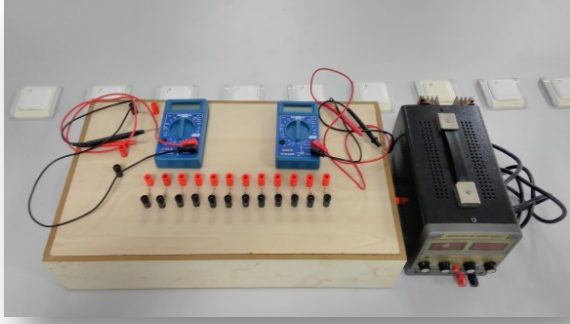


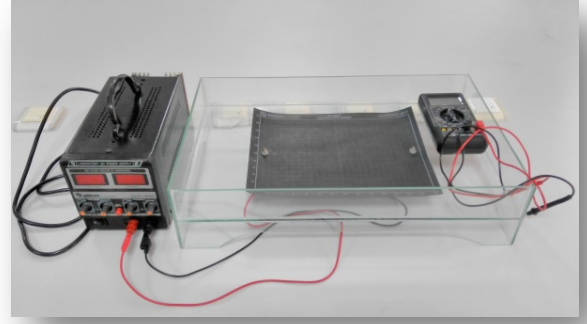
# ELEKTRİK VE MANYETİZMA LABORATUVARI

## Deney Föyü

**Deney 1 : Ohm Yasası**



**Deney 2 : Eşpotansiyel Yüzeyler**



**Deney 3 : Kapasitörler ve DC Devrelerinde Bağlantı Biçimleri**



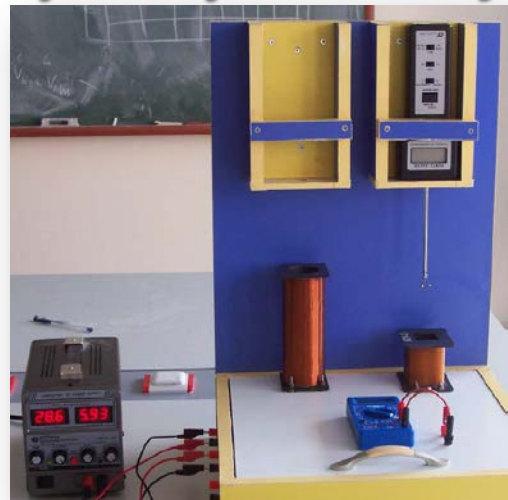
**Deney 4 : Kapasitörlerin Yüklenmesi ve Boşaltılması**



**Deney 5 : Biot-Savart Yasası**



**Deney 6 : Manyetik Kuvvet Ölçümleri**



## FİZİK 2 LABORATUVARI (ELEKTRİK VE MANYETİZMA)

Bu laboratuvarda deneyler, her deney grubu için belirli bir sırada yapılacaktır. Öğrenci, laboratuvara gelmeden önce o gün yapacağı deneye bilgi yönünden iyice hazırlanmalı, *neyi*, *niçin* ve *nasıl* yapacağını bilerek laboratuvara girmelidir. Bu, laboratuvarda **bilinçli** ve **başarılı** çalışmanın zorunlu bir önkoşuludur. Laboratuvarda yapılacak iş; öncelikle kullanılacak aletleri ve malzemeyi tanımak, belirlenen sıraya göre ölçüleri özenle almaktır. Sonrasında da bu alınan değerleri değerlendirmek, yorumlamak ve bütün bunları bir *deney raporu* halinde yazmaktır. Her deney, öğrenciyi ilerde girişeceği bilimsel çalışmalara götüren bir merdivenin basamakları olup birer mini araştırma niteliğindedir ve bu görüşle ele alınarak laboratuvar olanakları en iyi şekilde değerlendirilmelidir. Deney yaparak kazanılan gerçek bilgi ve beceri daha kalıcı olup bilimsel mantığın gelişmesini ve fiziğin daha iyi anlaşılmasını da sağlayacaktır.

Laboratuvar ön bilgi dersinde birimlerin önemi, anlamlı rakamlar, ölçü hataları ve hata hesapları, grafik çizme, grafikten yararlanma, hesapların yapılması ve deneylerde sık kullanılan ölçü aletleri konularında yeter bilgi verilmiş olacaktır. Öğrenci deneyini yapmaya gelirken bu konuları iyice anlamış olmalıdır.

Laboratuvarda ölçümler deney föyünüzde yazan ve deney sorumlusunun belirteceği esaslara göre özenle ve anlayarak yapılmalıdır. Sayısal değerler uygun birimlerle ilgili tablolara kaydedilmelidir. Deney sonrasında hazırlanacak deney raporunda; deneyin adı, konu ve amaçlar, ölçülen ve hesaplanacak büyüklüklerin tanıtıcı bilgisi, ölçü yöntemi, deneyin yapılışında izlenen yol hakkında bilgiler olmalıdır. Deneydeki hata kaynakları, ölçü ve sonuçlara yansıyan hata payları belirtilmelidir. Deney raporunu özenle hazırlayınız ve tükenmez kalem veya mürekkepli kalemle yazınız. Ancak deney grafiklerini kurşun kalemle çiziniz. Renkli belirtmek istediğiniz yerlerde renkli kurşun kalem kullanınız. Bu raporda ölçüler, hesaplar, grafikler, sonuçlar ve yorumlar önceden belirlenen sıraya göre düzenlenmelidir. Rapora bakan kimse hangi ölçülerin alındığını, hangi sonuçlara nasıl varıldığını açıkça görmelidir.

## LABORATUVARDA ÇALIŞMA KURALLARI

1. Laboratuvara neyi, niçin ve nasıl yapacağınızı öğrenip bilinçli olarak geliniz.
2. Laboratuvara girer girmez aletleri rastgele kurcalamayınız. Deney yöneticisinin iznini ve önerilerini alarak önce aletlerin kullanılmasını öğreniniz.
3. Dikkatli ve sabırlı çalışınız.
4. Aletlere nazik davranınız. Onları hor kullanmayınız. Ani hareketlerden sakınınız. Dikkatsizlik ve bilgisizlikten doğacak bir zararın tarafınızdan ödenmesi gerektiğini, bu aletlere sizden sonra gelecek arkadaşlarınızın da ihtiyacı olduğunu, aletlerin yedeğinin ve yedek parçasının zor bulunabileceğini unutmayınız. Bir aletin siz kullanmadan önce bozulmuş veya kırılmış olduğunu görürseniz derhal deney yöneticisine bildirin.
5. Deney düzeneğini kurarken aletlerin masa üzerindeki konumunu öyle ayarlayınız ki her şey rahatlıkla görülebilsin ve ölçü aletleri size en yakın olsun.
6. Elektriksel bağlantı devresini kurduktan sonra deney yöneticisine kontrol ettirmeden kesinlikle devreye akım vermeyiniz. Mevcut akımı kesmeden devrede değişiklik yapmayın veya yeni bir devre kurmayın.
7. Bir anda yalnız tek bir şey yapınız. Küçük bir dikkatsizlik ve dalgınlık büyük bir zaman ve para kaybı olabileceğini unutmayınız.
8. Önce düşünüp karar veriniz ve sonra ölçünüz.
  - Ölçülecek büyüklük nedir?
  - Ölçü nerede yapılacaktır?
  - Nasıl ölçülecektir?
  - Hangi tür ve hangi nitelikte ölçü aleti gereklidir?
  - Seçilen alet nasıl kullanılır?

sorularını kendi kendinize cevaplayınız. Ölçülecek büyüklüğün değeri hakkında kesin bilginiz yoksa ölçü aletinin en büyük eşelini kullanarak ölçüye başlayınız. Alete zarar vermeden en duyarlıklı ölçü yapabileceğiniz eşele yavaş yavaş ininiz.

9. Ölçü girişiminden önce ve ölçüm sırasında sakın olunuz. Ölçülerinizi ilgili tabloya özenle ve birimini belirterek yazınız. Gerekliyorsa hatırlatıcı ve dikkat çekici kısa notlar alınız.
10. Deneyin her aşamasında konuyu deney arkadaşınızla tartışınız. Ancak yüksek sesle konuşarak diğer masalarda çalışanların dikkatlerini dağıtmayınız. Net karara varamadığınız hallerde "Bu da sorulur mu?" gibi bir duyguya kapılmaksızın deney yöneticisine danışınız.
11. Masanızdan ayrılarak diğer masalardaki veya laboratuvarlardaki öğrencileri meşgul etmeyiniz. Başka masalardan herhangi bir alet ya da malzeme almayınız. İhtiyaçlarınızı deney yöneticisinden isteyiniz.
12. Deneyi bitirdikten sonra masanızı temizleyiniz ve deney düzeneğini deney öncesinde bulduğunuz gibi bırakınız.

# DENEY RAPORU NASIL YAZILIR

Bir rapor temelde aşağıdaki öđeleri içermelidir.

- BAŐLIK
- DENEYİN AMACI
- İŞLEM BASAMAKLARI
- TABLOLAR
- HESAPLAMALAR
- YORUMLAR VE SONUÇLAR

## 1. BAŐLIK

Bu bölüm, deneyin ana amacını birkaç kelimeyle anlatır.

## 2. DENEYİN AMACI

Deneyi yapmaktaki amaç ve deneyde ulaşılması beklenen sonuçların yazıldığı bölümdür.

## 3. İŞLEM BASAMAKLARI

Bu bölümde, deneyi düzeneğini kurarken rastladığınız ve önemli gördüğünüz noktaları yazmanız gerekir.

## 4. TABLOLAR

Elde ettiğiniz bütün verilerin düzenli bir şekilde tabloya döküldüğü bölümdür. Bir tabloda bulunan bütün değerlerin birimleri, ilgili yerlere yazılmalıdır.

## 5. HESAPLAMALAR

Bu bölüm bir raporun kalbidir. Burada DENEYİN AMACI bölümünde belirttiğiniz ifadelerin hepsi gerekli hesaplamalar yapılarak ispatlanmalıdır. İzlenmesi gereken yol aşağıdaki gibi olmalıdır.

### Hesap nasıl yapılır?

İlk olarak hesapları yaparken kullandığınız formül ve bağıntılarının yazılması gerekmektedir. Düzenli olması isteniyorsa hesaplar ve denklemler başından itibaren numaralandırılmalıdır. Sonra hesaplamalara başlanmalıdır. Sonuçlar, uygun anlamlı basamak sayısında yazılmalıdır. Hesaplanmış değerlerin birimleri *mutlaka* yazılmalıdır. Birimler belirtilmemiş ise bunlarda gerekli formüller kullanılarak türetilmelidir.

### **Grafik nasıl çizilir?**

En başta, uygun grafik kâğıdının (logaritmik, doğrusal...) seçilmesi ile işe başlanmalıdır. Sonra hangi eksene hangi değişkenin yazılması gerektiğine karar verilmelidir. Genel bir kural olarak; bağımsız (serbest) değişkeni x-eksenine, bağımsız değişkenle değişen (bağımlı) fonksiyonu y-eksenine yerleştirmek gerekir. Ek olarak eksenlerin ölçekleri de ayarlanmalıdır. Ölçeklerin ayarlanmasında en büyük veriden en küçük veri çıkarılır ve eksenin uzunluğuna bölünür. **EN UYGUN ÖLÇEĞİ SEÇMEYİ UNUTMAYIN.** Gerekliyorsa grafiğin eğimi hesaplayabilirsiniz. **EKSENLERE BİRİM YAZMASI UNUTULMAMALIDIR.**

### **6. YORUMLAR VE SONUÇLAR**

Bu kısımda teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Deneye başlarken beklentileriniz neydi ve deney sonucunda ne buldunuz? Hangi niceliklerin değişimi deney sonucunuzu nasıl etkiledi? Ayrıca karşılaşılan hataların da yazılması gerekmektedir. Deneyi daha önce anlattığınız için, **İŞLEM BASAMAKLARINI TEKRAR YAZMAYIN.**

## STANDART ONDALIK ÇARPANLAR

ÇARPAN	ADI	KISALTMASI
$10^{24}$	Yotta	Y
$10^{21}$	Zetta	Z
$10^{18}$	Exa	E
$10^{15}$	Peta	P
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	Giga	G
$10^6$	Mega	M
$10^3$	Kilo	K
$10^2$	Hekto	H
$10^1$	Deka	da
$10^{-1}$	desi	d
$10^2$	santi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	mikro	p
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yokto	y

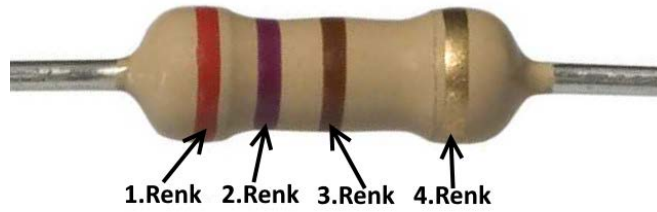
**Tablo:** Fizikte kullanılan standart ondalık çarpanlar

## DİRENÇLERİN RENK KODLARI

Renk	Birinci Renk (1.sayı)	İkinci Renk (2.sayı)	Üçüncü Renk (çarpan)	Dördüncü Renk (tolerans)
Siyah	0	0	$10^0$	-
Kahverengi	1	1	$10^1$	-
Kırmızı	2	2	$10^2$	-
Turuncu	3	3	$10^3$	-
Sarı	4	4	$10^4$	-
Yeşil	5	5	$10^5$	-
Mavi	6	6	10	-
Mor	7	7	$10^7$	-
Gri	8	8	$10^8$	-
Beyaz	9	9	$10^9$	-
Altın	-	-	$10^{-1}$	±% 5
Gümüş	-	-	$10^{-2}$	±% 10
Renksiz (Renk Yok)	-	-	-	±% 20

**Tablo:** Dirençlerin üzerlerindeki renklerin anlamları

**Not:** Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi renklerin numaralandırmasına renklerin yakın olduğu uçtan başlanır.



**Şekil:** Dirençlerin üzerindeki renklerin sıralanması



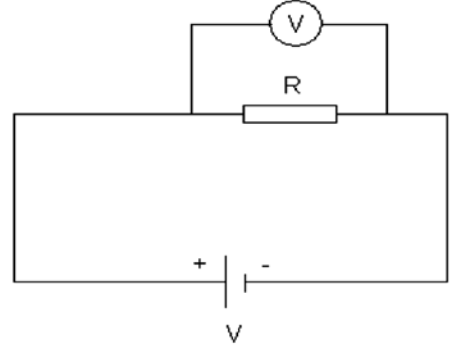
## DENEYLERDE KULLANILACAK ALETLER:

### AVOmetre:

Akım (Amper), gerilim (Volt) ve direnç (Ohm) ölçen alettir.

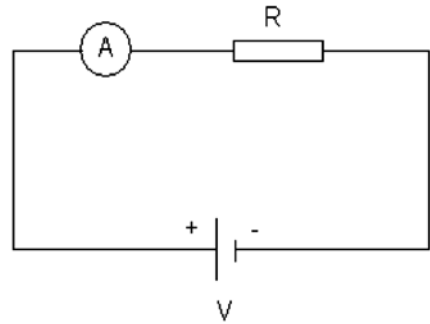


**Voltmetre:** Potansiyel farkı ölçen aletlere voltmetre denir. Devrede ölçülecek devre elemanına paralel olacak şekilde, pozitif ucu potansiyelin yüksek olduğu tarafa, negatif ucu da potansiyelin düşük olduğu tarafa bağlanmalıdır. İdeal bir voltmetre, içerisinden akım geçmeyecek şekilde sonsuz bir iç dirence sahiptir ve bu özelliğinden dolayı paralel bağlanarak ölçüm alınır.



Şekil. Voltmetrenin devreye paralel bağlanması.

**Ampermetre:** Akım ölçen aletlere ampermetre denir. Ölçülecek olan akım doğrudan ampermetre içerisinden geçmelidir. Dolayısıyla ampermetre devreye seri bağlanmalıdır. Ampermetre kullanırken akımın pozitif uçtan girip negatif uçtan çıktığından emin olunması gerekir. Bir ampermetrenin ölçülen akımı değiştirmeyecek kadar küçük bir iç dirence sahip olması gerekir. İdeal ampermetrenin iç direnci sıfırdır.



