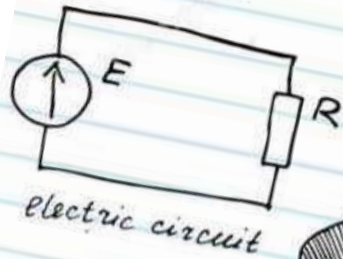


$$G = mg = F = \frac{m v^2}{r + h}$$



electric circuit

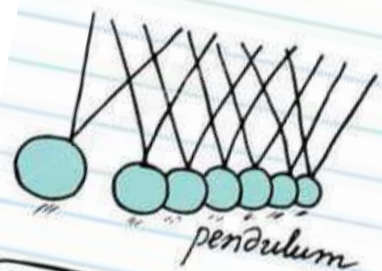
First Cosmic Speed



Magnet



# The Physics Classroom



pendulum

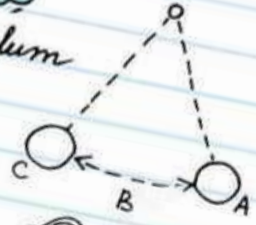
steam  
fluid



ice



ammeter



Isaac Newton  
second law



**- Vektörler - Newton'ın Hareket Yasaları**  
**- Bağıl Hareket - Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket**

- 1 Skaler nicelikler yalnızca sayı ve birimle ifade edilir. Sayı ve birimlerin yanı sıra doğrultu ve yön bilgisini de içeren büyüklüklere vektörel büyüklük denir.
- 2 Fizik biliminde sıkça kullanılan yer değiştirme ( $\vec{\Delta x}$ ), kuvvet ( $\vec{F}$ ), ağırlık ( $\vec{G}$ ), hız ( $\vec{v}$ ), ivme ( $\vec{a}$ ), elektrik alan (E), manyetik alan (B) gibi fiziksel nicelikleri modellemek için vektörlerden yararlanır.
- 3 Aynı cins iki ya da daha fazla vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre bileşke vektör denir. Bileşke vektör  $\vec{R}$  ile sembolize edilir.
- 4 Uç uca ekleme yönteminde, herhangi bir sıra gözetmeksizin toplanacak vektörler yön ve doğrultuları değiştirilmeden birinin bittiği yerden diğeri başlatılarak uç uca eklenir. İlk vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına çizilen vektör, bileşke  $\vec{R}$  vektörüne eşittir.
- 5 Başlangıç noktaları bir araya getirilerek paralel kenar yöntemiyle bileşkesi bulunan iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü, kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanır.
- 6 Büyüklüğü, yönü ve doğrultusu aynı olan vektörlere eşit vektör denir. Büyüklük ve doğrultuları aynı, yönleri zıt olan vektörlere zıt vektörler ya da birbirinin negatifi olan vektörler denir.
- 7 Bir cismin hareket durumu, hareketinde referans alınan noktaya ya da gözlem çerçevesine göre farklı şekilde yorumlanır. Duran ya da hareket eden bir nesnenin konumunun veya hızının başka bir gözlemciye göre yorumlanmasına bağıl hareket denir.
- 8 Birden fazla hareketin etkisindeki cisimlerin yaptığı hareketlere bileşik hareket denir.
- 9 Akıntının kıyıya paralel olduğu nehirde karşı kıyaya ulaşmak isteyen hareketlinin karşıya ulaşma süresi akıntının hızından bağımsızdır.
- 10 Cisimler üzerine uygulanan kuvvetlerin yapacağı etkiyi tek başına yapabilen bir kuvvete "net kuvvet" denir ve  $\vec{F}_{\text{Net}}$  ile gösterilir. Net kuvveti bulmak için serbest cisim diyagramlarından yararlanır.
- 11 Ağırlık, yönü cismin üzerinde bulunduğu gezegenin merkezine doğru olan özel bir kuvvettir. Yer çekimi ivmesinin  $\vec{g}$  olduğu bir yerde bulunan m kütleli bir cismin ağırlığının büyüklüğü  $G = m \cdot g$  formülüyle hesaplanır.

12 Temas ettiği yüzey üzerinde duran ya da hareket eden cisimlere yüzey tarafından normal doğrultusunda uygulanan kuvvete tepki kuvveti denir ve  $\vec{N}$  ile gösterilir.

13 Bir cisme ip, halat, tel vb. tarafından uygulanan çekme kuvvetine gerilme kuvveti denir. Gerilme kuvveti bir itme kuvveti oluşturmaz.  $T$  ile gösterilir. Ağırılığı ihmal edilen bir ip üzerindeki her noktanın gerilme kuvveti birbirine eşittir.

14 Birbirine temas eden yüzeyler arasında, yüzeylere paralel doğrultuda oluşan ve hareketi zorlaştıran kuvvete "sürtünme kuvveti" denir. Sürtünme kuvveti iki yüzeye de etki eder. Sürtünme katsayısı  $k$ , cisme uygulanan tepki kuvveti  $N$  olan bir cisme etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü,  $F_s = k.N$  eşitliğiyle hesaplanır.

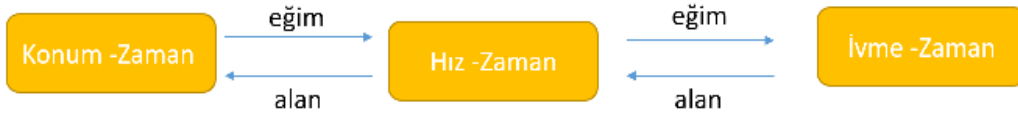
15 Newton'ın I. Kanunu (Eylemsizlik Prensibi), bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise cisim ya durmaktadır ya da sabit hızla hareketine devam etmektedir şeklinde ifade edilebilir.

16 Newton'ın II. Kanununa göre, cismin kazanacağı  $a$  ivmesi  $F_{Net}$  kuvveti ile doğru, cismin kütlesiyle ters orantılıdır. Dinamiğin temel prensibi olarak da bilinen bu kanun kısaca  $F_{Net} = m \cdot a$  şeklinde formüle edilir.

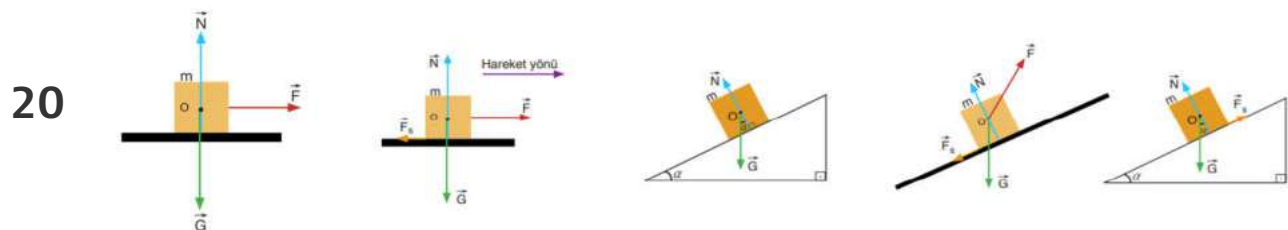
17 Newton'ın III. kanununa göre etki kuvveti, tepki kuvvetine eşit büyüklükte ancak zıt yönlüdür.

18  $F_{net} = m \cdot a$  ifadesine göre bir cisme uygulanan net kuvvet ile cismin ivmesi her zaman aynı yönlüdür. Ancak kuvvet, hız ve yer değiştirmeye farklı yönde olabilir.

19 Doğrusal bir yolda hareket eden cisimlerin hareketine ait grafiklerin eğim ve alan bilgileri kullanılarak hareket denklemlerine ulaşılır.



Sürtünlü ve sürtünmesiz yüzeylerde bulunan bazı cisimler üzerindeki serbest cisim diyagramı aşağıdaki gibidir.



## • Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket

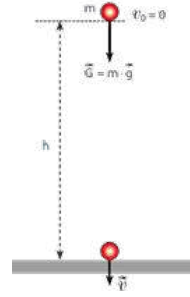
## • İki Boyutta Hareket

1

Yer çekimi ivmesinin  $\vec{g}$  olduğu hava direncinin ihmal edildiği ortamda, ilk hızı sıfır olarak belli bir  $h$  yüksekliğinden boşluğa bırakılan cisimlerin yaptığı harekete, serbest düşme hareketi denir.

2

Havasız ortamda serbest bırakılan cisme etki eden net kuvvet cismin ağırlığına eşittir. Cisim düşey doğrultu ve  $-y$  yönündeki  $\vec{g}$  ivmesiyle ilk hızı sıfır düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar.



İlk hızı sıfır düzgün hızlanan ve serbest düşme hareketleri için hareket denklemleri tablodaki gibidir.

3

İlk hızı sıfır düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemleri	Serbest düşme hareketi denklemleri
$v = a \cdot t$	$v = g \cdot t$
$v^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta x$	$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$
$\Delta x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

4

Sürtünmelerin olduğu atmosfer ya da sıvı gibi akışkan ortamlarda harekete zıt yönde bir sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Bu kuvvete ortamın direnç kuvveti denir ve  $\vec{F}_d$  ile gösterilir.



5

Havanın direnç kuvvetinin büyüklüğü ortamın cinsine, cismin hızına ve şekline bağlıdır.

6

Cismin ağırlığı  $\vec{F}_g$  kuvvetinden büyük olduğu sürece cisim, düşerken sürekli azalan bir ivmeyle hızlanmaya devam eder. Hız arttıkça direnç kuvvetinin değeri artar.

7

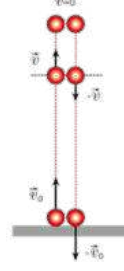
Ortamın direnç kuvvetinin büyüklüğü cismin ağırlığına eşit olduğu andaki hızına limit hız denir ve  $\vec{v}_{lim}$  ile gösterilir. Limit hıza ulaşan cismin üzerindeki net kuvvet sıfır olacağından cisim Newton'ın I. Hareket Kanunu gereği  $\vec{v}_{lim}$  hızı ile düzgün doğrusal hareket yapar.

8

Aşağıdan yukarı düşey atış hareketi, cismin düşey doğrultuda yukarı çıkarken ağırlığıyla zıt yönde düzgün yavaşlayan doğrusal hareket, aşağı düşerken ağırlığı ile aynı yönde serbest düşme hareketinden oluşmaktadır.

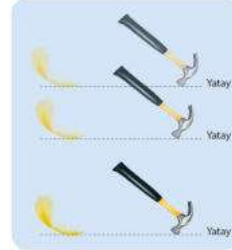
9

Hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda yukarı yönde atılan cisim aynı yükseklikten geçerken aynı sratelye sahiptir.



10

Havasız ortamda aynı yükseklikten serbest bırakılan tüy ve çekicinin eğit zaman aralıklarındaki konumları Şekildeki gibi olur. ekim ivmesi ile hızlanıp aynı anda yere dŐerler.



11

Hava direnci ihmal edildiği ortamda hem düşey hem de yatay doğrultuda olmak üzere iki boyutta gerçekleŐen harekete iki boyutta hareket denir.

12

Yatay atış hareketine ait grafikler, yatayda sabit hızlı harekete ve düŐeyde serbest düşme hareketine ait grafiklerle aynı özellikleri taŐır.

13

Eğik atış hareketi, yatay düzlemle açı yapacak Şekilde atılan cismin hareketidir. Futbol, basketbol ve tenis toplarının hareketleri çoğunlukla eğik atış Őeklinindedir. Uzun atlama yapan sporcunun atladıktan sonra yere düŐene kadar yaptığı hareket de eğik atıŐa örnek verilebilir.



14

Yatay düzlemle açı yapacak Şekilde atılan , çekim kuvveti etkisindeki cisim, düşey yukarı yönde çıkarken düşey hızı düzgün azalır ve bir süre sonra sıfır olur. Cisim daha fazla yükselemez, çıkabileceği maksimum yüksekliğe ulaŐmıŐ olur.

15

Eğik atış hareketi yapan bir cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte sadece yatay hızı kalır ve cisim çekim kuvveti etkisi ile yatay atış hareketi yaparak aŐađıya iner.

# Enerji ve Hareket

1 Fizikte iş yapmanın amacı enerji aktarmaktır.

Hareket doğrultusundaki enerji aktarımı (iş), yalnızca hareket doğrultusundaki kuvvetler tarafından yapılır. İşin matematiksel bağıntısı aşağıdaki gibidir.

2

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$$

3

Kuvvet, sistemin hareketi yönünde uygulanırsa cismin enerjisini artırır ve cisim üzerinde pozitif iş yapar. Kuvvet, sistemin hareketine zıt yönde uygulanırsa cismin enerjisini azaltır ve cisim üzerinde negatif iş yapar.

4

Cisme hareket süresince uygulanan kuvvetlerin yaptığı işlerin cebirsel toplamı cisim üzerinde yapılan toplam işi verir.

5

Esnek cisimlerin denge durumuna dönmelerinin nedeni maddeyi oluşturan tane-cikler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan geri çağırıcı kuvvetlerdir.

Bir yaydaki uzama veya sıkışma miktarı ( $\vec{x}$ ), yaya uygulanan kuvvete ( $\vec{F}$ ) ve yay sa-bitine ( $k$ ) bağlıdır. Bu değişkenler arasındaki ilişki Hooke (Huk) Yasası ile açıklanır.

6

Hooke (Huk) Yasasının matematiksel bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$$

7

Kuvvet ifadesindeki (-) işaretinin nedeni geri çağırıcı kuvvet ile konum vektörünün zıt yönlü olmasıdır.

8

Esnek bir cisme kuvvet uygulanarak esnetilmesi ya da sıkıştırılması sırasında cisim üzerinde yapılan iş, cisme potansiyel enerji olarak aktarılır. Esnek cisimlerde depo edilen enerjiye esneklik potansiyel enerjisi adı verilir. Esneklik potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

9

Cisimlerin buldukları konumdan dolayı sahip oldukları enerjiye yer çekimi potan-siyel enerjisi denir. Yer çekimi potansiyel enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

10

Cisimlerin hareketinden dolayı sahip oldukları enerji, kinetik enerji olarak adlandırılır. Yürüyen bir çocuk, hızla akan bir ırmak, sallanan bir yaprak, dönen bir fırlıdak, hareket hâlindeki bir otobüs gibi hareket hâlindeki bütün varlıklar kinetik enerjiye sahiptir. Cismin hareketi öteleme şeklindeyse bu enerjiye öteleme kinetik enerjisi adı verilir. Öteleme kinetik enerji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

11

Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjinin toplamına mekanik enerji denir.

$$E_{\text{Mekanik}} = E_P + E_K$$

12

Sürtünme kuvvetinin etkisinde olan sistemlerde mekanik enerji korunmaz. Sadece sürtünme kuvvetinin etkisinde olan sistemlerde sürtünme kuvvetinin yaptığı iş sistemin son ve ilk mekanik enerjileri arasındaki fark kadardır.

