

# MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİ İÇİN FİZİK -2 LABORATUVARI

2020- 2021 GÜZ YARIYILI



*Bu çevrim her deneyde getirilecektir.*

**BÖLÜM KOPYASI**

# MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİ İÇİN FİZİK -2 LABORATUVARI

2020 - 2021 GÜZ YARIYILI



*Bu çevrim her deneyde getirilecektir.*

**ÖĞRENCİ KOPYASI**



# Deney 1

## Yükler ve Alanlar

### Amaç

İletken cisimleri yüklemek, yüklü cisimlerin birbirine uyguladığı kuvveti ölçmek, cismin yükünü hesaplamak, elektrik alan çizgilerini görmek.

### Araç ve Gereçler

Kurşun kalem, silgi, hesap makinesi

### 1. Bilgi

Kehribar (soyu tükenmiş bir çam ağacının taşlaşmış sakızı) yünlü bir kumaşa sürtüldüğü zaman hafif cisimleri çekme özelliği kazanır. Bu özelliğe eski Yunancada elektrik denilmiştir. Bu gün elektrik yüklerinin yol açtığı tüm olayları anlatmak için aynı sözcüğü kullanmaktayız.

Cisimler sürtünme ile yüklenebilir. Cisimleri dokunma (iletim) ve etki (indüksiyon) ile de yüklemek mümkündür. Bunun için elde yüklü bir cismin bulunması gerekir. Doğada iki tür yük vardır; pozitif yük (proton) ve negatif yük (elektron). Aynı cins yükler birbirini iter, farklı cins yükler birbirini çeker. Yüklü bir cisim yüksüz bir cismi çekebilir. Cisimler atomlardan oluşur. Atomun elektron ve proton sayıları eşit ise atom nötrdür. Bir atomun elektron sayısı proton sayısından daha fazla ise net yükü negatif, proton sayısı elektron sayısından fazla ise net yükü pozitifdir. Bir cam çubuk ipek beze sürtüldüğü zaman elektron kaybederek pozitif yük kazanır, ipek bez ise eşit miktarda elektron kazanarak negatif yüklenir. Sürtünme sürecinde sistemin net yükü değişmez. Buna **yük korunumu yasası** denir: Yük korunumu yasası, enerji korunumu yasasına benzer. Doğada bulunan en küçük yük elektronun (veya protonun) yüküdür. Bütün net yükler en küçük yük olan  $e$  elektron yükünün  $n$  tam sayı katıdır, yani yük kuantizedir.

$$Q=ne \quad (1)$$

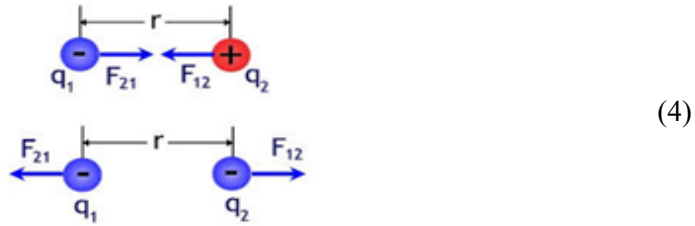
Elektrik yükü, kütle gibi, maddenin temel bir özelliğidir.

## Coulomb Yasası

Yükler karşılıklı olarak birbirlerine elektriksel kuvvet uygular. Coulomb, bu elektriksel kuvvetin yüklerin çarpımı ile doğru orantılı, yükler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu bulmuştur ve elektrik kuvvetini aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3)$$



$$k = 8.98 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

Bu eşitlikte k orantı sabiti,  $\epsilon_0$  serbest uzayın geçirgenliğidir. Kuvvet vektörünün doğrultusu ,yükleri birleştiren doğru boyuncadır.

Coulomb yasası durgun, **noktasal yüklü cisimler** için geçerlidir. Aralarındaki mesafe yarıçapları toplamından daha büyük olan küresel yüklü cisimler için de kullanılabilir. Herhangi bir yük dağılımı için doğrudan kullanılamaz. Bununla birlikte **üst üste binme (süperpozisyon) ilkesi** kullanılarak bu tip dağılımlar çok sayıda noktasal yükten oluşan sistemlere benzetilerek çözümlenebilir.

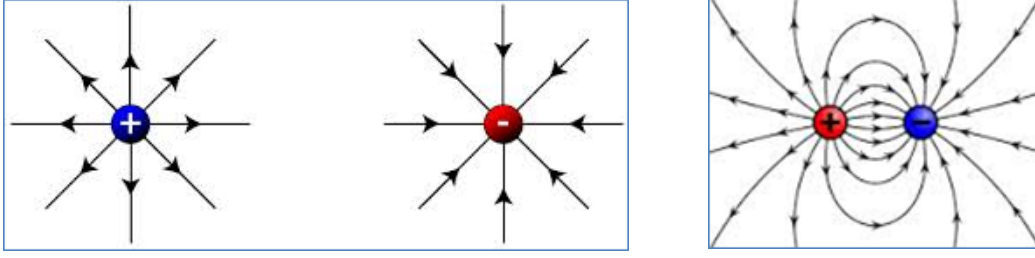
## Elektrik Alanı

Fizikçiler, uzaktan etkileşme kavramından hoşlanmazlar, her cismin ortamda bir alan oluşturduğunu ve diğer cisimlerle bu alan yoluyla etkileştiğini benimserler. Skaler ve vektörel alan kavramı, fiziğin her alanında kullanılır. Vektörel alanın bir doğrultusu ve büyüklüğü vardır. Elektrik alanı vektörel alanın bir örneğidir.

Elektrik alanı, alan içinde bulunan biriken Coulomb kuvvetinin, test yüküne oranı olarak tanımlanır.

Test yükünün alanı etkilemeyecek kadar küçük olduğvarsayılr. Test yükü alanın varlığı ile ilgili değil sadece alanın büyüklük ve doğrultusunu tayin etmek için kullanılan bir araçtır. Elektrik alanı uzayın her noktasında (yükün bulunduğu nokta hariç) tanımlıdır.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{test}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{source}}{r^2} \hat{r} \quad (5)$$



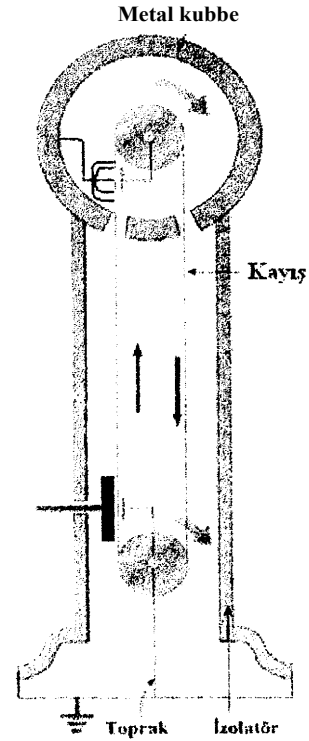
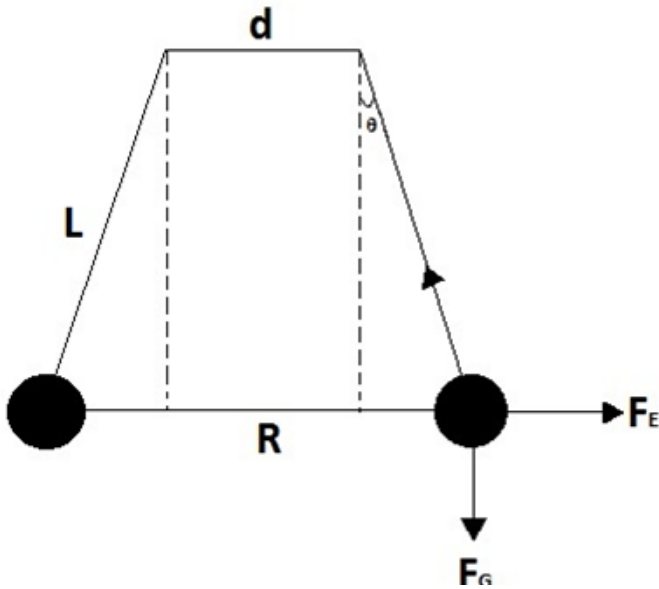
Elektrik alanını, elektrik alanı çizgileriyle gösteririz. Elektrik alan vektörü alan çizgilerine teğettir. Çizgiler pozitif yükten başlar, negatif yükte biter ve alan çizgileri kesişmezler. Elektrik alanın şiddeti çizgilere dik birim yüzeyden geçen çizgi sayısı ile orantılıdır.

