

Genel Fizik 1 ve 2 Ders Notları

Yrd.Doç.Dr. İlker Can Çelik

Kaynaklar

- * * * Sears & Zemansky'nin Üniversite Fiziği (Hugh D. Young, Roger A. Freedman)
- ** Fen ve Mühendislik için Fizik (Raymond Serway & Robert Beichner)
 - * Fiziğin Temelleri (Halliday & Resnick)
 - Temel Fizik (Fishbane, Gasiorowicz, Thornton)
 - Üniversiteler için Fizik (Bekir Karaoğlu)
 - Genel Fizik-I (Newtoncu Kuvvet ve Hareket Teorisi)

Harran Üniversitesi (Türkiye)

27 Eylül, 2016

Derse Giriş ve Motivasyon

- ▷ Genel Fizik-1 (2007101 kodlu) 4 saat teori ve 2 saat laboratuvar (2007102 kodlu) dersinden oluşmaktadır.
- ▷ Fizik nedir ve amacı nedir?

▷ Fizik nedir videosu için tıklayınız.

▷ Bir ceviz kabuğundaki evren videosu için tıklayınız.

Konu İçeriği

1 Mekanik

- Birimler
- Vektörler
- Doğrusal Hareket
- İki ve Üç Boyutta Hareket
- Newton Hareket Yasaları
- İş ve Enerji
- Potansiyel Enerji ve Enerjinin Korunumu
- Momentum, İmpuls ve Çarpışmalar
- Katı Cisimlerin Dönme Hareketi
- Dönme Hareketi Dinamiği

Konu İçeriği

1971 yılında düzenlenen 14. Ağırlık ve Ölçme Genel Konferansı sonucu 7 temel nicelik seçilmiştir. Bu niceliklerin isimleri sırasıyla uzunluk, kütle, zaman, elektrik akımı, termodinamik sıcaklık, madde miktarı ölçüsü ve ışık şiddetidir.

- 1 **Uzunluk:** Metre, m: Işık tarafında vakumda saniyenin $\frac{1}{299792458}$ oranında katettiği yolun uzunluğuna 1 metre denir. Bu ışık hızının tam olarak 299792458 m/s olmasından ileri gelir.
- 2 **Kütle:** Kilogram, kg: Kütlenin birimidir ve uluslararası kilogram ölçüsünün prototipine eşittir. Bu platin-iridyum silindir prototip daima tam olarak 1 kg'dir.

► Kaynak için tıklayınız.

- ❶ **Zaman:** Saniye, s: ^{133}Cs atomunun çok ince enerji düzeylerindeki geçişe tekabül eden radyasyonun 9192631770 periyodunun geçmesi için geçen süreye saniye denir. Bu geçişler tam olarak 9192631770 Hz frekansta olmaktadır.
- ❷ **Elektrik Akımı:** Amper, A: Sonsuz uzunluktaki ve vakumda 1 metre aralıkla yerleştirilmiş iki paralel düz iletkenin geçen akımın 2×10^{-7} Newton/m miktarında oluşturduğu sabit akıma Amper denir. Bu ifade manyetik sabit olan μ_0 (boşluk geçirgenlik katsayısı) $4\pi \times 10^{-7}$ H/m olduğunda kabul eder.

► Kaynak için tıklayınız.

- ❶ **Termodinamik Sıcaklık:** Kelvin, K: Suyun üç halinde bulunduğu noktadaki termodinamik sıcaklığın $\frac{1}{273.16}$ kesrine kelvin denir.
- ❷ **Madde Miktarı:** Mol, mol:
 - 1.) 1 mol, 12 gram ^{12}C atomunun içereceği kadar temel tanecik içeren maddenin ölçüsüdür.
 - 2.) Mol kavramı kullanıldığı zaman temel taneciğin türü açıkça belirtilmelidir. Bunlar atom, molekül, iyon, veya elektronlar olabilir. Bu karbon 12'nin mol kütlelerinin 12 g/mol olması demektir.

► Kaynak için tıklayınız.

- ❶ **Işık Şiddeti:** Kandela, cd: Tek tip ışık yayan, frekansı 540×10^{12} olan ve bu yöndeki ışınım şiddeti $\frac{1}{683}$ watt/steradian ışık şiddetinin verilen bir doğrultudaki ölçüsüne Kandela denir.

Birim İsmi	Birim Sembolü	Nicelik İsmi
metre	m	uzunluk
kilogram	kg	kütle
saniye	s	zaman
amper	A	elektrik akımı
kelvin	K	termodinamik sıcaklık
mol	mol	madde miktarı
Kandela	cd	ışık şiddeti

Table: SI birim sistemindeki temel nicelikler ve temel miktarlar.

► Kaynak için tıklayınız.

Faktör	İsim (ing.)	Sembol	Faktör	İsim(ing.)	Sembol
10^1	deka(deca)	da	10^{-1}	desi(deci)	d
10^2	hekto(hecto)	h	10^{-2}	santi(centi)	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili(milli)	m
10^6	mega	M	10^{-6}	mikro(micro)	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	piko(pico)	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	eksa(exa)	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Table: SI sisteminde kullanılan örnekler.

► Kaynak için tıklayınız.

Türetilen Nicelik	Sembol	Tanımlama
hacim	V	m^3
hız	v	m/s
ivme	a	m/s^2
akım yoğunluğu	j	A/m^2
katı açı	sr (steradian)	$m^2/m^2 = 1$
frekans	Hz (hertz)	s^{-1}
kuvvet	N (Newton)	$mkgs^{-2}$
basınç	Pa (pascal)	$N/m^2 = m^{-1}kgs^{-2}$
enerji	J (joule)	$Nm = m^2kgs^{-2}$
güç	W (watt)	$J/s = m^2kgs^{-3}$
elektrik yükü	C (coulomb)	A.s
aktivite	Bq (becquerel)	parçacık/s

Table: SI sistemindeki türetilmiş birimler ve özel isimleri.

► Kaynak için tıklayınız.

Anlamli sayılar: 0.07 veya 0.00004 gibi ondalık sayılarda, rakamlardan önce gelen sayılar anlamlı değildir. Sıfırlar 1500 gram daki gibi rakamdan sonra geldiğinde ise tam olarak anlamlı değildir. Bunun yerine kütleyi 1.5×10^3 gibi iki anlamlı rakamla veya 1.50×10^3 gibi üç anlamlı rakamla ifade ederiz. Genelde bir **anlamlı rakam** güvenilirliği bilinen basamaktır (ondalık kısmı belirlerken kullanılan ve rakamdan önce gelen sıfır hariç).

Çarpma ve Bölme: Sonuç en az basamak sayısından fazla olamaz.

Örnek: $\frac{0.745 \times 2.2}{3.885} = 0.42$

Örnek: $1.32578 \times 10^7 \times 4.11 \times 10^{-3} = 5.45 \times 10^4$

Toplama veya çıkarma: Sonuç en fazla belirsizliğe sahip sayıya göre belirlenir. (yani, ondalık kısımdaki en az basamağa sahip sayı)

Örnek: $27.153 + 138.2 - 11.74 = 153.6$

Yuvarlama: Yuvarlama yapılırken, sonuç istenen anlamlı rakam sayısına göre yuvarlanır.

$\frac{525}{311} = 1.688102894$ iken yuvarlandıktan sonra ≈ 1.69 olur.

Örnek: Veya durgun elektronun enerjisi

$$E = mc^2 = (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times (2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 8.187659678 \times 10^{-14} \text{ joule} \approx 8.19 \times 10^{-14} \text{ joule}$$

ÖDEVLER:

- ▷ Fiziğin doğuşu ve en ünlü fizikçilerin hayatlarını 1 sayfa olacak şekilde araştırınız.
- ▷ İlk ve son 10 yılın NOBEL FİZİK ÖDÜLLERİNİ ve varsa ilgili videoları araştırınız.
- ▷ Fizikte yapılacak olan ölçümlerdeki hataların nasıl yazıldığını, istatistik ve sistematik hatanın ne olduğunu, standart sapma (σ), ortalama değer $\bar{x}$, ortak-değişken ($covariance = cov(x, y)$), değişiklik/tutarsızlık ($var(x)$) kavramlarının tanımını araştırınız.
- ▷ Kartezyen ve küresel koordinat sistemlerini araştırıp, her iki koordinat sisteminin birbirlerine dönüşümlerine ve x, y, z koordiantlarının nasıl bulunduğuna bakınız.

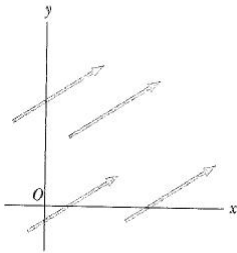


Bu bölümün son slaytıdır.

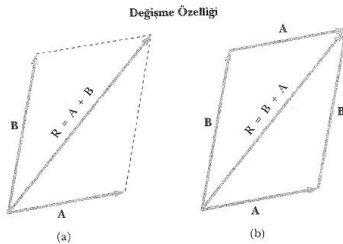
Herhangi bir sorunuz var mı?

Fizikte hem sayısal büyüklüğü hemde yönü ve doğrultuyu belirtmek için özel bir matematik diline ihtiyaç duyulur. Bu kavram vektörlerle ifade edilir. Sadece büyüklüğün anlatımında yeterli olduğu niceliklere **skaler nicelik** denir. Örneğin, sıcaklık, enerji, kütle, basınç ve zaman böyle niceliklerdir. Ne zamanki bu durum yeterli olmaz ve ek bilgi olarak yön ve doğrultuyada ihtiyaç duyulur, işte o zaman **vektörel nicelikler** kullanılır. En basit örnekler yerdeğiştirme, hız ve ivme kavramlarıdır. Vektörlere has bazı kurallar:

- ➊ Vektörlerde Eşitlik
- ➋ Vektörlerde Toplama
- ➌ Yer değiştirme Kuralı
- ➍ Birleştirme Kuralı
- ➎ Bir Vektörün Tersİ

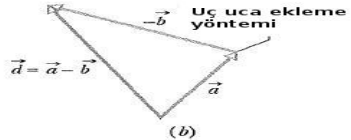
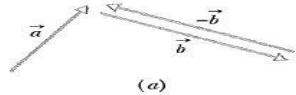
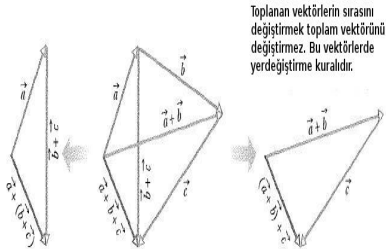


(a) Eşit vektörler(Serway Figure 3.5)



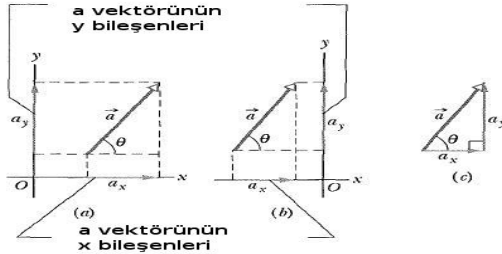
(b) Vektörlerde Toplama(Serway Figure 3.9)

- 1 Yönü, büyüklüğü ve doğrultusu aynı olan vektörlere **eşit vektörler** denir.
- 2 Paralel kenar veya uç uca ekleme yöntemiyle toplanan vektörlerde, vektörlerin toplam işleminde yer değiştirmesi toplamı etkilemez. Buna **toplamada yer değiştirme özelliği** denir.