13

Kuvvet - yol grafiklerinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan yapılan işi verir.

14

Enerji - yol grafiklerinde eğim cisme etki eden net kuvveti verir.

15

Yatay düzlemde hareket eden cismin kinetik enerjisi sürtünme kuvveti nedeni ile sürtünen yüzeylerde ısı enerjisine dönüşür. Cisim durana kadar iş yapan kuvvet sürtünme kuvvetidir.

## İtme ve Çizgisel Momentum

1

İtme ve çizgisel momentum kavramları ile çizgisel momentumun korunumu, Newton'un 3. Yasası ile açıklanır.

2

Newton'un 3. Yasası'na göre iki cismin birbirine uyguladığı kuvvetler her zaman eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.



$$F_1 = -F_2$$

Buz pateni yapan çocukların birbirini itmesi

3

$\vec{v}$  hızı ile hareket eden  $m$  kütleli bir parçacığın kütle ve hızının çarpımından elde edilen niceliğe çizgisel momentum denir. Çizgisel momentum hareketliliğin bir ölçüsüdür. Hareketli kütleyle dair bir kavram olan çizgisel momentum ( $\vec{P}$ ) sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}$ 'dir.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$$

4 Çizgisel momentum, vektörel bir büyüklüktür. Çizgisel momentum vektörü her zaman hız vektörü ile aynı yönlüdür.

5 Hız, belirli bir süre içinde bir cismi durdurmak için uygulanması gereken kuvvetin büyüklüğünü belirlemez. Bu kuvveti, kuvvetin uygulanma süresindeki çizgisel momentum değişimi belirler.

6 Cismin çizgisel momentumundaki değişim bulunurken önce cisme ait ilk ve son çizgisel momentum vektörleri çizilir, daha sonra çizgisel momentumdaki değişim aşağıdaki işlem ile bulunur.

$$\vec{P} = \vec{P}_{\text{son}} - \vec{P}_{\text{ilk}}$$

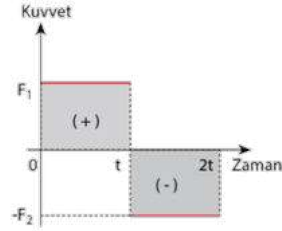
7 Kuvvetin büyüklüğü ile etki süresinin çarpımı, kuvvetin etki miktarı olan itmeyi verir. İtme, vektörel bir büyüklüktür ve her zaman kuvvet vektörü ile aynı yönlüdür.  $\vec{I}$  sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi N-s'dir. İtmenin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir:

$$I = F \Delta t$$

8 Bir cisme uygulanan itme, cismin çizgisel momentumundaki değişime eşittir.

$$\vec{I} = \Delta \vec{P}$$

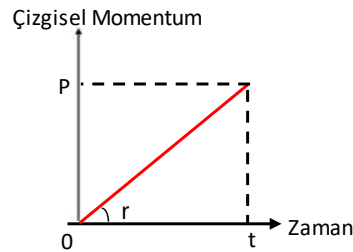
9 Bir cisme ait kuvvet-zaman grafiğinde, grafik ile yatay eksen arasında kalan alanların cebirsel toplamı cisme etki eden itmeyi verir. İtme ve çizgisel momentum kavramları vektörel büyüklükler olduğu için grafiğin altındaki alanlar kullanılırken işaretlerine dikkat edilmelidir.



Grafik için alan; Alan =  $I = F_1 t - F_2 t$  olur.

10 Bir cismin çizgisel momentumunun zamana bağlı değişim grafiğinde eğim, cisme etki eden net kuvveti verir.

$$\text{Eğim} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}$$



11 Dış kuvvet etkisinin olmadığı bir sistemde, iki veya daha fazla parçacık etkileştiğinde sistemin toplam çizgisel momentumu sabit kalır yani sistemin toplam çizgisel momentumu her zaman sistemin ilk çizgisel momentumuna eşit olur. Bu duruma çizgisel momentumun korunumu denir.

12 Çizgisel momentumun korunumu; birbirini iten cisimler, çarpışan cisimler, çarpışma sonucu kenetlenen cisimler ve iç patlama sonucu parçalanan cisimler vb. gibi sistemler için geçerlidir.

13 Bir sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşitse sistemin kinetik enerjisi korunmuştur. Bu tür çarpışmalara esnek çarpışmalar denir.

14 Çarpışma sırasında cisimlerde şekil değişikliği, yapışma, ses, ısı ya da ışık çıkması gibi durumlar oluşursa bu sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşit olmaz, sistem enerji kaybeder. Bu tür çarpışmalara esnek olmayan çarpışmalar denir.

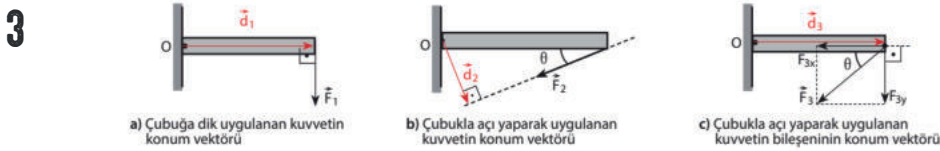
15 Esnek olmayan çarpışmalarda cisimler çarpışmadan sonra birbirine yapışarak hareket edebilir. Cisimlerin yapışması durumunda çarpışma tamamen esnek olmayan çarpışma olarak ifade edilir.

1 Musluğu açmak, kitapların sayfalarını çevirmek gibi pek çok hareket aslında cisimleri döndürme hareketidir. Bu döndürme hareketleri yapılırken cisimlere kuvvet uygulanır. Bir kuvvetin cismi bir eksen ya da nokta etrafında döndürme etkisine **tork** denir. Tork, vektörel bir büyüklük olup  $\vec{\tau}$  sembolü ile gösterilir. SI'da birimi  $N \cdot m$ 'dir.

Bir kapıyı menteşeleri doğrultusunda uygulanacak kuvvetle açmak mümkün değildir. Kuvvet uygulanmasına rağmen kuvvetin kapı üzerinde döndürme etkisi oluşmaz.

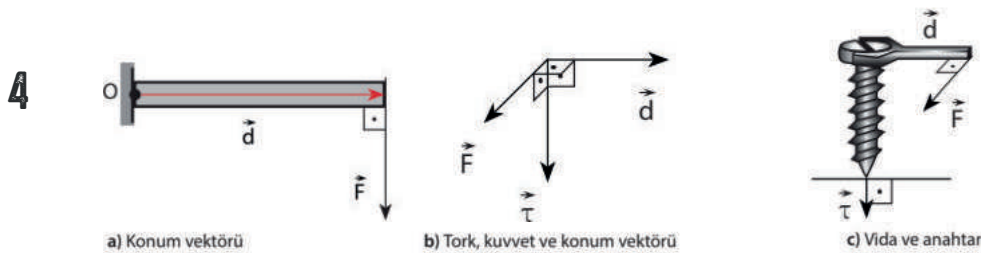


Başlangıç noktası dönme eksenini olan ve uygulanan kuvvetin doğrultusuna dik olarak yönelen vektöre **konum vektörü** denir ve  $\vec{d}$  sembolü ile gösterilir.

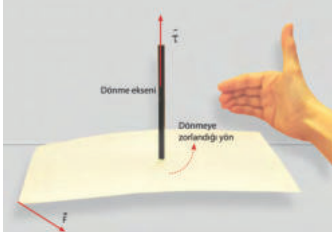


Cisimlerin dönmesi için konum vektörü ile kuvvet vektörü arasında açı olmalıdır.

$\vec{\tau}$  Vektörel bir büyüklük olan tork (  $\vec{\tau}$  ) ise cismin dönme eksenini üzerinden ve konum ile kuvvet vektörlerinin oluşturduğu düzleme diktir.



Tork, kuvvet ve konum vektörlerinin yönlerinin gösterimi



Orta noktasından geçen eksen etrafında dönebilen cisme kuvvet uygulandığında, cisim bu kuvvetin etkisi ile dönmeye zorlanır. Kuvvet etkisiyle dönmeye zorlanan cismin torkunun yönü, sağ el kuralına göre bulunur. Bu kurala göre sağ elin avuç içi dönme eksenine bakacak ve dört parmak kuvvetin dönmeye zorladığı yönü gösterecek şekilde tutularak başparmak dört parmağa dik olarak açılır. Açılan başparmak torkun yönünü gösterir.

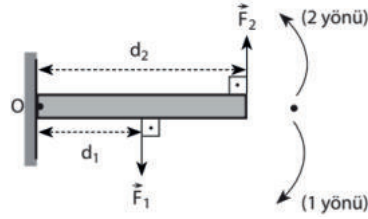
Torkun matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$$

7

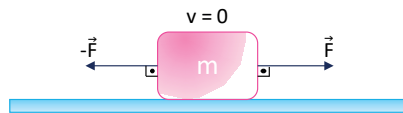
$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$  matematiksel modelindeki (x) işareti vektörel çarpım ifadesidir. Vektörel çarpımdan elde edilen sonuç çarpılan vektörlere dik başka bir vektör oluşturur. Torkun büyüklüğü bulunurken, kuvvet ve konum vektörü birbirine dik ise ifade  $\tau = F \cdot d$  şeklinde kullanılır.

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde O noktasından geçen eksen etrafında rahatça dönebilen, ağırlığı ihmal edilen çubuğa  $d_1$  uzaklığından  $\vec{F}_1$  ve  $d_2$  uzaklığından  $\vec{F}_2$  kuvvetleri uygulanmıştır.  $\vec{F}_1$  kuvveti çubuğu 1 yönünde dönmeye zorlarken  $\vec{F}_2$  kuvveti 2 yönünde dönmeye zorlar.

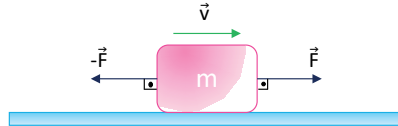


Bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise o cismin dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde olduğu ifade edilir. Bu durumda, cisim durmaktaysa durmaya; bir hızı varsa o hızla hareket etmeye devam eder. Her iki durumda da cisim dengededir.

9



a) Dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde duran cisim



b) Dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde hareket halindeki cisim

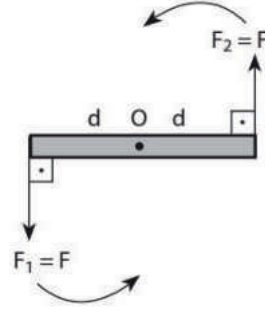
10

Bir cismin dengede olabilmesi için cisme etkiyen toplam kuvvetin sıfır olmasının yanında toplam torkun da sıfır olması gerekir. Bir cisim statik dengede ise

1.  $\sum \vec{F}_{\text{Toplam}} = 0$  ise cisim öteleme hareketi yapmaz.
2.  $\sum \vec{\tau}_{\text{Toplam}} = 0$  ise cisim dönme hareketi yapmaz.

11

Orta noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında dönebilen bir çubuğa eşit büyüklükte ve zıt yönde kuvvetler şekildeki gibi uygulanırsa cisim dengede kalmaz. Çünkü  $\vec{F}_{\text{Toplam}} = 0$  olmasına rağmen kuvvetlerin O noktasına göre döndürmeye zorlama yönleri aynı olduğu için  $\vec{\tau}_{\text{Toplam}} = 0$  olmaz ve kuvvetler uygulandığı sürece çubuk döner. Bir cisme bu şekilde uygulanan eşit büyüklükteki zıt yönlü kuvvetlere **kuvvet çifti** denir.

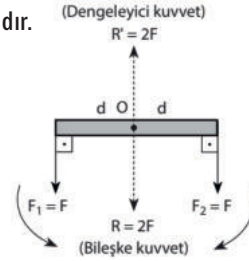


12

Sürtünmelerin ihmal edildiği, orta noktasından geçen eksen etrafında dönebilen bir çubuğa eşit büyüklükte ve aynı yönlü kuvvetler uygulanırsa kuvvetlerin O noktasına göre torqları eşit büyüklükte ve zıt yönde olur. Cisme etkiyen  $\vec{\tau}_{\text{Toplam}} = 0$  olduğundan cisim dönmez. Cismin dengede kalabilmesi için  $\vec{F}_{\text{Toplam}} = 0$  koşulunun sağlanması gerekir. Cisme uygulanan aynı yönlü kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü  $R = F + F = 2F$  olup aşağı yönlüdür. Cisme etki eden net kuvvetin sıfır olabilmesi için kuvvetlerin bileşkesine eşit büyüklükte ve zıt yönde bir dengeleyici kuvvetin etki etmesi gerekir. Bu kuvvet, denge koşullarının sağlanabilmesi için toplam torkun sıfır olduğu noktaya uygulanmalıdır. Bu nedenle O noktası dengeleyici kuvvetin uygulama noktasıdır.

$$\vec{F}_{\text{Toplam}} = F + F - 2F = 0 \text{ (1. koşul sağlanmıştır.)}$$

$$\vec{\tau}_{\text{Toplam}} = F \cdot d - F \cdot d = 0 \text{ (2. koşul sağlanmıştır.)}$$

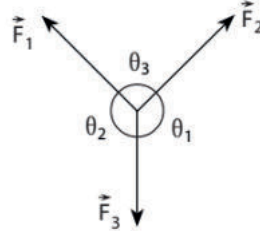


13

Şekildeki gibi bir noktaya etki eden dengelenmiş ve uzantıları kesişen üç kuvvet için Lami Teoremi kullanılabilir. Bu bağıntıya göre kuvvetler arasındaki açılar arasında  $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$  ilişkisi varsa kuvvetlerin büyüklükleri arasında da trigonometrik olarak açı arttıkça açının sinüs değeri küçüldüğü için  $F_3 > F_2 > F_1$  ilişkisi vardır. Buradan küçük açı karşısında büyük kuvvetin olduğu sonucuna varılır. Kuvvetler dengede olduğuna göre herhangi iki kuvvetin bileşkesi üçüncü kuvvetin dengeleyicisidir.