## Van de Graaff Jeneratörü

Sürtünme ile yüklemeye, pratik amaçlar için yeterli yük birikimini sağlamak güçtür. Van de Graaff jeneratörü, elektrostatik yöntemle yeterli yük birikimini ve yüksek gerilim elde edilmesini sağlayan bir araçtır. Hem öğrenci laboratuvarlarında hem de ileri fizik araştırmalarında kullanılır. Jeneratör yalıtkan sütunun tepesine monte edilmiş bir iletken kubbe ile motorla hareket ettirilen yük taşıyıcı kemerden ibarettir. Sürtünme sonucu kemerde oluşan yük bir iletken ile metal kubbeye aktarılır ve iletkenin iç bölgesinde yük olamayacağından fazla yükün tamamı kubbenin dış yüzeyine dağılır. Yüzeydeki yük motor çalıştığı sürece artar.

## 2. Deney

1. Deney düzeneği öğrenciye tanıtılır.



Van De Graaff Jeneratörü

2. Van de Graaff Jeneratörü çalıştırılarak kubbenin yüklenmesi sağlanır.
3. Kürelerin kütlesi ölçülür ve tabloya yazılır.
4. Açılış tepegöze yerleştirilir ve merkezinin gölgesi ,ipin bağlanma noktasının gölgesi ile karşılaştırılır.
5. Yeterli yüklenme sağlandıktan sonra jeneratör durdurulur ve küreler kubbeye dokundurularak yüklenir.(Temas ettirilmeden önce küreler topraklanmalıdır.)
6. Jeneratör uzaklaştırılır.
7. Küreler birbirlerine temas ettirilerek yükleri eşitlenir.
8. Ekrandan açı okunur ve tabloya işlenir.
9. Elektriksel kuvvet ve küreler üzerindeki yük miktarları bulunur.Sonuçlar tabloya işlenir.

**Tablo**

		<b>m (kg)</b>	<b>L (m)</b>	<b>R (m)</b>		
<b>FG(N)</b>	<b><math>\theta(^{\circ})</math></b>	<b>R (m)</b>	<b>FE(N)</b>	<b>Q1 (nC)</b>	<b>Q2 (nC)</b>	

Cam kap içine yerleştirilmiş farklı tipteki elektrotlara uygulanan gerilimin etkisi ile Hint yağı üzerine serpilen irmiğin oluşturduğu elektrik alan çizgilerini

1. nokta-nokta elektrot (noktasal yük - noktasal yük)



2. düzlem-nokta elektrot (noktasal yük -düzlemsel yük) için çiziniz.



# Deney 2

## Kondansatörün Yüklenmesi ve Boşaltılması

### Amaç

Bir kondansatörün sığasının ve direnç-kondansatör (RC) devresinin zaman sabitinin belirlenmesi.

### Araç ve Gereçler

Direnç, kondansatör, güç kaynağı, voltmetre, süre ölçer, grafik kağıdı.

### 1. Bilgi

Yük biriktirmeye yarayan düzeneklere *kondansatör* adı verilir. Genel olarak kondansatörler karşılıklı yerleştirilmiş iki iletken ve bunlar arasına yerleştirilmiş yalıtkan malzemeden oluşur. Yüklü iletken paralel plakalar arasındaki hacimde düzgün bir elektrik alan varılır ve bu hacimde elektriksel potansiyel enerji depolanır. Bir kondansatörün *sığası* (kapasitesi), kararlı durumda pozitif yüklü iletkende depolanan  $Q_0$  yük miktarının, iletkenler arasındaki  $V_0$  potansiyel farkına oranı olarak tanımlanır.

$$C = Q_0/V_0 \quad (1)$$

Si birim sisteminde, yük birimi Coulomb (C), potansiyel farkı birimi Volt (V) olmak üzere sığa birimine *Farad* (F) denir. Pratik uygulamalarda faradın ast katları olan  $\mu\text{F}$ , nF, pF kullanılır. Bir kondansatörün sığası iletkenlerin geometrisine ve aralarındaki yalıtkan malzemenin ( $\epsilon_0$ ) dielektrik sabitine bağlıdır. Örneğin paralel plakalı bir kondansatörün sığası,

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2)$$

Bu denklemden,  $A$  plakaların alanı,  $d$  plakalar arası uzaklıktır. Kondansatör yüklenirken (şarj olurken) veya boşalırken (deşarj olurken) yük miktarı zamana bağlı olarak değişir. Herhangi bir  $t$  anında yük miktarı ve potansiyel farkı arasında

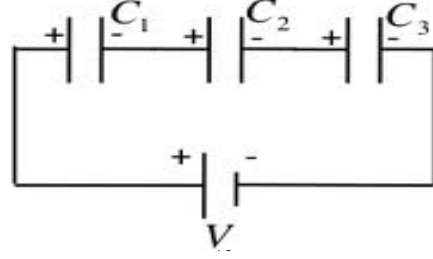
$$q(t) = CV(t) \quad (3)$$

bağıntısı vardır.



## Kondansatörlerin Seri ve Paralel Bağlanması

Şekil 1a, daki kondansatörler seri bağlanmıştır. Açık uçlar güç kaynağına bağlanırsa, bu plakalar doğrudan, diğer plakalar etkiyle yüklenir. Bu nedenle her kondansatörün levhaları üzerinde eşit miktarda negatif ve pozitif yük birikir.



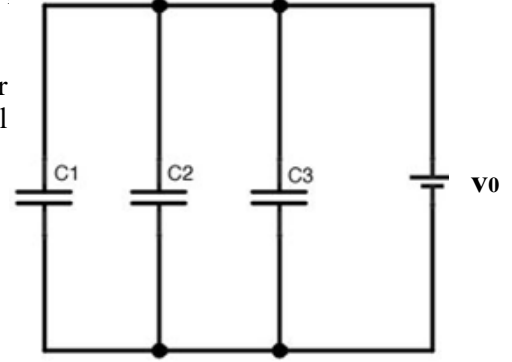
Şekil 1a: Seri Bağlı Kondansatörler.

Kondansatörlerin uçları arasındaki potansiyel farklarının toplamı, üreteci  $V_0$  potansiyel farkına eşittir. ( $V_0 = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$ )

Bu kondansatörler yerine eşdeğer bir kondansatör konulabilir ve seri bağlı sistemin eşdeğer sığası  $C_{eş}$ ,

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots = \sum_i \frac{1}{C_i} \quad (4)$$

ifadesiyle verilir. Seri bağlı kondansatörlerin eşdeğer sığası devreyi oluşturan bütün kondansatörlerin sığalarından küçüktür. Şekil 1b'deki kondansatörler paralel bağlıdır. Bu bağlantıda her kondansatörün yük miktarı farklıdır. Her bir kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkına eşittir. ( $V_0 = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$ )

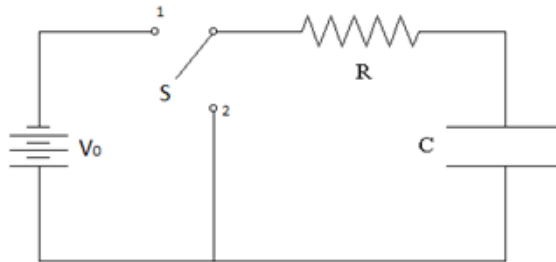


Şekil 1b: Paralel Bağlı Kondansatörler. (5)

Paralel bağlı kondansatörlerde her bir kondansatörün sığasıyla orantılı farklı miktarda yük depolanır. Eşdeğer sığa, her bir kondansatör sığasının toplamına eşittir.

