

METALLERDE HALL OLAYI

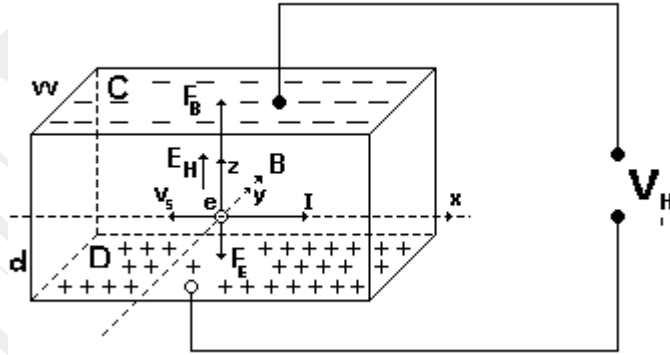
Amaç

Bu deneyde, metal (çinko ve bakır) levhalardaki Hall olayı incelenmesi. Akım ve manyetik indüksiyonun ölçülmesi ile Hall katsayısının deneysel olarak elde edilmesi.

Deneye Hazırlık Bilgileri

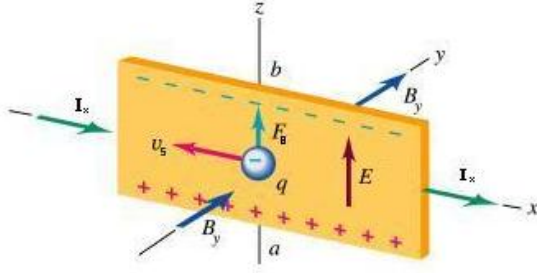
1. Klasik Hall Olayı

1879 yılında Edwin Hall, üzerinden akım geçen iletkeni bir manyetik alan içine yerleştirdiğinde iki zıt kenar yüzeyi arasında bir potansiyel fark oluştuğunu gözlemiştir. Bu olay Hall olayı olarak tanımlanır ve temel olarak yük taşıyıcıların, manyetik alandan kaynaklanan bir manyetik kuvvet nedeniyle iletkenin bir tarafına doğru sapmaları olayıdır. Hall olayı manyetik alanı ölçmek için kullanıldığı gibi yük taşıyıcıların işaretinin belirlenmesi ve yük yoğunluğu hakkında da bilgi verir.

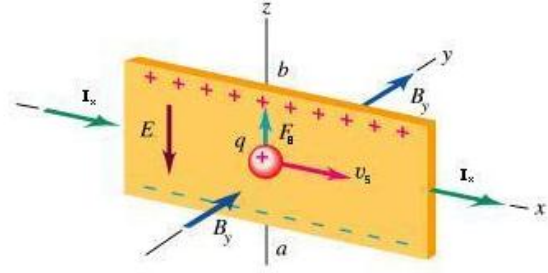


Şekil 1 Hall olayı

Genişliği w , kalınlığı d olan dikdörtgen biçimindeki bir iletkene \hat{x} yönünde bir E elektrik alanı uygulanırsa, elektronlar elektrik alanının etkisiyle $-\hat{x}$ yönünde hareket ederek bir I akımı oluştururlar. Burada elektronların hareket yönleri ile I akımının hareket yönü birbirlerine zıttır. Bu durumda C ve D yüzeyleri arasındaki potansiyel fark sıfırdır. Sistem bu durumdayken \hat{y} yönünde B büyüklüğünde bir manyetik alan uygulanırsa, elektrik alanının etkisiyle \vec{v}_s sürüklenme hızıyla hareket eden elektronlara Lorentz kuvveti olarak adlandırılan $\vec{F}_B = q(\vec{v}_s \times \vec{B})$ manyetik kuvveti etki eder ve elektronlar \hat{z} eksenine yönünde sapar. Elektronlar iletkenin üst (C) yüzeyinde toplandığında iletkenin alt (D) yüzeyi pozitif yüklenir. Bu yük ayrışmasından dolayı C ve D yüzeyleri arasında bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alanına Hall elektrik alanı denir ve E_H ile gösterilir. Hall elektrik alanından dolayı elektronlara $\vec{F}_E = q\vec{E}_H$ şeklinde bir elektrikselsel kuvvet etki eder. Yük ayrışması elektrikselsel kuvvetin büyüklüğünün manyetik kuvvetin büyüklüğü ile aynı olana kadar devam eder. Elektrikselsel kuvvet manyetik kuvveti dengeleyince elektronlar artık yukarı doğru sapamazlar. Şekil 1'de gösterildiği gibi iletkenin iki ucu arasına bir voltmetre bağlanarak iki ucu arasındaki gerilim ölçülebilir. Bu ölçülen gerilime Hall gerilimi denir.