Şekil. Ampermetrenin devreye seri bağlanması.

### Kapasitemetre:

Bir kapasitörün (kondansatörün) sığasını ölçen alettir.



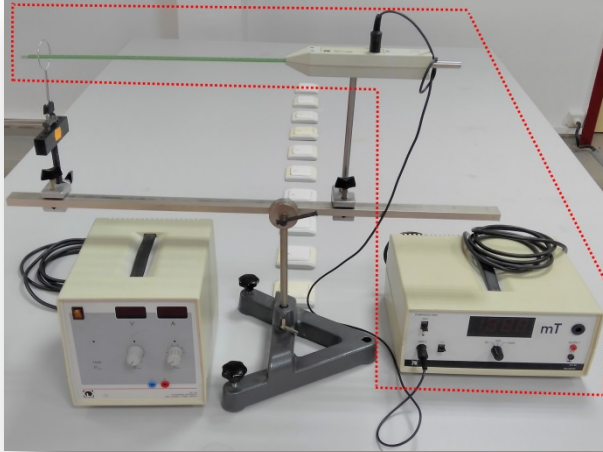
### Kuvvet Ölçer:

İtme veya çekme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan alettir.



### Teslametre:

Manyetik alalın şiddetini ölçen alettir.



### Güç Kaynağı:

Deney düzeneklerine gerekli elektrik enerjisini sağlayan alettir.



# DENEY 1 : OHM YASASI

## Deneyin Amacı:

- Renk kodlarına göre dirençlerin teorik değerlerinin bulunması.
- Ohm yasasında bulunan üç değişken ( $V, I, R$ ) arasındaki ilişkinin bulunması.
- Voltmetre, ampermetre ve ohmmetrenin nasıl kullanıldığının öğrenilmesi.



## Teorik Bilgi:

Elektrik tarihinde adı en çok geçen kişilerden biri Georg Simon Ohm (1787-1854)'dur. Ohm, iletkenlerden geçen elektrik akımına ilişkin çalışmalarına 1825 yılında başladı ve sonuçlarını 1827 yılında yayımladı. Fransız bilimadamı Fourier'in ısı akışı üzerine yaptığı çalışmalardan esinlenen Ohm, bir tele uygulanan gerilimin telden geçen akıma olan oranının değişmez olduğunu bulmuştu. Bugün Ohm yasası olarak bilinen ve de evrensel yazılımı  $V = I \cdot R$  olan bu yasayı Ohm yayımladığında pek çok kimse bir şey anlamamıştı. Bilim dünyasından fazla bir ilgi görmeyen Ohm, istediği üniversite profesörlüğünü elde edemediği gibi lise hocalığından da olmuştu. Özlemine çektiği anlayışı ve ünü Almanya dışına çıktıktan sonra fazlası ile elde eden Ohm, yaşamının ancak son beş yılını Münih Üniversitesi'nde profesörlüğe atanarak huzur içinde geçirebildi. Ünlü yasası dışında Ohm'un elektriğe başka önemli bir katkısı olmamıştır.

Bir iletken içinde akım üretmek üzere, yükler, iletken içindeki elektrik alanın etkisiyle hareke ederler. Bu durumda iletken içinde elektrik alan mevcuttur.

Akım tanım olarak, birim zamanda geçen yük miktarıdır.

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(n q A l) = n q A \left( \frac{dl}{dt} \right) = n q A V_s$$

$V_s$  sürüklenme hızını,  $q$  elektriksel yükü,  $n$  yük yoğunluğunu,  $A$  iletkenin kesit alanını ve  $l$  iletkenin boyunu göstermektedir.  $A$  kesit alanlı  $l$  akımı taşıyan iletkenin içindeki  $J$  akım yoğunluğu, birim alan başına düşen akım olarak tanımlanır.  $I = n q A V_s$  olduğundan, akım

yoğunluğu:

$$J = \frac{I}{A} = n q V_s \quad (1)$$

ile verilir. Burada  $J$ , SI birimlerinde  $A/m^2$  birimindedir. Bu ifade sadece, akım yoğunluğunun düzgün ve yüzeyin akım yönüne dik olması halinde geçerlidir. Akım yoğunluğu vektörel bir niceliktir. Yani;

$$\vec{J} = n q \vec{V}_s \quad (2)$$

dir. Bu tanımdan bir daha anlıyoruz ki; akım yoğunluğu da, akım gibi pozitif yük taşıyıcılar söz konusu iken yüklerin hareketi yönünde, negatif yük taşıyıcılar söz konusu iken yüklerin hareketinin aksi yönündedir.

Bir iletkenin uçları arasına bir potansiyel farkı uygulanırsa, iletken içinde bir  $J$  akım yoğunluğu ve bir  $E$  elektrik alanı meydana gelir. Şayet potansiyel farkı sabitse, iletken içindeki akım da sabit olacaktır. Bazı maddelerde akım yoğunluğu, elektrik alanla doğru orantılıdır. Yani;

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

şeklinindedir. Buradaki  $\sigma$  orantı katsayısına iletkenin *iletkenliği* adı verilir. (*İletkenlikle aynı sembolle gösterilen  $\sigma$  yüzey yük yoğunluğunu karıştırmayınız.*) Eşitlik 3'e uyan maddelerin, Georg Simon Ohm ismine izafen Ohm kanununa uydukları söylenir. Daha özel olarak, ohm kanunu, *birçok madde için (ki buna çoğu metaller de dahildir) akım yoğunluğunun elektrik alana oranının sabit ( $\sigma$ ) olduğunu söyler. Bu sabit, akımı üreten elektrik alandan bağımsızdır.*

Ohm kanununa uyan, dolayısıyla  $E$  ile  $J$  arasında lineer (doğrusal) bir ilişki gösteren maddelerin *omik* (ohmic) oldukları söylenir. Bütün maddelerin bu özelliğe sahip olmadığı deneysel olarak bulunabilir. Ohm kanununa uymayan maddelere omik olmayan maddeler denir. *Ohm kanunu doğanın temel bir kanunu değildir*, fakat sadece belli maddeler için geçerli olan deneysel bir bağıntıdır.

Ohm kanununun pratik uygulamalarda daha kullanışlı bir biçimi, Şekil 1’de görüldüğü gibi,  $A$  kesitine ve  $l$  boyuna sahip doğrusal bir tel parçasının incelenmesinden elde edilir. Telin uçlarına, telde bir elektrik alan ve akım meydana getiren bir  $V_B - V_A$  potansiyel farkı uygulanır. Teldeki elektrik alanın düzgün olduğu kabul edilirse,  $V = V_B - V_A$  potansiyel farkı elektrik alanı ile

$$\Delta V = \vec{E} \cdot \vec{l}$$

gibi ilişkilidir. Bu yüzden akım yoğunluğunun büyüklüğü

$$|J| = \sigma |\vec{E}| = \sigma \frac{\Delta V}{|\vec{l}|}$$

şeklinde elde edilebilir.  $J = I/A$  olduğundan, potansiyel farkı:

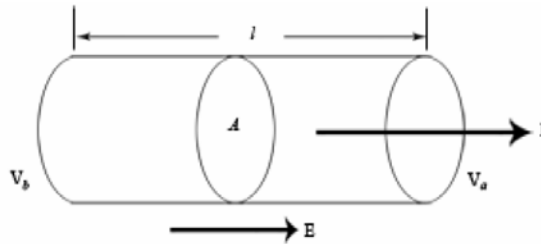
$$\Delta V = \left(\frac{l}{\sigma}\right) J = \left(\frac{l}{\sigma A}\right) I$$

olarak yazılabilir. Burada  $l/\sigma A$  niceliğine iletkenin  $R$  direnci adı verilir.

$$R \equiv \left(\frac{l}{\sigma A}\right) \equiv \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere, direnç SI birim sisteminde amper başına volt birimine sahiptir. 1 amper başına 1 volt, 1 **ohm** ( $\Omega$ ) olarak tanımlanır.

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$



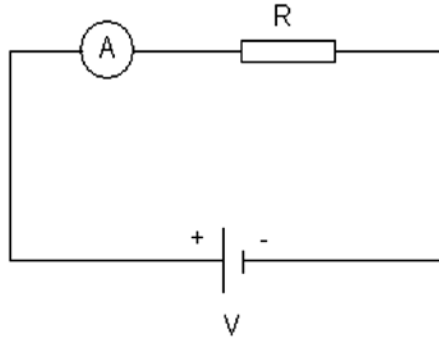
**Şekil 1.** Kesit alanı  $A$ , boyu  $l$  olan bir iletken. İletkenin uçları arasında uygulanan  $V_B - V_A$  potansiyel farkı, iletkende bir  $E$  elektrik alanı meydana getirir ve bu da bir akım meydana getirir. Dolayısıyla teldeki akım, potansiyel farkı ile orantılıdır.

Yani bir iletkenin uçları arasındaki bir voltluk potansiyel farkı, 1 A'lık bir akıma sebep olursa iletkenin direnci 1  $\Omega$  olur. Örneğin, 120 V'luk bir elektrik kaynağına bağlı elektrik aleti, 6 A'lık bir akım taşırsa, bu aletin direnci 20  $\Omega$  dur.

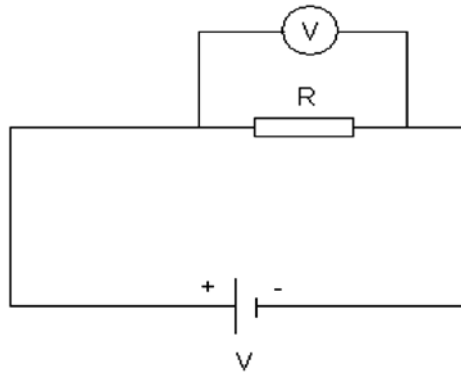
Direnç üzerinden geçen akım her zaman ısı üretir. Direnç üzerinde ısıya dönüşen elektrik enerjisinin miktarı güç olarak tanımlanır, P harfi ile gösterilir ve SI birim sistemine göre birimi watt (W)'tır. Gücün formülü:

$$P = VI = I^2R$$

dir. Güç formülü tek bir direnç için kullanıldığı gibi bütün devre için de kullanılabilir.



**Şekil 2.** Ampermetrenin devreye seri bağlanması.



**Şekil 3.** Voltmetrenin devreye paralel bağlanması

### Deneyin Yapılışı:

- Düzenek üzerindeki örnek direncin renk kodları X,Y,Z,T'dir. "Direncin Renk Kodları" tablosundan yararlanarak bu renk kodlarından, direncin değerini  $S \Omega$  olarak bulunur. Siz de sırasıyla düzenek üzerindeki tüm dirençlerin renk kodları yardımıyla teorik değerlerini bulunuz.
- Deneyin 2. aşamasında deney düzeneğine voltaj (güç) kaynağını bağlayınız ve kaynağı 3 V'a ayarlayınız.
- Voltaj kaynağından çıkan jak kablolarını ilgili ampermetre ile seri olacak şekilde dirence bağlayınız. Voltmetreyi de dirence paralel olacak şekilde bağlayınız.
- Voltmetre ve ampermetrede okuduğunuz değerleri kaydediniz.
- Aynı işlemleri diğer dirençler için de yaparak kaydediniz.
- Deneyin diğer aşamalarını voltaj değerini sırasıyla 6 V, 9 V, 12 V ve 15 V değerlerine ayarlayarak tekrar ediniz.

### Sorular:

1. Dirençlerin teorik ve pratik değerleri arasında bir fark buldunuz mu? Eğer bir fark bulduysanız bunun nedeni/nedenleri ne olabilir?
2. Deneyin 2. aşamasında ampermetrede okuduğunuz değerler pratik değerlerdir. Eşitlik (4) yardımıyla akımın teorik değerlerini hesaplayınız. Bu iki değer arasında bir fark buldunuz mu? Eğer bir fark bulduysanız bunun nedeni ne olabilir?
3. Elde ettiğiniz verileri kullanarak  $I - R$  ile  $V - R$  grafiklerini çizin ve yorumlayınız.





# DENEY 2 : EŞPOTANSİYEL YÜZEYLER

## Deneyin Amacı:

Elektriksel eşpotansiyel çizgileri yardımı ile elektrik alan çizgilerinin çizilmesi.

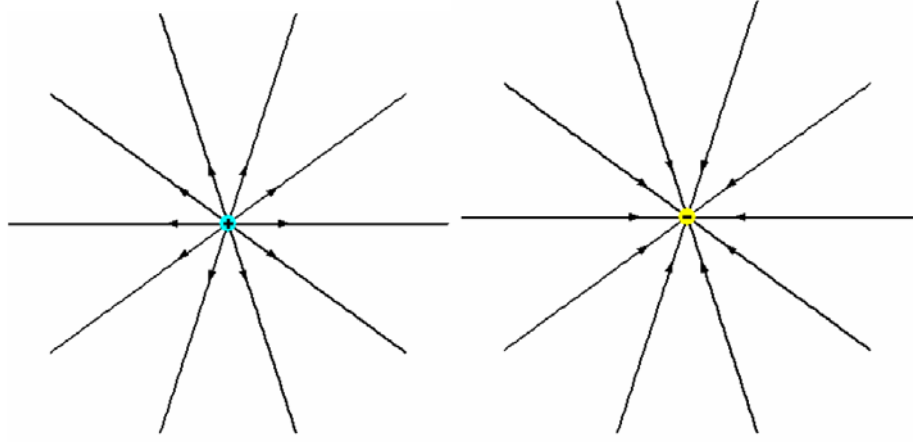
## Teorik Bilgi:

Uzaydaki bir noktadaki  $\vec{g}$  kütle çekim alanı,  $m_0$  deneme kütesine etkileyen  $\vec{G}$  kütleçekim kuvvetinin deneme kütesi bölümüne eşittir. Yani  $\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m_0}$  olur. Benzer şekilde uzayda bir noktadaki elektrik alanı, o noktaya konulan  $q$  deneme yüküne etkileyen elektrik kuvveti cinsinden tanımlanabilir. Daha kesin bir ifadeyle uzayda bir noktadaki *elektrik alan vektörü*, o noktaya konulan artı bir deneme yüküne etkileyen  $\vec{F}$  elektrik kuvvetinin  $q_0$  deneme yüküne bölümü olarak tanımlanır.

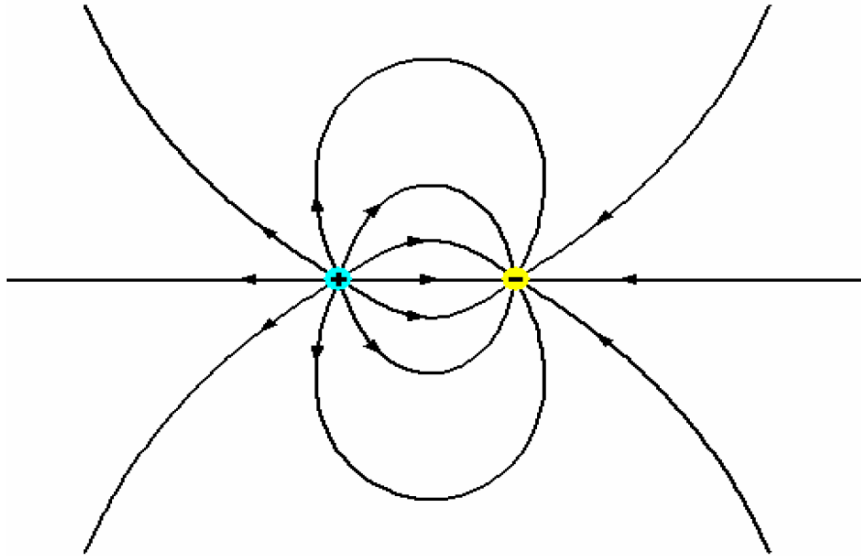
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1)$$

$\vec{E}$ , deneme yükünce oluşturulmayıp deneme yüküne dışarıdan etkiye bir alandır.  $\vec{E}$ , vektörünün SI sistemindeki birimi coulomb başına düşen newton (N/C) olarak tanımlanır.  $\vec{F}$ 'nin artı bir deneme yüküne etkidiğini varsaydığımızda  $\vec{E}$ ,  $\vec{F}$  doğrultusundadır. Buna göre, durgun bir deneme yükü bir noktaya konulduğunda elektrik kuvvet etkisinde kalırsa, o noktada bir elektrik alan vardır denir. Bir noktadaki elektrik alanı bir kez bilindikten sonra, noktaya konulan yüklü herhangi bir parçacığa etkileyen kuvvet hesaplanabilir. Bunun yanında, bir noktada deneme yükün bulunup bulunmadığına bakmaksızın (boş uzayda bile) o noktada elektrik alanının bulunduğu söylenir.