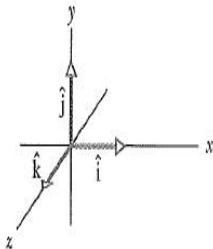


(c) Birleştirme Kuralı (Halliday Fig. 3.4) (d) Vektörlerde Çıkarma (Halliday Fig. 3.6)

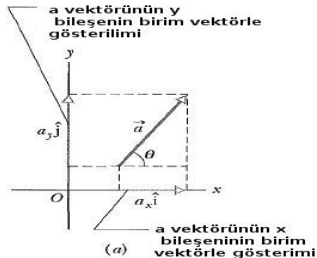
- ❶ İlk figürdeki gibi $\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$ ifadelerinde birleşme kuralı olduğu toplam vektörün sabit kalmasıyla görülmektedir.
- ❷ İkinci figürde ise sadece yönü ters çevirilen $\vec{b}$ vektörü $\vec{a}$ vektörünün sonuna eklenerek yeni bir $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$ vektörü elde edilmiştir.



- 1 (a) Vektörün herhangi bir bileşeni bulunduğu eksenlere olan izdüşümüdür. Buradaki $\vec{a}_x$ ve $\vec{a}_y$ bileşenleride $\vec{a}$ vektörünün x ve y eksenlerindeki bileşenleridir.
- 2 (b) Bu $\vec{a}$ vektörünü yönü ve doğrultusu değişmeden kaydırırsak, vektörün bileşenlerinin büyüklüğü değişmez.
- 3 (c) $a_x = a \cos(\theta)$ ve $a_y = a \sin(\theta)$ bileşenlerin büyüklüklerini verirken, $\tan(\theta) = \frac{a_y}{a_x}$ bize $\vec{a}$ vektörünün yönünü verir.



(e) Birim vektör-ler(Halliday Fig 3.13)



(f) Vektör Bileşenleri(Halliday Fig 3.14a)

Bir birim vektör, bir yönü olan ve büyüklüğü tam 1 olan bir vektördür. Tek görevi yön belirlemek olan bu vektörler x,y ve z eksenlerine göre sırasıyla $\hat{i}$, $\hat{j}$ ve $\hat{k}$ ile gösterilir. Buradaki a vektörü $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j}$ şeklinde gösterilir.

Vektörlerde Skaler Çarpım

- 1 Eğer bir $\vec{a}$ vektörü bir skaler nicelikle çarpılırsa, sadece büyüklüğü çarpılan nicelik ölçüsünde değişir. Örneğin, $\vec{a} = 3\vec{i} + 4\vec{j} + 5\vec{k}$ için $4\vec{a} = 12\vec{i} + 16\vec{j} + 20\vec{k}$ 'dir.
- 2 $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ gibi iki vektörün skaler çarpımı $\vec{a}\vec{b} = a(b \cos \theta) = (a \cos \theta)b$ şeklinde gösterilir. Sonuç aynı olmakla birlikte, tek fark ya $\vec{a}$ 'nın $\vec{b}$ yönündeki izdüşümü yada tam tersi iki büyüklük birbiriyle çarpılmıştır.
- 3 Skaler çarpımda yer değiştirme kuralı geçerlidir. Yani $\vec{a}\vec{b} = \vec{b}\vec{a}$ yazılabilir.
- 4 Eğer iki vektör birbiriyle çarpılırsa:

$$\vec{a}\vec{b} = (a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k})(b_x\vec{i} + b_y\vec{j} + b_z\vec{k}) = a_xb_x + a_yb_y + a_zb_z$$

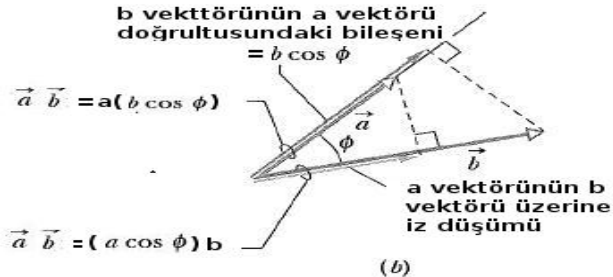
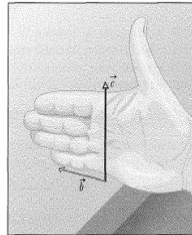
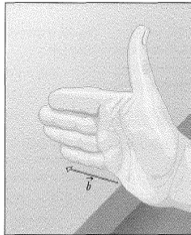
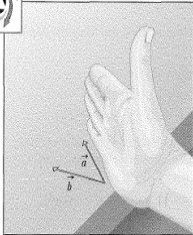


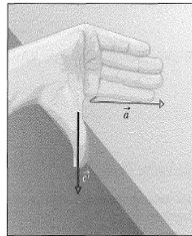
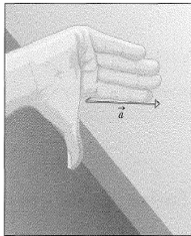
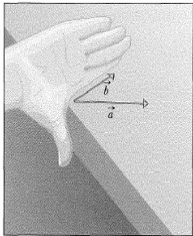
Figure: 3.18 (Halliday)Vektörlerin Skaler Çarpımı

Vektörlerde Vektörel Çarpım

- 1 $\vec{a} \times \vec{b} = ab \sin \theta$ iki vektörün vektörel çarpımının büyüklüğünü verir. Yönü ise aşağıdaki figürde sağ el kuralı ile gösterilmiştir.



(a)



(b)

Figure: 3.19 (Halliday) Vektörlerin vektörel çarpımında sağ el kuralı

- ❶ Görüldüğü gibi figür 3-19, vektörel çarpımda yönün önemini göstermektedir. Yani $\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$ olmalıdır.
- ❷ $\vec{i} \times \vec{i} = 1.1 \cdot \sin 0 = 1.1 \cdot 0 = 0$, $\vec{j} \times \vec{j} = 0$, $\vec{k} \times \vec{k} = 0$, $\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}$, $\vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k}$ gibi temel vektörel çarpımlar çok iyi bilinmelidir.
- ❸ Eğer $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ vektörel olarak çarpılırsa:

$$\begin{aligned}
 \vec{a} \times \vec{b} &= (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) \times (b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k}) \\
 &= a_x b_x (\vec{i} \times \vec{i}) + a_x b_y (\vec{i} \times \vec{j}) + a_x b_z (\vec{i} \times \vec{k}) \\
 &\quad + a_y b_x (\vec{j} \times \vec{i}) + a_y b_y (\vec{j} \times \vec{j}) + a_y b_z (\vec{j} \times \vec{k}) \\
 &\quad + a_z b_x (\vec{k} \times \vec{i}) + a_z b_y (\vec{k} \times \vec{j}) + a_z b_z (\vec{k} \times \vec{k}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

- 1 Vektörel çarpımın diğer bir hesaplama yöntemi ise determinant yöntemidir.

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} \quad (2)$$

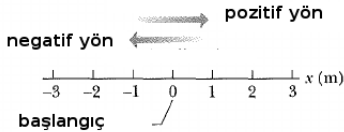
- 2 Yukarıdaki determinant bize
- $$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{i}a_yb_z + a_xb_y\vec{k} + b_x\vec{j}a_z - [\vec{k}a_yb_x + a_zb_y\vec{i} + b_z\vec{j}a_x] \text{ veya}$$
- $$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{i}(a_yb_z - a_zb_y) + \vec{j}(a_zb_x - a_xb_z) + \vec{k}(a_xb_y - a_yb_x)$$
- eşitliğini verecektir.



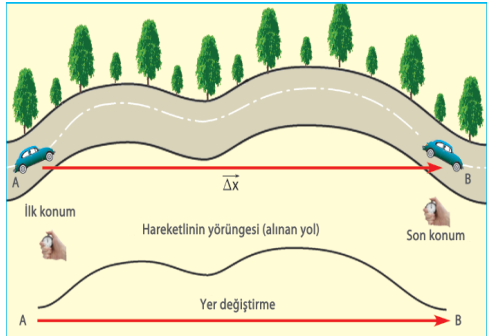
Bu bölümün son slaytıdır.

Herhangi bir sorunuz var mı?

Fiziğin amaçlarından biri, cisimlerin hangi hızda hareket ettiğini ve ne kadar yol aldıklarını incelemektir. Bu nedenle bazı kavramlar tanımlanmıştır. Bunlardan biri olan **konum** bir cismin o anda bulunduğu yerdir. Örneğin bir paçacığın konumu $x = 3$ m veya $x = -2$ m olabilir.



Bu çizim bize x eksenı boyunca yer değıştirme yapan bir cismin hareketini tanımlamakta yardımcı olur.





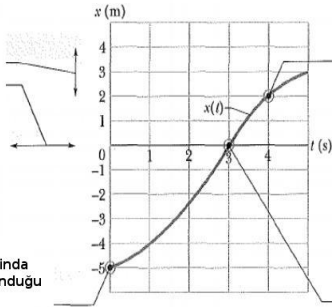
- 1 **Tek boyutta doğrusal hareket**, herhangi bir cismin tek bir eksen üzerinde yaptığı harekettir. Bu eksen yatay, düşey veya eğimli olabilir ama doğrusal olmalıdır.
- 2 Cismin x_1 konumundan x_2 konumuna yaptığı değişikliğe onun Δx **yer değiştirmesi** denir.

Bunu şöyle yazarız: $\Delta x = x_2 - x_1$

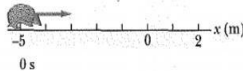
- 3 Cismin ne kadar hızlı gittini ortalama hız kavramıyla gösterebiliriz. **Ortalama hız**, belirli bir Δt zaman aralığında gerçekleşen Δx yer değiştirmesinin bu zaman aralığına oranıdır.

$$v_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

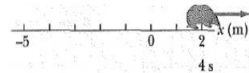
Hareketli cisim için
yol-zaman grafiğini
göstermektedir.