Lami Teoremi'nin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{F_1}{\sin \theta_1} = \frac{F_2}{\sin \theta_2} = \frac{F_3}{\sin \theta_3}$$

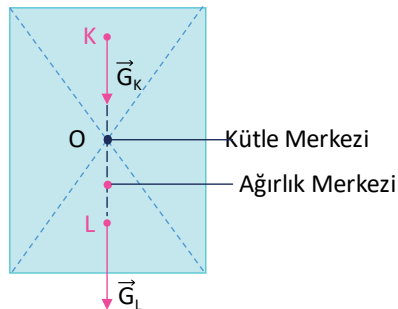


14

Cisimlere etki eden kütle çekim kuvvetine ağırlık adı verilir. Cismi oluşturan parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin uygulama noktasına ağırlık merkezi denir.

15

Yer çekimi olmayan ortamlarda cismin ağırlığı olmadığı için ağırlık merkezi kavramından söz edilemez. Ancak yer çekimi olmadığında bile cisimler bir kütleye sahiptir. Cismin sahip olduğu kütlelerin tamamının toplandığı kabul edilen noktaya cismin **kütle merkezi** denir. Düzgün geometrik şekle sahip homojen cisimlerde kütle merkezi, cismin geometrik merkezindedir. Kütle merkezi, skaler bir büyüklüğün merkezi iken ağırlık merkezi, vektörel bir büyüklüğün uygulama merkezidir.

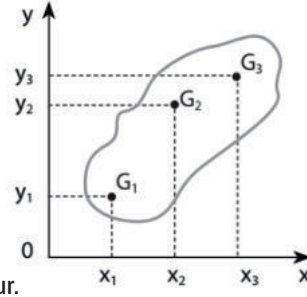


Bir cisim pek çok küçük noktasal parçacıktan meydana gelmiştir. Bu parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin bulunduğu noktanın koordinatları, cismin ağırlık merkezinin koordinatlarını oluşturur. Cisim üzerindeki n tane nokta için genelleme yapılırsa

16

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \dots + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

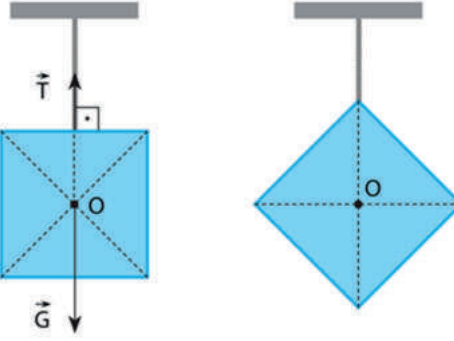
$$y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + \dots + m_n \cdot y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$



ifadesiyle cismin kütle merkezinin x ve y koordinatı bulunur.

17

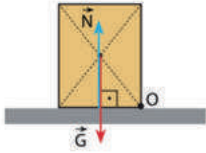
Kütle merkezi O noktası olan ve esnemeyen ip ile asılan, levha şeklindeki düzgün ve türdeş cisim, hangi noktasından asılırsa asılınsa ip doğrultusu cismin kütle merkezinden geçecek şekilde dengede kalır.



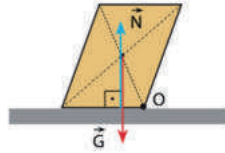
Asılı haldeki düzgün ve türdeş bir levhanın denge durumu

Cismin ağırlığının doğrultusu, cismin taban sınırları içinden geçmezse cismin ağırlığının ve zeminin tepki kuvvetinin torkları birbirine eşit olmaz; bu nedenle cisim dengede kalmaz ve devrilir.

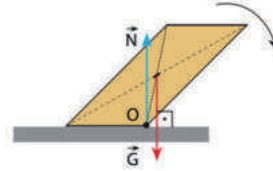
18



a) Düşey kenarları yere dik ve dengede olan cisim



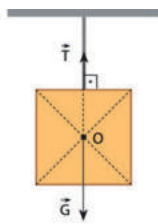
b) Düşey kenarları yere dik olmayan dengedeki cisim



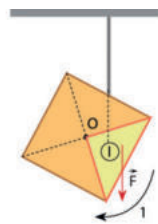
c) Düşey kenarları yere dik ve dengede olmayan cisim

Ağırlık merkezi O olan türdeş bir levha, esnemeyen ip ile asıldığında ağırlığının doğrultusu O noktasından geçecek şekilde dengede kalır (Şekil a). Levha üzerindeki I numaralı bölmeye başka bir parça eklenirse levhanın dengesi 1 yönünde bozulur (Şekil b). Levhanın I numaralı parçası çıkarılırsa levhanın dengesi 2 yönünde bozulur (Şekil c). Bu nedenle sisteme eklenen parçaların ağırlığı aşağı yönde, sistemden çıkarılan parçaların ağırlığı ise yukarı yönde kuvvetle gösterilerek işlem yapılabilir.

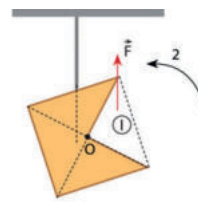
19



a) Türdeş levha



b) Parça eklenmiş levha



c) Parça çıkarılmış levha

20 Günlük yaşantımızda iş yapma kolaylığı sağlayan araçlara **basit makineler** denir. Basit makineler iş kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılır ancak işin yapılması için gereken enerjiden kazanç sağlamaz.

Kuvvetten elde edilen kazançta kuvvet kazancı ya da mekanik avantaj adı verilir. Kuvvet kazancı, taşınan yükün sisteme uygulanan kuvvete oranıdır. Matematiksel bağıntısı aşağıda verilmiştir.

21

$$\text{Kuvvet Kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}}$$

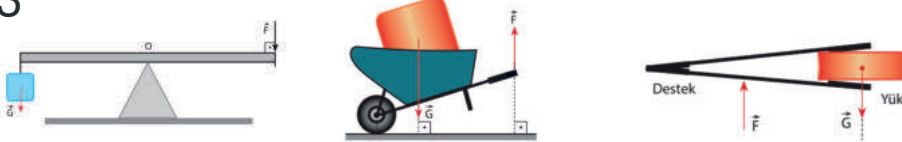
Basit makineler genellikle kuvvetten kazanç sağlamak için yapılmış araçlardır.

22 Enerjinin korunumu gereği; sürtünmelerin ihmal edildiği basit makineden alınan enerji, makineye verilen enerjiye eşittir. Böyle bir makinede verim %100 kabul edilir ancak sürtünmeden dolayı gerçekte durum böyle değildir. Bir makinenin verimi, makineden alınan enerjinin makineye verilen enerjiye oranından bulunur. Matematiksel bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}}$$

Bir destek noktası üzerinde hareket edebilen sistemlere **kaldıraç** denir. Kaldıraçlar; destek noktasının, yükün ve kuvvetin konumuna göre üç gruba ayrılır.

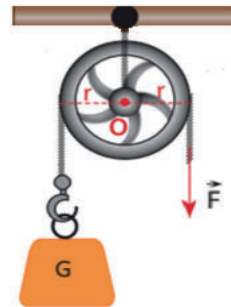
23



24 Merkezinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen ve etrafına sarılı ipin çekilmesi ile dönme hareketi yapması sağlanan, tekerlek biçimindeki sistemlere makara denir. Makaralar, kuvvetten kazanç sağlamak ya da kuvvetin yönünü değiştirmek için kullanılır.

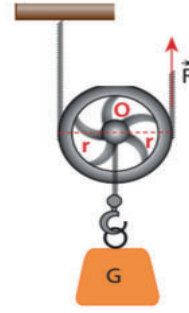
25

Merkezinden geçen sabit bir eksen etrafında dönen ve yükü taşıyan ip ile birlikte öteleme hareketi yapmayan makaralara **sabit makara** denir.



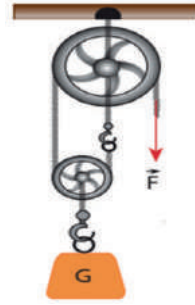
26

Etrafına sarılmış ip aracılığı ile dönerek yüklerle birlikte öteleme hareketi yapan makarayla oluşturulan sisteme **hareketli makara** denir. Bu tür makaralar, makaranın çevresinden geçen ipe bir kuvvet uygulandığında yük ile birlikte hareket eder.



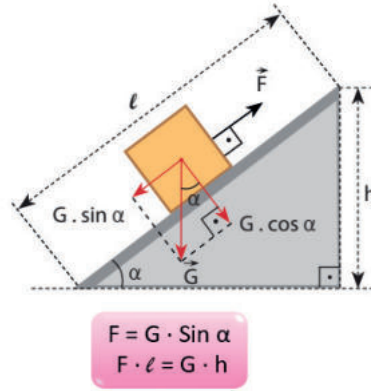
27

İki ya da daha fazla makaranın farklı şekillerde bağlanmasıyla elde edilen sisteme **palanga** denir. Palanga sistemi dengede ise sisteme etki eden net kuvvet sıfırdır.



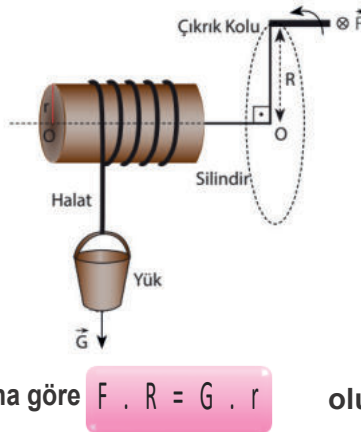
28

Bir düzlemin bir kenarının alçak, diğer kenarının yüksek bir yere dayanmasıyla elde edilen eğimli yola **eğik düzlem** denir.  $\vec{G}$  ağırlıklı yük,  $\vec{F}$  kuvveti ile sürtünmelerin ihmal edildiği ve eğim açısı  $\alpha$  olan eğik düzlem üzerinde sabit hızla çekildiğinde cisme etkiyen net kuvvet sıfır olacaktır. Matematiksel bağıntısı yanda verilmiştir.



29

Eski çağlardan beri kullanılan çıkırık; merkezinden geçen eksen etrafında dönebilen bir silindir, silindirin merkezine bağlı bir kol ve üzerine sarılı halat ya da zincirden oluşmuş bir sistemdir. Çıkırık sisteminde yükün dengelenebilmesi ya da sabit hızla hareket edebilmesi için  $\vec{G}$  ağırlığı ve  $\vec{F}$  kuvvetinin O eksenine göre torkları eşit büyüklükte olmalıdır. Buna göre  $F \cdot R = G \cdot r$  olur.

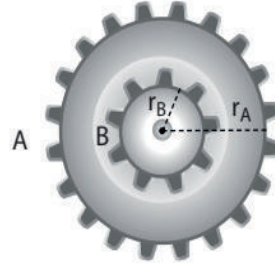


30

Bir merkez etrafında dönebilen ve çevresinde dişlerin sıralandığı disk şeklindeki çarklara **dişli** denir. Dişliler, birlikte ve eş zamanlı çalışması gereken mekanik parçalar arasındaki bağlantıyı sağlar.

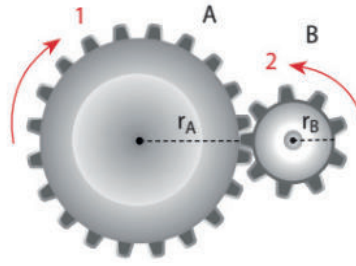
31

Yarıçapları farklı A ve B dişlilerin merkezleri aynı olacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen sistemde A ve B dişlilerin dönme yönü ve tur sayıları aynıdır. Bu şekilde bağlanmış dişlilerin tur sayısı yarıçaplarından bağımsızdır.



32

Yarıçapları farklı A ve B dişlilerin birbirine dıştan temas edecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilen sistemde A dişlisi 1 yönünde dönerken B dişlisini 2 yönünde dönmeye zorlar. A dişlisinin dönmesine neden olan kuvvet, B dişlisinin de dönmesine neden olur. Enerji korunduğu için her iki dişli üzerinde yapılan iş birbirine eşittir. A dişlisi  $n_A$  tur döndüğünde B dişlisi  $n_B$  tur döner.



Enerjinin korunumuna göre  $r_A \cdot n_A = r_B \cdot n_B$  bulunur. A ve B dişlilerin tur sayıları yarıçaplarının büyüklüğü ile ters orantılıdır.

33

Bir merkez etrafında dönebilen ve etrafına kayış sarılabilen disk şeklindeki basit makinelere kasnak denir. Dişliler gibi kasnaklar da birbiriyle uyum içinde çalışarak enerji aktarımını sağlayan basit makinelerdendir.

Bir kayışla düz bağlanan A ve B kasnaklarından A kasnağı 1 yönünde dönerse kayış tarafından bu hareket B kasnağına olduğu gibi iletilir ve B kasnağı da 1 yönünde döner.

34

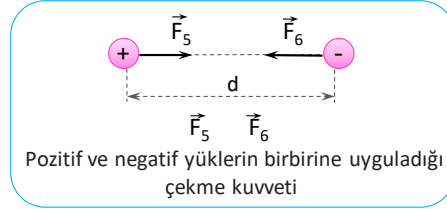
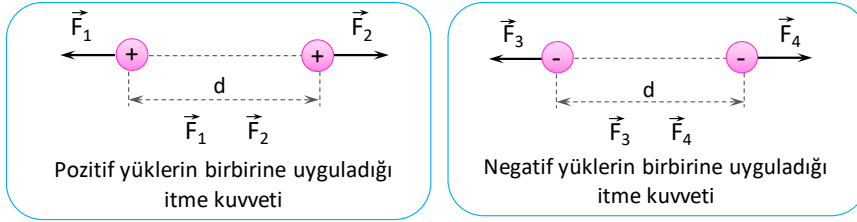


## • ELEKTRİK VE MANYETİZMA

- Elektriksel Kuvvet ve Elektriksel Alan
- Elektriksel Potansiyel

Elektrik yükleri, yüklerin cinsine bağlı olarak birbirine itme ya da çekme kuvveti uygular. Yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet, Newton'ın Üçüncü Hareket Yasası'na göre eşit büyüklükte ve yükleri birleştiren doğrultu üzerinde zıt yöndedir. Yükler arasındaki elektriksel kuvvetler, vektörel büyüklük olup temas gerektirmeyen kuvvetlerdendir.