**Elektrik Alan Çizgileri:** Elektrik alan desenlerini göz önünde canlandırmanın uygun bir yolu, yönü her noktada elektrik alan vektörü ile aynı doğrultuda olan çizgiler çizmektir. Pozitif ve negatif yükler için alan çizgileri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1. Pozitif (sol) ve negatif (sağ) yükler için elektrik alan çizgileri



Şekil 2. Dipolun elektrik alan çizgileri

Bu iki boyutlu çizimde, yalnızca nokta yükün bulunduğu düzlemdeki alan çizgilerinin gösterildiğine dikkat edelim. Alan çizgileri, bir oklu kirpinin dikenlerine benzer biçimde, yükten ışınsal olarak bütün doğrultularda dışarıya doğru yönelmişlerdir. Bu alana artı bir deneme yükü konulduğunda  $q$  yükünce itileceğinden, alan çizgileri artı yükten ışınsal olarak dışarıya doğru yönelirler. Benzer şekilde, bir eksi (negatif) nokta yükün elektrik alan çizgileri yüke doğru yönelmiştir. Her iki durumda da alan çizgileri radyal doğrultuda sonsuza kadar uzanırlar. Yüke yaklaştıkça, alan şiddetinin artmasının göstergesi olarak alan çizgileri sıklaşırlar.

Yerçekimi kuvvetinin korunumlu olduğunu biliyoruz. Coulomb yasası ile verilen elektrostatik kuvvet de, evrensel çekim yasası ile aynı formda olduğundan, elektrostatik kuvvet de korunumludur. Bu nedenle, kuvvet bağlı bir potansiyel enerji fonksiyonu tanımlamak mümkündür.

Bir  $\vec{E}$ , elektrostatik alanı içine bir  $q_0$  yükü konulduğunda, bu deneme yükü üzerine etki eden elektriksel kuvvet,  $\vec{F} = q_0\vec{E}$  dir.  $q_0\vec{E}$  kuvveti  $\vec{E}$  alanını üreten çeşitli yüklerin,  $q_0$ 'a uyguladığı her bir kuvvetin vektörel toplamıdır. Buradan  $q_0\vec{E}$  'nin korunumlu olduğu anlaşılır. Çünkü Coulomb kanunu ile verilen her bir kuvvet korunumludur.  $q_0\vec{E}$  kuvveti tarafından yapılan iş, bir dış etken tarafından yapılan işin negatifine eşittir. Dahası, sonsuz küçük bir  $d\vec{s}$  yer değiştirmesi için, deneme yükün üzerine,  $q_0\vec{E}$  elektriksel kuvveti tarafından yapılan iş,

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0\vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

ile verilir. Tanıma göre, korunumlu kuvvet tarafından yapılan iş potansiyel enerjideki  $dU$  değişiminin negatifine eşittir, böylece

$$dU = -dW = -q_0\vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

olur. Deneme yükünün A ve B noktaları arasında yer değiştirmesi halinde, potansiyel enerji değişimi

$$\Delta U = U_B - U_A = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

ile verilir. (4) Eşitliğindeki integral,  $q_0$  yükünün A dan B'ye gittiği yol boyunca alınır ve adına yol integrali denir.  $q_0\vec{E}$  kuvveti korunumlu olduğundan, bu integral A ve B noktaları arasından alınan yola bağlı değildir.

A ve B noktaları arasındaki  $V_B - V_A$  potansiyel farkı, potansiyel enerji değişiminin  $q_0$  deneme yükünün bölümü olarak tanımlanır.

$$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q_0} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (5)$$

Potansiyel farkı; hiçbir suretle potansiyel enerji ile karıştırılmamalıdır. Potansiyel farkı, potansiyel enerji ile orantılıdır. (5) eşitliğinde görüldüğü gibi ikisi birbirine  $\Delta U = q_0 \Delta V$  ile bağlıdır. Potansiyel enerji skaler bir büyüklük olduğundan, elektriksel potansiyel de skaler bir büyüklüktür. Yükün potansiyel enerjisindeki değişim, elektriksel kuvvet tarafından yapılan işin negatifine eşit olduğuna dikkat ediniz.

Böylece,  $V_B - V_A$  potansiyel farkı, kinetik enerjide bir değişime uğramaksızın bir deneme yükünü bir dış etken tarafından A dan B ye götürmek için birim yük başına yapılması gereken işe eşittir.

(5) eşitliği yalnızca potansiyel farkını tanımlar. Yani yalnızca V deki farklar için anlamlıdır. Çoğunlukla elektriksel potansiyel belirli bir noktada sıfır alınabilir. Genellikle sonsuzdaki (yani elektrik alanı oluşturan yüklerden sonsuz uzaklıktaki bir noktada) bir noktanın potansiyelini sıfır seçeriz. Böyle bir seçimle şunu söylemiş oluyoruz: keyfi bir noktadaki elektriksel potansiyel, pozitif bir deneme yükünü sonsuzdan bu keyfi noktaya getirmek için birim yük başına yapılan işe eşittir. O halde (5) eşitliğindeki ifadede sonsuzda  $V_A = 0$  alırsak, herhangi bir P noktasındaki potansiyel

$$W = q_0 V \quad , \quad V_P = - \int_{\infty}^P \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (6)$$

şeklini alır. Gerçekte  $V_P$ , sonsuzdaki bir nokta ile P noktası arasındaki potansiyel farkı belirler. [*Aslında (6) eşitliği (5)'in özel bir durumudur.*]

Potansiyel fark, birim yük başına enerjinin bir ölçüsü olduğundan, potansiyelin SI sistemindeki birimi, coulomb başına joule'dür. Kısaca  $V$  olarak adlandırılır.

Yani 1V'luk potansiyel farkı boyunca 1C'luk yükü götürmek için yapılması gereken iş 1J'dür. (4) eşitliğine göre potansiyel fark aynı zamanda, elektrik alanla uzaklık birimlerinin çarpımına eşittir. Bu nedenle elektrik alanı SI birimi N/C, metre başına volt şeklinde de ifade edilebilir ( $1N/C = 1V/m$ )

Atom fiziğinde ve nükleer fizikte enerji birimi olarak genellikle elektron volt (eV) kullanılır. Bu da, 1V büyüklüğündeki potansiyel farkı boyunca hareket eden bir elektron (veya proton)'un kazandığı enerji olarak tanımlanır.  $1V = 1J/C$  ve bir temel yük  $1,6 \times 10^{-19}C$ 'a eşit olduğundan, elektron voltun (eV) joule (J) cinsinden değeri,

$$1eV = 1,6 \times 10^{-19}CV = 1,6 \times 10^{-19}J \quad (7)$$

Şimdi  $q_0$  deneme yükünün A dan B ye gittiğini düşünelim. Bunun potansiyel enerjisindeki değişme,  $\Delta U = q_0\Delta V = -q_0Ed$  olarak tanımlanmıştı. Bu sonuçtan görüyoruz ki  $q_0$  pozitifse,  $\Delta U$  negatif olmaktadır. Bu demektir ki bir pozitif yük elektrik alan doğrultusunda hareket ederse, elektriksel potansiyel enerji kaybeder. Bu, bir kütlenin çekim alanında daha düşük bir yükseklığe doğru indikçe çekim potansiyel enerjisi kaybetmesine benzer. Bir pozitif deneme yükü, bu elektrik alan içinde durgun halde serbest bırakılırsa,  $\vec{E}$  elektrik alan doğrultusunda  $q_0\vec{E}$  elektriksel kuvvete maruz kalır. Böylece yük kinetik enerji kazanarak sağa doğru hizalanır. *Kazandığı kinetik enerjiye eşit miktarda potansiyel enerji kaybeder.*

Öte yandan,  $q_0$  deneme yükü negatifse,  $\Delta U$  pozitif olur ve olay ters yönde gelişir. Negatif yük elektik alan doğrultusunda hareket ettiği zaman elektriksel potansiyel enerji kazanır. Bir negatif yük  $\vec{E}$  elektrik alan içinde durgun halden serbest bırakılırsa, elektrik alana zıt doğrultuda ivmelenir.

Şimdi, düzgün bir elektrik alan içinde, herhangi bir nokta arasında hareket eden bir pozitif yüklü parçacığın daha genel durumunu inceleyelim. A ve B noktaları arasındaki yer değiştirme vektörü  $\vec{d}$  ile gösterilirse, eşitlik (5)'ten;

$$\Delta V = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\vec{E} \int_A^B d\vec{s} = -Ed \quad (8)$$

elde edilir. Buradan da  $\vec{E}$  sabit olduğundan integralin dışına çıkardık. Ayrıca yükün potansiyel enerjisindeki değişme;

$$\Delta U = q_0\Delta V = -q_0\vec{E} \cdot \vec{d} \quad (9)$$

olur.

Son olarak bu sonuçlar, düzgün bir elektrik alanı dik olan düzlem üzerindeki bütün noktaların aynı potansiyelde olduğunu göstermektedir.

*Aynı potansiyele sahip olan noktaların sürekli dağılımlarının oluşturduğu herhangi bir yüzeye eşpotansiyel yüzey adı verilir.*

$\Delta U = q_0 \Delta V$  olduğundan bir deneme yükünün bir eşpotansiyel yüzey üzerinde herhangi iki nokta arasındaki hareketinde hiçbir iş yapılmayacağına dikkat ediniz. Düzgün bir elektrik alanının eşpotansiyel yüzeyleri, tümü bu alana dik olan düzlem ailesinden ibarettir.

$\vec{E}$  elektrik alanı ve  $V$  potansiyeli (5) eşitliği ile birbirlerine bağlıdır. Her iki nicelik, belirli bir yük dağılımı ile tayin edilir. Şimdi, belirli bir bölgede elektriksel potansiyel biliniyorsa, elektrik alanın nasıl hesaplanacağını göreceğiz.

Göreceğimiz üzere, elektrik alan, basitçe elektriksel potansiyelin türevinin negatifidir. (5) eşitliğine göre, aralarında  $ds$  uzaklığı bulunan iki nokta arasındaki potansiyel farkını,

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (10)$$

olarak ifade edebiliriz. Elektrik alanın yalnızca  $E$  bileşeni varsa, o zaman  $E_x dx = Eds$  veya,

$$E_x = -\frac{dV}{dx} \quad (11)$$

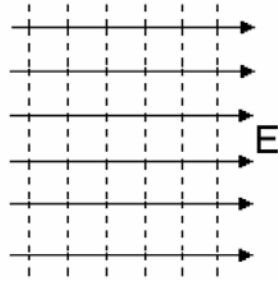
bulunur. Yani elektrik alan, bir koordinata göre potansiyelin türevinin negatifine eşittir.

*Elektrik alana dik herhangi bir yer değiştirme için potansiyel değişimin sıfır olacağına dikkat ediniz.* Bu durum, Şekil 4'teki gibi elektrik alana dik olan eşpotansiyel yüzeyler kavramı ile uyumludur.

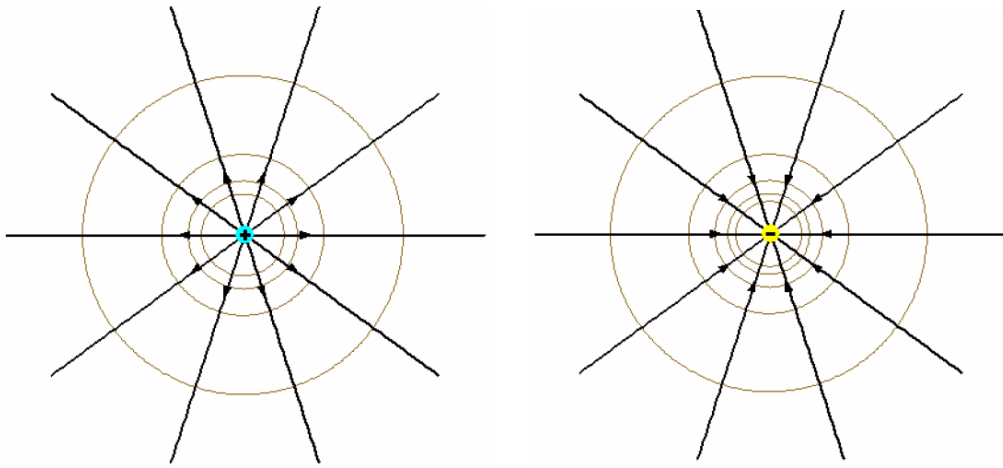
Yük dağılımı küresel simetriye sahipse, yani yük yoğunluğu yalnızca radyal uzaklığına bağlı ise, o zaman elektrik alan da radyal olur. Bu durumda  $\vec{E} \cdot d\vec{s} = \vec{E} \cdot d\vec{r}$  biçiminde ifade edebiliriz. Bu nedenle,

$$E_x = -\frac{dV}{dr} \quad (12)$$

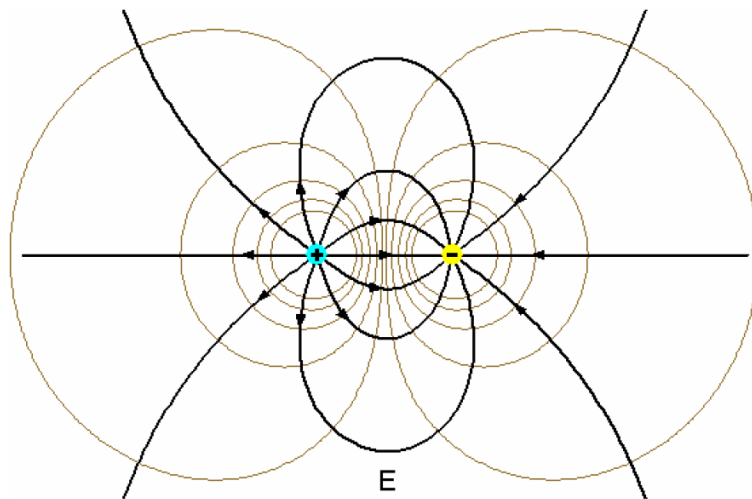
yazılabilir. Potansiyeldeki değişimin  $r$  ye dik doğrultuda değil, sadece radyal doğrultuda olduğuna dikkat ediniz.