Şekil 2.a Yük taşıyıcıları elektronlar



Şekil 2.b Yük taşıyıcıları deşikler

İçinden pozitif \hat{x} yönünde akım geçen bir iletken gözönüne alalım. Eğer yük taşıyıcıları elektronlar ise, elektronlar akıma zıt yönde hareket ederler. Bu iletkene \hat{y} yönünde bir manyetik alan uyguladığında manyetik Lorentz kuvvetinin etkisiyle elektronlar \hat{z} yönüne doğru saparlar. O zaman iletkenin üst yüzeyi negatif alt yüzeyi pozitif yük ile yüklenir. Böylece a ve b noktaları arasında bir potansiyel fark oluşur. Burada b noktasının potansiyeli a noktasının potansiyelinden daha düşük bir değere sahiptir. Yani potansiyelin değeri negatif çıkar (Bkz Şekil 2.a).

Akım yönü \hat{x} olan bir iletkende, yük taşıyıcıları deşikler ise akım ile yük taşıyıcıları aynı yönde hareket ederler. \hat{y} yönünde bir manyetik alan uyguladığında yük taşıyıcılarına \hat{z} yönünde bir manyetik kuvvet etki eder. Yük taşıyıcılarının deşikler olduğu bu durumda ise iletkenin üst yüzeyi pozitif yük ile yüklenir. Burada b noktasındaki potansiyel a noktasındaki potansiyel değerinden daha büyüktür ve böylece iki nokta arasındaki potansiyel farkı pozitif çıkar (Bkz Şekil 2.b).

2. Hall Katsayısının Belirlenmesi

Hall olayında yük taşıyıcılarına etki eden iki kuvvet vardır. Biri manyetik kuvvet ($\vec{F}_B = q(\vec{v}_s \times \vec{B})$) diğeri ise elektriksel kuvvettir ($\vec{F}_E = q\vec{E}_H$). Bu iki kuvvet büyüklük olarak birbirlerini dengeledikleri anda ($|\vec{F}_E| = |\vec{F}_B|$) artık yüklü parçacıklar sapmazlar. O zaman denklem şu şekilde yazılabilir:

$$E_H = v_s B . \quad (1)$$

Burada manyetik alan \hat{y} , sürüklenme hızı $-\hat{x}$ ve Hall elektrik alanı \hat{z} yönünde alınmıştır. İletkenin genişliği w olarak alınırsa Hall gerilimi

$$U_H = E_H w = v_s B w \quad (2)$$

olarak bulunur. Akım sürüklenme hızına aşağıdaki gibi bağlıdır

$$I = n q v_s A . \quad (3)$$

Burada n yük taşıyıcılarının yoğunluğunu, A ise iletkenin akıma dik kesit alanını göstermektedir. Bu ifadeden v_s çekilip, Denk.(2)'de yerine yazılır ve $A = wd$ olduğu gözönünde bulundurulursa Hall gerilimi (Hall potansiyeli)