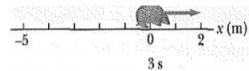
$x = -5\text{m}$ ve $t = 0$ anında
hareketlinin bulunduğu
nokta



$x = 2\text{m}$ ve $t = 4\text{s}$ ' de hareketli
bu noktadır.

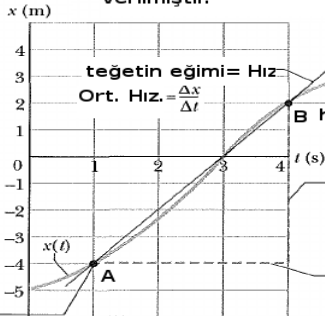


$x = 0\text{m}$ ve $t = 3\text{s}$ 'de hareketli
bu noktadır.



Bu grafikte ϑ_{ort} , $x(t)$ eğrisinin üzerindeki belirli iki noktayı birleştiren doğrunun **eğimidir**: bu noktalardan biri x_2 ve t_2 diğeri ise x_1 ve t_1 'e karşılık gelir. Yerdeğiştirme gibi ϑ_{ort} 'nında hem büyüklüğü hemde yönü vardır.

Burada hareketlinin yol-zaman grafiği verilmiştir.



A noktasından B noktasına giden bir hareketlinin ortalama hızını bulmak için iki noktayı birleştiren doğrunun eğimine bakılmalıdır.

hareketin başlangıcı

B hareketin bitiş anı

y eksenindeki A-B arası mesafe yer değiştirmedir.

$$\Delta x = 2 \text{ m} - (-4 \text{ m}) = 6 \text{ m}$$

x ekseninde kat edilen miktar ise hareketin toplam süresini verir.

$$\Delta t = 4 \text{ s} - 1 \text{ s} = 3 \text{ s}$$

- 1 Karıştırılmaması gereken kavramlardan biriside **ortalama sürattir**. Ortalama sürat yönden bağımsız olarak kat edilen birim zamandaki toplam mesafe ile ilgilidir.

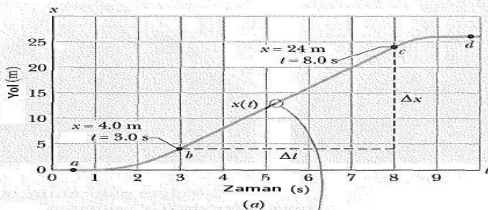
$$S_{ort} = \frac{\text{Toplam mesafe}}{\Delta t}$$

- ❶ Herhangi bir andaki hız (v)(**anlık hız**), ortalama hızın Δt sifıra yaklaşırken aldığı limit değerdir.

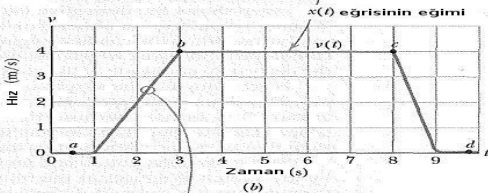
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

- ❷ **Sürat** terimi ise hızın büyüklüğüdür, yani yönden bağımsızdır.
- ❸ Bir parçacığın **ortalama ivmesi**, parçacığın hızındaki değişimin, bu değişimin olduğu Δt zaman aralığına oranıdır.
- ❹ **Ani ivme** ise hızın zamana göre türevidir. Ortalama ivme ve ani ivme ifadeleri sırasıyla şöyle verilmektedir:

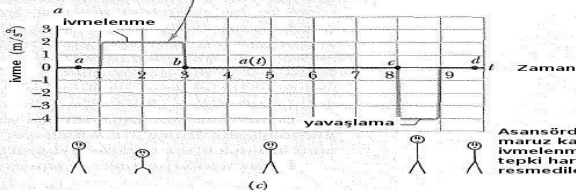
$$a_{ort} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v}{t} \qquad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2}$$



Yol-zaman grafiğinde eğim bize hız-zaman grafiğindeki hız değerlerini verecektir.



Hız-zaman grafiğinde eğim bize ivme-zaman grafiğindeki ivme değerlerini verecektir.



Asansördeki bir kişinin maruz kalacağı kuvvet veya ivmelenme etkisine verdiği tepki hareketi bu şekilde resmedilebilir.

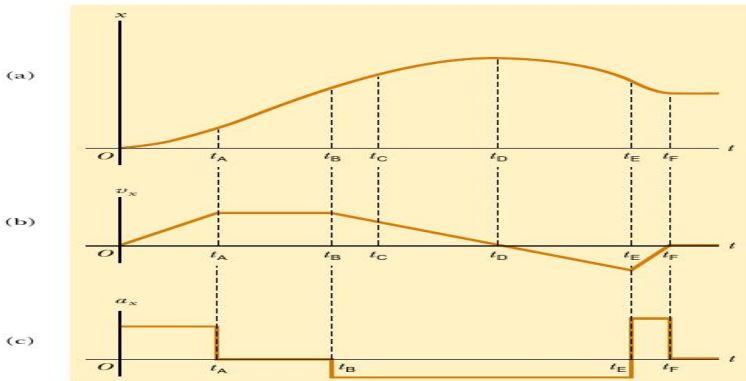


Figure: 2.7 (Serway) Herhangi bir noktadaki hız, $x-t$ grafiğinde o andaki teğetin eğimiyle verilir. Herhangi bir andaki ivme ise o noktadaki $v-t$ grafiğinin eğimi ile verilir. Eğer parçacığın hızı ve ivmesinin yönleri aynıysa; parçacığın hızı artarken, zıtken hız azalır.

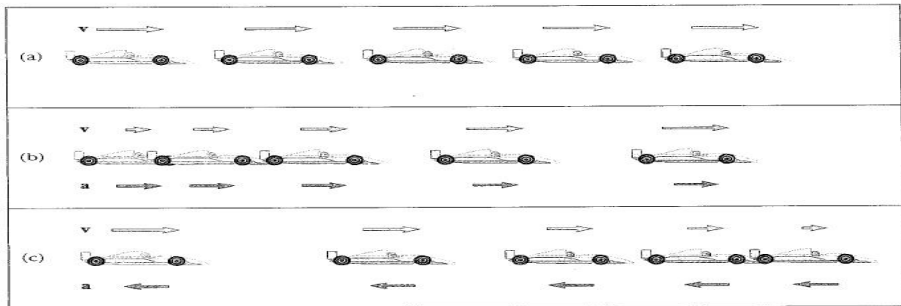


Figure: 2.7(Serway) (a) Arabalar arasında eşit aralıklar vardır. Eşit zamanda eşit yollar alan bu araç sabit pozitif hızla ivmesiz hareket eder. (b) Zamanla arabalar arası mesafe açılmakta yani araba hızlanmaktadır. Araba pozitif hız ve ivmeyle hareket edecektir. (c) Yavaşlayan arabalar arası mesafe azalmaktadır. Bu durumda sağa doğru negatif bir ivme mevcutturki hız ve ivmenin işaretleri zıt yönlüdür.

Denklem	Tanım
$\bar{v}_{ortalama} = \frac{v_s + v_o}{2}$	sabit ivmeli cismin ortalama hızı.
$v_s = v_o + at$	sabit ivmeden yararlanarak son hızı bulma
$\bar{v}_{ortalama} = v_o + \frac{1}{2}at$	sabit ivmeyle ortalama hızı bulma
$x_s - x_o = v_o t + \frac{1}{2}at^2$	sabit ivmeden yararlanarak yer değiştirmeyi bulma
$v_s^2 = v_o^2 + 2a(x - x_o)$	ivme ve yer değiştirmeden yararlanarak son hızı bulma
$x_s - x_o = \frac{1}{2}(v_o + v)t$	yer değiştirme
$x_s - x_o = v t - \frac{1}{2}at^2$	sabit ivme ve son hızdan yararlanarak yer değiştirmeyi bulma

Table: Sabit ivmeli cisimlerin hareket denklemleri

Soru çözümlerinde uygulanması gereken method, çıkarımların en temel formüllerden türetilip, bilinmeyen parametreleri bilinenler yardımıyla bulmak olmalıdır. Hareketin sabit ivmeli olma şartı aranmalıdır.

Serbest Düşme: Eğer aşağıya veya yukarıya bir cisim fırlatıp havanın etkilerini yok ederseniz, cismin aşağı doğru sabit bir ivmeyle hareket ettiğini görürsünüz. **Serbest düşme ivmesi** olarak adlandırılan bu ivme **g** ile gösterilip büyüklüğü $9.8m/s^2$ 'dir.

- 1 Bu hareketlerde yön y eksenini boyunca olup pozitif yön yukarı doğrudur.
- 2 Serbest düşme ivmesi negatif olduğundan denklemlerde $a=-g=9.8m/s^2$ alınır, fakat büyüklük $g=9.8m/s^2$ 'dir.
- 3 Yukarıya doğru atılan cisimde pozitif hız azalır ve zirvede sıfır olur. İnişe geçtiği andan itibaren artık "negatif olan hızın büyüklüğü" giderek artar. İvme ise her iki durumdada $a=-g$ 'dir.

► Örnek video için tıklayınız.

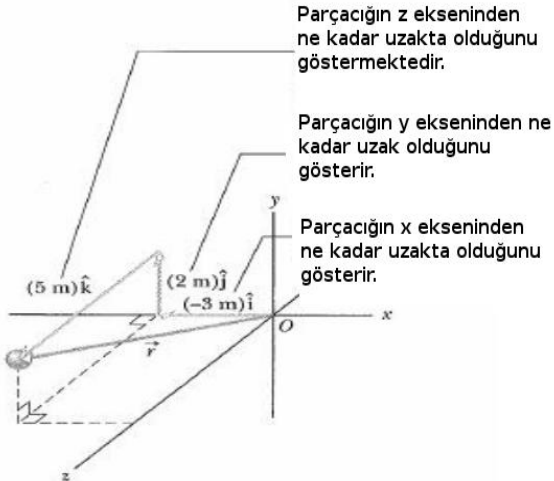


Bu bölümün son slaytıdır.

Herhangi bir sorunuz var mı?

Bu bölümde konum, yer değiştirme, ortalama ve anlık hız, ortalama ve anlık ivme kavramlarına vektörler konusunda aldığımız bilgiyle başka bir bakış açısıyla değineceğiz.