Şekil 3. Paralel bir elektrik alana ait eşpotansiyel yüzey çizgileri (kesikli çizgiler)



Şekil 4. Pozitif (sol) ve negatif (sağ) elektrik yüklerine ait eşpotansiyel çizgileri (açık renkli dairesel çizgiler)



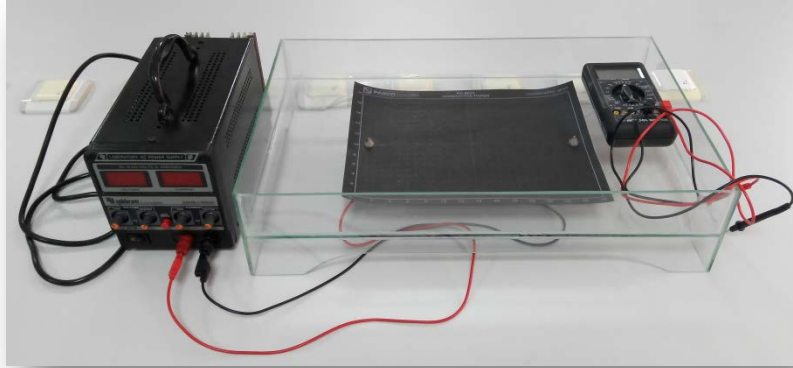
Şekil 5. Çift kutuplu (dipol) bir sisteme ait eşpotansiyel çizgileri (açık renkli dairesel çizgiler)

Böylece  $V$ , ( $E$  gibi) yalnızca  $r$ 'nin fonksiyonudur. Bu da yine, eşpotansiyel yüzeylerin elektrik alan çizgilerine dik olduğu fikri ile uyumludur. Bu durumda eşpotansiyel yüzeyler küresel yük dağılımına sahip sistemler için aynı merkezli küre aileleridir (Şekil 4). Bir çift kutuplu (dipol) sistemin eşpotansiyel yüzeyleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

Herhangi bir eşpotansiyel yüzey içinde bulunan bir deneme yükü  $d\vec{s}$  vektörü kadar yer değiştirirse, bu bağıntıdan  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$  olur. Bu durum eşpotansiyel yüzeylerin her zaman elektrik alan çizgilerine dik olduğu gösterir.

#### Kullanılan Aletler:

1. İletken kâğıtlı deney düzeneği,
2. Güç kaynağı (probları ve elektrik kablosu ile beraber)
3. AVOMETRE (probları ile beraber)



Şekil 6. Deney düzeneği.



Şekil 7. İletken kağıt.



## Deneyin Yapılışı:

1. Deneye başlamadan önce deney düzeneği içerisindeki (siyah) iletken kâğıdın sağlamlığını kontrol ediniz. Yırtılmış ve zarar görmüş ise değiştiriniz.
2. Güç kaynağının pozitif (+) ve negatif (-) uçlarını, deney düzeneğinin alt tarafında ilgili yerlere bağlayınız ve. Bu bağlantı noktaları, iletken kâğıdın üzerindeki +q ve -q yüklerine karşılık gelecektir. Güç kaynağı üzerindeki ayar düğmeleri ile çıkış gerilimini 5V'a ayarlayınız. (COARSE düğmesi kaba ayar, FINE düğmesi ince ayar için kullanılır.)
3. Deneye ait ölçümler AVOMetre kullanılarak yapılacaktır. Dijital AVOMetreyi DC gerilim ölçme modunda 20V kademesine ayarlayın. (*İhtiyaç duyulursa daha hassas ölçüm için daha düşük voltaj kademesine ayarlanabilir.*)
4. İletken kâğıdın yüzeyini, iki yükü birleştiren doğru x eksenini olacak şekilde düşününüz ve xy koordinat düzlemi için bir başlangıç noktası  $[(x,y)=(0,0)]$  belirleyiniz.
5. x ekseninde bir A noktası belirleyiniz. Bu A noktasının koordinatını Tablo 1'e yazdıktan sonra AVOMETRENİN negatif (-) ucunu bu noktaya sabitleyin.
6. Bundan sonraki amacımız, bu A referans noktası ile potansiyel farkı sıfır olan ( $\Delta V=0$ ) noktaların bulunması olacaktır. AVOMETRENİN pozitif (+) ucunu iletken kâğıt üzerinde gezdirerek potansiyel farkın sıfır olduğu ( $\Delta V=0$ ) noktaları bulun. Dört tanesini x ekseninde, dört tanesini x ekseninin altında olmak üzere sekiz nokta bulun ve her bir noktanın koordinatını Tablo 2'de A referans noktası satırına yazınız.
7. x ekseninde beş farklı referans noktası (B, C, D, E, F) daha belirleyiniz ve her bir referans noktası için 5. ve 6. adımdaki işlemleri tekrarlayarak, ölçüm değerlerini Tablo 1'de ilgili yerlerine yazınız.
8. Ölçümler bittikten sonra, Tablo 1 ve Tablo 2'deki referans noktalarını milimetrik kâğıda işaretleyerek her bir referans noktası için eşpotansiyel yüzeyleri çiziniz.
9. Eşpotansiyel yüzeyleri kullanarak, iki yük arasında meydana gelen elektrik alan çizgilerini çiziniz.

Referans Noktası	(x,y)
A	,
B	,
C	,
D	,
E	,
F	,

**Tablo 1.** Referans noktalarının koordinatları.

Referans Noktası	1 (x,y)	2 (x,y)	3 (x,y)	4 (x,y)	5 (x,y)	6 (x,y)	7 (x,y)	8 (x,y)
A	,	,	,	,	,	,	,	,
B	,	,	,	,	,	,	,	,
C	,	,	,	,	,	,	,	,
D	,	,	,	,	,	,	,	,
E	,	,	,	,	,	,	,	,
F	,	,	,	,	,	,	,	,

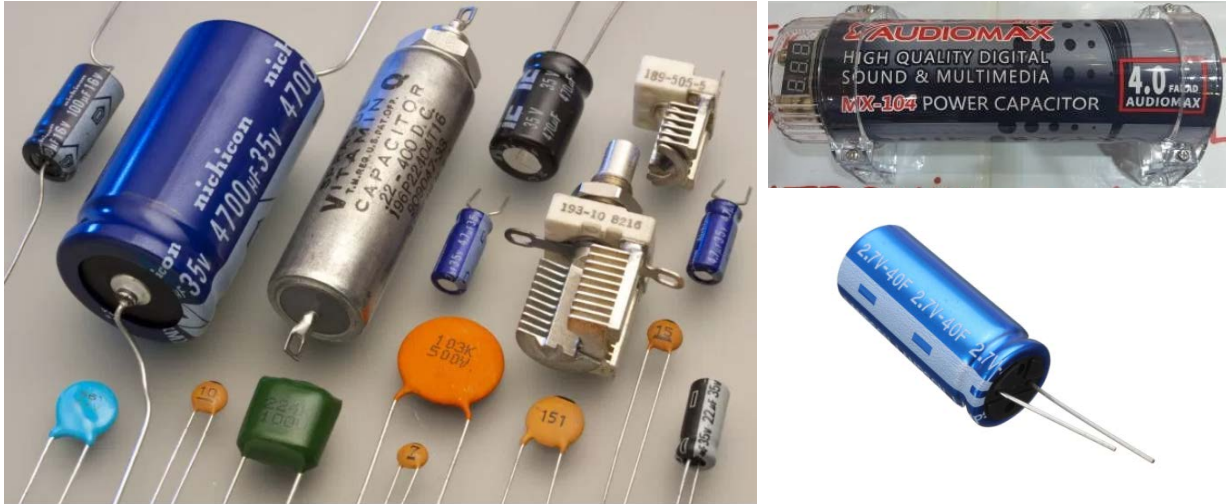
**Tablo 2.** Eşpotansiyel noktalarının koordinatları.

# DENEY 3 : KAPASİTÖRLER ve DC DEVRELERİNDE BAĞLANTI BİÇİMLERİ

## Deneyin Amacı:

- Kapasitörlerin bağlantı biçimlerinin uygulanması.
- Kapasitörlerin seri ve paralel bağlantılarda akım ( $I$ ), gerilim ( $V$ ) ve sığa ( $C$ ) değerlerinin gözlenmesi.

Üzerlerinde eşit fakat zıt elektrik yükünün yer aldığı bir çift iletkenin arasındaki elektrik alanın ürettiği enerjiyi depolayan ağıta (devre elemanına) kapasitör (kondansatör, sığaç) denir.



Şekil 1. Kapasitör çeşitleri

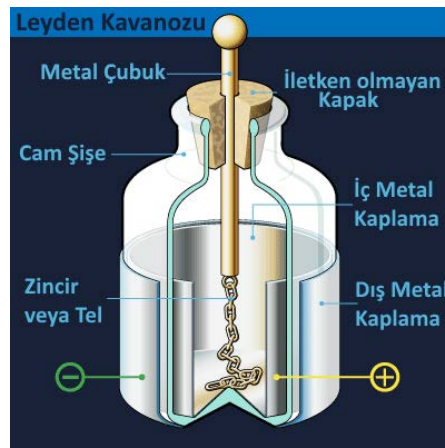
## Tarihçe:

Tahminen M.Ö. 600'de, Milet'li Thales'in yazdığına göre, Antik Yunanlılar miller üzerinde kehribar toplarını ovalayarak kıvılcımlar üretebiliyorlardı. Buna, bir dielektrik içinde yüklerin mekanik ayrışması yani, *triboelektrik etki* denir. Bu etki kapasitörün temelidir.

Ekim 1745'te, Pomerania'lı *Ewald Georg von Kleist* kayıtlara geçen ilk kapasitörü icat etti: İçi ve dışı metal ile kaplanmış cam kavanoz. Kleist eletrği bir "sıvı" olarak düşündü ve alkol ile dolu bir cam şişenin bu sıvıyı depolayabileceğini beklentisi içindeydi. Bu düşünceyle,

tıpası delinmiş ve içi alkol ile dolu bir ilaç şişesinde elektriği depolamayı denedi. Önemli miktarda elektrik yükünün toplanabileceği ve cam şişe içindeki “sıvıdan” kaçmasının engellenebileceğine ikna olmuştu.

Kleist'in keşfinin geniş ölçekte bilinmesinden önce, bundan bağımsız olarak Alman fizikçi *Pieter van Musschenbroek* Ocak 1746'da çok benzer bir kapasitör icat etti. Yalıtkan ipekten iplerle asılmış, içi su dolu ve tıpasının içinden suya daldırılmış pirinç bir tel geçen, dışı ve içi metal folyo kaplı cam bir kavanoz ile deney yapan Musschenbroek, elektrik yükünü, *suyun içinde olduğunu düşünerek*, depolamayı başarmıştı. van Musschenbroek'un çalıştığı yer olan Leyden Üniversitesi'nden dolayı buna Leyden kavanozu adı verildi.



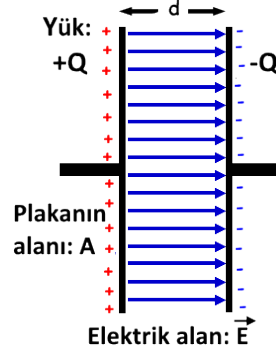
Şekil 2. Leyden kavanozu

Daha sonrasında Benjamin Franklin Leyden kavanozunu ile ilgili çalışmalar yaptı ve diğerlerinin varsaydığı gibi yükün suyun içinde değil, camın üstünde depolandığını kanıtladı. Bu ilk çalışmalarda elektrik sadece kavanozda depolanabildiği için sığa (kapasitans) birimi jar (kavanoz) idi. Bir kavanoz yaklaşık olarak 1 nF'a karşılık gelmekteydi.

Kapasitörlerin, diğer kullanılan adı ile “kondansatörlerin”, adı, Alessandro Volta tarafından 1782'de İtalyanca “*condensatore*”den türetilmiş. Normal bir yalıtılmış iletken “*daha fazla yoğunluklu*” elektrik yükü depolayabilmesi yeteneğine nedeniyle bu ad verilmiştir. İngilizce kökenli olmayan birçok dilde hala “condensatore” den türetilmiş kelimeler kullanılmaktadır. Mesela Fransızca condensateur veya Almanca kondensator gibi.

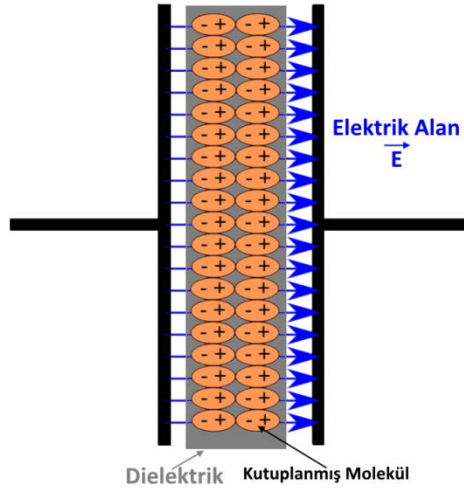
### Genel Bakış:

Bir kapasitör, her biri zıt yük içeren iki elektrot veya plaka içerir. Bu iki plaka iletkenir ve bir yalıtkan veya dielektrik ile ayrılmıştır. Yük plakaların yüzeyinde, dielektrik ile kesiştiği sınırdan depolanır. Her bir plaka eşit fakat zıt yük depoladığı için kapasitördeki toplam yük daima sıfırdır.



Şekil 3. Paralel plakalı kapasitör

Elektrik yükü plakalarda birikmeye başladığı zaman plakalar arası bölgede, birikmiş yük miktarına orantılı olarak bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan, bu basit paralel plakalı kapasitörün plakaları arasında  $V = E \cdot d$  potansiyel farkını oluşturur.



Şekil 4. Paralel plakalı kapasitörde dielektrik madde ve moleküllerin kutuplanması

Molekülün içerisindeki elektronlar molekülü, pozitif yüklü sol plakaya doğru taşır veya yönlendirir. Bu işlem karşıt elektrik alan yaratır ki bu da, plakalar tarafından yaratılan alanı kısmen yok eder. (Hava boşluğu net görülmesi bakımından gösterilmiştir. Gerçek bir kapasitörde, dielektrik plakalarla doğrudan etkileşim halindedir.)

**Sığa (Capacitance):**

Kapasitörün sığası (C), uygulanan ve plakalar arasında görülen bir potansiyel farka veya gerilime (V) bağlı olarak her bir plaka üzerinde depolanan yük (Q) miktarının ölçüsüdür:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

SI birim sistemine göre bir kapasitör; bir coulomb'luk yük, plakalar arasında bir volt'luk bir potansiyel fark oluşturduğunda, bir farad'lık bir sığa içerir. Farad çok büyük bir birim olduğu için, kapasitör değerleri genellikle mikroyfarad ( $\mu\text{F}$ ,  $10^{-6}$  farad), nanofarad (nF,  $10^{-9}$  farad) veya pikofarad (pF,  $10^{-12}$  farad) cinsinden ifade edilir.

Sığa iletken plakanın yüzey alanı ile doğru, plakalar arası mesafe ile ters orantılıdır. Aynı zamanda plakaları ayıran dielektrik maddenin geçirgenliği (yalıtkanlık sabiti, permittivity) ile de doğru orantılıdır.

Paralel-plakalı kapasitörün sığası aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} ; A \gg d^2 \quad (2)$$

Burada;  $\epsilon$  dielektriğin geçirgenliği,  $A$  plaka alanı ve  $d$  plakalar arasındaki mesafedir.

**Farad:**

Farad (F), sığanın SI birimindeki karşılığıdır. Michael Faraday'a ithafen bu ismi almıştır. Bir kapasitör, depolanan bir coulomb'luk yük kutuplar üzerinde bir volt'luk bir potansiyel farka neden olduğunda, bir farad değerini alır. SI temel birimlerine göre karşılığı:

$$F = CV^{-1} = m^{-2}kg^{-1}s^4A^2$$

Bununla birlikte, uygulamada milifarad nadiren kullanılır ve bu yüzden mesela  $4,7 \times 10^{-3} F$  genellikle 4700  $\mu F$  şeklinde yazılır. Entegre devrelerinde kullanılanlar gibi çok küçük sığa değerleri femtofarad ( $10^{-15} F$ ) cinsinden de ifade edilebilir. Yeni teknoloji, süper kapasitörler olarak adlandırılan kilofarad mertebesinden aygıtlar sunmaktadır.

103	473
10 000 pf	47 000 pf
.05	0.1
0.05 $\mu f$	0.1 $\mu f$
5n6	22n
5.6 nf	22 nf

### Kapasitörlerin Uygulamaları:

Kapasitörlerin elektronikte ve elektriksel sistemlerde oldukça çok kullanım biçimi vardır.

### Enerji depolama

Kapasitör, şarj devresinden bağlantısı kesildiğinde elektrik enerjisini depolayabilir ve böylece geçici batarya gibi kullanılabilir. Son dönemlerde ticari bakımdan bir farad'a yakın değerlerde kapasitörlerin sağlanabilmesi, bu tür bileşenlerle elektronik aygıtlarda hafıza kaybı olmaksızın batarya değiştirilebilmesini olanaklı kılmıştır.