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = \sum_i C_i \quad (6)$$

## Kondansatörün Bir Direnç Üzerinden Yüklenmesi ve Boşalması



RC devresi, Şekil 2'de gösterildiği gibi seri bağlanmış bir direnç, bir kondansatör ve bir güç kaynağından oluşur. S anahtarı 1 konumuna getirildiğinde güç kaynağı devreye bağlanır, zamanla değişen  $i(t)$  akımı devrede dolaşmaya başlar ve

kondansatör yüklenir (**şarj durumu**). S anahtarı 2 konumuna getirildiğinde güç kaynağı devreden çıkar ve kondansatör direnç üzerinden boşalır (**deşarj durumu**). Anahtar 2 konumundayken kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı (gerilimi) zamanla değişir.

### RC Devresindeki Bir Kondansatörün Yüklenmesi

Şekil 2'deki devrede S anahtarı 1 konumundayken kondansatör yüklenir. Yüklenme sırasında herhangi bir t anında devre elemanlarındaki gerilimler için Kirchhoff kuralı uygulandığında,

$$V_0 - I(t).R - \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (6)$$

elde edilir. Bu denklemde  $V_0$  güç kaynağının gerilimi,  $I(t).R$  ohm kanununa göre direnç üzerinde azalan gerilim ve  $q(t)/C$  ise denklem 3'deki gibi kondansatör üzerindeki gerilim düşmesidir.  $J = dq/dt$  ifadesi denklem 6'de yerine konulup yeniden düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{dq}{dt} = \frac{V_0}{R} - \frac{q}{RC} \quad (7)$$

Bu denklemin  $t = 0$  anında  $q = 0$  başlangıç koşulu kullanılarak,

$$\int_0^q \frac{dq}{q - V_0 C} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q - V_0 C}{-V_0 C}\right) = -\frac{t}{RC}$$

elde edilir. Denklem düzenlenirse, herhangi bir t anında kondansatörün yükü,

olur. Bu denklemin zamana göre türevi alındığında yüklenme alımı elde edilir:

$$q(t) = V_0 C (1 - e^{-t/RC}) \quad (8)$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC} \quad (9)$$

Denklem 3 ve denklem 8'den yüklenme sırasında herhangi bir anda kondansatörün uçları arasındaki gerilim,

$$V_C(t) = V_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad (10)$$

şeklinde olur.

$$t \rightarrow \infty \quad \text{olduğunda} \quad V_C(t) \rightarrow V_0 \quad q(t) \rightarrow Q_0 \quad I \rightarrow 0$$

yaklaşır. Pratikte ,bu duruma  $t=5$ , süresi sonunda ulaşıldığı kabul edilir.

## RC Devresindeki Bir Kondansatörün Boşalması

Şekil 2'deki S anahtarı 2 konumuna getirildiğinde güç kaynağı devreden çıkar ve kondansatör direnç üzerinden boşalmaya başlar. Kirchhoff kuralı uygulanarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\left( -I(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0 \right) \quad (11)$$

$t=0$ 'da  $q=Q$  koşulu kullanılarak denklem 11 çözülür ve herhangi bir  $t$  anında kondansatörün yükü,

$$q(t) = Qe^{-t/RC} \quad (12)$$

elde edilir. Boşalma sürecinde kondansatörün uçları arasındaki gerilim ve devreden geçen akım ,

$$V_c(t) = V_0 e^{-t/RC} \quad (13)$$

$$I(t) = -\frac{Q}{RC} e^{-t/RC} \quad (14)$$

şeklinindedir.  $t \rightarrow \infty$  durumunda,  $V_c$ ,  $q$  ve  $I$  değerleri sıfıra yaklaşır ve kondansatör Şekil 2'de gösterilen başlangıç durumuna geri döner. Bu denklemlerdeki RC çarpımını **zaman sabiti** adı verilir ve  $T$  sembolü ile gösterilir.

$$\tau = RC \quad (15)$$

**Soru:** Zaman sabitinin boyutunu ve birimini Si sisteminde belirleyiniz.

RC devresinin yüklenme ve boşalma zamanı  $\tau$  zaman sabiti ile karakterize edilir. Zaman sabiti, yüklenme ve boşalma sırasında devre akımının başlangıç değerinin  $e^{-1}$  ine kadar düşmesi için geçen zamandır.

## 2. Deney

1. Şekilde verilen devreyi herhangi bir  $R_1C_1$  çifti seçerek kurunuz.  $t=0$ 'da  $q(t) = Q$  başlangıç şartını gerçekleştirmek için anahtarı boşalma (deşarj) konumuna getiriniz. DC güç kaynağının çıkış gerilimini 10 Volt'a ayarlayınız. Ölçümlere başlamadan önce multimetrelerin doğru bağlanmış ve kondansatörlerin yalıtılmış olmalarına dikkat ediniz. Ölçü aletlerinin ayarlarıyla oynamayınız.

2. Anahtarı yüklenme (şarj) konumuna getiriniz. Kondansatör üzerindeki gerilimin her 1 Volt'luk değişimi için geçen süreyi süreölçer ile belirleyerek direnç üzerindeki gerilim değeri ile birlikte aşağıdaki tabloya kaydediniz. Kondansatör üzerindeki gerilim 8 Volt değerini geçtikten sonra anahtarıdeşarj konumuna getiriniz ve bu süreyi de kaydederek ölçüme devam ediniz.

R <sub>1</sub> =		C <sub>1</sub> =			R <sub>2</sub> =		C <sub>2</sub> =		
V <sub>C</sub> (V)	t(s)	V <sub>R</sub> (V)	I(μA)	lnI(μA)	V <sub>C</sub> (V)	t(s)	V <sub>R</sub> (V)	I(μA)	lnI(μA)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				
6					6				
5					5				
4					4				
3					3				
2					2				
1					1				

- R<sub>1</sub>C<sub>1</sub> çiftinin yüklenme ve boşalma sürecinin V<sub>C</sub>=f(t) grafiğini çizin.
- $I = V_R / R$  yasasını kullanarak I akım şiddetlerini hesaplayarak, ln (mA) değerlerini de bulup tabloya işleyiniz.
- ln(I): f(t)** grafiğini çizin ve grafiğin eğiminden zaman sabitini belirleyiniz. Ve hata hesabını yapınız.

$\tau_{R_1C_1}$ (s) (Yüklenme)
Teorik Değer =
Deneysel Değer =
$\%Hata = \frac{ \tau_{Teorik} - \tau_{Deneysel} }{\tau_{Teorik}} \cdot 100 =$

- Farklı bir direnç-kapasitör çifti için deneyi tekrarlayın.
- Yeni çift için 3. ve 4. adımda verilen grafikleri çizin. C<sub>2</sub>'yi hesaplayın.  $C_2 = \tau / R_2$

$C_2$  ( $\mu\text{F}$ ) (Yüklenme)

Gerçek Değer=

Deneysel Değer=

$$\%Hata = \frac{|C_{Teorik} - C_{Deneysel}|}{\tau_{Teorik}} \cdot 100 =$$

## Deney 3

### Ohm Yasası

**Amaç:** Bilinmeyen  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{SERI}$  ve  $R_{PARALEL}$  dirençlerinin ohm yasası ile bulunması

#### Teorik Bilgi:

**Akım, Direnç ve Elektromotor kuvveti:** Akım, parçacıkların (hava moleküllerinin, su moleküllerinin ve yük taşıyıcıların) belli bir yönde hareketini anlatır. Yük taşıyıcılarının bir yönde hareketi elektrik akımını oluşturur. Katı iletkenlerde yük taşıyıcılar elektronlar, sıvı ve gaz iletkenlerde elektronlar ve iyonlar, yarı iletkenlerde elektronlar ve boşluklar (hole) dır. Bir iletkenin kesitinden birim zamanda geçen toplam yüke **elektrik akımı** denir:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1)$$

SI birim sisteminde akım birimi Amper'dir ( $1A=1 C/s$ ). İletkenlerde akım elektronların hareketi ile oluşur. Bir devrede akım yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru akar. Akımın yönü elektronların hareketinin tersi yönünde kabul edilir. Elektrik devrelerinde pil, batarya vb. üreteçler elektrik enerjisi kaynağıdır ve bağlandıkları iki nokta arasında bir potansiyel farkı oluşturarak yük taşıyıcıların hareketini sağlar. Üreteç, yüklerin devrede sürekli dolaşımını devam ettirmek için enerji harcar. Birim yükün devreyi dolaşabilmesi için üreticinin yaptığı işe,

$$\varepsilon = \frac{W}{q} \quad (2)$$

üreticinin **elektromotor kuvveti (emk)** denir. Birimi Volt'tur ve V sembolü ile gösterilir.