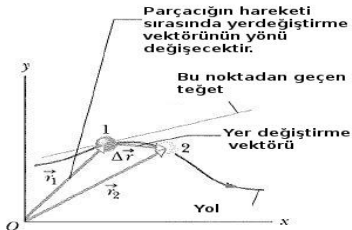
- ① Konumu belirlemenin en genel yollarından biri vektörel gösterimdir. Bu üç boyutta $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ **konum** vektörüyle ifade edilir.
- ② Eğer konum vektörü belirli bir zaman aralığında $\vec{r}_1$ 'den $\vec{r}_2$ 'ye değişiyorsa **yer değiştirme** vektörü $\Delta\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$ ile verilir. Birim vektörlerle aynı ifadeyi gösterecek olursak:
$$\Delta\vec{r} = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}.$$



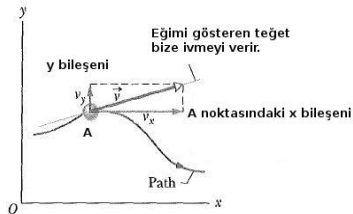
- 1 Yine daha önceden gördüğümüz ortalama hız ($\vec{v}_{ort} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$) kavramını şimdiye vektörel olarak gösterirsek:

$$\vec{v}_{ort} = \frac{\Delta x \vec{i} + \Delta y \vec{j} + \Delta z \vec{k}}{\Delta t}$$

- 2 $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ olarak verilen anlık hız, $\vec{v} = \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})$ veya $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$ şeklinde sadeleştirebiliriz.



(a) Yer Değiştirme (Halliday Fig4-3)



(b) Ani Hız (Halliday Fig4-4)

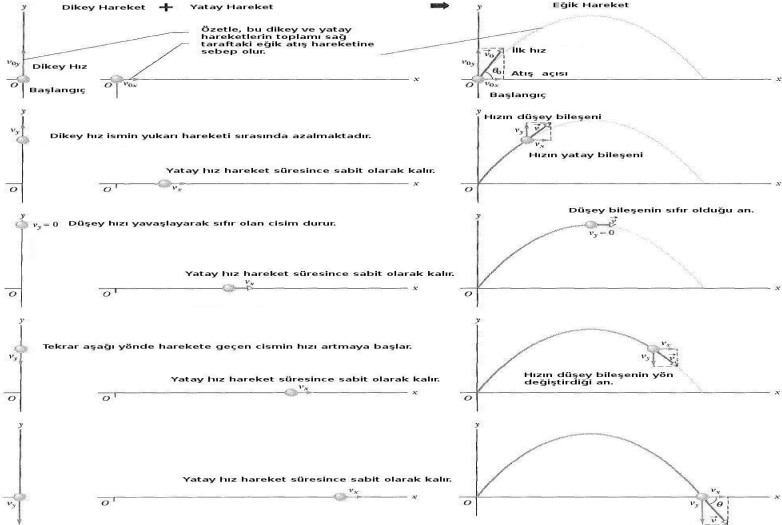
Ani hızı bulmak için eğer yukarıdaki figür a'da Δt 0'a doğru küçültülürse üç farklı şey gözlenir:

- 1 $\vec{r}_2$ konum vektörü $\vec{r}_1$ 'e doğru hareket eder ve $\Delta \vec{r}$ 0'a doğru küçülür.
- 2 $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ 'nin yönü konum 1'de çizilen teğetin doğrultusuna yaklaşır.
- 3 $\vec{v}_{ort}$ (ortalama hız), t_1 'deki $\vec{v}$ anlık hıza yaklaşır.

Sonuç: Bir parçacığın $\vec{v}$ anlık hızının yönü, her zaman parçacığın konumuna o noktada teğettir. Bu yukarıdaki figür b'dende görülebilir.

- 1 Ortalama ivme $\vec{a}_{ort} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_2}{\Delta t}$ iken, anlık ivme $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ şeklinde Δt zamanı 0'a yaklaştırılarak bulunur.
- 2 Not: Eğer hızın **büyüklüğü** veya **yönü** değişiyorsa ivmesi olmak zorundadır.
- 3 Ani ivme aynı zamanda $\vec{a} = \frac{d}{dt}(\vartheta_x \vec{i} + \vartheta_y \vec{j} + \vartheta_z \vec{k}) = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$ şeklinde gösterilir.

Eğik Atış



Eğik Atış: Şimdi yukarıda gösterilen eğik atış hareketini analiz edersek:

① $\vec{v}_o = v_{ox}\vec{i} + v_{oy}\vec{j}$, $v_{ox} = v_o \cos \theta_o$ ve $v_{oy} = v_o \sin \theta_o$

Bu iki boyutlu hareket sırasında cismin $\vec{r}$ konum vektörü ve $\vec{v}$ hız vektörü sürekli olarak değişirken, yatay hız (v_{ox}) ve $\vec{a}_y = -g$ ivme vektörü sabit kalır. Yatay yöndeki sabit hızlı hareketten dolayı herhangi bir ivme gözlenmez ($a=0$).

Not: Eğik atışta yatay ve düşey hareketler birbirinden bağımsızdırlar.

- ❶ **Yatay Kısım:** $\Delta x = v_{ox}t + \frac{1}{2}a_x t^2$ iken, burada $a_x = 0$ ve $v_{ox} = v_o \cos \theta_o$ olduğuna göre $x - x_o = (v_o \cos \theta_o)t$ 'dir.
- ❷ **Dikey Kısım:** $y - y_o = v_{oy}t + \frac{1}{2}a_y t^2$ iken, $a_y = -g$ ve $v_{oy} = v_o \sin \theta_o$ olduğundan $\Delta y = (v_o \sin \theta_o)t - \frac{1}{2}gt^2$ 'dir.
- ❸ $v_y = v_o \sin \theta_o - gt$ ve $v_y^2 = (v_o \sin \theta_o)^2 - 2g(y - y_o)$ formülleri daha önceki ünite de gördüğümüz sabit ivmeli hareket denklemlerinden uyarlanabilir.

► Düzgün Dairesel Hareket

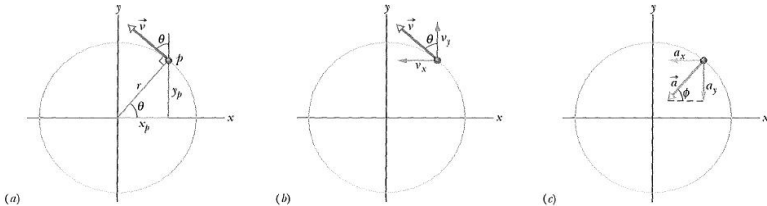


Figure: 4.17 (Halliday) Saat yönünün tersine hareket eden p cisminin konumu, hızı ve ivmesi verilmektedir.

★ Burada hız vektörünün büyüklüğü sabitken yönü sürekli değişmektedir. Bu yüzden, cisim bir ivmeye sabittir ve bu ivmenin yönü daima merkeze doğrudur.

★ Düzgün dairesel hareketin ivmesine **merkezcil ivme** denir ve büyüklüğü $a = \frac{v^2}{r}$ 'dir. Cismin tam dolanım süresine **periyot** denir ve değeri $T = \frac{2\pi r}{v}$ 'dir.

İvmenin ispatı:

$$★ \quad \vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} = (-v \sin \theta) \vec{i} + (v \cos \theta) \vec{j} = \left(-\frac{v \cdot y_p}{r}\right) \vec{i} + \left(\frac{v \cdot x_p}{r}\right) \vec{j}$$

$$★ \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \left(-\frac{v}{r} \frac{dy_p}{dt}\right) \vec{i} + \left(\frac{v}{r} \frac{dx_p}{dt}\right) \vec{j}$$

burada $\frac{dy_p}{dt} = v_y = v \cos \theta$ ve $\frac{dx_p}{dt} = v_x = -v \sin \theta$ değerleri yerine koyulursa:

$\vec{a} = \left(-\frac{v^2}{r} \cos \theta\right) \vec{i} + \left(-\frac{v^2}{r} \sin \theta\right) \vec{j}$ Buradaki negatif işaret sadece merkezcil ivmenin bileşenlerinin yönünü vermektedir.

★ $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \frac{v^2}{r} (\sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}) = \frac{v^2}{r}$ büyüklük olmak

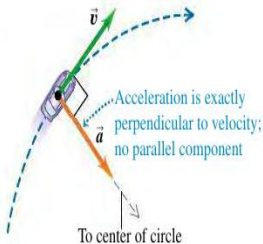
üzere $\tan \phi = \frac{a_y}{a_x} = \frac{-\frac{v^2}{r} \sin \theta}{-\frac{v^2}{r} \cos \theta} = \tan \theta$

★ Sonuç olarak $\phi = \theta$ bulunmuştur. Bunun anlamı $\vec{a}$ vektörünün r yarıçapı yönünde ve dairenin merkezine doğru olduğudur.

★ İvme dairesel yola dik ve içe dönüktür. Bu nedenle cismin hızının yönü değişirken, sürati sabit kalır. Eğer, düzgün dairesel harekette periyodu $T = \frac{2\pi \cdot r}{v}$ olarak yazarsak, $a_{radyal} = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ olarak bulabiliriz.

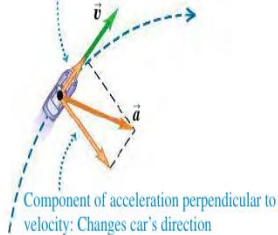
3.27 A car moving along a circular path. If the car is in uniform circular motion as in (a), the speed is constant and the acceleration is directed toward the center of the circular path (compare Fig. 3.12).

(a) **Uniform circular motion:** Constant speed along a circular path



(b) **Car speeding up along a circular path**

Component of acceleration parallel to velocity: Changes car's speed



(c) **Car slowing down along a circular path**

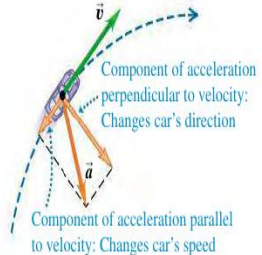
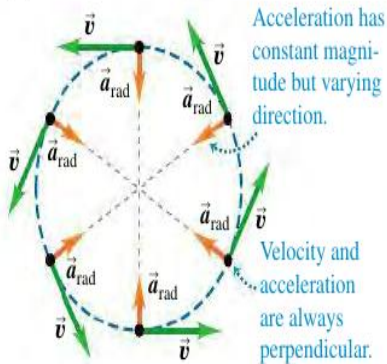


Figure: Fig 3.27 (Zemansky)

(a) Uniform circular motion



(b) Projectile motion

Velocity and acceleration are perpendicular only at the peak of the trajectory.