### Ayarlı devreler

Kapasitörler ve indüktörler, belirli bir frekans bandındaki bilgiyi seçmek üzere ayar devreleri olarak kullanılırlar. Örneğin radyo alıcıları, istasyon frekansını ayarlayabilmek için değişken kapasitörler üzerine kurulurlar. Hoparlörler pasif analog crossover'lar olarak kullanılırken, pasif *crossover* devreleri indüktör, kapasitör ve dirençlerden oluşan elektronik devrelerdir.

### Güç çevirici uygulamaları

Kapasitörler sabit bir fiziksel düzenek olarak algılandığı halde ve elektriksel gerilimin akımın kullanım çeşitliliği bakımından, sabit bir elektriksel kaynaklı dielektriğin fiziksel ve/veya elektriksel karakteristiğindeki değişimlerin etkisi de kullanışlı olabilir. Açık ve gözenekli dielektriği olan kapasitörler havadaki nem oranını ölçmek için kullanılabilirlerken, esnek plakalı kapasitörler gerginlik veya basınç ölçmek için kullanılabilirler. Kapasitörler, sabit pozisyonlu birinci plakaya karşılık hava basıncı ile hareket eden ikinci plaka prensibine

göre çalışan yoğuşmalı mikrofonlarda (condenser microphones) güç çevirici olarak kullanılırlar.

### **Kapasitörlerin tehlikeleri ve güvenlik**

Kapasitörler, güç devreden kesildikten çok sonra dahi yük taşıyabildikleri için, bu yük, elektrik akımıyla ölüme kadar varan, şoklara neden olabilir veya bağlandığı cihazlara zarar verebilir. Geniş veya yüksek gerilimli kapasitör, içinde bulunduğu cihazda çalıştırılmadan önce düzgün olarak boşaltılmasını sağlanmalıdır. Güvenlik amaçlı olarak bütün geniş kapasitörler ellenmeden önce boşaltılmalıdır. Yüksek gerilimli kapasitörler, depolanmış herhangi bir yükü yok etmek için kutupları kısa devre edilmiş şekilde depolanmalıdırlar.

### **Doğru akım (DC) kaynaklı devrelerde kapasitör**

Elektronlar kapasitörün bir plakasından diğerine dielektrik üzerinden doğrudan geçemez. Kapasitör üzerinde bir akım olduğunda elektronlar bir plaka üzerinde birikir ve aynı zamanda diğer plakadan uzaklaştırılır. Kapasitör bütün süreç boyunca yüksüz olduğu halde bu işlem yaygın bir biçimde kapasitörün 'yüklenmesi' olarak adlandırılır. Aslında, kapasitör üzerindeki akım elektrik yükünün birikmesinden daha çok dağılım esnasında oluşur. Bu yük dağılımı, plakalar üzerindeki gerilime bir yükseliş vererek kapasitörün plakaları arasında gelişmek üzere bir elektrik alana neden olur. Bu V gerilimi doğrudan ayrışan yük miktarı Q ile orantılıdır. Fakat Q sadece kapasitör üzerindeki I akımının zaman integralidir. Bu matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

Burada; akım amper (A) olarak ölçülür; dV/dt gerilimin zamana göre türevidir ve volt/saniye olarak ölçülür; C farad cinsinden sığadır.

Doğru gerilim (DC) kaynaklı devreler için, kapasitör üzerinden akan akım sabit olmaz, zamanla azalır. Kapasitör üzerindeki potansiyel ark, kaynak potansiyeline eşit olduğu zaman üzerinden herhangi bir akım geçmez. Bu sebepten dolayı, yaygın olarak kapasitörlerin DC akım kesici olduğu söylenir.



### Depolanan enerji

Yüklü bir kapasitörün potansiyel enerjisi, plakaları arasında depolanan elektrik alan olarak ifade edilebilir.

$q'$  kadar bir yükün bir plakadan alınıp diğerine taşındığı kabul edilsin. Plakalar arasındaki  $V'$  potansiyel farkı  $C/q'$  olarak ifade edilebilir. Eğer  $dq'$  kadarlık fazladan bir yük bir plakadan diğerine taşınmak istenirse yapılması gereken iş;

$$dW = V' dq' = \frac{q'}{C} dq' \quad (3)$$

olacaktır. Bütün bu yükü taşımak için gerekli olan iş:

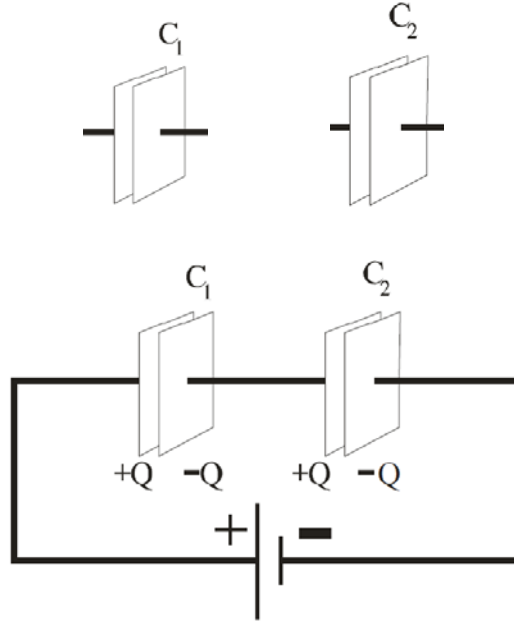
$$W = \int dW = \frac{1}{C} \int_0^q q' dq' = \frac{q^2}{2C} \quad (4)$$

eşitliği ile tanımlanır. Eşitlik (4) aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$$E_{\text{depolanan}} = \frac{1}{2} CV^2 \quad (5)$$

burada  $V$ , kapasitör uçları arasındaki potansiyel fark değeridir.

## Kapasitörlerin Seri Bağlanması



Yukarıdaki şekil yardımıyla seri devrede kapasitörlerin nasıl davrandıklarını anlamaya çalışalım. Elimizde yüklenmemiş, sıfır net yüke sahip, iki kapasitör olsun. 1. kapasitörün ( $C_1$ ) sol plakasıyla 2. kapasitörün ( $C_2$ ) sağ plakası bataryanın kutuplarına bağlanır. Diğer iki plaka sadece birbirlerine bağlanmışlardır ve bir yalıtılmış iletken durumundadırlar. Bu durumda kapasitörler seri bağlanmıştır ve elektronlar,  $C_1$ 'in sol plakasından  $C_2$ 'nin sağ plakasına transfer olurlar. Bu negatif yük  $C_2$ 'nin sağ plakasında birikirken buna karşılık aynı miktarda negatif yük  $C_2$ 'nin sol plakasından uzaklaştırılır ve bu yüzden  $C_2$ 'nin sol plakası aşırı miktarda pozitif yükle yüklenmiş olur. Bu uzaklaştırılan negatif yük, bağlantı kablosu üzerinden  $C_1$ 'in sağ plakası üzerinde birikir. Sonuç olarak, bütün sağ plakalar  $-Q$  yükü ile dolarken bütün sol plakalar  $+Q$  yükü ile dolarlar. Bu nedenle, seri bağlanan kapasitörler üzerindeki yükler her zaman aynıdır.

Bir kapasitör üzerinde biriken yükü, sığa tanımında verdiğimiz  $C = Q / V$  eşitliğinden faydalanarak şu şekilde yazabiliriz:

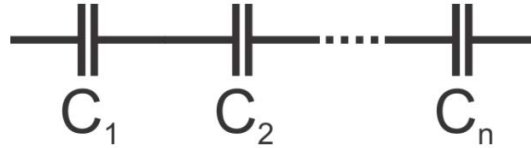
$$\begin{aligned} Q_1 &= V_1 C_1 \\ Q_2 &= V_2 C_2 \\ &\dots \\ Q_n &= V_n C_n \end{aligned}$$

İki kapasitör için değerlendirdiğimizde (aynı şekilde uygulamada kurulan devre de iki kapasitörlü sisteme göre çizilmiştir),  $Q_1 = Q_2$  olduğuna göre şu denkleme ulaşabiliriz:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

$V_1$  ve  $V_2$  değerlerini teorik olarak hesaplarken, bu denklem yardımıyla ( $C_1$  ve  $C_2$  değerleri bilinebildiği için)  $V_1/V_2$  oranına ulaşabiliriz. Bununla birlikte  $V_{toplam}$  bilindiği için  $V_1$  ve  $V_2$  değerlerini orantı yöntemiyle bulabiliriz.

Seri devrelerde kapasitörlerin toplam kapasitansının çarpmaya göre tersi, bireysel kapasitanslarının çarpmaya göre terslerinin toplamına eşittir.

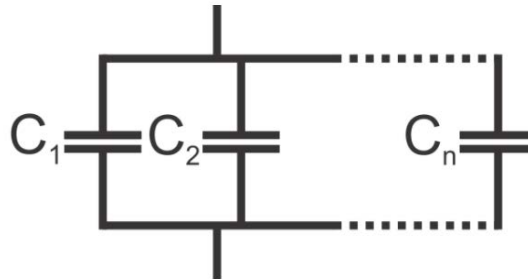


$$\frac{1}{C_{toplam}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$V_{toplam} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

### Kapasitörlerin Paralel Bağlanması

Paralel devrelerde bütün bileşenler üzerindeki potansiyel farklar aynıdır. Sistemin toplam sığası, kapasitörlerin sığalarının toplamına eşittir.



$$C_{toplam} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

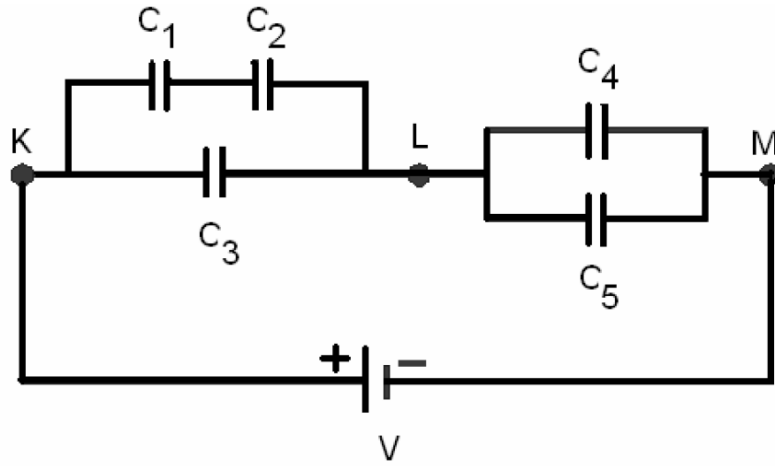
$$V_{kaynak} = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

### Kullanılan Aletler:

- Devre Kurma Düzeneği
- Ayarlı Güç Kaynağı
- AVO Metre
- Değişik değerlerde kapasitörler

### İşlem Basamakları:

1. Aşağıdaki devreyi seçtiğiniz kapasitörlerin teorik ve pratik değerlerini Tablo 1'e not ederek kurunuz.



2. Kurulan devreyi kontrol ettirdikten sonra 6V gerilim uygulayınız.
3. KM arası gerilimi ( $V_{KM}$ ) ve sığayı ( $C_{KM}$ ) **ölçüp** Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz. Aynı şekilde  $Q_{KM} = V_{KM}C_{KM}$  eşitliğinden faydalanarak  $Q_{KM}$  pratik değerlerini Tablo 2'ye kaydediniz.
4. KM arası gerilimi ( $V_{KM}$ ) ve sığayı ( $C_{KM}$ ) **hesaplayıp** Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz. Aynı şekilde  $Q_{KM} = V_{KM}C_{KM}$  eşitliğinden faydalanarak  $Q_{KM}$  teorik değerlerini Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz. Not: *KM arası gerilimin teorik değeri güç kaynağından uygulanan değerdir. KM arası sığanın teorik değerini ise Tablo 1'deki teorik değerlerle hesaplayınız.*

5. KL arasındaki gerilimi ( $V_{KL}$ ) ve sığayı ( $C_{KL}$ ) **ölçüp** Tablo 2'de ilgili yerlere kaydediniz. Aynı şekilde  $Q_{KL} = V_{KL}C_{KL}$  eşitliğinden faydalanarak  $Q_{KL}$  **pratik** değerlerini Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz.
6. LM arasındaki gerilimi ( $V_{LM}$ ) ve sığayı ( $C_{LM}$ ) **ölçüp** Tablo 2'de ilgili yerlere kaydediniz. Aynı şekilde  $Q_{LM} = V_{LM}C_{LM}$  eşitliğinden faydalanarak  $Q_{LM}$  **pratik** değerlerini Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz.
7. KL ve LM arası sığaların teorik değerlerini Tablo 1'den yararlanarak hesaplayıp Tablo 2'de ilgili yere kaydediniz.
8. KL ve LM arasındaki gerilimlerin teorik değerlerini aşağıdaki eşitliklerle hesaplayınız.  
Not: *KL ve LM arası teorik eşdeğer yük (Q) değerleri 5. ve 6. basamaklardaki değerlerdir.*

$$\frac{V_{KL}}{V_{LM}} = \frac{C_{LM}}{C_{KL}} , V_{KM} = V_{KL} + V_{LM}$$

9. 2. - 8. basamaklar arasındaki işlemleri 9V, 12V, 15V, 18V değerleri için tekrarlayınız.
10. KL'ye ait verileri kullanarak aynı grafik kâğıdı üzerine hem teorik hem de pratik değerler için Q-V grafiğini çiziniz.

#### SORULAR:

1. Grafiğin eğimini teorik ve pratik değerler için hesaplayınız. Eğim neyi ifade etmektedir?
2. Eğrinin altında kalan alanı hesaplayınız. Sizce alan neyi vermektedir?
3. Sizce neden buraya kadar hiç akımdan bahsetmedik?

	Teorik	Pratik	% Hata
C <sub>1</sub>			
C <sub>2</sub>			
C <sub>3</sub>			
C <sub>4</sub>			
C <sub>5</sub>			

$$\% Hata = \frac{Teorik - Pratik}{Teorik} \times 100$$

		KM			KL			LM		
		V <sub>KM</sub> (V)	C <sub>KM</sub> (F)	Q <sub>KM</sub> (C)	V <sub>KL</sub> (V)	C <sub>KL</sub> (F)	Q <sub>KL</sub> (C)	V <sub>LM</sub> (V)	C <sub>LM</sub> (F)	Q <sub>LM</sub> (C)
PRATİK	Ölçüm 1									
	Ölçüm 2									
	Ölçüm 3									
	Ölçüm 4									
	Ölçüm 5									
TEORİK	Teorik 1									
	Teorik 2									
	Teorik 3									
	Teorik 4									
	Teorik 5									

# DENEY 4 : KAPASİTÖRLERİN YÜKLENMESİ ve BOŞALTILMASI (DİRENÇ-KAPASİTÖR AĞI)

## Deneyin Amacı:

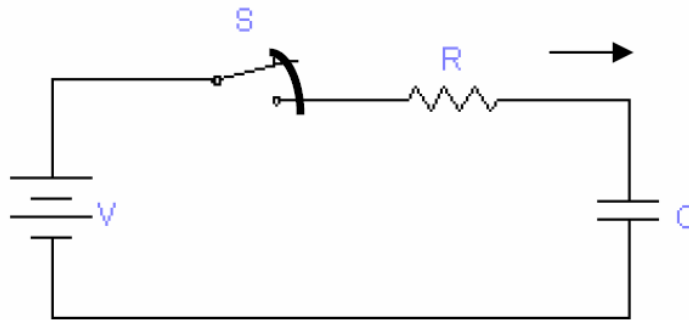
Yüksüz olan kapasitörün yüklenmesi ve boşaltılması ile kapasitörde depolanan yükün zamana bağlılığını göstermek; seri RC (direnç-kapasitör) devrelerinde akım ve gerilim değerlerinin incelenmesi ve RC zaman sabitinin bulunması.

