3 | -0,3 |
| 15 | 1 | -0,2 | -0,3 | -0,5 | -0,6 |
| 16 | 1,5 | -0,2 | -0,4 | -0,7 | -0,9 |
| 17 | 2 | -0,3 | -0,6 | -0,9 | -1,2 |
| 18 | 2,5 | -0,4 | -0,7 | -1,1 | -1,4 |
| 19 | 3 | -0,4 | -0,9 | -1,3 | -1,7 |
| 20 | 3,5 | -0,5 | -1 | -1,5 | -2 |
| 21 | 4 | -0,6 | -1,2 | -1,7 | -2,3 |
| 22 | 4,5 | -0,6 | -1,3 | -1,9 | -2,5 |
| 23 | 5 | -0,7 | -1,4 | -2,1 | -2,8 |
| 24 | 5,5 | -0,8 | -1,6 | -2,3 | -3,1 |
| 25 | 6 | -0,8 | -1,7 | -2,6 | -3,3 |

Wartości zamieszczone w tabeli ukazaliśmy na wspólnym wykresie

mV

mA

Metodą regresji liniowej (funkcja REGLINP w programie Microsoft Excel) obliczono współczynniki wszystkich charakterystyk wraz z niepewnościami, które następnie zebrano   
w tabelę nr 4. Charakterystyki mają postać .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| I, A | a, | b, mA |
| 0,5 | -0,1465(22) | 0 |
| 1 | -0,2894(24) | 0 |
| 1,5 | -0,4326(25) | 0 |
| 2 | -0,5677(26) | 0 |

Następnie, dla wszystkich zależności wyznaczyliśmy stałe Halla RH, korzystając ze wzoru :

https://screenshootereu.blob.core.windows.net/engine4files/idronoxzzevmyxeubwquntekhxdeleebeuvrkbgkuqjjzntecighmtupzggqlsnuzuhebmjzqgawkuludybdxxplzgsevpycdoje

Po przekształceniu otrzymaliśmy

Korzystając z zależności , i wiedząc, że dla każdej charakterystyki b=0 możemy wywnioskować, że

Uzyskujemy więc wzór:

gdzie A=0.0045 T/A - stała aparaturowa, d= 0.0815(50) mm - grubosc hallotronu.

W ten sposób wyliczyliśmy stałe Halla wraz z niepewnościami. Wyniki przedstawione w tabeli poniżej

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I, A | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| RH, | -5,31(35) | -5,24(34) | -5,22(33) | -5,14(33) |

Przykładowe obliczenia:

a=-0,1465(22)

A=0,0045 T/A

d= 0,0815(50) mm

I=0,5

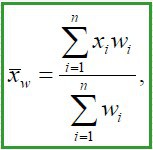
Niepewności obliczyliśmy korzystając z prawa przenoszenia niepewności

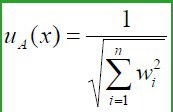
Obliczając niepewność natężenia ***I*** skorzystaliśmy ze wzoru:

Podstawiając do wzoru, otrzymaliśmy

Następnie obliczyliśmy średnią ważoną stałej Halla wraz z jej niepewnością

Wyznaczono wagi poszczególnych wyników:

Podstawiliśmy do wzoru na średnią ważoną

Obliczyliśmy niepewność

Rachunek jednostek:

Dla każdej charakterystyki obliczyliśmy czułość hallotronu, korzystając ze wzoru(gdzie a jest modułem współczynnika kierunkowego):

https://screenshootereu.blob.core.windows.net/engine4files/cicxqbzlefrquoexerqcoayizfxwmwvumyiwywtmcdkwfwzwczjlcpnbjtykeczhkwdwgiyhxdzkpcccgbunnjswlgmeyjizeclj

Obliczone wartości czułości, wraz z niepewnościami przedstawia tabela poniżej

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I, A | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| https://screenshootereu.blob.core.windows.net/engine4files/cmkjwnsedhjnyvqmmbzulhkamotphwqkfkfkyhioemoyqddnxeqvgjivbjwiudwhqyioqfnfslqyslkjlfrdgvdwckipkauaphir | 65,1(1,6) | 64,31(99) | 64,09(82) | 64,09(72) |

Przykładowe obliczenia:

Niepewność obliczyliśmy korzystając z prawa przenoszenia niepewności

Następnie obliczyliśmy wagi poszczególnych wyników

Obliczyliśmy średnią ważoną czułości hallotronu

Następnie obliczyliśmy niepewność średniej czułości hallotronu

Tak więc otrzymujemy:

Wnioski

Na podstawie stworzonych wykresów można zauważyć liniowe zależności między napięciem a prądem próbkowania dla każdego prądu przepływającego przez solenoid. Dzięki wykonaniu pomiarów, można stwierdzić, że bez względu na wartość prądu przepływającego przez solenoid, wartość stałej Halla jest praktycznie taka sama, mimo innych wartości zmierzonych wartości napięć Halla. Jak widać, czym większy prąd płynął przez cewkę tym mniejszy jest stosunek napięcia Halla do Prądu próbkowania. Z tego powodu że stała Halla wyszła nam ujemna wnioskujemy że nośnikiem energii są elektrony.