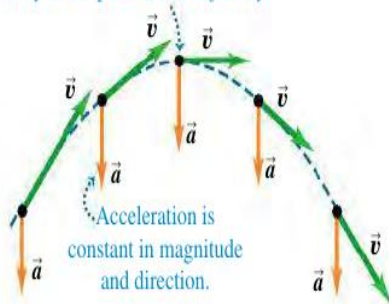
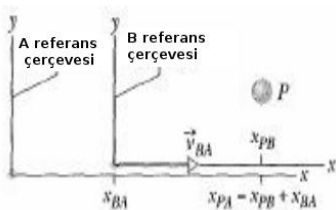
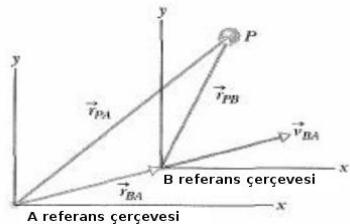


Figure: Fig 3.29 (Zemansky)

Görelî Hareket: $\vec{v}_{bagil} = \vec{v}_{cisim} - \vec{v}_{gozlemci}$



(a) Tek boyutta (Halliday Fig4-18)



(b) İki boyutta (Halliday Fig4-19)

Şimdi bu figürlere dayanarak, birbirlerine göre sabit hızda giden ve farklı referans sistemlerindeki gözlemcilerin, hareket eden bir parçacık için aynı ivmeyi ölçeceklerini ispatlayacağız.

- ❶ Tek boyutta hareket eden parçacık için hareket denklemleri yazılırsa:

$$\vec{x}_{PA} = \vec{x}_{PB} + \vec{x}_{BA},$$

$$\frac{d}{dt}(\vec{x}_{PA}) = \frac{d}{dt}(\vec{x}_{PB}) + \frac{d}{dt}(\vec{x}_{BA}), \quad \vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA},$$

$$\frac{d}{dt}(\vec{v}_{PA}) = \frac{d}{dt}(\vec{v}_{PB}) + \frac{d}{dt}(\vec{v}_{BA}), \quad \vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} + 0$$

- ❷ Aynı denklemler iki boyutta hareket eden bir parçacık için yazılırsa:

$$\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB} + \vec{r}_{BA},$$

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA},$$

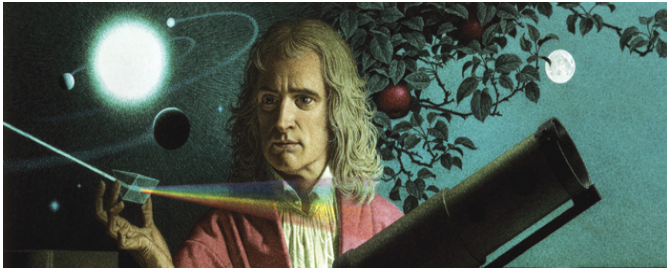
$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} + 0$$



Bu bölümün son slaytıdır.

Herhangi bir sorunuz var mı?

Newton Hareket Yasaları



Fizik yalnızca hareketi değil, harekete neyin sebep olduğunuda incelerki bunada **kuvvet** denir.

- ❶ Kuvvet nedir?
- ❷ Kütle nedir? [► Video için tıklayınız.](#)
- ❸ Newton yasaları her zaman uygulanabilir mi?

Newton yasaları ise kuvvet ve hareket arasındaki bu ilişkiyi inceler. Newton yasaları her durumda uygulanmaz. Eğer hareket halindeki nesnenin hızı ışık hızına ($3 \times 10^8 m/s$) yakınsa Newton mekaniği yerine Einstein'ın özel görelilik kuramı kullanılmalıdır. Ama günlük hayattaki neredeyse herşey Newton mekaniği ile açıklanabilmektedir.

- ① **Newton'un birinci yasası**, bize üzerine **net bir kuvvet** etki etmeyen bir cismin ya hareketsiz kalacağını ya da düzgün doğrusal hareket yapacağını söyler. Yani cisim ivmelenmez.

$$\vec{F}_{net} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} = 0 \text{ veya } \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

Bu ifade aslında bize ivmenin kuvvetin varlığı için gereken bir nicelik olduğunu söyler. Yani kuvveti tanımlar.

Eylemsizlik Referans Koordinat Sistemi:

Eğer bir referans, yani gözlem sistemi sabit ivmeye sahip ise bu referans sistemine **eylemsiz referans sistemi** denir. **İvmesiz referans sistemi** ise cismin ya durduğu yada sabit hızla hareket ettiği sistemdir. Eğer bir eylemsiz referans sistemi mevcutsa, ona göre sabit ivmeyle hareket eden her sistem, bir diğer eylemsiz referans sistemi oluşturmaktadır.

Not: Unutmayalımki, Newton yasaları eylemsiz referans sistemlerinde geçerlidir. Sorularda genelde yer yüzünün dönmesi ihmal edilerek, dünya bir eylemsiz referans sistemi olarak kabul edilir.

► Örnek video için tıklayınız.

Newton'un İkinci Yasası: Bir cisim üzerine uygulanan kuvvetle orantılı ve aynı yönde bir ivme kazanır. Orantı katsayısı kütleyi verir. **Kütle** aynı zamanda cismin ivmelenmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olarak yorumlanabilir. Burada **eylemsizlik** denir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur: eğer birinci yasa kuvvetin ne zaman var olacağını söylemeseydi, **Newton'un ikinci yasası** kuvveti kütleyle ilişkilendiremezdi.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$



Cisme uygulanan net kuvvet bulunurken, herhangi bir eksen üzerindeki ivme bileşenine, sadece kuvvetlerin aynı eksen üzerindeki bileşenlerinin neden olduğuna dikkat edilmelidir. Yani, diğer eksenler üzerindeki kuvvet bileşenlerinin diğer ivme bileşenlerine bir etkisi yoktur. Eğer, cisme etkiyen net kuvvet 0 ise, cismin ivmesinin $\vec{a} = 0$ olduğu bilinir. Buda, cismin **denge durumunda** olduğunu söyler.



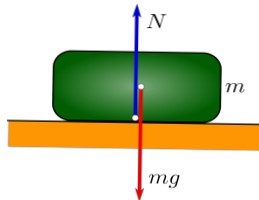
- 1 **Newton'un üçüncü yasası** ise bize etki eden bir kuvvetin her zaman bir tepki doğuracağını ve bu tepkinin etki kuvvetine eşit ama zıt yönlü olacağını söyler.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

- 2 Etki ve tepki farklı cisimler üzerine etkir.
- 3 Bir cismin hareketi incelenirken, sadece o cisme uygulanan **dış kuvvetler** incelenmelidir. Bununda en iyi yolu cismin kuvvet diyagramını çizmektir.

- ❶ **Kütle çekim kuvveti:** Varsayalım ki, kütlesi m olan bir cisim yer çekimi ivmesi g ile serbest düşme yapsın. Havanın sürtünme etkisi ihmal edildiğinde, **aşağı yönlü** $\vec{F}_g$ yerçekimi kuvveti yine **aşağı yönlü** g ivmesiyle hareket eder. Bu iki vektörel niceliğin gösteriminde yönleri dikkate alındığında,
- $$\vec{F}_g = -F_g \vec{j} = -mg \vec{j} = m\vec{g} \text{ bulunur.}$$
- ❷ **Ağırlık(W):** Yeryüzünde ölçülen ve o cismin yere düşmesini önleyen net kuvvetin büyüklüğüne **ağırlık** denir. Eylemsiz referans sistemi olan dünyada $\vec{a} = 0$ olan bir cisme etkiyen kuvvetler $\vec{F}_y(\text{net}) = m\vec{a}_y$ eşitliğini sağlar. Buradan $W - F_g = m \cdot 0 = 0$; yani $W = F_g = mg$ olarak bulunur. Buda bize kütle ve ağırlık arasındaki ilişkiyi verir.

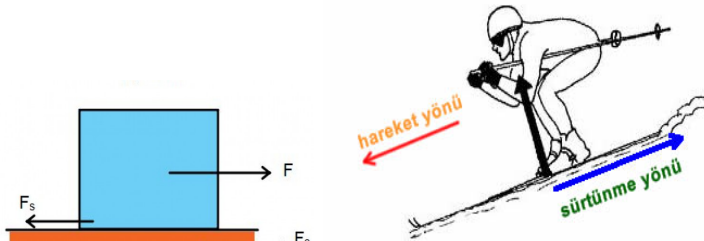
- ❶ **Normal kuvvet**($\vec{F}_N$): Blok için çizilen kuvvetler şemasında N veya $\vec{F}_N$ ile gösterebileceğimiz kuvvet, aşağı yönlü ağırlık kuvvetini dengeleyen **normal kuvvet** olarak bilinir.



$\vec{F}_N - \vec{F}_g = m\vec{a}_y$ veya $F_N = m(g + a_y)$ diye yazılabilir. Eğer masa yere göre ivmelenmiyorsa $a_y = 0$, dolayısıyla $F_N = mg$ 'dir.

- ❶ **Sürtünme kuvveti**($\vec{F}_s$): Hareket etmek isteyen bir cisme harekete ters yönde ve hareketi engelleyici bir kuvvet etkir. Bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. Statik ve kinetik sürtünme kuvveti olarak ikiye ayrılır. Fakat bu ayrıntıyı daha sonra anlatacağız.

Sürtünme kuvveti her zaman hareketle zıt yöndedir



► Kuvvet ve hareket ilişkisini gösteren simülasyon için tıklayınız.

5.19 When there is no relative motion, the magnitude of the static friction force f_s is less than or equal to $\mu_s n$. When there is relative motion, the magnitude of the kinetic friction force f_k equals $\mu_k n$.

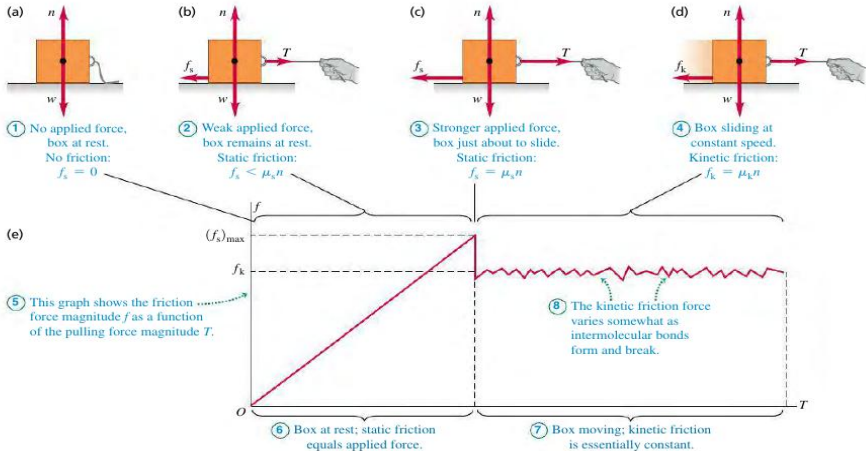


Figure: Fig 5.19 (Zemansky)

Dönme Hareketinin Dinamiği:

5.28 Net force, acceleration, and velocity in uniform circular motion.

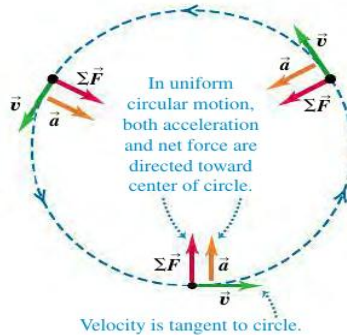


Figure: Fig 5.28 (Zemansky)



Bu bölümün son slaytıdır.