1



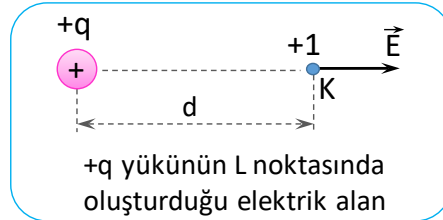
İki noktasal yük arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğünü veren matematiksel ifade  $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$  şeklindedir.

2

Elektriksel kuvvet vektörel bir büyüklük olup, birimi SI'da Newton'dır.

Bir yükün pozitif birim yüke (+1 C) uyguladığı elektriksel kuvvete o noktadaki elektrik alan vektörü denir. Elektrik alan vektörel bir büyüklüktür ve  $\vec{E}$  sembolü ile gösterilir.

3



+q yükünün K noktasında oluşturduğu elektrik alan şiddetini veren matematiksel ifade aşağıda verilmiştir.

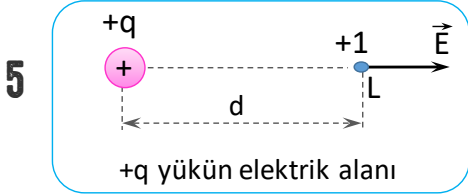
4

$$E = k \cdot \frac{q}{d^2}$$

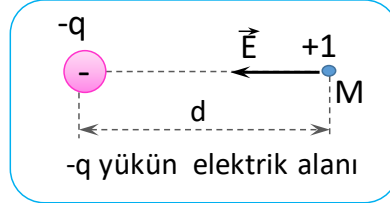
Elektrik alanın SI'daki birimi N/C'dur. Herhangi bir yükün bir noktada oluşturduğu elektrik alanın yönü o noktadaki +1 C'luk yüke etki eden kuvvet yönündedir.

+q yükünün kendisinden d kadar uzaklıktaki L noktasında oluşturduğu elektrik alanın yönü yükten dışa doğrudur (Şekil I).

-q yükünün kendisinden d kadar uzaklıktaki M noktasında oluşturduğu elektrik alanın yönü ise yüke doğrudur (Şekil II).



Şekil I

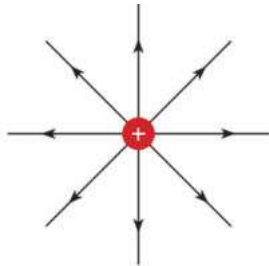


Şekil II

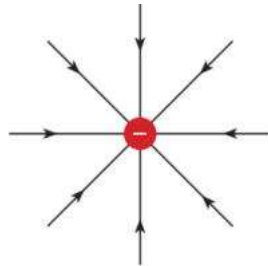
Elektrik alan çizgileri, elektrik alanın incelenmesi ve değerlendirilmesinde kolaylık sağladığı için genellikle iki boyutta çizilir. Ancak bir yükün elektrik alanı, o yükün etkisini gösterebildiği ve çevresini saran uzay parçasında olduğundan üç boyutludur.

- Pozitif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yükten dışarıya doğrudur ( ).
- Negatif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yüke doğrudur ( ).

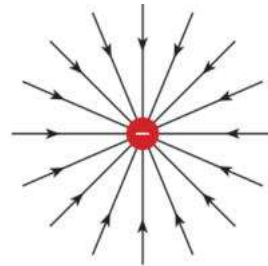
- 6
- Çizgi sayısı yükün büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Yükün büyüklüğü iki katına çıkarsa etrafındaki elektrik alan çizgilerinin sayısı da iki katına çıkar ( ).



Şekil I

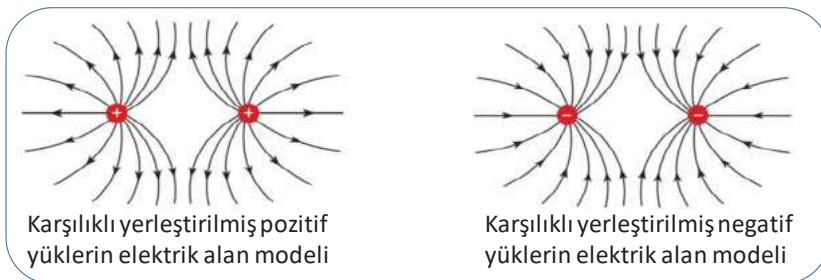


Şekil II



Şekil III

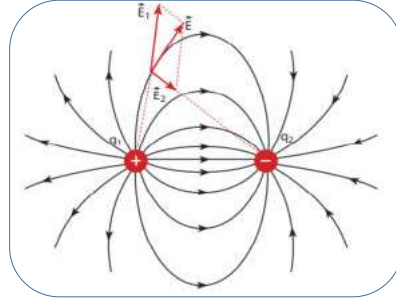
Eşit büyüklükteki pozitif ya da negatif iki noktasal yük etrafında elektrik alan çizgileri şekildeki gibi gösterilir.



Karşılıklı yerleştirilmiş pozitif yüklerin elektrik alan modeli

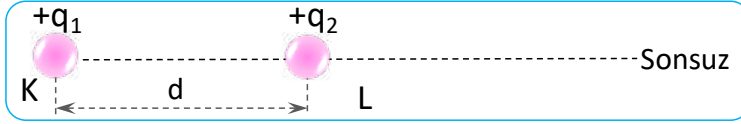
Karşılıklı yerleştirilmiş negatif yüklerin elektrik alan modeli

Elektrik alan çizgileri herhangi bir (+) yüklü parçacıktan çıkıp herhangi bir (-) yüklü parçacıkta son bulur. Alan çizgileri, yüzeye değdiği noktaya daima diktir. Alan çizgileri, elektrik alan şiddetinin arttığı yerde sık, azaldığı yerde seyrek çizilir.



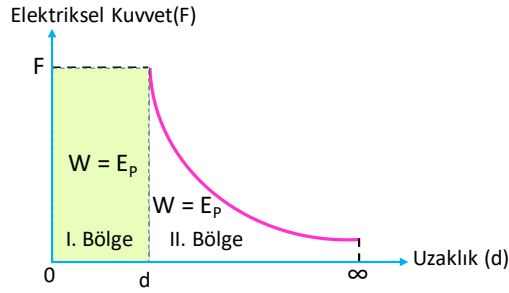
8

Sonsuzda iken elektriksel potansiyel enerjisi sıfır olan  $+q_2$  yükü, sonsuzdan L noktasına sabit hızla getirilirken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan bu iş sistemde potansiyel enerji ( $E_p$ ) olarak depolanır ve bu enerji yüklerin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerjisi verir.



K ve L konumlarında tutulan yüklerden  $+q_2$  yükü serbest bırakılırsa yükler birbirini iter ve yüke etki eden kuvvet sonsuzda sıfır olur. Yükün hareketine ait çizilen kuvvet - uzaklık grafiğinin yatay eksenle arasında kalan alan, elektriksel kuvvetin yaptığı işi yani yüklerin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerjisi verir.

9



Sabit  $q_1$  yükünden uzaklaşan  $q_2$  yüküne ait elektriksel kuvvet-uzaklık grafiği

$q_1$  ve  $q_2$  yüklü iki cismin birbirinden kaynaklanan enerjiye **elektriksel potansiyel enerji** denir. Elektriksel potansiyel enerjiyi veren matematiksel bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$$

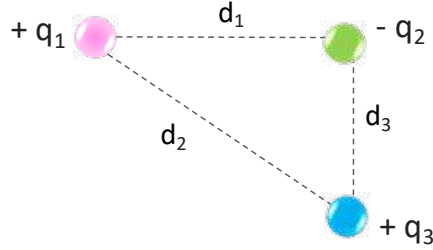
10

Elektriksel potansiyel enerji skaler bir büyüklük olduğu için hesaplamalarda yükler, işaretleriyle birlikte kullanılır. Birbirini iten yüklerin enerjisi pozitif, birbirini çeken yüklerin enerjisi negatif olur.

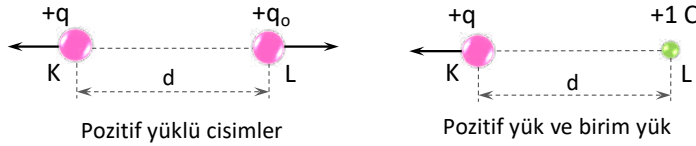
11

Noktasal yüklerden oluşan sistemdeki toplam elektriksel potansiyel enerji, her bir yük çiftinin elektriksel potansiyel enerjilerinin cebirsel toplamına eşittir.

$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot (-q_2)}{d_1} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d_2} + k \cdot \frac{(-q_2) \cdot q_3}{d_3}$$



L noktasındaki  $+q_0$  yükü,  $+q$  yükünün varlığından dolayı elektriksel potansiyel enerjiye sahiptir (Şekil I).  $+q_0$  yükü kaldırılıp L noktasına yerleştirilecek pozitif birim yükün ( $+1$  C) sahip olacağı elektriksel potansiyel enerjiye o noktanın elektriksel potansiyeli denir (Şekil II).



Şekil I

Şekil II

Elektriksel potansiyel  $V$  sembolü ile gösterilir. Buna göre L noktasının elektriksel potansiyeli aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

12

$$V = k \cdot \frac{q}{d}$$

L noktasının elektriksel potansiyeli  $V = k \cdot \frac{E_p}{q_0}$  olduğuna göre L noktasına yerleştirilecek herhangi bir  $q$  yükünün sahip olacağı elektriksel potansiyel enerjinin bağıntısı aşağıda verilmiştir.

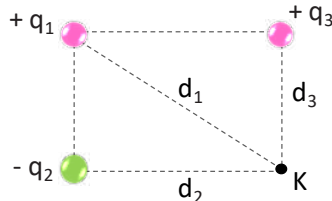
$$E_p = q \cdot V$$

Bir noktanın elektriksel potansiyeli, etrafındaki yüklerin o noktada oluşturduğu elektriksel potansiyellerin cebirsel toplamına eşit olur.

Üç yükten oluşan yük sisteminde K noktasının elektriksel potansiyeli aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

13

$$V_K = k \cdot \frac{q_1}{d_1} + k \cdot \frac{(-q_2)}{d_2} + k \cdot \frac{q_3}{d_3}$$



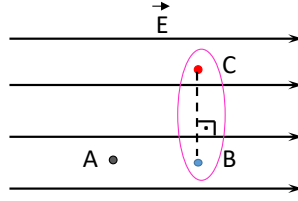
14

Elektrik alan içindeki pozitif birim yükün bir noktadan diğerine götürülmesi için yapılan işe bu iki noktanın **elektriksel potansiyel farkı** denir.

Elektriksel potansiyel farkı veren matematiksel bağıntı aşağıda verilmiştir.

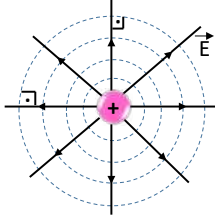
$$\Delta V = \frac{W}{q}$$

Elektrik alan içindeki B ve C noktalarının potansiyelleri eşit ve A noktasının potansiyelinden daha düşüktür. Aynı potansiyele sahip olan B ve C noktalarının bulunduğu yere, alan içinde kalacak şekilde ve alan çizgilerine dik bir düzlem yerleştirilirse düzlem üzerindeki bütün noktaların potansiyelleri birbirine eşit olur.

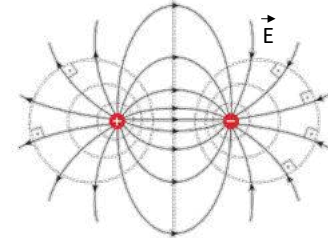


15

Bir elektrik alanında da elektriksel potansiyelleri eşit noktaların oluşturduğu yüzeyler bulunur. Bu yüzeylere **eş potansiyel yüzeyler** denir. Eş potansiyel yüzeyler ile elektrik alan çizgileri her zaman birbirine dik olur.



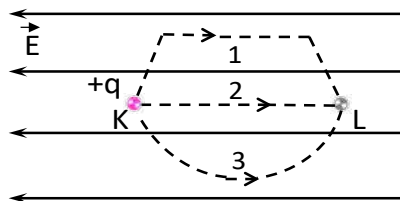
Noktasal yükün etrafındaki eş potansiyel yüzeyler



Farklı cins yüklerin etrafındaki eş potansiyel yüzeyler

+q yükü, K noktasından L noktasına kesikli çizgilerle gösterilen 1, 2 ve 3 yolları gibi farklı yollardan götürülebilir. +q yükü K'den L'ye farklı yollardan getirilmiş olsa da iki nokta arasında yapılan iş aynıdır. Buna göre elektriksel potansiyel farkı ve yapılan iş, yükün iki nokta arasında aldığı yoldan bağımsızdır.

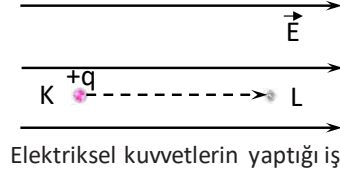
16



- +q yükünün  $\vec{E}$  alanıyla aynı yönde K'den L'ye gelmesi sırasında yük üzerinde iş yapan, elektriksel kuvvetlerdir. K ve L arasındaki elektriksel potansiyel farkı  $V_{KL}$  ile gösterilirse K ve L arasında elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$W_{KL} = q \cdot \Delta V_{KL}$$

Elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş negatif olur ve sistemin elektriksel potansiyel enerjisini azaltır.

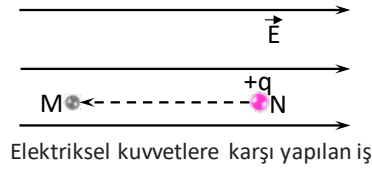


- +q yükünün  $\vec{E}$  alanına ters yönde, N noktasından M'ye getirilmesi sırasında elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. N ve M noktaları arasındaki elektriksel potansiyel farkı  $V_{NM}$  ile gösterilirse N ve M arasında elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

17

$$W_{NM} = q \cdot \Delta V_{NM}$$

Elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş pozitif olur ve sistemin elektriksel potansiyel enerjisini artırır.