#### Direnç ve Ohm Yasası

Yükün bir madde içindeki hareketine karşı gösterilen zorluk o maddenin elektriksel direncini belirler. Direnç  $R$  ile gösterilir. Bir iletken telin iki ucu arasındaki potansiyel farkının bu iletkenden geçen akıma oranı sabittir, bu oran telin direncini verir ve **Ohm Yasası** olarak tanımlanır:

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

SI birim sisteminde direncin birimi ohm'dur ve  $\Omega$  sembolü ile gösterilir.

#### Dirençlerin Seri ve Paralel Bağlanması

Şekil 1.a'daki devrede dirençler seri bağlanmıştır. Seri bağlı dirençlerden aynı akım geçer. İletkenlerde akım geçerken herhangi bir bölgede yük birikmesi mümkün değildir. Seri bağlı dirençlerin iki ucu arasındaki potansiyel farkı, her bir direnç üzerindeki potansiyel farklarının toplamına eşittir.

$$\varepsilon = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 + I(R_1 + R_2) \quad (4)$$

Bu durumda devreden geçen akım

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

olur. Bu devre, seri bağlı iki direnç yerine tek bir eşdeğer direnç ile temsil edilir:

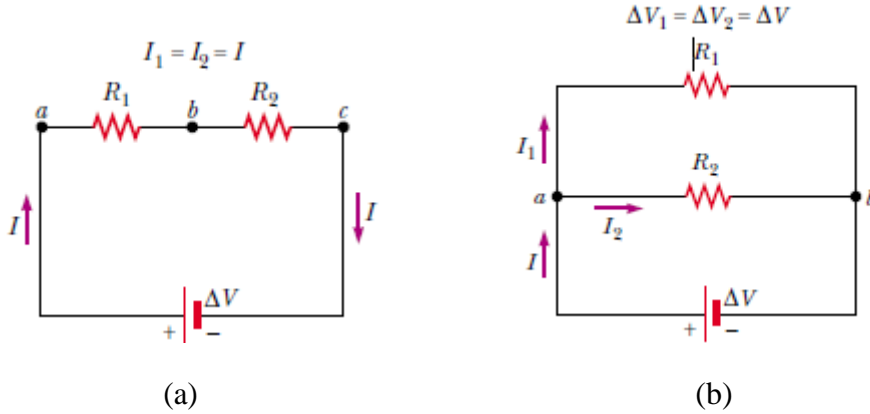
$$\Delta V = IR_{eq} = I(R_1 + R_2) \quad (6)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Seri devrenin eşdeğer direnci, devredeki dirençlerin toplamına eşittir ve devredeki her bir dirençten daha büyüktür. Seri bağlı  $n$  tane dirençten oluşan bir devre için (6) denklemi

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (7)$$

olarak genişletirilir.



Şekil 1 (a) Seri bağlı iki dirençli devre, (b) Paralel bağlı iki dirençli devre

Şekil 1.b'deki devrede  $R_1$  ve  $R_2$  dirençleri paralel bağlanmıştır. Devreden geçen  $I$  akımı  $I_1$  ve  $I_2$  akımlarının

$$I = I_1 + I_2 \quad (8)$$

toplamıdır. Dirençlerin uçları arasındaki potansiyel farkı

$$\varepsilon = V_1 + V_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2 \quad (9)$$

üreticinin uçları arasındaki potansiyel farkına eşittir. (8) ve (9) denklemlerinden, devreden geçen akım

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}} \quad (10)$$

elde edilir. Bu denklemden paralel bağlı dirençler için devrenin eşdeğer direnci

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (11)$$

olarak bulunur. Eşdeğer direnç, dirençlerin her birinden daha küçüktür. Paralel bağlı  $n$  tane dirençten oluşan bir devre için (11) denklemi

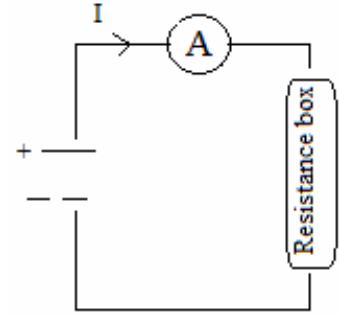
$$\frac{1}{R_{es}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (12)$$

olarak genelleştirilir.

**Ölçü Aletleri:** Bir devreden geçen akım şiddeti *ampermetre* ile; potansiyel farkı *voltmetre* ile ölçülür. Her iki büyüklükte multimetre ile ölçülebilir. Ampermetre devre elemanına seri bağlanır. Bir ampermetrenin ölçülen akımı etkilememesi için, iç direncinin çok küçük olması gerekmektedir. Voltmetre devre elemanına paralel bağlanır ve potansiyel farkını etkilememesi için, iç direncinin çok büyük olması gerekir.

### Deneyin Yapılışı:

1. Direnç kutusundan herhangi iki direnç seçilir ve her bir direnç için Şekil 2’de verilen devre kurulur. Güç kaynağı sırasıyla Tablo 1’deki değerlere ayarlanır, dirençten geçen akım okunur ve Tablo 1’e işlenir.



Şekil 2

Tablo 1

V(V)	I <sub>1</sub> (mA)	R <sub>1</sub> =.....	I <sub>2</sub> (mA)	R <sub>2</sub> =.....
		R <sub>1hesap</sub> (kΩ)		R <sub>2hesap</sub> (kΩ)
2				
5				
7				
9				
15				
		R <sub>1 ort</sub> =		R <sub>2 ort</sub> =
		R <sub>1 grafik</sub> =		R <sub>2 grafik</sub> =

2. Seçilen her bir iletken için  $V=f(I)$  grafiği çizilir, direnç değerleri bulunur, hesaplanan direnç değerlerinin ortalaması ile karşılaştırılır ve sonuçlar Tablo 1’e işlenir.
3. Değerleri belirlenen dirençler seri bağlanır. 1. adımdaki ölçümler tekrar edilerek sonuçlar Tablo 2’ye işlenir.
4. Değerleri belirlenen dirençler paralel bağlanır. 1. adımdaki ölçümler tekrar edilerek sonuçlar Tablo 2’ye işlenir.



5. Seri ve paralel bağı dirençler için  $V=f(I)$  grafiği, aynı grafik kağıdına çizilir, eşdeğer direnç değerleri bulunur, hesaplanan eşdeğer direnç değerlerinin ortalaması ile karşılaştırılır ve sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

**Tablo 2**

V(V)	I(mA)	Seri bağlama	I(mA)	Paralel bağlama
		$R_{\text{hesap}} (k\Omega)$		$R_{\text{hesap}} (k\Omega)$
3				
6				
10				
12				
14				
		$R_{\text{ort}}=$ $R_{\text{eş}}=$ $R_{\text{grafik}}=$		$R_{\text{ort}}=$ $R_{\text{eş}}=$ $R_{\text{grafik}}=$

### Sorular

1. Akım ileten tüm malzemeler Ohm Yasasına uyar mı? Örnek veriniz.
2. Bir bataryadan geçen akımın yönü her zaman negatif uçtan pozitif uca doğru mudur? Açıklayınız.
3. Eşdeğer direncin, bu dirençleri oluşturan her bir dirençten daha büyük olması için dirençler nasıl bağlanmalıdır? Üç dirençli bir örnek veriniz.