Herhangi bir sorunuz var mı?

Öğrenim hedeflerimiz:

- 1 Bir kuvvetin bir cisim üzerine iş yapmasının ne demek olduğu ve yapılan işin nasıl hesaplanacağı,
- 2 Hareketin enerjisi olan kinetik enerjinin tanımı ve cisim üzerinde yapılan toplam işin kinetik enerjiyi nasıl değiştirdiği,
- 3 Toplam iş ile kinetik enerjinin değişimi arasında olan ilişkinin, kuvvetler sabir olmadığı ve cisim eğri bir yol takip ettiği bir durumda nasıl kullanacağı,
- 4 Güç kavramı ve problem çözümleri.

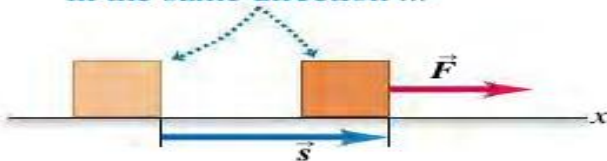
Enerji, dönüştürülebilen, ancak yaratılamayan veya yok edilemeyen skaler bir niceliktir. Bu kavram aynı zamanda Einstein'ın meşhur $E = m.c^2$ kavramında ışık tutacaktır. İlk olarak hareket enerjisi olan kinetik enerji ve iş arasındaki ilişkiyi inceleyeceğiz.

Bir cisim üzerine yapılan iş, cisim üzerine uygulanan kuvvet ve bu kuvvetin cismin sadece hareketi doğrultusundaki bileşeniyle gerçekleştirilir. İşteki ikinci etmen ise, yolun aksine cismin yaptığı yer değiştirmedir. Yani, vektörel olan niceliktir. Bu iki ana nicelik bulunup, çarpıldığındaki skaler değer ise bize işi verir.

Formüsel olarak ise $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$ şeklinde kuvvet ve yer değiştirmenin skaler çarpımı olarak gösterilir. Skaler çarpımının tanımındanda, büyüklük olarak $w = (|\vec{F}| \cdot \cos \theta) |\vec{s}|$ 'ya ulaşılacağı bilinir. Buradaki yatay kuvvet bileşeni, hareket doğrultusunun yönüne işaret eder. Bu aslında, kuvvetin hareket yönünde olmayan bileşenlerinin, cisim üzerinde bir iş yapmayacağına bir ip ucu. Yani, θ açısı çok önemlidir.

6.2 The work done by a constant force acting in the same direction as the displacement.

If a body moves through a displacement $\vec{s}$ while a constant force $\vec{F}$ acts on it in the same direction ...



... the work done by the force on the body is $W = Fs$.

Figure: 6.2 (Zemansky)

Yukarıdaki figürde, uygulanan kuvvet ve yerdeğiştirmenin birbirine paralel olduğu, yani aralarındaki açının 0 derece olduğu görünür. Bu durum, aynı zamanda cisim üzerinde yapılacak maximum işe takebül eder. Unutulmamalıdırki, $\cos \theta$ değeri $-1 < \cos \theta < 1$ arasında değışen ve θ 'ya bağı matematiksle bir fonksiyondur.

İş, birimsel olarak Newton ve metrenin çarpımı olan joule birimiyle tanımlanır. Buda, aynı zamanda $kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$ 'ye denk gelir.

6.3 The work done by a constant force acting at an angle to the displacement.

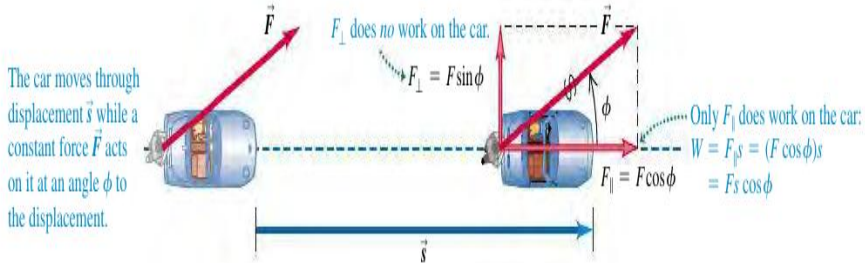


Figure: 6.3 (Zemansky)

Şimdide, cisme uygulanan kuvvetin yönü ve işin alabileceği skaler değerleri göz önüne alalım.

Direction of Force (or Force Component)	Situation	Force Diagram
(a) Force $\vec{F}$ has a component in direction of displacement: $W = F_{\parallel}s = (F\cos\phi)s$ Work is <i>positive</i>.		
(b) Force $\vec{F}$ has a component opposite to direction of displacement: $W = F_{\parallel}s = (F\cos\phi)s$ Work is <i>negative</i> (because $F\cos\phi$ is negative for $90^\circ < \phi < 180^\circ$).		
(c) Force $\vec{F}$ (or force component $F_{\perp}$) is perpendicular to direction of displacement: The force (or force component) does <i>no</i> work on the object.		

Figure: 6.4 (Zemansky)

Daha öncedende işin skaler bir büyüklük olduğunu vurgulamıştık. Bu demek oluyorki, iş yöne bağlı değildir. Fakat, işi oluşturan kuvvet ve yerdeğiştirmenin bir yönü vardır. Bu ise dolaylı olarak, işin alabileceği skaler değeri tayin eder. Kuvvet ve yer değıştirme arasındaki açının önemi burada daha ön plandadır. Eğer, ikiside birbirine a şıkkındaki gibi paralelse (0 derece), iş pozitif bir değeri olacaktır. B şıkkında ise, kuvvetin yer değıştirme yönündeki bileşeni, yer değıştirmeye tam zıt yönde (180 derece) olduğundan, işin değeri negatif bir sayı olacaktır. Son seçenekte ise, hareket doğrultusuna dik olan (90 derece)normal kuvvetinin, cisim üzerinde bir iş yapmadığı görülür. Yani, iş sıfırdır.

Yukarıdaki figürden ve açıklamalardan çıkarılacak sonuç şu olmalıdır: iş skaler bir büyüklüktür. Dolayısıyla, pozitif, negatif ve sıfır değeri alabilir.

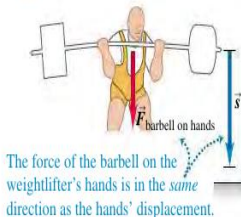
Aşağıdaki figür, işi hangi kuvvetin yaptığının ve onun yer değiştirmeye nazaran zıt veya aynı yönlü olmasının farkını göstermektedir.

6.6 This weightlifter's hands do negative work on a barbell as the barbell does positive work on his hands.

(a) A weightlifter lowers a barbell to the floor.



(b) The barbell does *positive work* on the weightlifter's hands.



(c) The weightlifter's hands do *negative work* on the barbell.

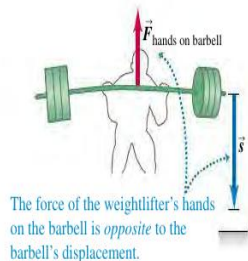


Figure: 6.6 (Zemansky)

Yukarıdaki B şıkında, halter haltercinin elleri üzerine artı iş yapmaktadır. Çünkü, kuvvet ve yer değiştirme aynı yönlüdür. C şıkında ise, haltercinin elleri üzerinde, halter eksi iş yapmaktadır. Yani, uygulanan kuvvet ve yer değiştirmenin yönü önemlidir.

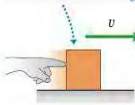
Yapılan toplam işi bulurken, ya teker teker kuvvetlerin yaptıkları işler bulunarak skaler toplanır ya da cisim üzerindeki toplam net kuvvet bulunarak, yapılan yer değiştirme ile skaler vektör çarpımı yapılır.

Kinetik Enerji ve İş-Enerji Teoremi

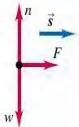
6.8 The relationship between the total work done on a body and how the body's speed changes.

(a)

A block slides to the right on a frictionless surface.

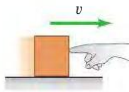


If you push to the right on the block as it moves, the net force on the block is to the right.

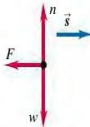


- The total work done on the block during a displacement $\vec{s}$ is positive: $W_{\text{tot}} > 0$.
- The block speeds up.

(b)

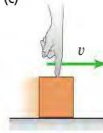


If you push to the left on the block as it moves, the net force on the block is to the left.

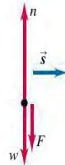


- The total work done on the block during a displacement $\vec{s}$ is negative: $W_{\text{tot}} < 0$.
- The block slows down.

(c)



If you push straight down on the block as it moves, the net force on the block is zero.



- The total work done on the block during a displacement $\vec{s}$ is zero: $W_{\text{tot}} = 0$.
- The block's speed stays the same.

Figure: 6.8 (Zemansky)

Şekilde sürtünmesiz masa üzerinde kayan bloğa 3 farklı kuvvet etmektedir. Bunlar ağırlık ($\vec{w}$), normal tepki kuvveti ($\vec{n}$) ve yönünü değiştirebildiğimiz cisme uygulanan $\vec{F}$ kuvvetidir. Yukarıdaki A şıkında, cisim sağa doğru belli bir hızla giderken hareket doğrultusunda bir kuvvet uygulanıyor. Newton'un 2. yasasına göre bu kuvvet cisme bir ivme kazandırır. Bu ivme, cismin hızında değişim demektir. Kuvvetin yönü ivmenin yönünü belirler ve bu pozitifdir. Yani cismin $\vec{v}_{son} = \vec{v}_{ilk} + (\vec{a}.t)$ formülüne göre hızını arttırması beklenir. Önceden verilen iş formülüne ($W = \vec{F}.\vec{s}$) göre ise yer değiştirme ve kuvvetin aynı yönlü olduğu görülen bu A şıkkı için pozitifdir ($W > 0$).

B şıkında işin negatif ($W < 0$) ve C şıkında ise işin 0 ($W = 0$) olduğu görülmektedir. B şıkkındaki negatif iş veya ivme, cismin yavaşlaması anlamına gelirken; işin ve ivmenin 0 olduğu C şıkında ise cismin sabit hızlı hareket yapacağı açıktır.