$$U_H = \frac{I B}{n q d} = R_H \left(\frac{I B}{d} \right) \quad (4)$$

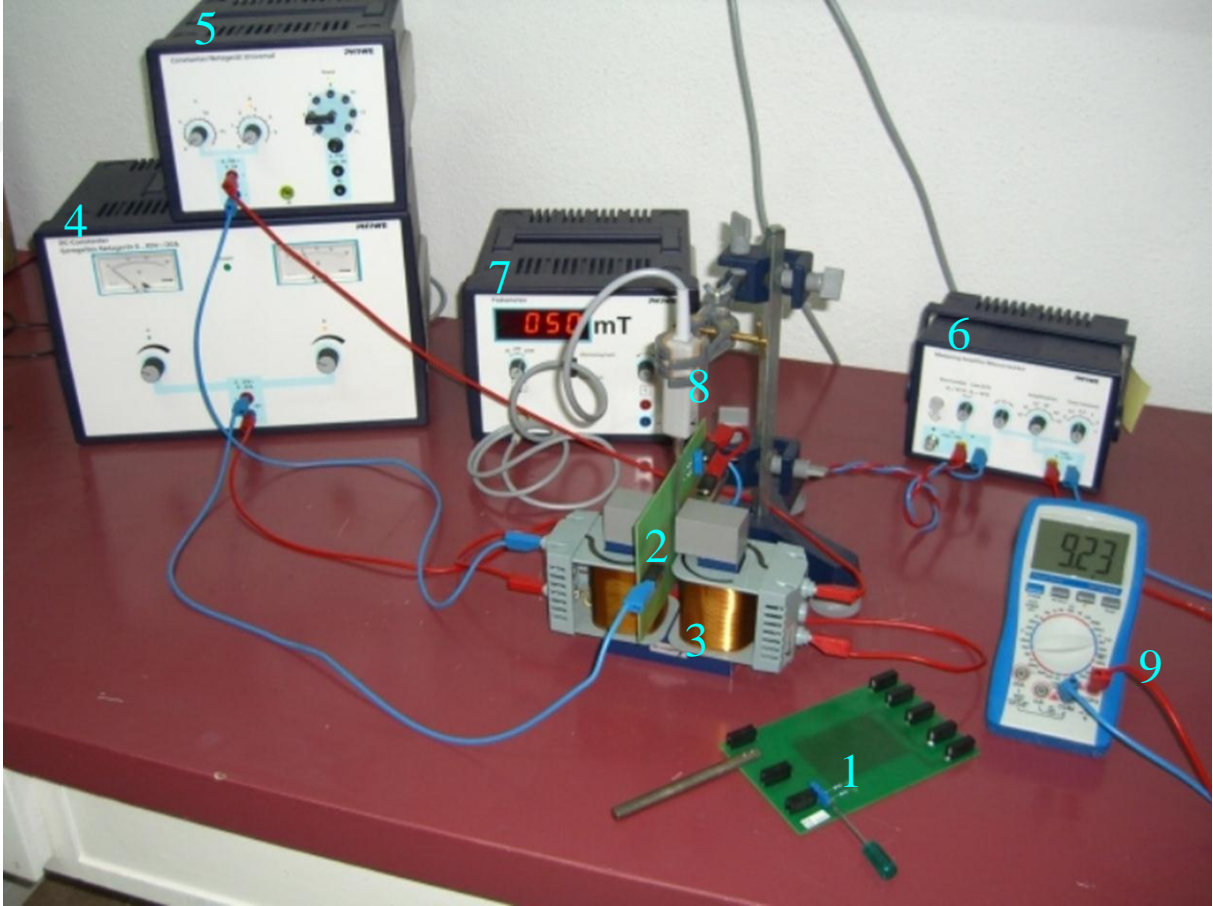
şeklinde elde edilir. Burada $R_H = 1/nq$ Hall katsayısı olarak adlandırılır. Hall katsayısının işareti, yük taşıyıcılarının cinsi ve yoğunluğu hakkında bilgi verir. Kısaca, eğer, yük

taşıyıcıları elektronlar ise Hall katsayısının işareti negatif, yük taşıyıcıları deşikler ise Hall katsayısı pozitifdir.

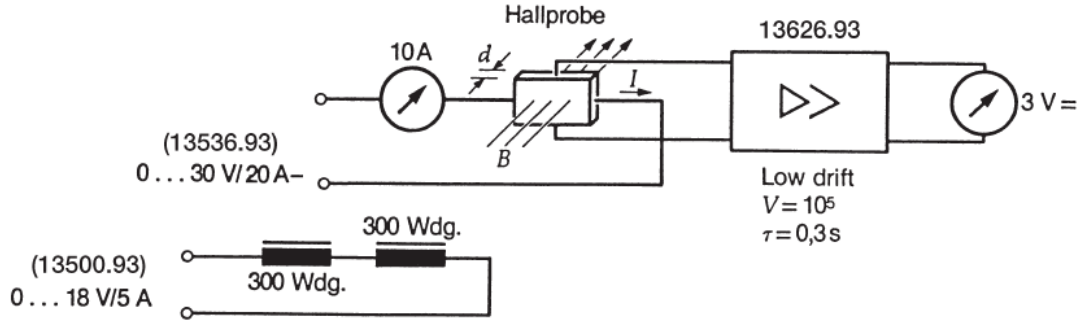
Tüm iletken ve yarı iletken malzemelerde akım elektronların hareket etmesiyle sağlanır. Atom veya molekülleri oluşturan pozitif yüklü çekirdekler ise belirli bir örgü içerisinde hareketsiz durmaktadırlar. Bununla birlikte yük taşıyıcıları negatif veya pozitif olabilmektedir. İletken ve yarı iletkenlerde Hall katsayısının negatif olması negatif yük taşıyıcılarına yani elektronlara karşılık gelir (normal Hall olayı), Hall katsayısının pozitif olması da pozitif yük taşıyıcılarına yani elektron eksikliklerine (oyuklara) karşılık gelir (anormal Hall olayı). Metallerin çoğunda yük taşıyıcılar elektronlardır. Safsızlıkların bulunduğu bazı metallerde ise yük taşıyıcıları oyuklardır.