### Araştırma Soruları

1. En fazla 0,10 mA akım ölçebilen bir ampermetrenin iç direnci  $0,3 m\Omega$ ' dur. Hangi seri direnç bu ampermetreyi 0-3 V arası ölçüm yapabilen bir voltmetreye dönüştürür?
2. Bir bataryanın iç direncinin değeri nasıl bulunur?

## Deney 4

### Kirchhoff Yasaları

#### Amaç:

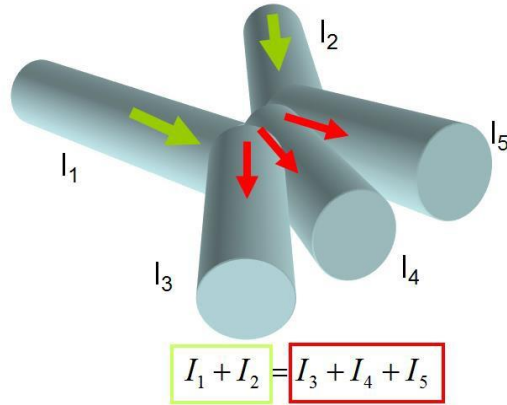
1. Çok ilmekli devrelerde devre elemanlarından geçen akım şiddetinin ve bunların uçları arasındaki potansiyel farkların belirlenmesi.
2. Devrede üretilen ve tüketilen gücün karşılaştırılması.

#### Teorik Bilgi:

**Kirchhoff Yasaları:** Tek ilmekli devreye indirgenmesi mümkün olan basit elektrik devreleri, Ohm yasası ve dirençlerin seri ve paralel bağlanmalarına ait kurallar kullanılarak çözümlenebilir. Yani, devrenin içerdiği dirençler ve *emk* kaynağı hakkındaki bilgiler veriliyorsa, her bir devre elemanından geçen akım ve devre elemanı üzerine düşen potansiyel farkı basitçe hesaplanabilir. Ancak birden fazla kapalı ilmek içeren devreyi tek bir kapalı devreye indirmek her zaman mümkün değildir. Bu gibi daha karmaşık devrelerin çözümlenmesi, Kirchhoff kuralları olarak bilinen yasaların uygulanmasıyla yapılır. Bu yasaları anlayabilmek için devrenin *düğüm noktası* ve *ilmek* kavramlarını tanımlamak gerekir. Akımın bir noktada bir araya geldiği veya kollara ayrıldığı noktaya devrenin *düğüm noktası* denir. Devrenin herhangi bir noktasında başlayıp, devre elemanları ve bağlantı telleri üzerinden geçerek, yeniden başlangıç noktasına ulaştığımız keyfi kapalı yola *ilmek* denir.

- i. **Düğüm kuralı:** Herhangi bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, bu düğüm noktasından çıkan akımların toplamına eşit olmalıdır (Şekil 1):

$$\sum I_{gel} = \sum I_{çık} \quad (1)$$



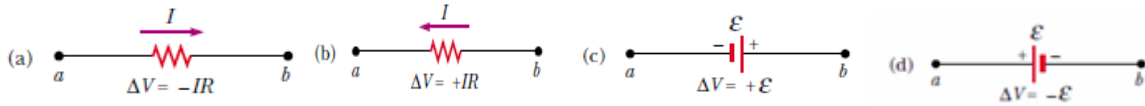
Şekil 1

- ii. **İlmek Kuralı:** Herhangi bir ilmek boyunca bütün devre elemanlarının uçları arasındaki potansiyel farkların cebirsel toplamı sıfır olmalıdır.

$$\sum_{\substack{\text{kapalı} \\ \text{ilmek}}} \Delta V = 0 \quad (2)$$

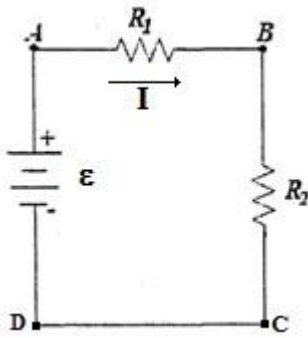
Kirchoff'un ikinci kuralını uygularken, bir ilmekte yükün bir ilmek boyunca hareketini ve elektriksel potansiyelindeki değişimi inceleriz. İkinci kuralı uygularken aşağıdaki işaret değişimlerine dikkat edilmelidir:

- Bir R direncinden geçen akımı şiddeti  $I$  ise ve bu direnç akım yönünde geçiyorsa, direncin uçları arasındaki potansiyel değişimi  $-IR$ 'dir (Şekil 2a). Bir R direncinden geçen akımı şiddeti  $I$  ise ve bu direnç akıma ters yönde geçiyorsa, direncin uçları arasındaki potansiyel değişimi  $+IR$ 'dir (Şekil 2b).
- Herhangi bir üreteç (emk) üzerinden “-“ uçtan “+” uca doğru geçiliyorsa ve güç kaynağının iç direnci ihmal ediliyorsa potansiyel değişimi  $+\varepsilon$  dur (Şekil 2c). Herhangi bir üreteç (emk) üzerinden “+“ uçtan “-“ uca doğru geçiliyorsa ve güç kaynağının iç direnci ihmal ediliyorsa potansiyel değişimi  $-\varepsilon$  dur (Şekil 2d).



Şekil 2 . Kirchoff Yasalarının Uygulama Kuralları.

### Elektrik Devre Elemanlarında Güç Hesabı:



Şekil 3.

Şekil 3'deki kapalı devre için Kirchoff ifadesi yazılır ise,

$$\varepsilon - IR_1 - IR_2 = 0 \quad (3)$$

$$\varepsilon = IR_1 + IR_2 \quad (4)$$

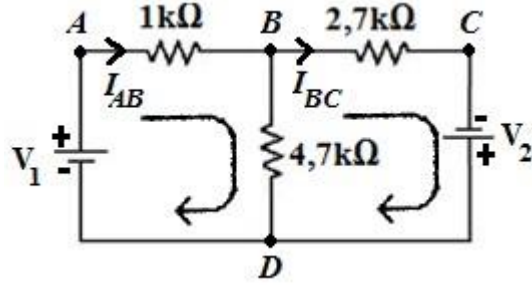
ifadesi elde edilir. Eşitliğin her iki tarafı devreden geçen  $I$  akımı ile çarpılır ise,

$$\varepsilon I = IR_1 + IR_2 \quad (5)$$

ifadesi elde edilir. Buradaki terimleri sırası ile ve dirençlerinde Joule Isısı olarak harcanan güç ifadeleridir. Eşitlikteki çarpımı ise emk'lı güç kaynağının ürettiği gücü verir. Diğer bir ifade ile devrede üretilen güç, tüketilen güce eşittir:

$$P \varepsilon = PR_1 + PR_2 \quad (6)$$

### Deneyin Yapılışı:



Şekil 4

1. Şekil 4'deki devre kurulur. Her bir devre elemanının üzerindeki potansiyel fark ve üreteçten geçen akımın şiddeti ölçülür ve Tablo 1'e işlenir.
2. Kirchhoff Kuralları uygulanarak her bir direnç üzerindeki akımlar ve potansiyel farkları teorik olarak hesaplanır ve Tablo 1'e işlenir.
3. Bağıl hata hesabı akım ve gerilimler için tek tek hesaplanıp Tablo 1'e işlenir.