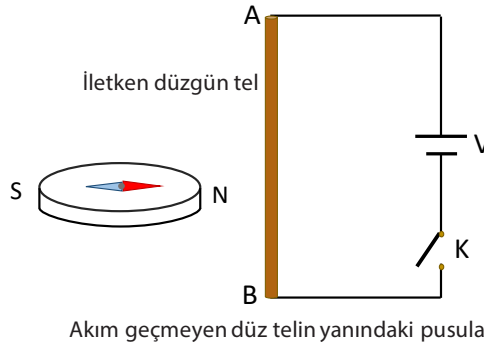


## • MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME - I

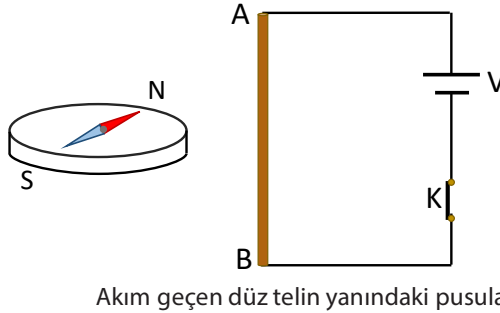
- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
- Hans Christian Öersted 1819'da akım geçen bir telin, yakınında duran pusula iğnesini saptırdığını gözlemiştir.
  - 1823'te Andre Marie Ampere, akım taşıyan bir iletkenin diğerine uyguladığı manyetik kuvveti hesaplamak için gerekli matematiksel bağıntıları elde etmiştir.
  - 1820'lerde Michael Faraday ve Joseph Henry yaptıkları deneylerde elektrik akımı ile manyetizma arasındaki ilişkileri göstermişlerdir.
  - 1864'te Maxwell'in çalışmaları değişen elektrik alanın bir manyetik alan oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Pusula iğnesi her zaman bulunduğu ortamdaki manyetik alanın doğrultusunda yönelir. Pusula iğnesinin doğrultusunun değişmesi, ortamdaki manyetik alanın değiştiğini gösterir. Bu durum, üzerinden akım geçen iletken telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın varlığını göstermek için kullanılabilir.

Akım geçmeyen bir düz telin yanına pusula yerleştirildiğinde pusula iğnesi Dünya'nın manyetik alanının etkisindedir.



K anahtarı kapatılarak iletken düz telden akım geçmesi sağlanırsa pusula iğnesinin doğrultusunun değiştiği gözlenir.

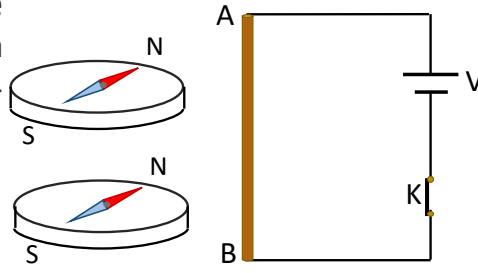


Mıknatıs kullanılmamasına rağmen pusula iğnesinin doğrultusunun değişmesi, üzerinden akım geçen telin çevresinde manyetik alan oluştuğunu gösterir. Pusula iğnesi Dünya'nın manyetik alanı ile akım geçen telin manyetik alanının bileşkesi doğrultusunda yönelir.

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın kaynağı elektronların hareketidir. Akım geçen telin oluşturduğu manyetik alanın kaynağı ise teldeki elektronların hareketidir. Bu nedenle telden akım geçtiğinde, akımı oluşturan elektronların hareketinden dolayı telin çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür ve  $\vec{B}$  sembolü ile gösterilir. SI'da birimi tesla'dır (T).

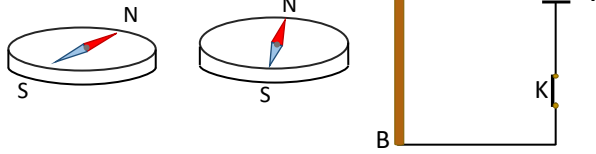
7

Özdeş pusulalar, AB iletken teline eşit uzaklıkta konulup telden akım geçmesi sağlandığında pusula iğnelerinin sapma miktarları eşittir.



8

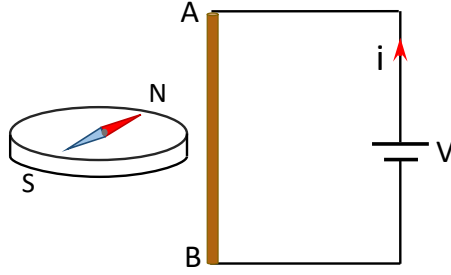
Pusulaların, tele olan uzaklıkları farklı ise; tele yakın olan pusulanın iğnesindeki sapma daha fazla olur.



Üzerinden akım geçen telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, tele olan dik uzaklık ile ters orantılıdır.

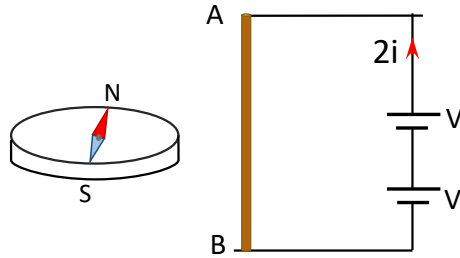
9

Üzerinden  $i$  akımı geçen düz iletken telin yakınında bulunan pusula iğnesi sapmaya uğrar.



10

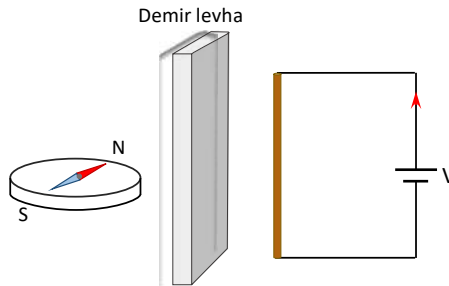
Devreye özdeş bir üreteç daha seri olarak bağlandığında telden geçen akım şiddeti  $2i$  olur. Bu durumda tele aynı uzaklıktaki pusula iğnesindeki sapma miktarının arttığı görülür.



Üzerinden akım geçen düz telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti, telden geçen akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

11

Üzerinden akım geçen düz tel ile pusula arasına şekildeki gibi bir demir levha yerleştirildiğinde pusula iğnesinin doğrultusunun değiştiği görülür.



İletken telin oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, tel ile pusula arasındaki ortamın cinsine bağlı olarak değişir.

12

Manyetik alan çizgileri maddelerin içinden geçerken bazen sıklaşır bazen de seyrekleşir. Maddeler bu özelliklerinden dolayı manyetik alanı kuvvetlendirir veya zayıflatabilir. Bu özelliğe maddenin **manyetik geçirgenliği** denir. Boş uzayın (boşluğun) manyetik geçirgenliği  $\mu_0$  sembolü ile gösterilir.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}$$

Üzerinden akım geçen düz telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti;

13

- Telden geçen akım şiddetine,
- Telle olan dik uzaklığa ve
- Telin bulunduğu ortamın cinsine bağlı olarak değişir.

Üzerinden  $i$  akımı geçen düz telden  $d$  kadar dik uzaklıkta oluşan manyetik alanın şiddeti aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d}$$

Boşluğun geçirgenlik katsayısı ile hava ortamının geçirgenlik katsayısı değer olarak birbirine çok yakın olduğu için problem çözümlerinde eşit kabul edilir. **Manyetik alan sabiti K** aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

14

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}$$

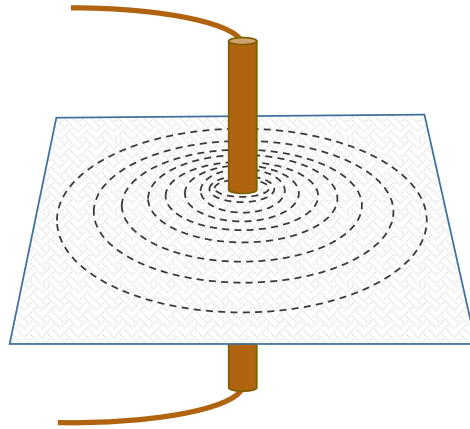
Bu durumda manyetik alan şiddeti

$$B = \frac{K \cdot 2i}{d}$$

olur.

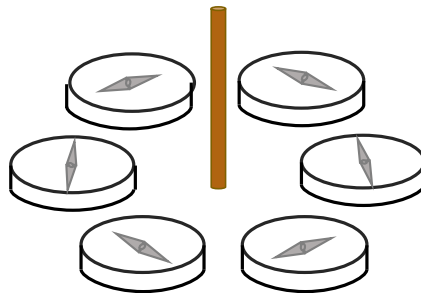
15

Akım geçen düz tele dik bir düzlem üzerine demir tozları döküldüğünde demir tozlarının oluşturduğu halkalar arasındaki uzaklık telden uzaklaştıkça artar. Halkalar, telin çevresinde oluşan manyetik alan çizgilerini temsil eder.



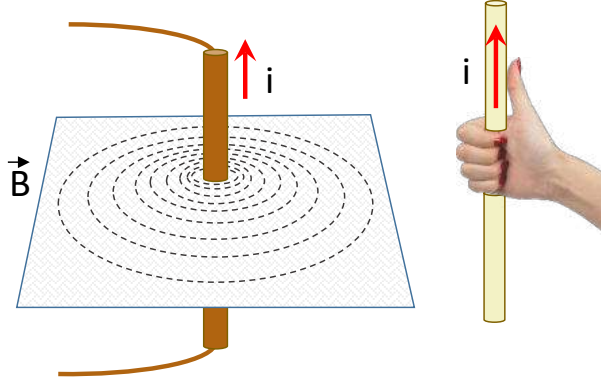
16

Akım geçen düz telin etrafına pusulalar konulduğunda pusula iğneleri, manyetik alan çizgilerine teğet olacak şekilde yönlenir.



Manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Düz tel, başparmak akım yönünü gösterecek şekilde avuç içinde tutulursa teli kavrayan dört parmağın yönü manyetik alanın dolanım yönünü gösterir.

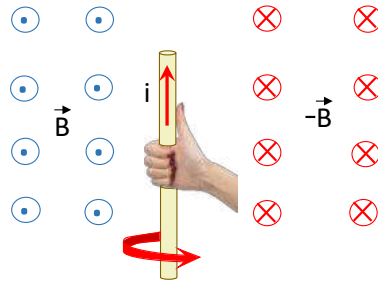
17



Sayfa düzlemindeki telin çevresinde ve bir noktada oluşan manyetik alan vektörü sayfa düzleminde içeri veya dışarı doğrudur.

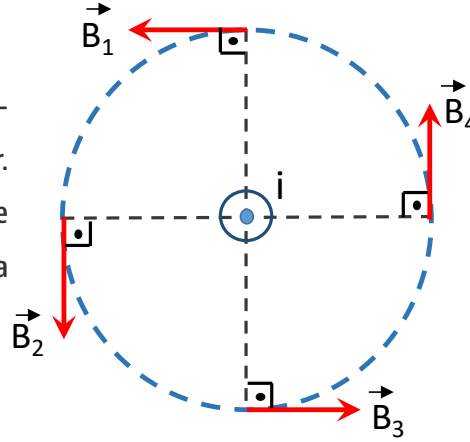
18

Sayfa düzlemine dik ve düzlemden içeri doğru olan büyüklüğün yönü  $\otimes$  sembolü ile, dışarı doğru olanlar ise  $\odot$  sembolü ile gösterilir.



Manyetik alan vektörü ile akım geçen tel her zaman birbirine diktir. Eğer akım geçen tel sayfa düzlemine dik ise manyetik alan vektörleri sayfa düzleminde dir.

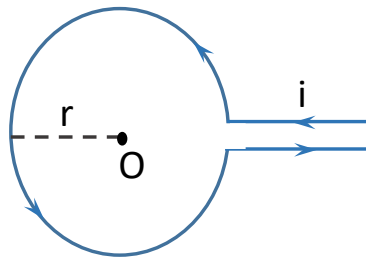
19



Bir noktada birden fazla akım geçen düz tel manyetik alan oluşturursa bileşik manyetik alanı bulmak için önce her bir telin oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur ve büyüklüğü hesaplanır. Ardından manyetik alan vektörleri toplanarak bileşik manyetik alanın yönü ve büyüklüğü bulunur.

21

$$B = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r}$$



Halkanın merkezindeki manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur. Bu kurala göre sağ elin dört parmağı akımın dönme yönünü gösterecek şekilde iletken halka avuç içine yerleştirildiğinde dik olarak açılan başparmak manyetik alanın yönünü gösterir.

22



a) Yatay düzlemde

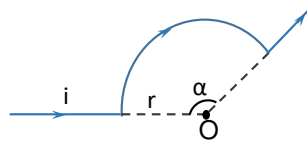


b) Düşey düzlemde

23

Üzerinden akım geçen tel tam halka şeklinde olmayabilir. Bu durumda halkanın merkezindeki manyetik alan şiddeti aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$B = \left(\frac{\alpha}{360}\right) \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r}$$

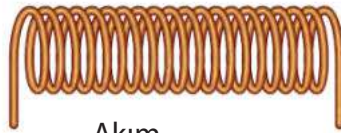


İletken ve düz bir telin silindirik şeklinde sarılması ile oluşturulan araçlara akım

iletken ve düz bir telin silindirik şeklinde sarılması ile oluşturulan araçlara **akım makarası** denir. Akım makarası, **bobin** ya da **solenoid** olarak da isimlendirilir.

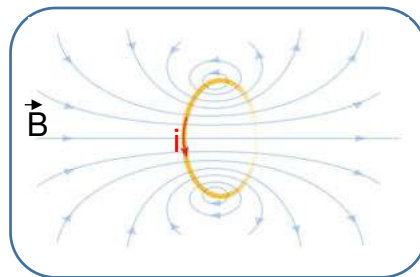
24

Akım makarası mekanik kapı zili, elektrik motoru, radyo ve jeneratör gibi cihazlarda kullanılır.



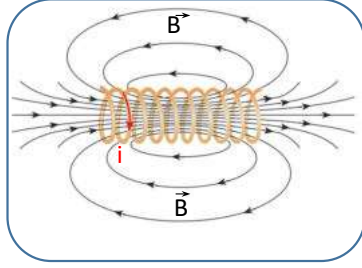
Akım makarası

25



Makaradan akım geçtiğinde her bir halka merkezinde manyetik alan oluşur. Tüm halkaların oluşturduğu manyetik alanların vektörel toplamı ile akım makarasının merkez eksenini boyunca düzgün sayılabilecek bir manyetik alan oluşur. Aynı zamanda makaranın çevresinde zayıf bir manyetik alan oluşur.