Deneyde Kullanılacak Araçlar

Bu deneyde, 1 adet bakır (Cu) taşıyıcı pano (1), 1 adet çinko (Zn) taşıyıcı pano (2), 2 adet 300 sarımlı bobin (3), 1 adet U şeklinde ince tabakalardan oluşmuş metal çekirdek, 1 adet 0-30 Volt DC / 20 Amper güç kaynağı (stabil) (4), 1 adet güç kaynağı (genel) (5), 1 adet yükselteç (genel) (6), 1 adet dijital teslametre (7), 1 adet Hall probu (8), 1 adet dijital multimetre (9), 1 adet 10/30mV, 200 deg.C ölçü aleti, 1 adet genel kısıkaç, 1 adet üç ayaklı sehpa, 1 adet destek çubuğu ($l=250\text{mm}$), 1 adet sağ aç kısıkaç, 6 adet kırmızı bağlantı kablosu (750mm), 5 adet mavi bağlantı kablosu (750mm), 2 adet siyah bağlantı kablosu (750mm), ve tornavida kullanılacaktır (Bakınız Şekil 3).



Şekil 3 Deney Düzenegi



Şekil 4 Devre Şeması

Deney İçin Ön Hazırlık ve Deneyin Yapılışı

Deney düzeneği Şekil 3'teki gibi olup, bu düzeneğe karşı gelen devre şeması Şekil 4'te verilmiştir.

1. Ölçüm yükselteci deneyi yapmadan 15 dakika önce açılmalıdır.
2. Teslametre için sıfır ayarı Hall probu manyetik alan içine yerleştirilmeden yapılır.
3. Taşıyıcı pano üzerindeki ölçüm alanını kutup parçaları arasındaki orta bölgeye gelecek şekilde ayarlanır.
4. Hall probunu dikkatlice manyetik alanının merkezine yerleştirilir.
5. Alanların karışmasını minimum düzeyde tutmak için, bağlantı kablolarının mümkün olduğunca kısa olması gerekir.
6. Kayıp (stray) gerilimi mümkün olduğunca azaltmak için Hall gerilimi soketleri ve yükseltecin girişi arasındaki kablolar birbirine dolanır.
7. Hall probu manyetik alanın yokluğunda bile bir gerilim göstereceğinden ölçüm yapmaya başlanmadan önce bu gerilim potansiyometrenin yardımıyla aşağıdaki gibi kompanse edilmelidir:

- i) Enine akım I yok iken ölçüm yükseltecinin çıkış gerilimi yükseltecin ortasındaki ayar düğmesi kullanılarak bir referans değerine mesela 10 Volta ayarlanır. ($h_e = 10^4 \Omega$, amplification = 10^5 olmalıdır.)
- ii) Hall probuna güç kaynağından $I=15$ Amper enine akım verilir, (durağan (stabil) güç kaynağından)
- iii) Ölçüm yükseltecinin çıkış gerilimi tekrar 10 Voltu gösterene kadar, potansiyometre tornavida yardımı ile ayarlanır. (Potansiyometre bakır ve çinko taşıyıcı levha üzerinde bulunmaktadır.)
- iv) Enine akım kesilir.
- v) Tam ayar elde edilene kadar (yani çıkış gerilimi sabit kalana kadar) bu işlem (i – iv basamakları) birkaç kez tekrarlanır.