Tablo 1

	$V_1$ (V)	$V_2$ (V)	$I_{AB}$ (mA)	$V_{AB}$ (V)	$I_{BC}$ (mA)	$V_{BC}$ (V)	$I_{BD}$ (mA)	$V_{BD}$ (V)
Deneysel Sonuç								
Hesap Sonucu								
Bağıl Hata								

4. Her bir devre elemanın gücü deneysel ve teorik olarak hesaplanır ve Tablo 2'ye işlenir.

Tablo 2

	$P_{1k\Omega}$	$P_{2,7k\Omega}$	$P_{4,7k\Omega}$	$P_{V_1}$	$P_{V_2}$	Toplam $P_{tüketilen}$	Toplam $P_{üretilen}$	$P_{fark}$
Deneysel Sonuç								
Hesap Sonucu								
Bağıl Hata								

**Sorular**

1. Deneyde bulunan, üretilen ve tüketilen güç arasındaki fark var ise nedeni ile açıklayınız.
2. Hangi durum altında bir bataryanın uçları arasındaki potansiyel farkı onun elektro-motor-kuvvetinden büyük olur?
3. Otomobiller genelde 12V akü kullanır. Yıllar önce 6V akü kullanılıyordu. Neden değiştirildi? Neden 24V değil?

# Deney 5

## Akım Taşıyan iletkene Etkiyen Manyetik Kuvvet

### Amaç

Düzgün manyetik alan içinde, akım taşıyan iletkene etkiyen kuvvetin ölçülmesi ve hareket indüksiyon elektromotor kuvvetinin gözlenmesi.

### Araç ve Gereçler

DC güç kaynağı, 2 adet Dinamometre, Multimetre, 2 adet Mıknatıs.

### 1. Bilgi

Manyetik alan, sadece hareket eden yüklü parçacıklara bir kuvvet uygular. manyetik alanı içerisinde  $v$  hızı ile hareket eden  $q$  yüklü parçacığa etkiyen manyetik kuvvet:

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \quad (1)$$

formülü ile verilir. Bu kuvvet deneysel yöntemlerle elde edilir.

Bu manyetik kuvvetin yönü hem parçacığın hızına hemde manyetik alana diktir. Bu kuvvetin büyüklüğü;

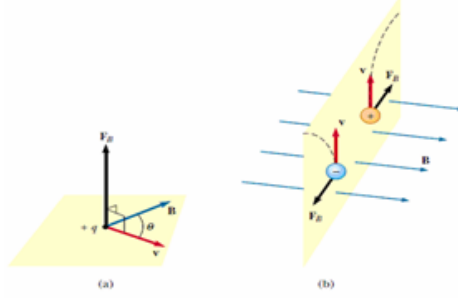
$$F_B = |q|VB\sin\theta \quad (2)$$

Burada  $\theta$ , hız vektörü ile  $V$ , manyetik alan vektörünün  $B$  aralarındaki açıdır. SI birim sisteminde  $B$  manyetik

alanın birimi Tesladır. "T" ile gösterilir.  $T = \frac{N}{Am}$

## Elektrik Yüküne Etki Eden Manyetik Kuvvet :

Parçacığın hız vektörü manyetik alanla herhangi bir açı yaptığında, manyetik kuvvet hem v hem de B'ye dik bir yönde etki eder; yani  $F_B$ , v ve B'nin oluşturduğu düzleme diktir (Şekil 1a). Pozitif bir yüke uygulanan manyetik kuvvet, aynı yönde hareket eden bir negatif yüke uygulanan manyetik kuvvetin yönünün tersi yöndedir (Şekil 1b).



Şekil 1.

B manyetik alanında v hızıyla hareket eden yüklü bir parçacık üzerine etkiyen manyetik kuvvetin  $F_B$  yönü,

(a) Manyetik kuvvet hem v hem de B'ye diktir.

(b) Zıt yönlü manyetik kuvvetler  $F_B$ , bir manyetik alanda aynı hızda hareket eden zıt yüklü iki parçacığa uygulanır.



Şekil 2.

Sağ el kuralı; v vektörü başparmağınızın yönünde ve B de parmaklarınızın yönündedir. Pozitif yük üzerindeki  $F_B$  kuvveti, sanki parçacığı elinizle itiyormuşsunuz gibi, avucunuzun yönündedir. Şekil 2'de  $v \times B$  vektörel çarpımının yönünü belirlemek ve  $F_B$ 'nin yönünü belirlemek için sağ el kuralını gözden geçirmekteyiz. Burada başparmak v yönünü ve uzatılmış parmaklar B yönünü gösterir. Şimdi, pozitif bir yük üzerindeki  $F_B$  kuvveti avucunuzdan dışarı doğru uzanır. Bu kuralın avantajı, yük üzerindeki kuvvetin, elinizle bir şeyi iteceğiniz yönde, avucunuzun dışında olmasıdır. Negatif yük üzerindeki kuvvet ters yöndedir.

## Akım Taşıyan Bir Tel Üzerine Etki Eden Manyetik Kuvvet:

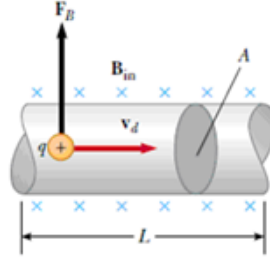
Düzgün bir B manyetik alanında I akımı taşıyan, L uzunluğunda ve A kesit alanına sahip düz bir tel parçası Şekil 3'te gösterilmiştir. Sürüklenme hızı  $v_d$  ile hareket eden bir q yüküne uygulanan manyetik kuvvet dir. Tele etki eden toplam kuvveti bulmak için, bir yüke uygulanan kuvveti, segmentteki yüklerin sayısı ile çarpabiliriz. Segmentin hacmi  $AL$  olduğundan, segmentteki yüklerin sayısı  $nAL$ 'dir; burada n, birim hacim başına yüklerin sayısıdır. Bu nedenle, L uzunluğundaki tel üzerindeki toplam manyetik kuvvet,

$$F_B = (qv_d \times B)nAL$$

Bu ifadeyi daha uygun bir biçimde yazabiliriz, teldeki akım,  $I = nqv_d A$  dir. Bu nedenle,

$$F_B = IL \times B$$

olmaktadır.

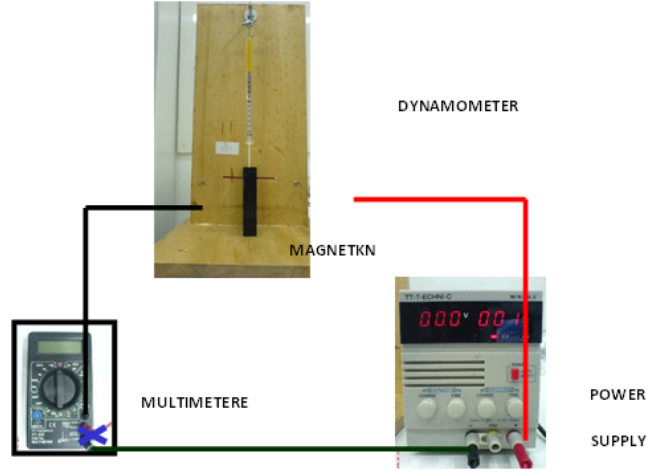


Şekil 3.

B manyetik alanında akım taşıyan bir tel parçası. Akımı oluşturan her yüke uygulanan manyetik kuvvet  $qv_d \times B$  ve  $L$  uzunluğundaki parça üzerindeki net kuvvet  $IL \times B$  dir.

## 2.Deney

Deneyde kullanılacak olan set Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.