Kinetik Enerji ve İş-Enerji Teoremi

6.9 A constant net force $\vec{F}$ does work on a moving body.

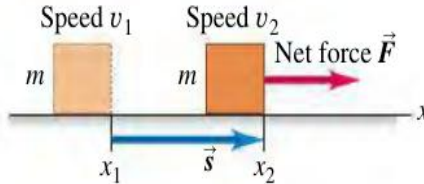


Figure: 6.9 (Zemansky)

Sabit bir $\vec{F}$ kuvvetinin etkisiyle giden bir cisim görünmektedir. Haliyle, bu kuvvet cisme Newton'un 2. yasası gereği bir ivme kazandıracaktır.

$$v_2^2 = v_1^2 + 2\vec{a}_x \cdot \vec{s} \quad \vec{a}_x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\vec{s}} \quad \vec{F} = m\vec{a}_x = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\vec{s}}$$

Dolayısıyla, $\vec{F} \cdot \vec{s} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ifadesi bulunurki, buda bizi işin ta kendisine götürür. Yani, bir parçacık üzerindeki net kuvvetin yaptığı iş, cismin kinetik enerjisini değiştirmek için kullanmıştır. Bu ise, formüsel olarak $W_{toplam} = K_2 - K_1 = \Delta K$ iş-enerji teoremini verir. Burada dikkat edilmesi gereken benzerlik, kinetik enerjinde skaler bir nicelik olmasıdır. İşin pozitif olması kinetik enerjinin arttığını, negatif olması kinetik enerjinin azaldığını ve sıfır olması da kinetik enerjide bir değişme olmadığını söylemektedir.

İş-enerji teoremini oluştururken Newton yasalarını kullandığımız için bu teoremi sadece **eylemsiz referans** sistemlerinde kullanabiliriz.

Kinetik enerjinin tanımı aslında bir cismi durgun halden belirli bir hıza çıkarmak için gerekli toplam işten gelir.

$$W_{toplam} = K - 0 = K = \frac{1}{2}mv^2$$

Değişken kuvvetlerin yaptığı iş: Değişken kuvvetlerin yaptığı işe verilebilecek en güzel örneklerden biride yayı geren okçunun maruz kaldığı kuvvet ve yaptığı iştir. Yay gerildikçe, dahada germesi zorlaşır, çünkü kuvvet değişkendir.

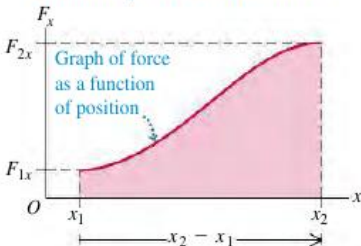
Work done on a particle by a varying x -component of force F_x during straight-line displacement along x -axis

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx$$

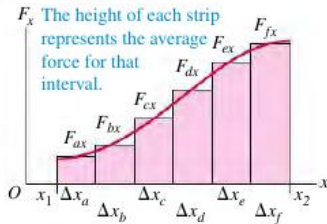
Upper limit = final position
Lower limit = initial position
Integral of x -component of force

Figure: Formül 6.7 (Zemansky)

(b) The force F_x varies with position x ...



(c) ... but over a short displacement Δx , the force is essentially constant.



Yukarıda görülen değişken kuvvetlerin yaptığı iş, eğrilerin altında kalan alana tekabül eder. Bu alanı bulmanın yollarından biri integral almak diğeri ise bazı yaklaşımlar kullanıp, toplam alanı ufak ve bilinen şekillerin alanları toplamıyla bulmaktır. Zira, ikinci şekilde toplam alan küçük dikdörtgensel kesitlere bölünmüştür.

Çıkkı ise bize şu formülü götürecektir:

$$W = \vec{F}_{ax} \Delta x_a + \vec{F}_{bx} \Delta x_b + \dots$$

6.18 The force needed to stretch an ideal spring is proportional to the spring's elongation: $F_x = kx$.

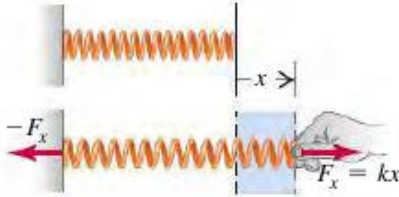


Figure: Fig 6.18 (Zemansky)

Yayın sağa doğru çekilmesi, yayda k orantı sabitiyle çekilme mesafesine bağlı olarak değişen fonksiyonel bir bağıntı oluşturur. Bunu $\vec{F}_x = k\vec{x}$ şeklinde ifade edebiliriz. Buradaki önemli kısım, yerdeğiştirme vektörünün pozitif yönlü olmasıdır.

Yukarıdaki şekilde yaya uygulanan kuvvet ve yayın yer değiştirmesi pozitif x yönündedir.

$W = \int_0^x \vec{F} d\vec{x} = \int_0^x kx d\vec{x} = \frac{1}{2} kx^2$ şeklinde yayın üzerine yapılan iş bulunur. Bu iş, yayda potansiyen enerji olarak depolanır.

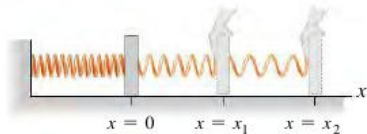
Bu formülü daha da genelleştirip yazarsak:

$W = \int_{x_1}^{x_2} \vec{F}_x d\vec{x} = \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2 =$ Aşağıdaki figürde taranmış yamuğun alanına tekabül eder. Yine vurgulanacak olursa, buradaki yerdeğiştirmenin pozitif olması $\vec{F}$ kuvvetinin pozitif olmasını ve sonuç olarak yukarıdaki genelleştirilmiş formüle ulaşmamızı sağlar.

Eğerki, kuvvet yerdeğiştirmeden ötürü negatif yönlü olsaydı; iş formülü $W = \int_{x_1}^{x_2} -\vec{F}_x d\vec{x} = \int_{x_1}^{x_2} k(-x) d\vec{x} = \frac{1}{2} kx_1^2 - \frac{1}{2} kx_2^2$ şekline dönüşecektir.

6.20 Calculating the work done to stretch a spring from one elongation to a greater one.

(a) Stretching a spring from elongation x_1 to elongation x_2



(b) Force-versus-distance graph

The trapezoidal area under the graph represents the work done on the spring to stretch it from $x = x_1$ to $x = x_2$: $W = \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2$.

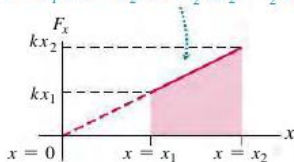


Figure: Fig 6.20 (Zemansky)

NOT: B şıkkındaki W iş sağa doğru yayı geren pozitif yöndeki kuvvet içindir. Serbest bırakılan ve yayı eski haline döndürmeye çalışan yayın kendi kuvvetinin yaptığı iş ise bu enerjinin tam negatifi olacaktır.

Güç kavramı işin ne kadar hızlı yapıldığının skaler bir ölçüsüdür aslında. Ortalama güç $P_{ortalama} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ ve ani güç ise $P_{ortalama} = \frac{dW}{dt}$ şeklinde verilir. Gücün birimi wattır. $1 \text{ Watt} = \frac{1 \text{ joule}}{\text{s}}$ 'ye karşılık gelir. Bir beygirgücü (hp) ise 746 Wattır. Mekanikte gücü işin $\vec{F} \Delta \vec{s}$ ifadesi yardımıyla da yazabiliriz.

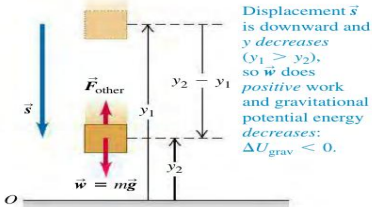
$P_{ortalama} = \frac{\vec{F}_{||} \cdot \Delta \vec{s}}{\Delta t} = \vec{F}_{||} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \vec{F}_{||} \cdot \vec{v}$ şeklinde genel güç formülüne ulaşılır. Buradaki kuvvet cismi hızlandıran ve harekete paralel olan kuvvettir.

Öğrenecekleriniz:

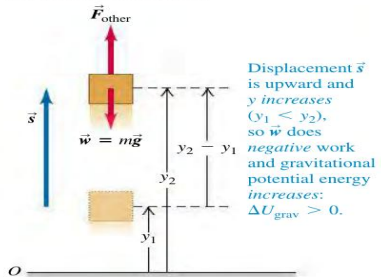
- 1 Kütle çekim potansiyel enerjisi kavramı
- 2 Esneklik potansiyel enerjisi kavramı
- 3 Korunumlu ve korunumsuz kuvvet arasındaki fark

7.2 When a body moves vertically from an initial height y_1 to a final height y_2 , the gravitational force $\vec{w}$ does work and the gravitational potential energy changes.

(a) A body moves downward



(b) A body moves upward



Yukarıdaki figürde açıkça belirtildiği gibi a şıkında cisim aşağı inerken, cisme etkiyen tek kuvvet olan yerçekimi kuvveti ($m\vec{g}$) ve yer değiştirme vektörü ($\vec{s}$) aynı yönlüdür. Yani, cisim üzerinde yapılan iş ($W = \vec{F} \cdot \vec{s}$) pozitiftir. Fakat, potansiyel enerji ($U_g = mgy$) azalmıştır. Cisim yukarıya çıkarken ise kuvvet ve yerdeğiştirme zıt yönlü olduğundan, yapılan iş negatiftir. Fakat, potansiyel enerjinin arttığı görülür.

Bu açıklamalar ise bize iş ve potansiyel enerji arasındaki bağı gösteren formülü genelleştirerek yazma imkanı verir.

$$W_g = \vec{F} \cdot \vec{s} = m\vec{g} \cdot (\vec{y}_1 - \vec{y}_2) \text{ ve}$$

$$W_g = U_{g,1} - U_{g,2} = -(U_{g,2} - U_{g,1}) = -\Delta U_g$$

Yani, $y_1 > y_2$ iken cisim düşüyordur ve yapılan iş pozitifdir.

Yani, cismin kendisi iş yapar. Fakat, $y_2 > y_1$ iken cisim yükseliyordur ve yapılan iş negatiftir. Yani, cisim üzerinde iş yapılır. Kısacası, aralarında bir ters orantı vardır.

Not: Kütleçekim potansiyel enerjisi hangi cisme aittir? Bilindiği gibi, bu enerjide aslında iki cisim vardır ve birisi sabit referans sistemidir. Aksi halde tüm hareketlerimiz görecelidir ve kimse hangi cismin yükselip, alçaldığına karar veremez. Tıpkı, sabit referans sistemi olarak alınan dünya ve onun üzerindeki tüm cisimler gibi.