8. Gerilimler mikrovolt basamağında olduğundan ve ısı, indüksiyon, vs. gibi parazit gerilimler Hall gerilimi ile karıştığından, Hall geriliminin belirlenmesi çok kolay değildir. Hall geriliminin belirlenmesi için aşağıdaki işlemler izlenmelidir:

- i) Enine akım I istenen değere getirilir.
- ii) Manyetik alan B istenen değere getirilir (Genel güç kaynağı kullanılarak).

- iii) Genel güç kaynağındaki ana düğme kullanılarak manyetik alan açılır ve kapanır. Düğmenin açık (on) ve kapalı (off) olduğu durumdaki Hall gerilimi dijital multimetre yardımıyla okunur. Bu iki gerilim değeri arasındaki fark Hall gerilimini verir $U_H = U_H^{on} - U_H^{off}$. Bu gerilimlerin yükselteç tarafından 10^5 defa büyütüldüğü unutulmamalıdır. **Not:** Her ölçümde 10 saniye kadar bekleyip voltmetreden gözlenen değer in sabit kalmasını bekleyiniz.

9. Kalınlığı $d = 18 \mu\text{m}$ olan bakır iletken için enine akımı $I=10$ Amper'e (durağan (stabil) güç kaynağından) ve bobinlere verilecek akımı 4 Amper'e (genel güç kaynağından) ayarlayın. Enine akımın bu sabit değeri için, manyetik alanın değerini genel güç kaynağından gerilimi değiştirerek ayarlayın ve 8. adımı izleyerek Tablo 1'i doldurunuz.

B(mT)	-200	-150	-100	-50	50	100	150	200
$U_H^{on} (\mu\text{V})$								
$U_H^{off} (\mu\text{V})$								
$U_H (\mu\text{V})$								
$U_{H_{ort}} (\mu\text{V})$								

Tablo 1

Burada $B(mT)$ manyetik alan, $U_H (\mu\text{V})$ Hall gerilimidir.

i) $U_H (\mu\text{V})$ - $B(mT)$ grafiğini çiziniz.

ii) Grafiğin eğimini bulunuz ve Denk.(4)'den yararlanarak Hall katsayısını elde ediniz ve teorik değeri ile karşılaştırınız. Bakır için Hall katsayısı $R_H = -0.53 \times 10^{-10} m^3 / As$ 'dir.

10. Kalınlığı $d = 18 \mu\text{m}$ olan bakır iletken için, bobinlere verilecek akımı 4 Amper'e manyetik alanı genel güç kaynağının gerilim düğmesini kullanarak $B = 250 mT$ 'ya ayarlayın. Enine akımın, $I(A)$, değişen değerleri için Hall gerilimini ölçün ve aşağıdaki tabloyu doldurun (enine akım durağan (stabil) güç kaynağı kullanılarak ayarlanır).

I(A)	-10	-6	-2	2	6	10
$U_H^{on} (\mu\text{V})$						
$U_H^{off} (\mu\text{V})$						
$U_H (\mu\text{V})$						
$U_{H_{ort}} (\mu\text{V})$						

Tablo 2

i) $U_H (\mu\text{V})$ - $I(A)$ grafiğini çiziniz.

ii) Grafiğin eğimini bulunuz ve Denk.(4)'den yararlanarak Hall katsayısını elde ediniz ve teorik değeri ile karşılaştırınız ve sonuçları tartışınız.

11. 7., 8. ve 9. maddeleri kalınlığı $d = 25 \mu\text{m}$ çinko iletken için tekrarlayınız. Çinko için Hall katsayısının teorik değeri $R_H = 1.0 \times 10^{-10} m^3 / As$ ile verilir.

Sorular

1. Eğer pozitif ve negatif işaretli iki ylık taşıyıcısı bulunsaydı ve bunların da sőrüklenme hızları aynı büyüklükte olsaydı Hall olayı gözlenebilirdiydi? Neden? Hızların büyüklükleri farklı olsaydı nasıl bir fark oluşurdu? (Not: Yoğunlukların aynı olduğunu düşününüz.)
2. Yarı iletkenlerde Hall olayı nasıl olur araştırınız. n-tipi ile p-tipi yarı iletkenlerde gözlenen Hall olayları arasındaki farklar nedir?
3. Kuantum Hall olayını kısaca anlatınız.