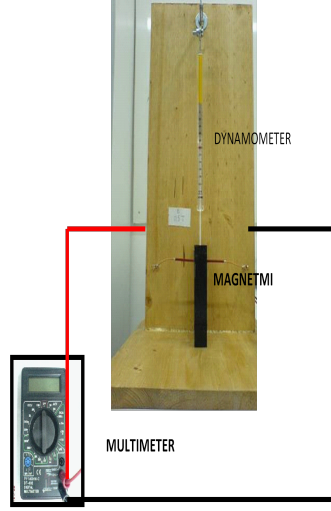
1. Kullanacağınız sette, multimetre (10A) akım okuma ayarına getirilir
2. Devreden geçen akım sıfır iken dinamometreden okunan kuvvetin değeri ( $F_0$ ) tabloya işlenir. Bu kuvvet iletken çubuğun ve kabloların toplam ağırlığıdır.
3. Önce multimetre, sonra güç kaynağı açılarak devreye akım verilir.
4. Devreden geçen akım, güç kaynağı üzerindeki akım ayar düğmesi ile tabloda gösterilen değerlere ayarlanır. Dinamometrenin gösterdiği değer ( $F$ ) tabloya işlenir.
5. Her akım değerine karşılık dinamometrede okunan kuvvet değerinden  $F_0$  değeri çıkarılır ve  $F-F_0$  tabloya yazılır.
6. Bu deneyde  $L$  ile  $B$  arasındaki açı  $90^\circ$  dir. Manyetik kuvvet  $F_{mag} = ILB$  bağıntısından hesaplanır ve tabloya işlenir. ( $L=2.5\text{cm}$ ,  $B=0.5\text{ T}$  'dir.  $B$  değeri deney seti üzerinde verilmiştir.)
7. **Sağ el kuralının doğrulanması:** Düzenekte akımın yönünü ve manyetik alan yönünü belirleyiniz. Şekil 4 üzerinde sağ el kuralım kullanarak ve deneyerek manyetik kuvvetin yönünü oklar ile gösteriniz.



**Tablo 1.**

I(A)	F <sub>dynamometer</sub> (N)	F <sub>0</sub> =.....N	Magnetic Force	F <sub>m</sub> - F
		F=F <sub>dynamometer</sub> -F <sub>0</sub>		
0				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				
3.5				
4.0				
4.5				

**8.Hareketsel indüksiyon emk'sının gözlenmesi:** Şekildeki gibi multimetre mA ölçüm ayarına getirilir ve mıknatıslar arasında bulunan iletken çubuğun her iki ucundaki kablo multimetreye doğrudan bağlanır (şekil 5). (Sistem durgun halde iken multimetrede okunan akımın sıfır olduğuna dikkat ediniz)



**Şekil 5**

**9.** Mıknatıslar arasındaki bakır iletkeni aşağıya doğru çekip, ani olarak serbest bırakınız. Bu ani hareket ile multimetreden bir akımın geçtiğine dikkat ediniz. Bu akımın nedeni açıklayınız. Okunan bu akımın büyüklüğü nelere bağlıdır?

# Yüklü Parçacıkların Elektrik ve Manyetik Alandaki Hareketinin incelenmesi ve e/m Oranının Tayini

## Amaç

Elektronların düzgün elektrik ve manyetik alandaki hareketinin incelenmesi ve e/m oranının deneysel olarak belirlenmesi

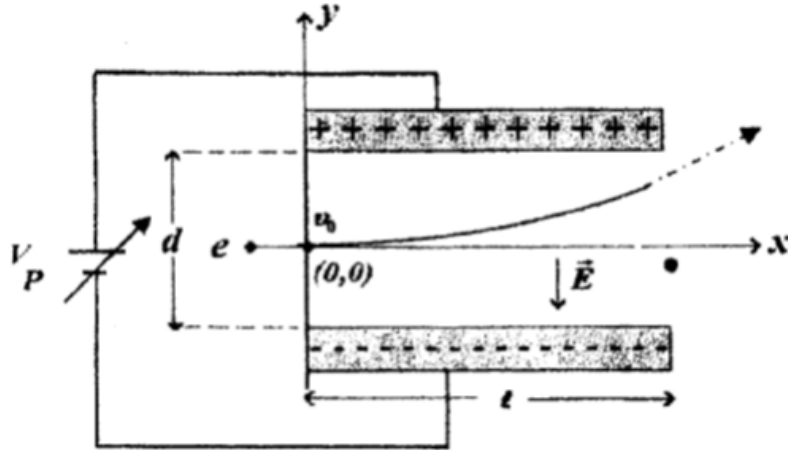
## Araç ve Gereçler

Katot ışını tüpü, yüksek gerilim kaynakları, miliampermetre, Helmholtz bobini, bilimsel hesap makinesi, milimetrik kağıt, kurşun kalem, silgi.

## 1. Bilgi

### Düzgün Elektrik Alanda Elektronların Yörüngesinin İncelenmesi

Katot ışını tüpünün flamanından çıkan elektronlar bir VA gerilimi altında hızlandırılır. Düzgün elektrik alana dik olarak sabit hızla giren elektronun, elektrik alandaki yörüngesi Şekil 1 'de verilmektedir.



Şekil 1. Düzgün bir elektrik alana dik olarak giren elektronun parabolik yörüngesi.

Elektron  $x$  ekseninde düzgün doğrusal hareket,  $y$  ekseninde ise sabit ivmeli hareket yapar. Elektronu etkileyen elektrikselsel kuvvet  $\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E}$  olmaktadır. Herhangi bir anda elektronun konumu

$$x = v_0 t \quad (1)$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \frac{e}{m} E t^2$$

parametrik denklemleri ile verilir. Zaman parametresi yok edilirse, yörünge denklemi elde edilir.

$$y = \frac{1}{2} \frac{e E}{m v_0^2} x^2 \quad (2)$$

Elektronun  $v_0$  hızı,

$$eV_A = \frac{1}{2} m v_0^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2eV_A}{m}} \quad (3)$$

enerji korunumu yasasından belirlenir. Aralarında  $d$  mesafesi bulunan ve  $V_P$  gerilimi uygulanan plakalar arasındaki elektrik alan,

$$E = \frac{V_P}{d} \quad (4)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu durumda, (2) denklemi

$$y = \frac{V_P}{4dV_A} x^2 \quad (5)$$

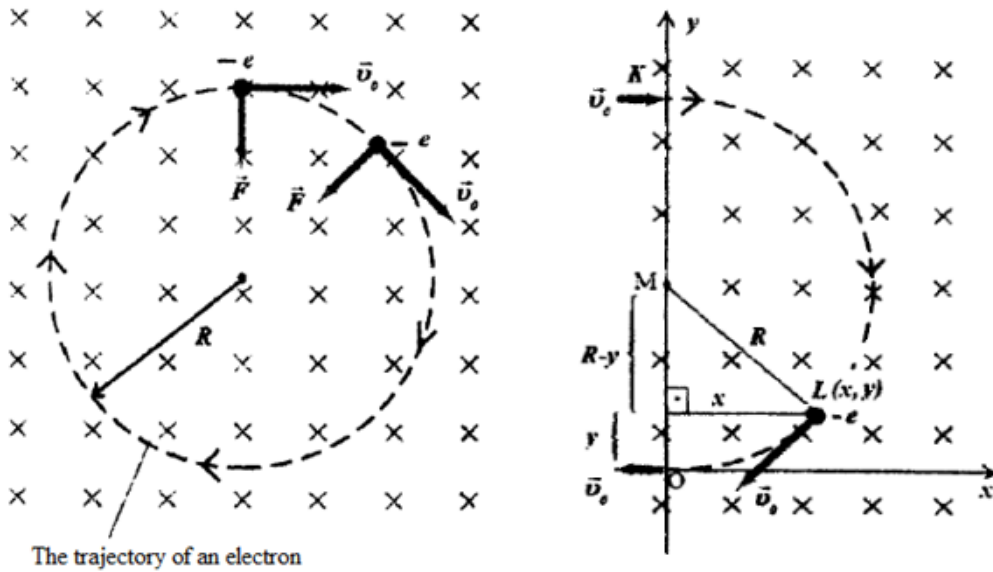
haline gelir. Denklem (5)'de, uygulanan hızlandırma ve sapıtma arasındaki  $d$  uzaklığı sabit olduğuna göre, yörünge denklemi

$$y = \text{sabit} \cdot x^2 \quad (6)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Bu denklem bir parabol denklemdir.