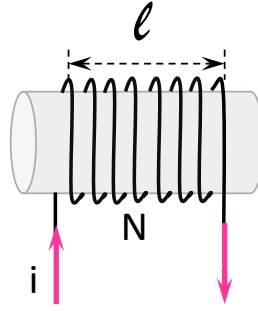
26



Sarımların uzunluğu  $\ell$ , sarım sayısı  $N$  olan ve üzerinden  $i$  akımı geçen akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

27

$$B = N \cdot \frac{K \cdot 4\pi \cdot i}{\ell}$$



Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddeti,

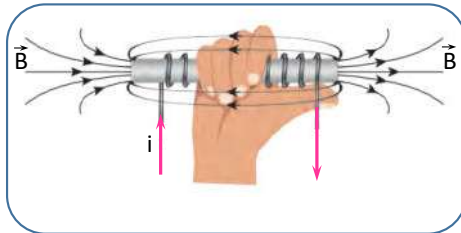
- Akım şiddeti ile doğru orantılıdır.
- Sarım sayısı ile doğru orantılıdır.
- Sarım uzunluğu ile ters orantılıdır.

28

- Akım makarasının ortasındaki boşluğa bir demir çubuk yerleştirildiğinde makaranın merkez eksenindeki manyetik alan şiddeti artar. Bunun nedeni, demir çubuğun manyetik geçirgenliğinin büyük olmasıdır. Manyetik geçirgenlik arttıkça manyetik alan sabiti de artar.

Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın yönü halkada olduğu gibi sağ el kuralı ile bulunur. Dört parmak akım yönünü gösterecek şekilde makara sağ elin avuç içine yerleştirildiğinde dik açılan başparmak manyetik alanın yönünü gösterir.

29



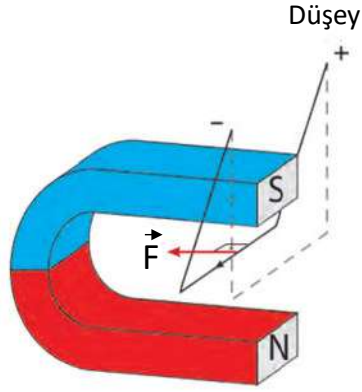
Manyetik alan içinde üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvetin büyüklüğü,

1. Telden geçen akım şiddetiyle doğru orantılıdır.
2. Telin bulunduğu manyetik alanın şiddeti ile doğru orantılıdır.
3. Telin manyetik alan içindeki uzunluğu ile doğru orantılıdır.

B büyüklüğündeki düzgün manyetik alan içinde bulunan  $\ell$  uzunluğundaki telden  $i$  şiddetinde akım geçtiğinde tele etki eden manyetik kuvvet;

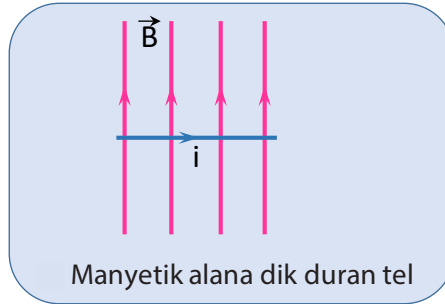
$$\vec{F} = i \cdot \vec{B} \times \vec{\ell}$$

**30** Manyetik kuvvetin büyüklüğü de  $F = B \cdot i \cdot \ell$  ifadesine göre bulunur.



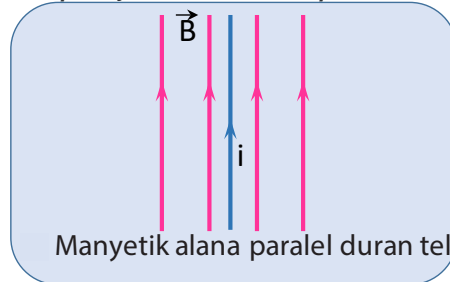
- Telin manyetik alan içindeki konumu değişirse manyetik kuvvetin şiddeti de değişir.
- Tel manyetik alana dik olarak yerleştirildiğinde manyetik kuvvetin büyüklüğü maksimum değerini alır.

**31**



Tel manyetik alana paralel olarak yerleştirilirse tele manyetik kuvvet etki etmez.

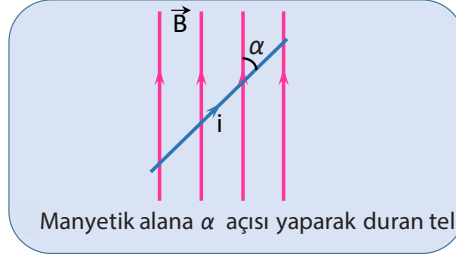
**32**



Manyetik kuvvet, iletken tel ile manyetik alan arasındaki açıya göre değişir.

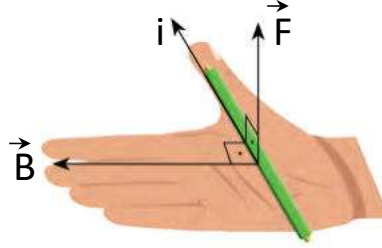
Bu durumda manyetik kuvvetin büyüklüğü  $F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin \alpha$  olur.

33



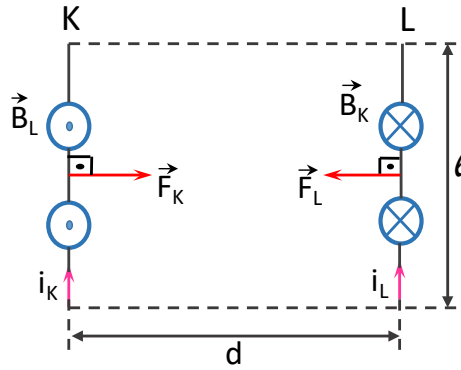
Manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin başparmağı akımın yönünü, diğer dört parmak ise dış manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda tele etkiyen manyetik kuvvet avuç içine dik yönde olur.

34



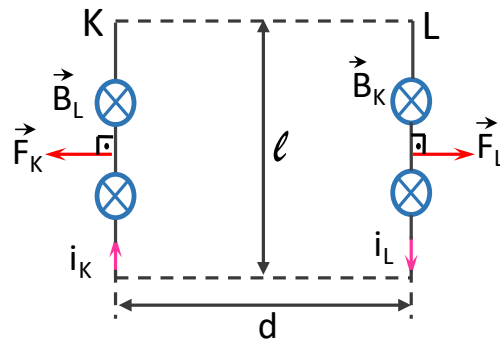
Üzerinden aynı yönlü akımlar geçen paralel tellere etki eden manyetik kuvvetler telleri birbirine yaklaştıracak şekilde oluşur.

35



Üzerinden zıt yönlü akımlar geçen paralel tellere etki eden manyetik kuvvetler telleri birbirinden uzaklaştıracak şekilde oluşur.

36



Teller birbirine akım şiddetleri ve uzunlukları ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklık ile ters orantılı olarak değişen bir kuvvet uygular. Kuvvetler eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür. Kuvvetlerin matematiksel bağıntıları aşağıda verilmiştir.

37

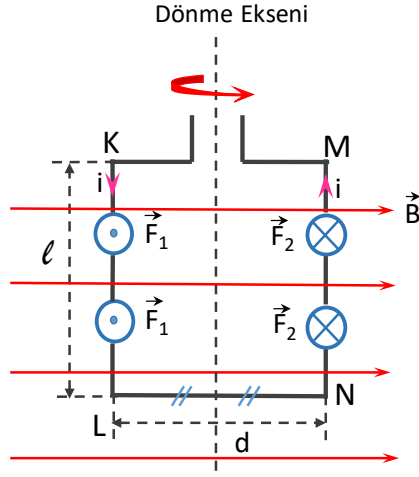
$$F_L = \frac{K \cdot 2 \cdot i_L \cdot i_K}{d} \ell$$

$$F_K = \frac{K \cdot 2 \cdot i_K \cdot i_L}{d} \ell$$

İletken düz bir tel, şekildeki gibi tel çerçeve hâline getirilerek düzgün  $\vec{B}$  manyetik alanına yerleştirilmiştir.

Çerçeveden şekilde verilen yönde  $i$  akımı geçtiğinde çerçevenin manyetik alana dik olan KL ve MN kenarına manyetik kuvvet etki eder.

Manyetik alana paralel olan diğer kenarlarına manyetik kuvvet etki etmez. Sağ el kuralına göre KL kenarına sayfa düzleminde dışarı doğru, MN kenarına ise sayfa düzleminde içeri doğru manyetik kuvvet etki eder.



Büyüklikleri eşit kuvvetler çerçevenin dönme eksenini sürekli dönmesini sağlar. Sürtünmelerin ihmal edilmesi durumunda üzerinden  $i$  şiddetinde akım geçen, yüzey alanı  $A = l \cdot d$  olan çerçeveye  $\vec{B}$  manyetik alanı içinde etki eden torkun büyüklüğü aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$\tau = B \cdot i \cdot \underbrace{l \cdot d}_A \quad \longrightarrow \quad \tau = B \cdot i \cdot A$$

Üst üste konmuş  $N$  tane çerçevede oluşan toplam torkun büyüklüğünün matematiksel bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\tau = N \cdot B \cdot i \cdot A$$

38

39

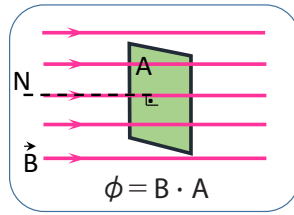
- ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME
- ALTERNATİF AKIM
- TRANSFORMATÖRLER

1

Uzayın belli bir bölgesindeki manyetik alanın büyüklüğü, manyetik alan çizgileriyle gösterilir. Alan çizgilerinin yoğunluğu manyetik alanın büyüklüğü ile orantılıdır. Manyetik akı, manyetik alan içindeki bir yüzeyin dik kesitinden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısının bir ölçüsüdür. Manyetik akı  $\phi$  sembolü ile gösterilir ve SI'da manyetik akının birimi weberdir (Wb).

### Manyetik Alan İçindeki İletken Çerçeveden Geçen Manyetik Akı

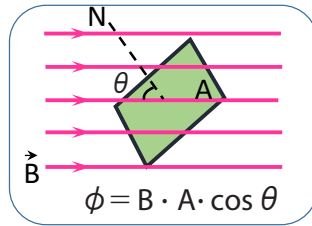
Çerçeve manyetik alana dik olarak yerleştirildiğinde yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı  $0^\circ$ 'dir. Bu durumda yüzeyden geçen çizgi sayısı ve manyetik akı maksimumdur.



İletken çerçeve manyetik alana dik ise

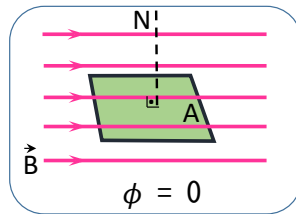
Çerçeve manyetik alan içinde döndürülerek yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı  $\theta$  yapılırsa yüzeyden geçen çizgi sayısı ve manyetik akı azalır.

2



Çerçeve yüzeyinin normali manyetik alanla  $\theta$  açısı yapmakta ise

Eğer çerçeve manyetik alana paralel konuma getirilirse yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı  $90^\circ$  olur. Bu durumda yüzeyden çizgi geçmeyeceği için manyetik akı sıfır olur.



İletken çerçeve manyetik alana paralel ise

Manyetik alandaki çerçevenin içindeki manyetik akı,

- Manyetik alan şiddeti
- Çerçevenin yüzey alanı ile doğru orantılıdır.

**3** B büyüklüğündeki manyetik alanda bulunan çerçevenin A büyüklüğündeki yüzeyinden geçen manyetik akının büyüklüğü aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\phi = B \cdot A \cos \theta$$

Manyetik akının birimi ise **weber** = (tesla) · (metre)<sup>2</sup> şeklindedir.

**4** Manyetik akı değişimi, bir çerçevenin hareket durumuna göre çerçeveden geçen son durumdaki manyetik akı değeri  $\phi_2$  ile ilk durumdaki manyetik akı değeri  $\phi_1$ 'in farkıdır. Buna göre manyetik akı değişimi aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1$$

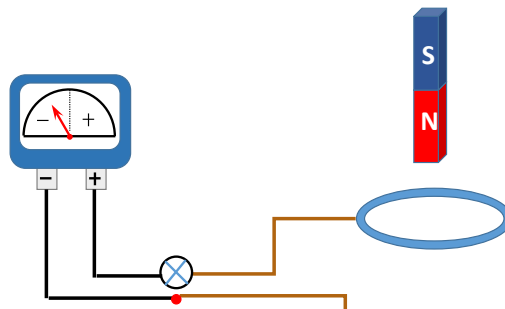
### İndüksiyon Elektromotor Kuvveti

**5** Elektriksel enerji sağlayan cihazlara **elektromotor kuvvet kaynağı** denir. Birim yükün devreyi bir defa dolanması için gerekli enerji **elektromotor kuvveti** olarak tanımlanır. Elektromotor kuvvet  $\varepsilon$  sembolü ile gösterilir ve birimi **volt**tur (V).

### İndüksiyon Akımı

**6** 1831 yılında Michael Faraday ve Joseph Henry tarafından gerçekleştirilen deneyler manyetik alanın şiddetini değiştirerek devrede bir elektromotor kuvvetin ve dolayısıyla bir akımın oluşturulabileceğini ortaya koymuştur. Manyetik alanın şiddetini değiştirmek aynı zamanda manyetik akıyı da değiştirdiğinden akı değişimi sağlanarak elektrik akımı oluşturulabilir.

**7** Mıknatıs halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında halka içindeki manyetik alan çizgi sayısı ve buna bağlı olarak manyetik akı değişir. Bu durumda lambanın ışık verdiği gözlenir. Halka içindeki manyetik akı değişimi halka üzerinde elektrik akımı oluşmasını sağlar. Akımın oluşması devrede bir elektromotor kuvvet oluştuğunun göstergesidir. Manyetik akı değişimi ile oluşan elektromotor kuvvete **indüksiyon elektromotor kuvveti**, oluşan akıma da **indüksiyon akımı** denir.