## Teorik Bilgi:

Birbirinden herhangi bir yalıtkanla (hava, kağıt, plastik, vb.) ayrılmış iki yüklü iletken bir kapasitör (kondansatör, sığaç) oluştururlar. Genellikle bu iki iletken  $+Q$  ve  $-Q$  gibi eşit büyüklüklerde, zıt yüklere sahiptirler ve aralarında mutlak bir potansiyel farkı mevcuttur. Bu potansiyel farkı  $V$  ile gösterilir. Eğer her bir iletkendeki yük  $Q$  olursa, bu iki iletken arasındaki potansiyel farkı ( $V$ ) da yük ile orantılı olur.  $Q$  ve  $V$  değerlerinin ikisinin de mutlak değerleri alındığından değerleri pozitif olur.  $C$  değeri orantı sabiti olarak alınır, şu ifade elde edilir:

$$Q = CV$$

buradaki  $C$  değeri kapasitörün sığası olarak ifade edilir. Sığanın büyüklüğü iletkenlerin geometrisine ve bu iki iletken arasındaki yalıtkanın özelliğine bağlıdır. Sığanın birimi SI birimlerinde *coulomb/volt* ( $C/V$ ). Bu SI birimi, Michael Faraday'ın anısına **farad (F)** olarak adlandırılmıştır. Farad oldukça büyük bir sığa birimidir. Elektrik devrelerinde kullanılan tipik bir kapasitörün sığası  $10^{-12}$  F (pF, pikofarad) ile  $10^{-6}$  F ( $\mu$ F, mikrofarad ) arasındadır.



Şekil 1.  $V$  gerilimi ile yüklenen bir kondansatör

Şekil 1'de görüldüğü gibi,  $\mathcal{E}$ 'si  $V$  olan bir pil, bir  $R$  direnci ve  $S$  anahtarı ile bağlanmış bir  $C$  kondansatörünü göz önüne alalım. (Kaynağın iç direnci  $R$ 'ye eklenmiş olsun.)

Başlangıçta kapasitör yüksüz olup, anahtar açık olduğundan devrede akım yoktur.  $S$  anahtarı kapatıldığında, pil yük taşıyıcılarını kapasitörün bir levhasından diğerine aktarmaya başlar ve devrede bir akım oluşur. Eğer devrede  $i$  akımı saat yönünde (negatif levhadan pozitif levhaya doğru) ise ;

$$i = \frac{dq}{dt}$$

olup, burada  $q$  kapasitörün pozitif levhasındaki anlık yükü göstermektedir. Yani devredeki akım, yükün bir levhadan diğerine taşınma hızına karşılık gelir. Bu yüzden, akım kapasitörün yüklenme hızına eşittir. Kirchhoff Gerilimler Yasası (KGY) devre için uygulandığında potansiyel farkların toplamı,

$$V = \frac{q}{C} + iR$$

olarak bulunur. Bu ifadeyi yeniden düzenlersek,

$$i = \frac{V}{R} - \frac{q}{RC}$$

yazabiliriz. Akım değerini birim zamandaki yük miktarı şeklinde ifade edersek ve akım yerine  $i = dq/dt$  ifadesini koyarsak aşağıdaki gibi bir diferansiyel denklem elde ederiz:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{V}{R} - \frac{q}{RC}$$

ve bu diferansiyel denklemi çözersek,

$$q = VC(1 - e^{-t/RC})$$

olur. Bu çözümü, diferansiyel denklemde yerine koyarak kontrol edilebilir. Çözümünden de görüleceği gibi,

$t = 0$  anında yük miktarı  $q_{(0)} = 0$ 'dır ve

$t = \infty$  olduğunda ise yük miktarı  $q_{(\infty)} = VC$ 'dir.



q'nun zamana göre türevini alırsak,

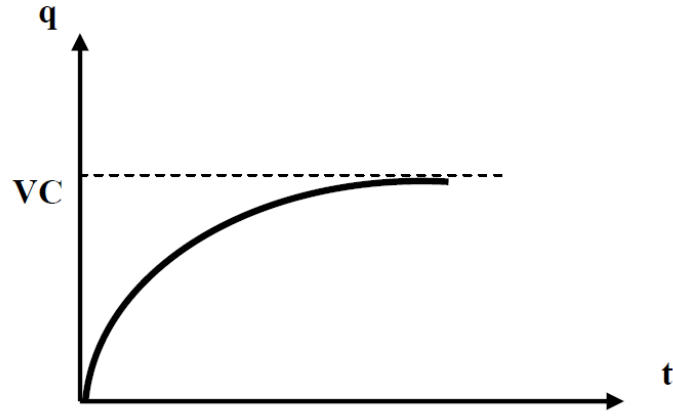
$$\frac{dq}{dt} = i = \frac{V}{R e^{-t/RC}}$$

olur. Bu denklemden görebileceğimiz gibi;

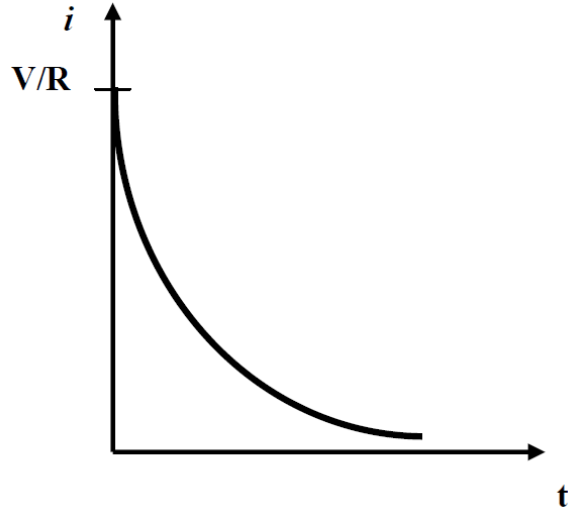
$t = 0$ 'da akım  $i = i_0 = V/R$  ve

$t = \infty$  olduğunda akım  $i = i_\infty = 0$  olur.

Yükün ve akımın zamana göre değişimi sırasıyla Şekil 2a ve Şekil 2b 'de görülmektedir.



Şekil 2a. Yüklenmekte olan bir kapasitördeki yükün zamana göre değişimi.



Şekil 2b. Yüklenmekte olan bir kapasitördeki akımın zamana göre değişimi.

RC'nin birimi saniye cinsinden olmalıdır ki  $t/RC$  ifadesi birimsiz olsun.

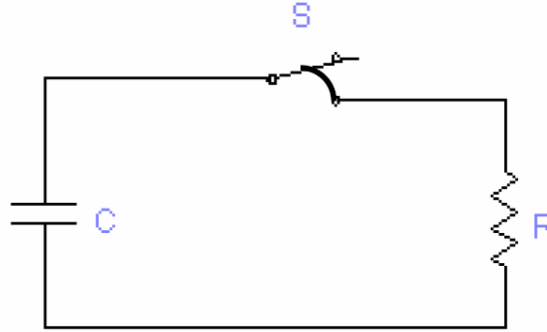
Kapasitörde  $t = RC$ 'lik sürede biriken yükün miktarı ise,

$$q = VC(1 - e^{-t/RC}) = VC(1 - e^{-RC/RC}) = VC(1 - e^{-1}) = VC(1 - 0,37) = 0,63 VC$$

olur. Bu değer de kapasitördeki son yük miktarının 63%'ü kadardır. Benzer şekilde devredeki yükleme akımı  $t = RC$  için hesaplanırsa,

$$i = \frac{V}{Re^{-t/RC}} = \frac{V}{Re^{-RC/RC}} = \frac{V}{Re^{-1}} = \frac{V}{R(1/e)} = 0,37 \left(\frac{V}{R}\right)$$

olur. Bu akım değeri de devredeki ilk akım değerinin %37'sidir.  $RC$  çarpımını devrenin **zaman sabiti** olarak ifade edilir.



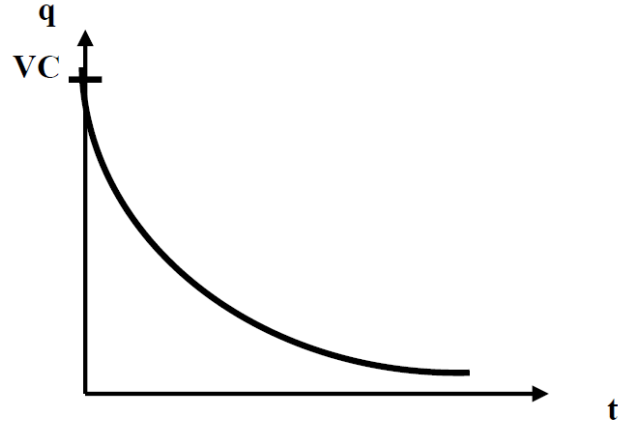
Şekil 3. Kapasitörün boşalması.

Şekil 3, açık bir anahtarla bir dirence bağlanmış tamamen yüklü bir kapasitörü göstermektedir.  $t = 0$ 'da anahtar kapatılıyor ve kapasitör boşalmaya başlıyor. Bu sırada oluşan akıma *boşalım akımı* denir. Kapasitör üzere düşen gerilim değeri zamanla azalmaktadır. Akım ve yükün zamanla değişimini gösteren ifadeler,

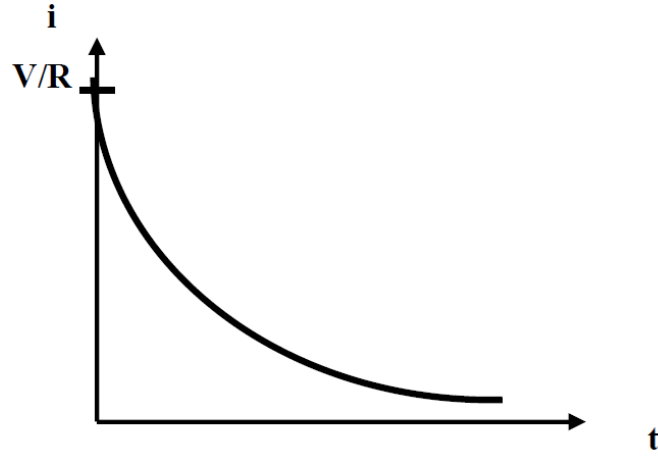
$$q = VC(e^{-t/RC})$$

$$i = \frac{V}{R}e^{-t/RC}$$

dir. Burada  $V$  değeri kapasitörün uçları arasındaki başlangıç gerilimidir. Kapasitörün boşaltılmasını sırasındaki akım ve yük değerlerini gösteren grafikler Şekil 4a ve Şekil 4b'de verilmiştir.



Şekil 4a. Kapasitör boşalırkenki yük zaman grafiği.



Şekil 4b. Kapasitörün boşalırkenki akım zaman grafiği.

**Deneyde Kullanılan Aletler:**

- Pasco ES-9063A Direnç-Kapasitör Ağı
- Ayarlı Güç Kaynağı
- AVO Metre
- Grafik Kâğıdı
- Kronometre
- Jaklı Kablo

## Deneyin Yapılışı:

### a) Kapasitörün Yüklenmesi:

1. İlk olarak deney düzeneğinin OUT ve GND çıkışlarını kısa süreliğine bir kablo ile birbirlerine bağlayınız. Bu işleme *topraklama* işlemi denir ve kapasitörün üzerindeki yükü boşaltmaya yarar. A anahtarını OPEN konumuna getiriniz. EXT INPUT ve GND girişlerine, güç kaynağını 20  $V_{(DC)}$ 'ye ayarlayarak bağlayınız. AVOMETRE kablolarından kırmızı uçlu (+) olanı OUT, siyah uçlu (-) olanı IN girişine bağlayarak kapasitör yüklenmesi sırasında direnç gerilimini ( $V_R$ ) ölçeceksiniz.
2. Öğrencilerden biri kronometre tutar, diğeri verileri kaydeder ve diğeri öğrenci de deneyi yönetir. Kronometre ile eş zamanlı olarak deneyi yöneten öğrenci A, B, C anahtarlarını 1 konumuna getirerek AVOMETREde okuduğu ilk değeri söyler ve bu veri Tablo 1'de ilgili sütuna kaydedilir. Bundan sonra her 5 saniyede bir ölçüm alınıp, bu değerler de Tablo 1'e kaydedilir.
3. Belirli bir zaman sonra, ölçümleriniz sabit bir değere almaya başladığında, kapasitörünüz dolmuş olacaktır.
4. Aynı işlemleri C anahtarı 1 konumundayken B anahtarını sırasıyla 2 ve 3, C düğmesi 2 konumundayken B anahtarını sırasıyla 1, 2 ve 3 konumuna getirerek tekrarlayınız.
5. Tüm işlemler bittikten sonra A anahtarını OPEN konumuna getiriniz ve kapasitörü tekrar topraklayınız. Bu defa AVOMETRE kablolarından kırmızı uçlu (+) olanı OUT, siyah uçlu (-) olanı GND girişine bağlayarak kapasitör gerilimini ( $V_C$ ) ölçeceksiniz. 2, 3, 4 işlemlerini tekrarlayarak aldığınız ölçümleri Tablo 1'e kaydediniz.

#### **Not:**

1. *Kapasitörü doldurmaya başlamadan önce her seferinde topraklama işlemini yapınız.*
2. *AVOMETREyi 20 V(DC) skalasında kullanınız.*

Kapasitörün Yüklenmesi				
R=		C=		
t	$V_R$	$V_C$	$i(t)$	$q(t)$

## b) Kapasitörün Boşalması:

1. Kapasitörü topraklayınız. A, B, C düğmelerini 1 konumuna getiriniz. Kapasitörü 20  $V_{(DC)}$  gerilimiyle yükleyiniz. A anahtarını OPEN konumuna aldıktan sonra, AVOMETRENİN siyah ucunu IN ve kırmızı ucunu OUT girişlerine bağlayınız. Bu sayede kapasitörün boşaltılması sırasında  $V_R$  değerlerini ölçeceksiniz.
2. Deneyi yöneten öğrenci kronometre ile eş zamanlı olarak A anahtarını 3 numaralı konuma alarak ilk değeri okur ve her 5 s'de bir AVOMETREDEKİ DEĞER TABLO 2'DE İLGİLİ SÜTUNA KAYDEDİLİR.
3. Belirli bir zaman sonra ölçümleriniz sabit bir değer almaya başladığında kapasitörünüz boşalmış olacaktır.
4. Aynı işlemleri C düğmesi 1 konumundayken B anahtarını sırasıyla 2 ve 3, C düğmesi 2 konumundayken B anahtarını sırasıyla 1, 2 ve 3 konumuna getirerek tekrarlayınız.
5. Tüm işlemler bittikten sonra A anahtarını OPEN konumuna getiriniz ve kapasitörü tekrar topraklayınız. Bu defa AVOMETRE KABLOLARINDAN kırmızı uçlu olanı OUT, siyah uçlu olanı GND girişine bağlayarak kapasitör gerilimi  $V_C$ 'yi ölçeceksiniz. 2, 3, 4 işlemlerini tekrarlayarak aldığınız ölçümleri Tablo 2'ye kaydediniz.

Kapasitörün Boşalması				
R=		C=		
t	$V_R$	$V_C$	$i(t)$	$q(t)$

**Sorular:**

1. Güç kaynağından  $20 V_{(DC)}$  gerilimi verdiğimizde kapasitör üzerinde en fazla hangi voltaj değeri okunur. Bu değer  $20 V_{(DC)}$  ile aynı değerde midir? Değilse sebebini yorumlayınız.
2. Kapasitör yüklenirken ya da boşalırken kullandığınız farklı direnç değerlerinin sonuçlarınız üzerindeki etkisini yorumlayınız.
3. Her direnç-kapasitör devresi için aldığımız değerlere karşılık  $q(t)$  ve  $i(t)$  değerlerini hesaplayınız,  $t - q(t)$  ve  $t - i(t)$  grafiklerini çiziniz. Elde ettiğiniz grafikleri yorumlayınız.