### Düzgün Manyetik Alanda Elektronun Hareketi

$q$  yüklü bir parçacık,  $v_0$  hızı ile düzgün bir manyetik alana dik olarak girdiğinde, çember şeklinde bir yörüngede hareket eder. Yükünün işaretine bağlı olarak saat ibresi veya tersi yönde döner. Sayfa düzleminde içeri yönelmiş bir manyetik alanda, elektronun yörüngesi Şekil 2. (a)'da verilmektedir. Bu deneyde düzgün manyetik alan Helmholtz bobinleri ile yaratılır.



Şekil 2. (a) Düzgün ve sayfa düzleminde içeri yönelmiş bir manyetik alanında çembersel yörüngesi. (b) Yörünge üzerinde herhangi bir  $L$  noktasının koordinatları.

Elektrona,

$$F = e v_0 B \quad (7)$$

sabit manyetik kuvveti etki eder. Burada manyetik kuvvet merkezciil kuvvet rolünü oynar. Newton yasasından ( $\sum F_r = ma_r$ )

$$e v_0 B = m \frac{v_0^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m v_0}{e B} \quad (8)$$

çembersel yörüngenin  $R$  yarı çapı belirlenir. Hız için (3) ifadesi kullanılırsa,

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV_A}{e}} \quad (9)$$

bulunur. Çembersel yörüngenin  $R$  yarıçapı Şekil 2. (b)'den Pisagor teoreminden de bulunur:

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad (10)$$

### e/m Oranı Tayini

$E$  düzgün elektrik ve  $B$  düzgün manyetik alanlar birlikte uygulandığında elektron

$$\vec{F}_{Lorentz} = \vec{F}_{Elec.} + \vec{F}_{Mag.} = e\vec{E} + e v_0 \times \vec{B} \quad (11)$$

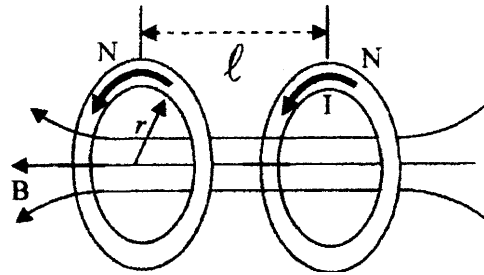
Lorentz kuvvetinin etkisi altında hareket eder. Birbirine dik, uygun  $E$  ve  $B$  alan için,  $\vec{F}_{Lorentz} = 0 \Rightarrow \vec{E} = v_0 B$  yapılabilir.  $E = v_0 B$  elde edilir. Bu bağıntıda  $v_0$  ve  $E$  için sırasıyla (3) ve (4) denklemleri kullanılarak e/m oranı,

$$\frac{e}{m} = \frac{V_p^2}{2d^2 B^2 V_A} \quad (12)$$

bulunur.

### Helmholtz Düzenegi

Düzenekle aralarında  $P$  kadar mesafe olan  $N$  sarımlı,  $r$  yarıçaplı iki özdeş bobinden oluşur. Bobinlerden aynı yönde  $I$  şiddetinde akım geçirilir. Bu durumda bobinlerin eksenini boyunca düzgün bir manyetik alan oluşur. Bobinlerin arasındaki manyetik alan, Biot-Savart kanunundan bulunur.



Şekil 2. Helmholtz bobinleri için manyetik alan çizgileri

$$B = \frac{32 \cdot 10^{-7} \pi N I}{5\sqrt{5}r} \quad (13)$$

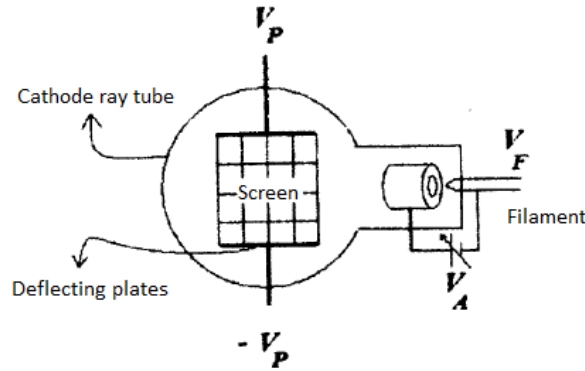
## Sorular

1. Elektrik ve manyetik alana herhangi bir açı yaparak giren elektronun yörüngesi ne olur?
2. N sarımlı bir bobinin merkezinden  $x$  kadar uzakta manyetik alanı Biot-Savart yasasını kullanarak bulunuz.

## 2. Deney

### Elektrik Alan Etkisinde Elektronun Hareketinin İncelenmesi

1. Katot ışını tüpü flamanından fırlayan elektronlar,  $V_A$  yüksek gerilimi ile hızlandırılır ve eğimli floresans ekrana çarparak bir iz bırakır. (Şekil 4.a)



Şekil 4. Deney düzeneği.

2. Plakalar arası mesafe 5,2cm dir.  $V_A$  hızlandırma gerilimi 4000V'a,  $V_p$  saptırma gerilimi 1250V'a ayarlanır. Floresans ekranda gözlenen elektron demetinin  $(x,y)$  koordinatları Tablo 1'e işlenir.
3.  $y = f(x)$  ve  $y = f(x^2)$  grafikleri çizilir.  $y = f(x^2)$  grafiğinin eğimi hesaplanır.
4.  $y = egimx^2$  ifadesi ile (5) denklemini karşılaştırınız ve yorumlayınız.

Tablo 1

x(cm)	y(cm)	$x^2(\text{cm}^2)$		
0	0			
2			$y = egimx^2$	$V_p/(4dV_A)$
4				
6				
8				
10				

### Manyetik Alan Etkisinde Elektronun Hareketinin İncelenmesi

1. VA hızlandırma gerilimi 3000V'a ve Helmholtz bobinlerinden geçen akım 0,41A'e ayarlanır.
2. Floresans ekranda gözlenen elektron demetinin (xy) koordinatları okunur ve (10) denklemi kullanılarak  $R$  yarıçapı hesaplanır, sonuçlar Tablo 2' ye işlenir.

**Tablo 2**

x(cm)	y(cm)	$R$ (cm)
2	0,17	
3		
4		
5		
6		--
<b>Rort=</b>		

3.  $B$  manyetik alanı (13) denkleminde bulunur. ( $N=320$  ve  $r=0,068m$ )  
 $B=.....( )$ .
4. (9) denklemi yardımıyla  $R$  değeri hesaplanır. ( $e=1,6 \times 10^{-19} C$  ve  $m=9,1 \times 10^{-31} kg$ )  
 $R=.....( )$ .
5.  $R$  ve  $Rort$  değerlerini karşılaştırınız ve yorumlayınız.

### $e/m$ Oranının Belirlenmesi

1. VA hızlandırma gerilimi 3000V ve  $Vp$  saptırma gerilimi 700V'a ayarlanarak, sapan elektron demeti floresans ekran üzerinde gözlenir. Helmholtz bobinlerine uygulanan  $I$  akımı uygun değere ayarlanarak, elektron demetinin x-ekseni boyunca giden bir doğru olması sağlanır. Ayarlanan  $I$  akımı Tablo 3' e işlenir. Bu işlemler Tablo 3'deki diğer değerler için tekrarlanır.
2.  $B$  manyetik alanları (13) denkleminde bulunur. ( $N=320$  ve  $r=0,068m$ )
3. (12) denklemini kullanarak  $e/m$  değeri hesaplanır ve ortalaması alınır.

**Tablo3**

VA(V)	$Vp$ (V)	$I$ (A)	$B$ (Tesla)	$e/m$ (C/kg)
3000	700			
3000	800			
3000	900			
$(e/m)ort$				