Manyetik akı değişimi ne kadar hızlı ise hem indüksiyon elektromotor kuvveti hem de indüksiyon akımı o kadar büyük olur. O hâlde indüksiyon elektromotor kuvveti ve indüksiyon akımı manyetik akı değişim hızıyla doğru orantılıdır.

Halkada  $\Delta t$  sürede,  $\Delta \phi$  büyüklüğünde manyetik akı değişimi varsa halkada oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\mathcal{E}_{\text{ind}} = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

8

Çok sayıda halkadan oluşan akım makarasında da indüksiyon elektromotor kuvveti oluşabilir. Bu durumda N sarımlı akım makarası için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\mathcal{E}_{\text{ind}} = - N \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Bağıntılarda yer alan (-) işareti, oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin kendisini oluşturan etkiye karşı koyacak yönde olduğunu gösterir. İndüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü hesaplanırken (-) işaretinin kullanılmasına gerek yoktur.

İndüksiyon akımının büyüklüğü bulunurken Ohm Yasası kullanılır.

9

$$\mathcal{E}_{\text{ind}} = i_{\text{ind}} \cdot R$$

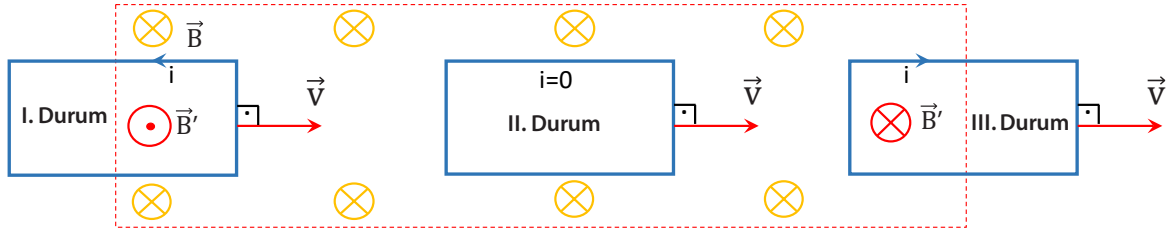


$$i_{\text{ind}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ind}}}{R}$$

Değişen manyetik akı sonucunda oluşan indüksiyon akımının yönü Lenz Yasası ile belirlenir. İndüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, indüksiyon akımını meydana getiren manyetik akı değişimine karşı koyacak yönde oluşur.

10

- Manyetik akı artarsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, manyetik akıyı azaltacak yönde oluşur.
- Manyetik akı azalırsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, manyetik akıyı arttıracak yönde oluşur.



Düzgün manyetik alanda  $\vec{v}$  hızıyla hareket ettirilen çerçeve

11

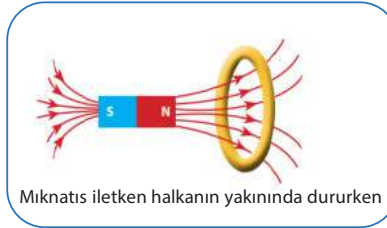
**I. Durum:** Çerçeve manyetik alana tamamen girene kadar çerçeveden geçen manyetik akı zamanla artar. Bu durumda çerçeve üzerinde, artan manyetik akının azalmasını sağlayacak şekilde indüksiyon akımı ve sayfa düzleminde içeriye doğru olan  $\vec{B}$  manyetik alanına karşı sayfa düzleminde dışarıya doğru bir  $\vec{B}'$  manyetik alanı oluşur. Sağ el kuralına göre zıt yönde bir manyetik alan oluşması için çerçeve üzerinden geçen akımın yönü I. durumdaki gibi olmalıdır.

**II. Durum:** Çerçevenin tamamı manyetik alan içinde hareketli iken çerçevedeki manyetik akı değişmez. Manyetik akı değişimi olmadığı için çerçeve üzerinde indüksiyon akımı oluşmaz.

**III. Durum:** Çerçeveden geçen manyetik akı, çerçeve manyetik alandan çıkmaya başladığı andan itibaren azalmaya başlar ve bu azalma çerçeve manyetik alanı tamamen terk edene kadar devam eder. Bu durumda çerçeve üzerinde, azalan manyetik akının artmasını sağlayacak şekilde indüksiyon akımı ve  $\vec{B}$  manyetik alanıyla aynı yönde bir  $\vec{B}'$  manyetik alan oluşur. Sağ el kuralına göre sayfa düzleminde içeriye doğru bir manyetik alan oluşması için çerçeve üzerinden geçen akımın yönü III. durumdaki gibi olmalıdır.

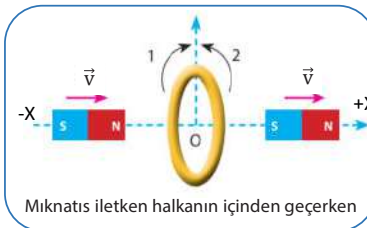
### Bir mıknatısın iletken halka üzerinde indüksiyon akımı oluşturması

Sayfa düzlemindeki çubuk mıknatısın önüne, sayfa düzlemine dik bir halka yerleştirildiğinde halka içinden manyetik akı geçer. Ancak manyetik akı değişimi olmadığı için halka üzerinde bir indüksiyon akımı oluşmaz.



12

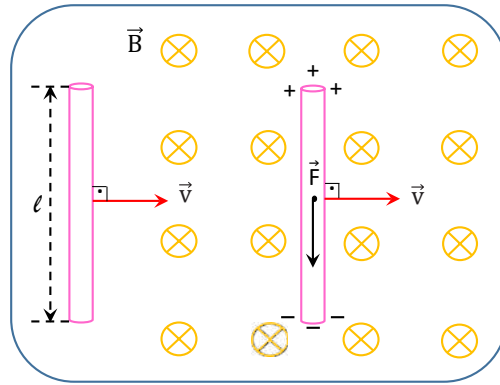
Mıknatıs, halkaya yaklaşırken manyetik akı artar. Halka üzerinde manyetik akıyı azaltacak şekilde indüksiyon akımı oluşur. Başlangıçta mıknatısın halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alan  $+x$  yönündedir. İndüksiyon akımını oluşturacak manyetik alan ise  $-x$  yönünde olmalıdır. Sağ el kuralı uygulandığında indüksiyon akımının 2 yönünde olduğu bulunur. Mıknatıs halkadan uzaklaşırken halkadan geçen manyetik akı azalır. Böylece indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur.



Düzgün manyetik alanda bulunan iletken telin hareket ettirilmesi ile tel üzerinde indüksiyon elektromotor kuvvetinin oluşması sağlanabilir.

13

Sayfa düzleminde bulunan  $\ell$  uzunluğundaki iletken tel, sayfa düzleminde içeri doğru olan düzgün  $\vec{B}$  manyetik alanına girmektedir. İletken tel ve hız vektörü birbirine dik olacak şekilde iletken tel  $\vec{v}$  hızıyla çekildiğinde içindeki serbest elektronlara alan içinde manyetik bir kuvvet etki eder. Sağ el kuralı uygulandığında elektronlara etkiyen manyetik kuvvetin yönünün aşağı doğru olduğu bulunur. Kuvvetin etkisiyle elektronlar iletkenin alt ucunda birikir ve iletkenin üst ucunda pozitif yük fazlalığı oluşur. Böylelikle iletkenin uçları arasında indüksiyon elektromotor kuvvet oluşur.

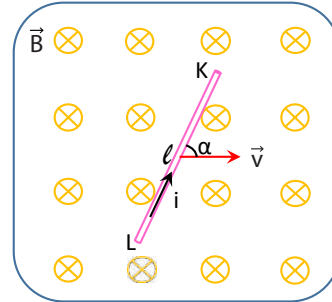


Düzgün manyetik alana dik giren iletken telde indüksiyon elektromotor kuvvetin oluşumu

**Düzgün manyetik alanda  $\vec{v}$  hızıyla hareket eden iletken telde indüksiyon elektromotor kuvvetin oluşumu**

Hareketli yüklere etki eden manyetik kuvvet,

- Manyetik alan şiddeti  $\vec{B}$
- İletken telin hızı  $\vec{v}$
- İletken telin uzunluğu  $\ell$  ile doğru orantılıdır.



14

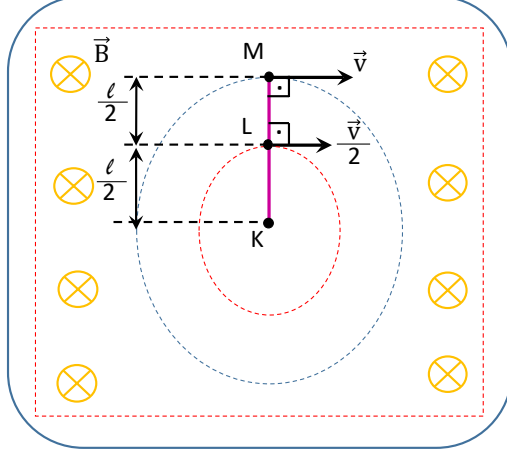
$\vec{B}$  manyetik alan içinde manyetik alana ve  $\vec{v}$  hız vektörüne dik olarak hareket ettirilen  $\ell$  uzunluğundaki iletken telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetini veren bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\mathcal{E} = B \cdot v \cdot \ell$$

Eğer iletken tel ve hız vektörü birbirine dik değilse hızın tele dik bileşeni kullanılır. Bu durumda indüksiyon elektromotor kuvvetini veren bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\mathcal{E} = B \cdot v \cdot \ell \cdot \sin \alpha$$

Uzunluğu  $\ell$  olan iletken tel, büyüklüğü  $B$  olan manyetik alan içindeki  $K$  noktası etrafında dönerken iletkenin uçları arasında indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Tel üzerindeki tüm noktaların çizgisel hızının büyüklüğü çubuğun her noktasında farklı olduğu için ortalama hız değeri kullanılır.



Düzenli manyetik alanda dönen iletken tel

15

İletken telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\mathcal{E} = B \cdot \frac{v}{2} \cdot \ell$$

**Akım makarasından geçen akımın değiştirilmesi ile özindüksiyon akımının oluşumu**

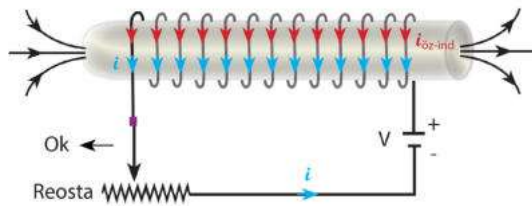
16

Bir akım makarasından akım geçirildiğinde makaranın merkez ekseninde sabit bir manyetik alan oluşur. Devreden geçen akımın değiştirilmesi ile manyetik alanın şiddeti de değişir ve akım makarasının içinde manyetik akı değişimi gerçekleşir. Devredeki akım değişiminin neden olduğu bu akıma özindüksiyon akımı denir.

**Akım makarasından geçen akımı arttıracak yönde oluşan özindüksiyon akımı**

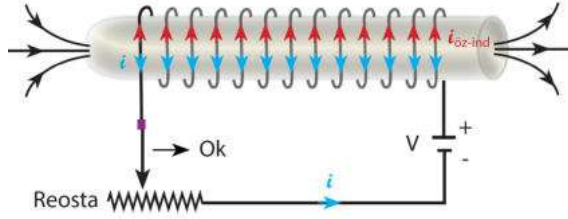
Reostanın sürgüsü şeklindeki gibi ok yönünde çekildiğinde devrenin direnci artar ve devreden geçen akımın şiddeti azalır. Akımın azalması manyetik alanın şiddetini de azaltır. Lenz Yasası'na göre azalan manyetik alanı artıracak yönde ikinci bir manyetik alan oluşmalıdır. Bu şekilde akım değişiminden dolayı meydana gelen manyetik akı değişimi devrede özindüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Sağ el kuralına göre  $\vec{B}$  ile aynı yönde manyetik alan oluşması için özindüksiyon akımı devredeki  $i$  akımını arttıracak yönde olmalıdır.

17



18

**Akım makarasından geçen akımı azaltacak yönde oluşan özindüksiyon akımı**  
 Reostanın sürgüsü şeklindeki gibi ok yönünde çekildiğinde devrenin direnci azalır ve devreden geçen  $i$  akımının şiddeti artar. Akımın artması manyetik alanının şiddetini de arttırır. Lenz Yasası'na göre artan manyetik alanı azaltacak yönde ikinci bir manyetik alan oluşmalıdır. Bu şekilde akım değişiminden dolayı meydana gelen manyetik akı değişimi devrede  $i$  akımını azaltacak yönde özindüksiyon akımının oluşmasına neden olur. **Özindüksiyon akımı bir devrede akım değişimi gerçekleştiği sürece oluşur.**



Elektrik yükleri hareketlendiğinde çevrelerinde elektrik alanlarla birlikte manyetik alanlar da oluşturur. Yüklü parçacıklara etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü elektrik alan şiddeti ve parçacıkların yük miktarına bağlı olarak değişir.

Elektriksel kuvvetin büyüklüğü  $F = q \cdot E$  olur.

19

- Yüklü parçacıklara etki eden elektriksel kuvvet, parçacığın hızının ve kinetik enerjilerinin değişmesine neden olur. Yüklü parçacıkların hareket ettiği manyetik alanla birlikte aynı ortamda elektrik alan da bulunabilir. Bu durumda yüklü parçacığa hem manyetik kuvvet hem de elektriksel kuvvet etki eder.
- Bir manyetik alanla birlikte ortamda elektrik alan bulunduğunda yüklü parçacığa etki eden net kuvvet elektriksel ve manyetik kuvvetin bileşkesi alınarak aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Bu bağıntı klasik fiziğin birçok alanındaki gelişmelere katkı sağlayan Hendrik Lorentz'in (Hendrik Lorents) anısına **Lorentz Kuvveti** olarak anılır.

20

İletken çubukların ve tellerin manyetik alan içinde hareketiyle veya değişen bir manyetik alan etkisiyle indüksiyon elektromotor kuvvetleri oluşur. Benzer şekilde değişen manyetik alan içindeki geniş metal şerit ve levhaların yüzeyinde de indüksiyon akımları oluşur. Bunlara **girdap akımları** denir.

İletkenin içinde sürekli dönen akım, kendi hareketlerine dik olarak Lorentz kuvvetine maruz kalan elektronlardan kaynaklanmaktadır. Girdap akımı, suda kürek çekerken oluşan küçük girdaplara benzetilebilir.