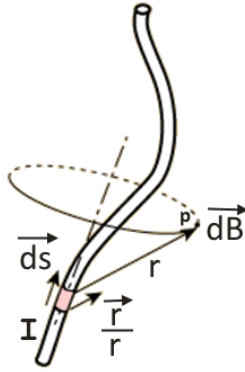
# DENEY 5 : BIOT-SAVART YASASI

## Deneyin Amacı:

Çembersel iletkenin manyetik alanının akıma ve uzaklığa bağlı olarak belirlenmesi.

## Teori:

Biot-Savart yasasına göre üzerinden  $I$  akımı geçen  $l$  uzunluklu bir iletkenin yön ve büyüklük olarak  $\vec{ds}$  şeklinde tanımlanan sonsuz küçük bir parçasının, bu parçadan  $r$  kadar uzaktaki bir  $p$  noktasında oluşturduğu  $\vec{B}$  manyetik alanı;



$$\vec{dB} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) \left(\frac{I}{r^2}\right) \vec{ds} \times \left(\frac{\vec{r}}{r}\right) \quad (1)$$

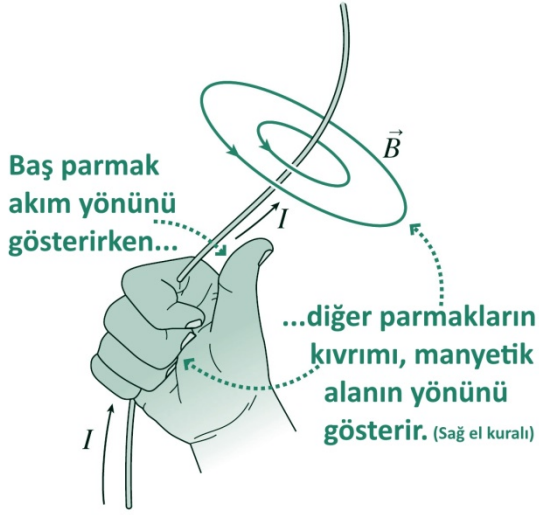
Şekil 2. Bir telin etrafında oluşan manyetik alan.

dir. Burada  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ , serbest uzaydaki manyetik geçirgenlik;  $\left(\frac{\vec{r}}{r}\right)$ , telden  $p$  noktasına olan  $r$  uzaklığına ait birim vektördür. Bu durumda telin toplam manyetik alanı bir integrale belirlenir. Analitik çözümle ancak belirli simetriye sahip iletkenler için bulunabilir. Örneğin doğrusal uzun bir telin kendisinden  $r$  kadar uzaktaki bir noktada oluşturduğu manyetik alan,

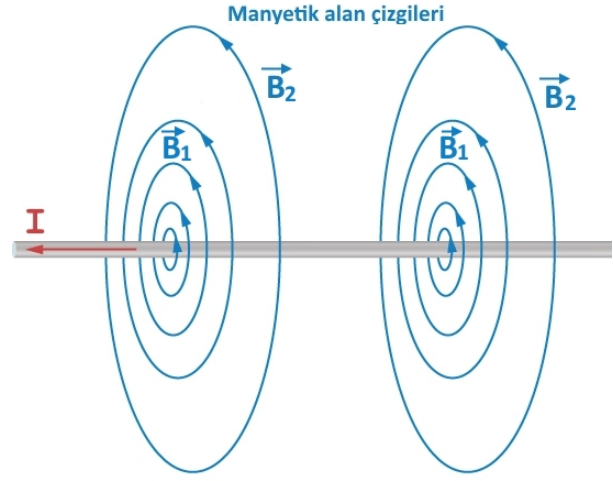
$$B = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) I \left(\frac{2}{r}\right) \quad (2)$$

dir. Bu formüle göre tel eksenini merkez alınarak çizilen bütün  $r$  yarıçaplı çemberler üzerindeki manyetik alanların büyüklükleri aynıdır.





Şekil 3. Sağ el kuralı.



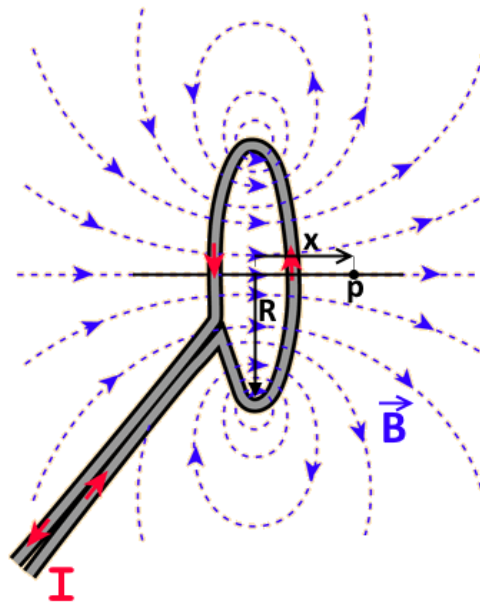
Şekil 4. Doğrusal bir telin manyetik alan vektörü ve manyetik alan çizgileri.

Çembersel iletkenin manyetik alanı;

$$B = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) 2\pi I \frac{R^2}{(R^2 + X^2)^{3/2}} \quad (3)$$

dir.  $X$ , çember merkezinden geçen eksen üzerindeki herhangi bir noktanın merkeze olan uzaklığıdır (bkz. Şekil 5).

Bu deneyde düzlemsel ya da çembersel telin manyetik alanı, üzerinde Hall sensörü bulunan eksensel ve teğetsel B-probları ile ölçülmektedir.



Şekil 5. Çembersel iletkenin manyetik alanı ve alan çizgileri.

## İşlem Basamakları:

### Çembersel iletken için deney setinin hazırlanması:

(Deney setinin kurulu hali Şekil 6'da gösterilmiştir)

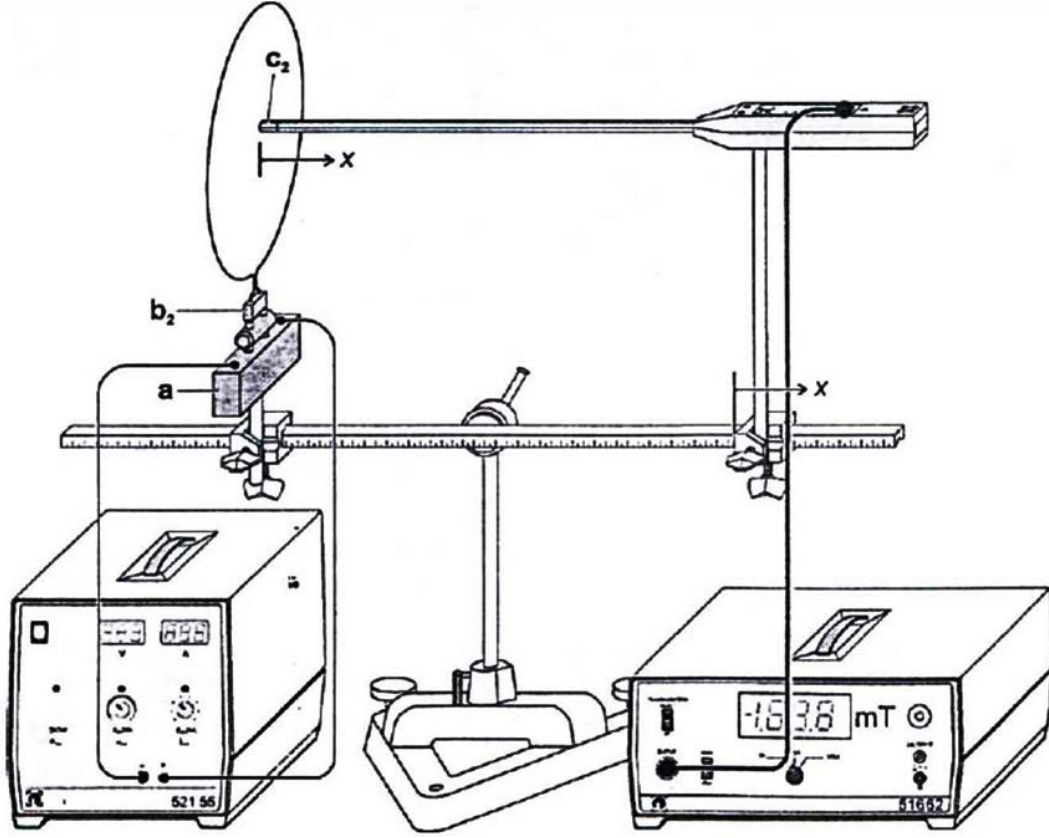
- Optik tezgâhı oturtma tabanına yerleştirerek sabitleyiniz.
- Tutucu tezgâhı (a) çoklu tuturma kısılacını kullanarak optik tezgâha yerleştiriniz ve iletkeni monte ettiğiniz çembersel iletken tutucuyu ( $b_2$ ) tezgâha takınız.
- Eksensel probun yüksekliğini, çembersel iletkenin merkezinden geçen yatay eksenle çakışacak şekilde ayarlayarak optik tezgâha sabitleyiniz.
- Çembersel iletkeni, Hall sensörü ( $c_2$ ) ile arasındaki yatay mesafe sıfır olacak şekilde tekrar ayarlayınız.

### Ölçümlerin Yapılması ve Grafiklerin Çizilmesi:

- $2R = 40 \text{ mm}$ 'lik çembersel iletkeni kullanarak ve akımın değerini  $I = 0$ 'dan  $20 \text{ A}$ 'e kadar her seferinde  $2 \text{ A}$  arttırarak, teslametreden ölçtüğünüz  $B$  değerlerini Tablo 1'e kaydediniz.
- $I = 20 \text{ A}$  iken probu Tablo 2'de verilen  $X$  değerlerine uygun olacak şekilde çembersel iletkeni eksensel probdan uzaklaştırarak ya da yakınlaştırarak elde ettiğiniz manyetik alan şiddeti ( $B$ ) değerlerini tabloya kaydedin.
- Tablo 1'i ve Tablo 2' deki  $80 \text{ mm}$ 'lik çember için elde ettiğiniz değerleri kullanarak  $B = f(I)$  ve  $B = f(X)$  grafiklerini çiziniz. Noktalardan, kurama göre olması gereken eğriye en yakın en iyi eğriyi geçiriniz.

## Sonuç, Yorum:

- Elde ettiğiniz grafikler, beklentiniz ile uyumlu mudur? Neden?
- Manyetik alanın akımla değişimini ( $B = f(I)$ ) gözlemlemek için çemberi neden hareket ettirmedik?
- $B = f(X)$  ölçümlerimizi neden çember merkezi üzerinden geçen yatay eksen boyunca aldık?
- $B = f(X)$  grafiği neden  $B$  eksenine göre simetrik görünmektedir?
- $B = f(X = 0)$  ölçümünde  $I = 20 A$ 'deyken halkaları değiştirdiğimizde nasıl bir değişim oldu? Neden?



Şekil 6. Deney düzeneği.

Tablo 1.  $B = f(I)$  değişimi.

$I$ (A)	$B$ (mT)
0	
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	
18	
20	

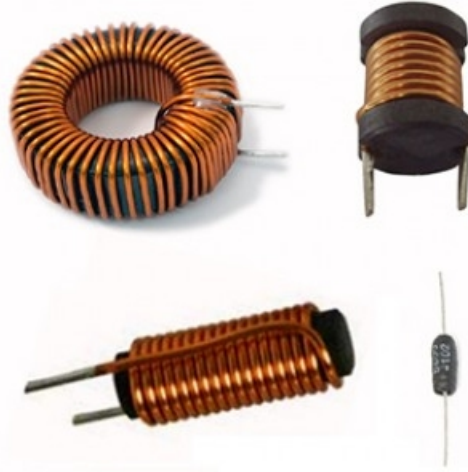
Tablo 2.  $B = f(X)$  değişimi.

$X$ (cm)	$B$ (mT)	$X$ (cm)	$B$ (mT)	$X$ (cm)	$B$ (mT)
<b><math>2R = 40</math> mm</b>		<b><math>2R = 80</math> mm</b>		<b><math>R = 120</math> mm</b>	
-30		-30		-30	
-20		-20		-20	
-15		-15		-15	
-10		-10		-10	
-9		-9		-9	
-8		-8		-8	
-7		-7		-7	
-6		-6		-6	
-5		-5		-5	
-4		-4		-4	
-3		-3		-3	
-2		-2		-2	
-1		-1		-1	
0		0		0	
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
15		15		15	
20		20		20	
30		30		30	

# DENEY 6 : MANYETİK KUVVET ÖLÇÜMLERİ

## Deneyin amacı:

Üzerinden akım geçen bir bobinin (solenoidin) oluşturduğu manyetik alanın ve manyetik kuvvetin ölçülmesi.



Şekil 1. Bobin çeşitleri.

## Teorik Bilgi:

Hareket eden elektrik yüklerinden, zamanla değişen elektrik alanlardan veya temel parçacıklar tarafından içsel olarak (manyetik cisimler tarafından) üretilen kuvvet alanlarına manyetik alan denir. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Yani herhangi bir noktada yönü ve şiddeti ile tanımlanır. Manyetik alan en genel şekilde; hareket eden elektrik yüküne etki eden Lorentz kuvveti ile tanımlanır. Manyetik alan, elektrik alanı, akım ve onları yaratan yükler arasındaki bağlantı Maxwell denklemleri ile açıklanır. Özel görelilik kuramında elektrik ve manyetik alan bir nesnenin birbiriyle ilgili iki özelliğidir. Kuantum fiziğinde ise elektromanyetik etkileşimler foton değişimi sonucunda oluşur.

Manyetik alanın birçok kullanımı vardır. Dünya kendi manyetik alanını üretir ve bu manyetik alan pusulanın temel çalışma prensibini oluşturur. Dönen manyetik alan elektrik motorlarında ve jeneratörlerde kullanılır. Manyetik kuvvetler bir malzeme içerisindeki yük taşıyıcılarının sayısı hakkında bilgi verir. Mıknatıssal veya manyetik alan, bir mıknatısın mıknatıssal özelliklerini gösterebildiği alandır. Mıknatısın çevresinde oluşan çizgilere de, mıknatısın o bölgede oluşturduğu manyetik alan çizgileri denir. Manyetik alan çizgilerinin yönü kuzeyden (N) güneye (S) doğrudur.

Manyetik alan, hareketli yüklü bir parçacığa etkiyen ve hareket yönüne dik olan kuvvet cinsinden tanımlanabilir. Elektrik ve manyetik kuvvetler arasında birçok önemli farklar vardır:

1. Elektrik kuvveti, her zaman elektrik alanına paralel, buna karşılık manyetik kuvvet manyetik alana diktir.
2. Elektrik kuvveti, yüklü parçacığın hızından bağımsızdır. Halbuki, manyetik kuvvet yalnızca yüklü parçacık hareket halinde ise ona etki edebilir.
3. Elektrik kuvveti yüklü bir parçacığın konumunu değiştirmekle iş yapar, buna karşın kararlı bir manyetik alandan kaynaklanan manyetik kuvvet, parçacık yer değiştirdiğinde iş yapmaz.

Bu son ifade bir yük, kararlı bir manyetik alan içerisinde hareket ettiğinde, ona etkiyen manyetik kuvvetin her zaman yer değiştirmesine dik oluşunun bir sonucudur. Yani,

$$\vec{F} \cdot d\vec{s} = (\vec{F} \cdot \vec{v})dt = 0 \quad (1)$$

yazılır. Çünkü manyetik kuvvet,  $v$  'ye dik bir vektördür. Bu özellikten ve iş-enerji teoreminden dolayı, yüklü bir parçacığın kinetik enerjisinin, yalnızca bir manyetik alanla *değiştirilemeyeceği* sonucuna ulaşırız. Başka bir deyişle;  $v$  hızı ile hareket eden bir yüke uygulanan manyetik alan onun hız vektörünün yönünü değiştirebilir fakat hızın büyüklüğünü değiştiremez.