21

Girdap akımları bir iletken üzerinde dolanırken iletkenin sıcaklığını artırır. Bu özellik indüksiyon ocakları ve indüksiyon fırınlarında kullanılır. İndüksiyon ocağı el yakmaz.

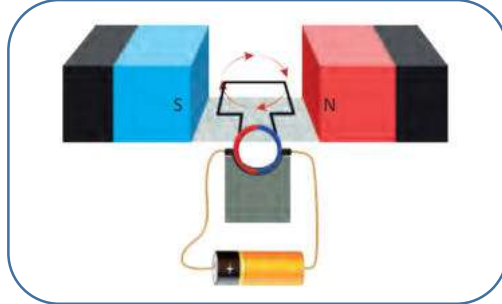


22

Lorentz kuvvetinin diğer uygulamalarına metal dedektörleri, metro trenlerinde kullanılan frenleme sistemleri, metal parayla çalışan otomatlar, malzemelerdeki kusurları tespit eden cihazlar ve parçacık hızlandırıcılar örnek olarak verilebilir.

**Elektrik Motoru:** Elektrik motorları elektromanyetizmanın temel ilkelerine göre çalışır. Basit bir elektrik motoru, üzerinden akım geçen çerçevenin dönebilecek şekilde manyetik alan içine yerleştirilmesiyle oluşturulur. Manyetik alan içinde akım geçen iletken çerçeve manyetik tork etkisiyle dönmeye başlar.

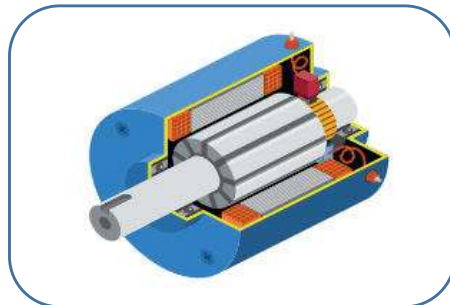
23



Basit bir elektrik motorunun yapılışı

**Dinamo:** Dinamolar hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmış düzeneklerdir. Manyetik alan içine yerleştirilen iletken çerçeve, alan içinde döndürüldüğünde çerçevenin içinde manyetik akı değişimi gerçekleşir. Değişen manyetik akı çerçeve üzerinde indüksiyon akımı oluşmasına neden olur. Bu şekilde mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür. Hidroelektrik santralleri, termik santraller, nükleer enerji santralleri ve rüzgâr enerjisi santrallerinde hareket enerjisi aynı prensiple elektrik enerjisine dönüştürülür.

24



Dinamo

## Doğru Akım ve Alternatif Akım arasındaki Farklar

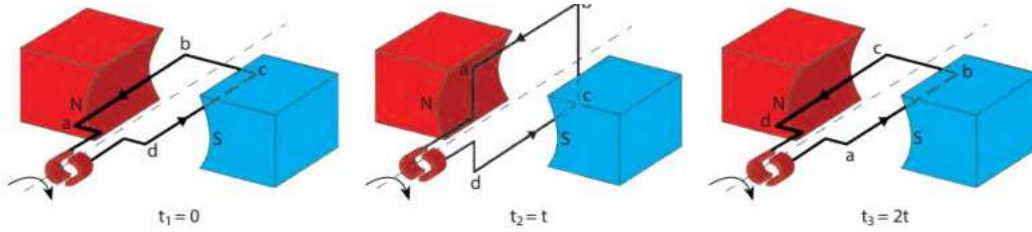
### Doğru Akım

25

- Yönü ve şiddeti değişmeyen akıma doğru akım denir.
- Kaynağın gerilimi değiştirilerek akım şiddeti değiştirilebilir.
- Doğru akım; telekomünikasyonda, sinyal sistemlerinde elektronik cihazlarda, maden arıtma ve kaplamacılıkta (elektroliz), tren, metro, tramvay gibi elektrikli taşıtlarda ve elektrik motorlarında kullanılabilir.

### Alternatif Akım

- Zamanla yönü ve şiddeti değişen akıma alternatif akım denir.
- Alternatif akım iş ve ev ortamlarında aydınlatma, ısıtma ve soğutmada, ayrıca elektrik motorları gibi elektronik cihazlarda kullanılır.



26

Alternatif akım, iletken abcd çerçevesinin içindeki manyetik akı değişimi ile indüksiyon akımı elde edilmesine dayanır. Alternatif akım üretmeye yarayan araçlara **alternatör** denir. Bir alternatör, yapısındaki mıknatısların oluşturduğu manyetik alan içinde bulunan çerçevenin dönmesiyle mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.

Alternatif akımın bir dirençte belirli bir sürede sağladığı ısı miktarı, aynı dirençte ve aynı sürede doğru akımla da elde edilebilir. Bu enerjiyi sağlayan doğru akım geriliminin büyüklüğüne ve akım şiddetine, **alternatif gerilimin** ve **alternatif akımın etkin değeri** denir.

27

Alternatif akım devrelerinde kullanılan ampermetre ve voltmeterin ölçtüğü değerler akım ve gerilimin etkin değerleridir. Etkin değerlerin kullanılması, alternatif akım değerlerinin doğru akım cinsinden ifade edilmesinde kolaylık sağlar. Yapılan deneyler ve hesaplamalar akım ve gerilimin etkin değerlerinin maksimum değerlerinden daha küçük olduğunu göstermiştir.

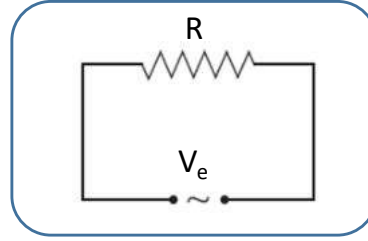
28

**Alternatif Akım Devrelerinde Direnç:**

Şekildeki gibi R direnci alternatif akım devresine bağlanırsa direnç yine Ohm Yasası'nda olduğu gibi akıma karşı gösterilen zorluğu ifade eder. Alternatif akım devrelerinde akıma gösterdiği zorluk sebebiyle sadece ısı kayıpları ile etki gösteren dirence **ohmik direnç** denir.

Alternatif akıma bağlı R direncinin gücü hesaplanırken akım ve gerilimin etkin değerleri kullanılır. Akımın etkin değeri  $i_e$  ise R direncinin gücü aşağıdaki gibi bulunur.

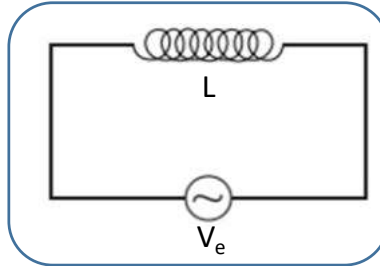
$$P = i_e^2 \cdot R$$



Alternatif akım üreticine bağlanmış direnç

29

Alternatif akım devresine bağlı bobin, merkezinde oluşan manyetik alanda elektrik enerjisini depo eder ve depoladığı enerjiyi tekrar devreye verir. Bu nedenle bobinin ohmik direnci ihmal edilirse alternatif akım devresinde enerji harcanmaz. Bobinin geometrik özelliklerine, ortama ve diğer fiziksel karakteristiklerine bağlı olan büyüklüğe **indüktans** denir. İndüktans L sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **Henry'dir (H)**. İndüktans, bobinin depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür.



Alternatif akım üreticine bağlanmış bobin

Alternatif akım devresinde bobinin yapıldığı iletkenin dolaylı olarak sahip olduğu ohmik direncinin dışında özindüksiyon akımı nedeniyle devre akımına gösterdiği zorluğa **indüktif reaktans** denir. İndüktif reaktans  $X_L$  sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **ohmdur ( $\Omega$ )**.

İndüktif reaktans, alternatif akımın frekansı ile birlikte bobinin fiziksel özelliklerine ve ortama bağlıdır.

30

Sığacın yük depolayabilme kapasitesine **kapasitans** denir. Kapasitans C sembolü ile gösterilir ve birimi **Farad'dır (F)**. Kapasitans, aynı gerilim altında sığacın depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür. Alternatif akım devresindeki sığaçta doğru akımdaki yüklenmenin iki yönlü gerçekleştiği gözlenir.

Alternatif akım devrelerinde sığacın akıma karşı gösterdiği zorluğa **kapasitif reaktans** denir. Kapasitif reaktans  $X_C$  sembolü ile gösterilir ve birimi **ohmdur ( $\Omega$ )**. Kapasitif reaktans alternatif akımın frekansı, sığacın fiziksel özellikleri ve levhalar arasındaki yalıtım malzemesine bağlı olarak değişir.

## Alternatif Akım Devrelerinde Empedans

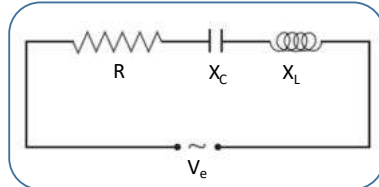
**31** Birden fazla devre elemanının kullanıldığı alternatif akım devrelerinde devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eş değerine **empedans** denir.

Empedans **Z** sembolü ile gösterilir ve birimi **ohmdur** ( $\Omega$ ).

### Rezonans Durumu

Direnç, sığaç ve bobinin seri bağlanmasıyla alternatif akım devresi oluşturulmuştur. Her devre elemanının bir direnci vardır. Sığacın kapasitif reaktansı ve bobinin indüktif reaktansı alternatif akım frekansına bağlı olarak değişir. Belli bir frekans değerinde sığacın kapasitif reaktansı ile bobinin indüktif reaktansı birbirine eşitlendiğinde **rezonans** durumu oluşur.

**32**



Alternatif akım kaynağına bağlanmış direnç, sığaç ve bobinden oluşan devre

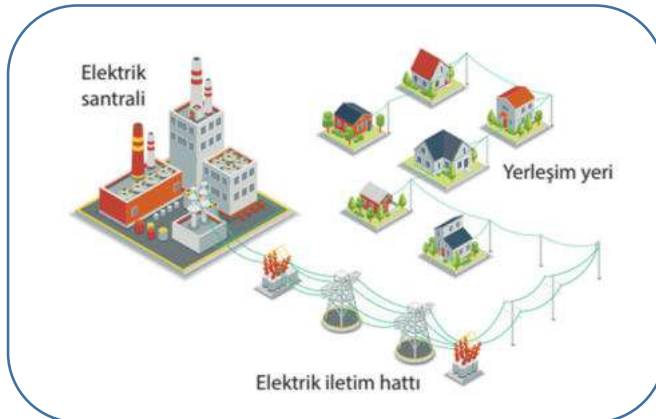
Bu durumda devrenin empedansı en küçük değeri aldığından akım en büyük değerini alır. Bunu sağlayan frekans değerine de **rezonans frekansı** denir.

Elektrik akımının uzak mesafelere taşınması sırasında iletim hattının direnci yüzünden oluşan ısı kayıplarını en aza indirmek için yüksek gerilime sahip alternatif akım tercih edilir. Elektrik akımı yerleşim yerlerine veya iş yerlerine ulaştığında gerilim düşürülerek kullanılabilir seviyeye getirilir. Elektrik santralinde elde edilen gerilim  $V$ , akım şiddeti  $i$  ise iletim hattına sağlanan güç aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

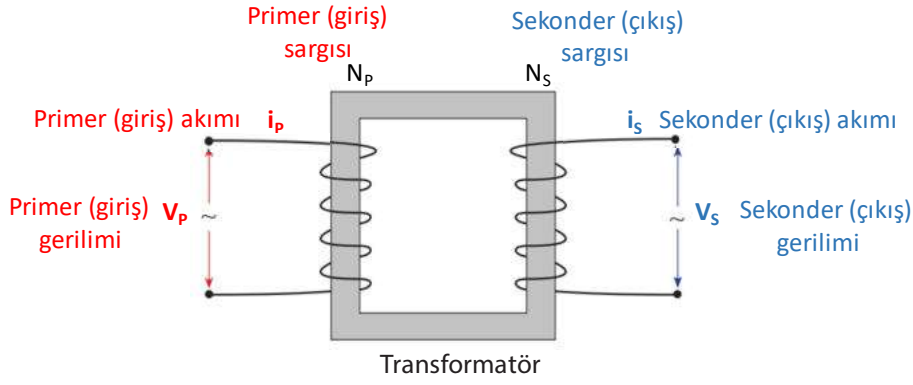
$$P_{\text{verilen}} = V \cdot i$$

Gerilim arttırıldığında güç kaybını azaltmak için akım azaltılır.

**33**



Santralde üretilen elektriğin yerleşim yerlerine aktarımı



İdeal bir transformatörün ana bileşenleri iki bobindir. Bobinler birbirinden yalıtılmıştır. Ancak ikisi de aynı demir çekirdek üzerindedir. Bobinlerden birisi alternatif akım kaynağına bağlanır. Alternatif akım kaynağına bağlanan bobine **primer bobin**, diğer bobine ise **sekonder bobin** denir. Alternatif akımla primer bobinde oluşan değişken manyetik akı, demir çekirdek aracılığıyla sekonder bobine taşınır. Bu da sekonder bobinde bir indüksiyon elektromotor kuvveti oluşmasını sağlayacaktır.

Sarım sayıları  $N_p > N_s$  ise gerilimi alçaltan transformatördür ve çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olur.

Sarım sayıları  $N_p < N_s$  ise gerilimi yükselten transformatördür ve çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olur.

Güç kayıpları ihmal edilen transformatör, ideal bir transformatördür ve verimi %100'dür. Bu durumda giriş gücü ile çıkış gücü eşit olur.

Primer ve sekonder gerilimleri  $V_p$  ve  $V_s$ , primer ve sekonder akımları  $i_p$  ve  $i_s$  ise:

$$\text{Giriş gücü} \longrightarrow P_p = V_p \cdot i_p$$

$$\text{Çıkış gücü} \longrightarrow P_s = V_s \cdot i_s$$

$$P_p = P_s$$

$$V_p \cdot i_p = V_s \cdot i_s \text{ olur.}$$

- Verim, çıkışta alınan gücün girişte verilen güce oranını ifade eder.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan (sekonderde) güç}}{\text{Verilen (primerde) güç}}$$

- $P_{\text{giriş}} > P_{\text{çıkış}}$  olan transformatörler, ideal olmayan transformatörlerdir.