Manyetik alan birimi (SI sisteminde) *metre kare başına weber* ( $W/m^2$ )'dir ve **tesla (T)** olarak adlandırılmıştır. Bu birim temel birimlere bağlanabilir: Büyüklüğü 1 tesla olan bir manyetik alan içerisinde, alana dik olarak 1 m/s'lik bir hızla hareket eden 1 coulomb'luk yük, 1 newton'luk kuvvet etkisindedir:

$$[B] = T = \frac{W}{m^2} = \frac{N}{Cm/s} = \frac{N}{Am} = kg A^{-1} s^{-2} \quad (2)$$

Tesla birimi günlük olaylar için pratikte büyük bir birim olduğu için, manyetik alan birimi olarak cgs sisteminde tanımlı **gauss (G)** da kullanılmaktadır.

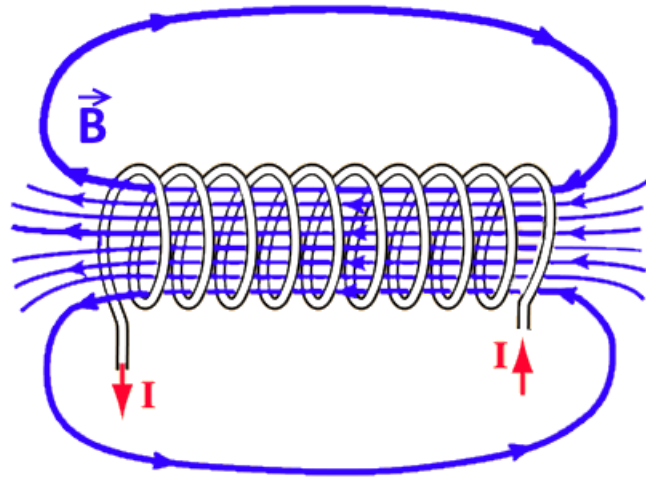
$$1T = 10^4 G \quad (3)$$

Kuvvetli sıradan laboratuvar mıknatısları 0,1 T büyüklüğündeyken kuvvetli süperiletken laboratuvar mıknatısları 30 T büyüklüğünde olabilmektedir. Tıpta, hastanelerde kullanılan manyetik rezonans (MR) görüntüleme birimlerinde manyetik alan büyüklüğü 2 T

civarındadır. Yer yüzeyinin manyetik alanı  $0,5 \text{ G}$  ( $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$ ) iken Güneş yüzeyinde bu büyüklük  $10^{-2} \text{ T}$  civarındadır. İnsan beyninin içinde, sinir atımlarından kaynaklanan manyetik alan büyüklüğü ise  $10^{-13} \text{ T}$  mertebesindedir.

### **Bobinin Manyetik Alanı:**

Bir bobin, helis biçiminde sarılmış uzun bir teldir. Sıkıca sarılmış bobinin içindeki bölgenin küçük bir hacminde düzgün varsayılabilir bir manyetik alan elde edilebilir. Sarımlar sıkışık olduğunda her birine bir çember gözüyle bakılabilir ve net manyetik alan tüm sarımlardan kaynaklanan alanların vektörel toplamıdır.



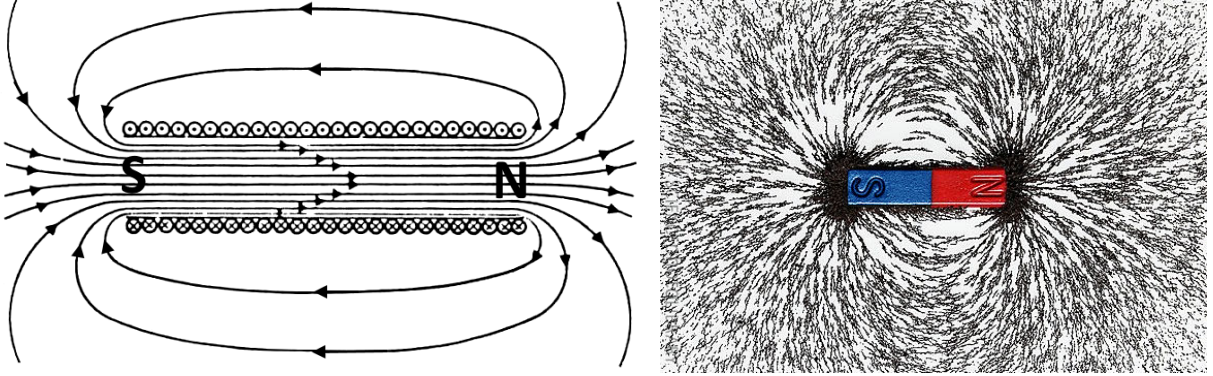
**Şekil 2.** Gevşek şekilde sarılmış bir bobinin manyetik alanı.

Şekil 2’de, gevşek sarılmış bir bobinin manyetik alan çizgileri gösterilmektedir. Bobinin içindeki alan çizgilerinin birbirlerine hemen hemen paralel, düzgün dağılmış ve yakın olduklarına dikkat ediniz. Sarımların aralarındaki alan çizgileri birbirlerinin etkilerini yok ederler. Bobinin dışındaki alan hem düzgün değil hem de zayıftır. Çünkü üst kısımlardaki akım elemanlarından kaynaklanan manyetik alan alt kısımlardaki elemanlardan kaynaklanan alanı yok etmeye çalışır.

Sarımlar sıkıca sarılmış ve bobinin sonlu uzunlukta ise, alan çizgileri Şekil 3’te görüldüğü gibidir. Bu durumda, alan çizgileri bir uçtan çıkarak dağılırlar, diğer uçtan toplanarak girerler. Bu alanın, bobinin dışındaki dağılımı bir çubuk mıknatısın alanına benzer. Bu yüzden, bobinin bir ucu çubuk mıknatısın kuzey kutbu gibi davranırken öteki ucu güney kutbu gibi davranır. Bobinin uzunluğu arttırıldıkça, içindeki alan gittikçe daha düzgün hale gelir, sarımlar sıkıca sarıldıkları ve bobinin uzunluğu yarıçapına göre oldukça fazla olduğu



zaman ideal bir bobin durumuna yaklaşılır. Bu durumda, bobinin dışındaki alan içine göre çok zayıf ve içerideki alan, oldukça büyük bir hacimde düzgün olur.



**Şekil 3.** Kararlı akım taşıyan sonlu uzunlukta sıkıca sarılmış bir bobinin manyetik alan çizgileri (soldaki şekil). Bobinin içindeki alan hemen hemen düzgün ve kuvvetlidir. Alan çizgilerinin çubuk mıknatısın alan çizgilerine benzediğine dikkat ediniz (sağdaki şekil). Bu nedenle, bobin kuzey ve güney kutupları varmış gibi davranır (sol). Bir çubuk mıknatısın manyetik alan deseni, bir kâğıt parçası üzerindeki demir tozları yardımıyla görsel hale getirilmiştir (sağ).

İdeal bir bobinin içerisindeki manyetik alan ifadesini elde edebilmek için Ampère yasasını kullanabiliriz. İdeal bir bobinin parçasının kesitinden bir  $I$  akımı geçsin. Bu bobinin içindeki  $B$  düzgün ve bobin eksenine paralel, fakat dışındaki  $B$  sıfırdır. Uzunluğu  $l$  ve genişliği  $a$  olan dikdörtgeni ele alalım. Bu dikdörtgenin dörtkenarı boyunca  $B ds$ 'nin integralini alarak, Ampère yasasını uygulayabiliriz. Çünkü bu yollar boyunca  $B$  alanı  $ds$ 'ye diktir. Uzunluğu  $l$  olan kenarın integrale katkısı  $Bl$  'dir. Çünkü bu yol boyunca  $B$  düzgün ve  $ds$  'ye paraleldir. Bu nedenle, kapalı dikdörtgenel yol boyunca integralin değeri:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{yol 1} \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \int_{yol 2} ds = Bl \quad (4)$$

olur. Ampère yasasının sağ tarafı integralin alındığı kapalı yolun çevrelediği yüzeyden geçen toplam akımı içerir. Şimdiki durumunda dikdörtgen yolun çevrelediği yüzeyden geçen toplam akım, her bir sarımdan geçen akımla yüzeyin içindeki sarım sayısının çarpımına eşittir.  $l$  uzunluğunda bulunan sarım sayısı  $N$  ise, dikdörtgenin içinden geçen toplam akım  $Nl$  olur. Öyleyse, Ampère yasası uygulanırsa;

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl = \mu NI \quad (5)$$

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 n I \quad (6)$$

olur.  $n = N/l$  birim uzunluktaki sarım sayısıdır. ( $N$  ile karıştırılmamalıdır).

Bobin üzerinde geçen akımın teorik Ohm yasası yardımı ile bulunabilir ( $I = V_s/R_s$ ). Pratik değeri ise ampermetre yardımı ile ölçülebilir.



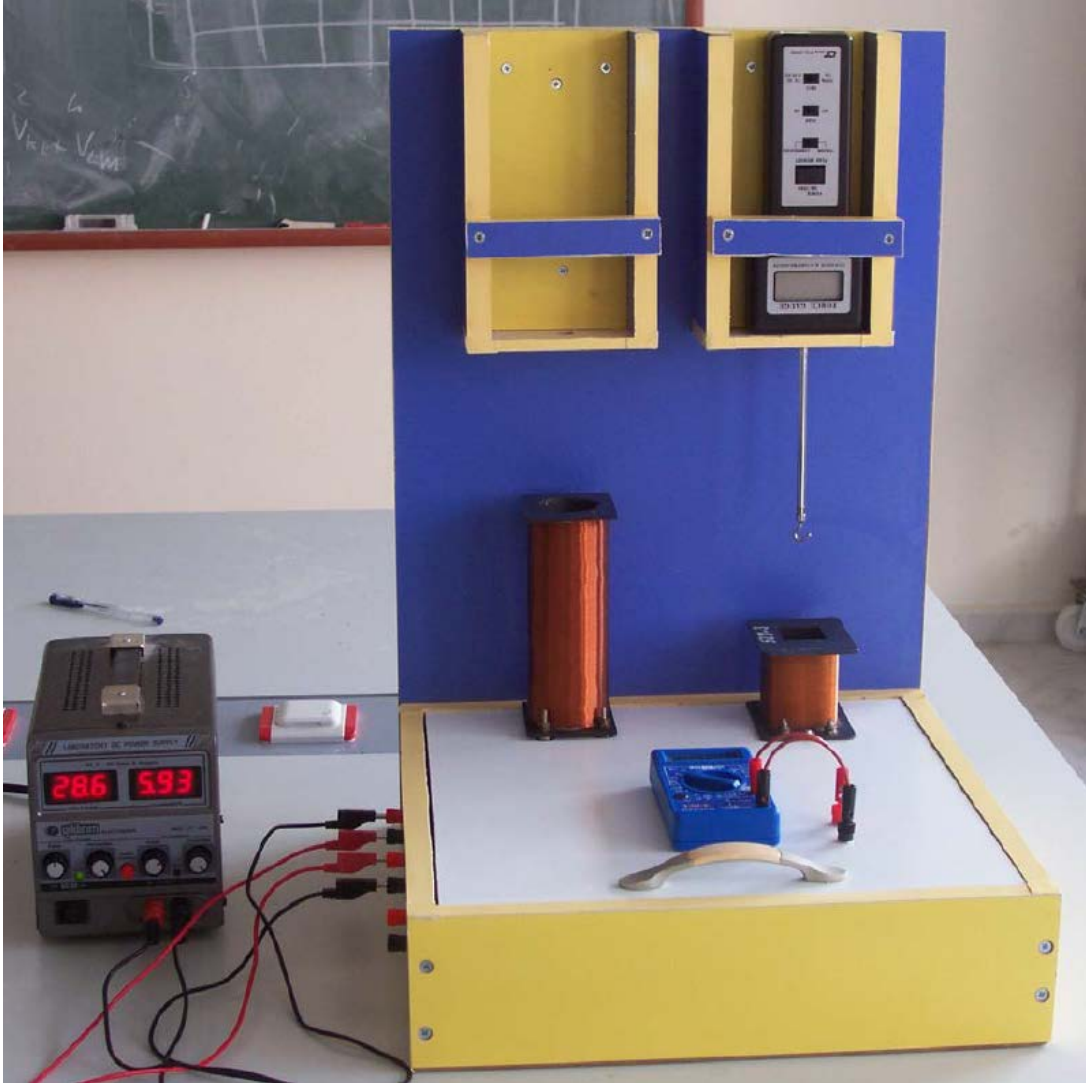
Şekil 4. Toroid bobin.

Bu sonucu, toroid şeyindeki bir kangalın (bobinin) manyetik alanını dikkate alarak da benzer biçimde elde edebiliriz.  $N$  sarımdan oluşan toroidin  $r$  yarıçapı kesit alanının yarıçapı olan  $a$ 'dan oldukça büyükse, toroidin küçük bir kesimi yaklaşık olarak bir bobin oluşturur; burada  $n = N/2\pi r$  ile verilir. Bu sınır durumunda, toroid için elde edilecek eşitlik bobin için geçerli olan eşitlikte uyumludur.

(6) eşitliği, oldukça uzun bir bobinin merkezine yakın olan noktalar için geçerlidir. Beklendiği gibi, uçlara yakın yerlerdeki alan, (6) eşitliği ile verilen değerden daha küçüktür. Uzun bir bobinin tam uçlarındaki alanın büyüklüğü, ortadaki değerden yaklaşık yarısıdır.

### Kullanılan Aletler:

- Bobin 1 (1440 sarım, 19 ohm)
- Bobin 2 (1200 sarım 13 ohm)
- AVOMETRE
- Güç kaynağı
- Bağlantı kabloları
- Kuvvetölçer



Şekil 3. Deney düzeneği

### İşlem basamakları:

1. Düzeneği, Bobin 1'i kullanacak şekilde kurunuz. Deney görevlisine kontrol ettiriniz.
2. Başlangıçta kuvvetölçeri açıp sıfırlayınız. Daha sonra güç kaynağındaki gerilimi 12 V olarak ayarlayınız. Devreden geçen akımın teorik değerini hesaplayınız. Manyetik alanın teorik değerini (6) eşitliğini kullanarak hesaplayınız. Tablo 1'de ilgili yere kaydediniz.
3. Akımın pratik değerini ise AVOMETRE'den okuyunuz. Tablo 1'de ilgili yere kaydediniz.
4. Ölçme cihazında bulduğunuz değeri okuyunuz. Aşağıda verilen uyarıyı da okuyarak Tablo 1 de ilgili yere kaydediniz.
  - o *Uyarı: Kaydederken bulduğunuz değer birimi gram olduğundan kilogram cinsinden değerini bulmak için 1000 ile bölmek gerekir. Daha sonra g yerçekimi ivmesi değeri olan 9,81 m/s<sup>2</sup> ile çarparak kuvveti bulunuz.*
5. Manyetik alanın pratik değerini kuvvetten faydalanarak  $F/\alpha$  formülünü kullanarak hesaplayınız.
6. 1-5 işlemlerini 15, 18, 21 ve 24 V için tekrarlayınız.
7. Yukarıdaki işlemleri Bobin 2 için tekrarlayınız, bulduğunuz değerleri Tablo 2'ye kaydediniz.
8. Kuvvetin, akımın pratik değerine göre değişimini gösteren grafiği ( $I - F$ ) her iki bobin için çiziniz.
9. Her iki bobin için akım-manyetik alan ( $I - B$ ) grafiğini hem teorik hem de pratik değerler için aynı grafik kâğıdına çiziniz.

**Tablo 1.** Bobin 1'e ait veriler. ( $\alpha=25$ )

<b>Gerilim (V)</b>	<b>Teorik Akım (A)</b>	<b>Pratik Akım (A)</b>	<b>Teorik B (T)</b>	<b>Kuvvet (N)</b>	<b>Pratik B (T) F/<math>\alpha</math></b>
12					
15					
18					
21					
24					

**Tablo 2.** Bobin 2'ye ait veriler. ( $\beta=10$ )

<b>Gerilim (V)</b>	<b>Teorik Akım (A)</b>	<b>Pratik Akım (A)</b>	<b>Teorik B (T)</b>	<b>Kuvvet (N)</b>	<b>Pratik B (T) F/<math>\beta</math></b>
12					
15					
18					
21					
24					