Mekanik Enerjinin Korunumu: Kütleçekimi potansiyel enerjinin bize ne sağlayabileceğini görmek için, cisme etkiyen net kuvvetin sadece onun ağırlığından ileri gelen kuvvet olduğunu varsayalım. İş-enerji kuramında, dış kuvvetlerin yarattığı işin cismin kinetik enerjisinde değişikliği neden olabileceğini gördük. Bunu, potansiyel enerjideki değişimle birleştirecek,

$$\Delta K = K_2 - K_1 = -\Delta U_g = -(U_{g,2} - U_{g,1})$$

Yani, sistemde yalnız kütleçekim kuvveti iş yaparsa, mekanik enerji korunacaktır.

$$K_1 + U_{g,1} = K_2 + U_{g,2} \text{ yani } \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2$$

Moving up:

- K decreases.
- U_{grav} increases.
- $E = K + U_{\text{grav}}$ stays the same.

**Moving down:**

- K increases.
- U_{grav} decreases.
- $E = K + U_{\text{grav}}$ stays the same.

Figure: Fig 7.3 (Zemansky)

NOT: Toplam mekanik enerji, sisteme etkiyen tek kuvvetin korunumlu kuvvet olan yerçekimi kuvveti olmasından dolayı korunmuştur. Şekildeki atlet, atlama sırasında maximum yüksekliğe erişinceye kadar bir potansiyel enerji kazanımına ve kinetik enerji kaybına maruz kalır. Bu maximum yükseklikten yere temas edene kadar ise tam tersi yönde bir enerji değişimi gerçekleşir.

"Sıfır yükseklik seviyesini istediğimiz yerde seçebilir miyiz?"

Kütleçekim potansiyel enerji ile çalıştığımızda, istediğimiz yüksekliği 0m referans noktamız olarak seçip, diğer bütün işlemleri ona göre yapabiliriz. Çünkü, yapılan iş, aslında ya kinetik enerji değişimine ya da potansiyel enerji değişimine gitmiştir. Potansiyel enerji değişimi ise

$W_g = -\Delta U_g = -(U_{g,2} - U_{g,1}) = U_{g,1} - U_{g,2} = m \cdot g \cdot (y_1 - y_2)$ ile bulunur. Değişen referans yükseklik noktası ise $y_2 - y_1$ değerini değiştirmez; çünkü her iki yükseklikte aynı miktarda değişecektir.

7.4 After a baseball leaves your hand, mechanical energy $E = K + U$ is conserved.

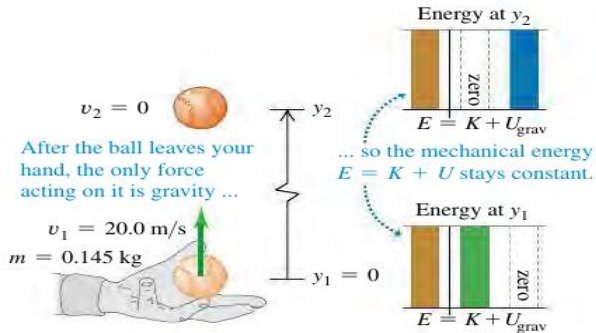


Figure: Fig 7.4 (Zemansky)

NOT: Şekildeki gibi yukarı belirli bir hızla bırakılan top için, elden çıktığı nokta $y_1 = 0$ olarak kabul edilir. Aynı zamanda, topun çıktığı maximum yükseklik y_2 'de topun anlık hızı sıfırdır.

Bütün bunlar, y_1 'de cismin 0 potansiyel enerjiye ve y_2 'de 0 kinetik enerjiye sahip olduğunu gösterir.

$$W_g = K_1 + U_{g,1} = K_2 + U_{g,2}'den K_1 = U_{g,2} \text{ bulunur.}$$

Eğer kütleçekimi dışında başka bir kuvvette sistemde iş yapıyorsa, bu iş toplamda yerçekimi kuvvetinin yaptığı işe pozitif veya negatif olarak eklenir. Önceki figure 7.2'de, bu kuvvet $\vec{F}_{diger}$ olarak gösterilmiştir. Bu yüzden, bu kuvvetin yaptığı işide W_d diye gösterelim.

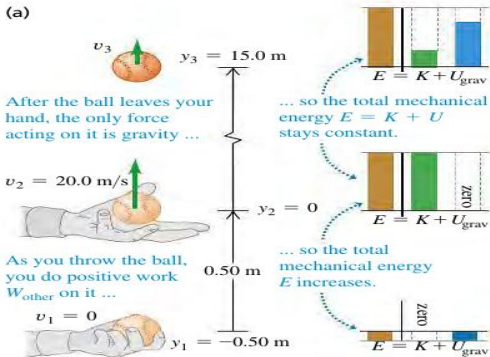
$W_g + W_d = K_2 - K_1$ ve $W_g = -\Delta U_g = -(U_{g,2} - U_{g,1})$ dir. İki denkleminde birdaha düzenlersek,

$W_d + U_{g,1} - U_{g,2} = K_2 - K_1$ yani $U_{g,1} + K_1 + W_d = U_{g,2} + K_2$ genel denklemine ulaşılır. Bu ifade, W_d 'nin pozitif olduğu durumda toplam mekanik enerjinin artacağını söyler. Yani,

$U_{g,2} + K_2 > U_{g,1} + K_1$. Cismin ağırlığı dışında kuvvetlerin etkilemediği özel durumda mekanik enerji korunur ve $W_d = 0$ 'dır.

7.6 (a) Applying energy ideas to a ball thrown vertically upward.
 (b) Free-body diagram for the ball as you throw it.

(a)



(b)



Figure: Fig 7.6 (Zemansky)

NOT: Yukarıdaki figürde, topun elden çıkmadan önce belirli bir kuvvetin etkisine maruz kaldığı düşünülmüştür.

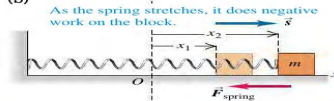
$W_{diger} = \vec{F} \cdot (\vec{y}_2 - \vec{y}_1) = (K_2 - K_1) + (U_{g,2} - U_{g,1})$ formülü yukarıdaki örneğe uygulanabilir. Burada dikkat edilmesi gereken, tek tek enerji değerlerini doğru girmektir. Cisim y_1 'den y_2 'ye çıkarken ve y_2 'den y_3 'ye çıkarken bir enerji değişimine maruz kalacaktır. Cisim için $y_1 = -0.5m$, $y_2 = 0m$ ve $y_3 = 15m$ olarak alınmalıdır. Hızlar için ise $v_1 = 0m/s$ ve $v_2 = 20m/s$ olarak yazılıp, v_3 bulunmalıdır. Top elden çıktıktan sonra, sadece yerçekimi kuvveti etkidiğinden, y_2 ve y_3 yükseklikleri arasında ise mekanik enerji korunur. Yani, $K_2 + U_{g,2} = K_3 + U_{g,3}$ olur.

7.13 Calculating the work done by a spring attached to a block on a horizontal surface. The quantity x is the extension or compression of the spring.

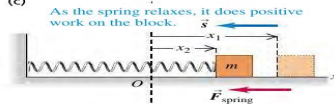
(a)



(b)



(c)



(d)

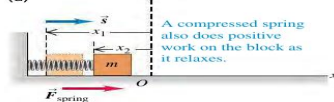


Figure: Fig 7.13 (Zemansky)

Yay üzerinde yapılan iş: $W = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2$

Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi:

$$U_{\text{esneklik}} = \frac{1}{2}kx^2$$

Yayın yaptığı iş:

$$W_{\text{esneklik}} = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = U_{\text{es},1} - U_{\text{es},2} = -\Delta U_{\text{es}}$$

$W_{\text{toplam}} = K_2 - K_1 = -\Delta U_{\text{es}}$ yani genel mekanik enerji korunum formülümüz $K_1 + U_{\text{es},1} = K_2 + U_{\text{es},2}$ olarak yazılabilir. Aşağıdaki grafik, bize yerdeğiştirmenin ister pozitif ister negatif olsun, yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisini pozitif vereceğini göstermektedir.

7.14 The graph of elastic potential energy for an ideal spring is a parabola: $U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$, where x is the extension or compression of the spring. Elastic potential energy U_{el} is never negative.

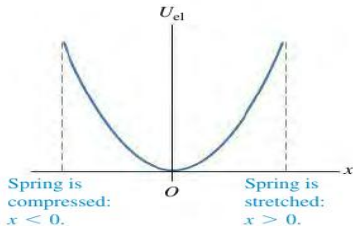


Figure: Fig 7.14 (Zemansky)

Grafiktende görüldüğü gibi elastik potansiyel enerji, yay sıkışsada uzasada daima pozitif bir değer alacaktır. Yukarıda yayın yaptığı işi gösteren formülde, yay uzadığı zaman $W_{esneklik}$ negatif olur. Bu ise $U_{es,2} > U_{es,1}$ ile mümkündür. Bu yayın potansiyel enerji depoladığını gösterir.

Kütleçekimi, esneklik potansiyel enerji ve diğer kuvvetlerden dolayı oluşan enerji türleri birarada ise: $W_{toplam} = K_2 - K_1 = W_g + W_{esneklik} + W_{diger} = (U_{g,1} - U_{g,2}) + (U_{es,1} - U_{es,2}) + W_{diger}$

Bu genel formül tekrardan düzenlenirse:

$$K_1 + U_{g,1} + U_{es,1} + W_{diger} = K_2 + U_{g,2} + U_{es,2}$$

$$E_1 + W_{diger} = E_2$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 + \frac{1}{2}kx_1^2 + W_{diger} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2 + \frac{1}{2}kx_2^2$$

Daha, önceden kinetik ve potansiyel enerjilerin korunumunda bulduğumuzun bir benzeri formülü buluruz. Eğer, dışardan gelen bir W_{diger} işi yoksa, $E = K + U_{toplam}$ mekanik enerjisi korunur ($E_1 = E_2$). Aksi takdirde, $W_{diger} > 0$ ise toplam enerji artıyor, $W_{diger} < 0$ ise toplam enerji azalıyor.

Korunumlu Kuvvetler: Kinetik ile potansiyel enerji arasında karşılıklı dönüşüme izin veren kuvvetlere denir. Kütleçekimi, yay kuvveti ve elektrik kuvveti bunlara birer örnektir. Korunumlu bir kuvvetin yaptığı iş yoldan bağımsızdır.

Because the gravitational force is conservative, the work it does is the same for all three paths.

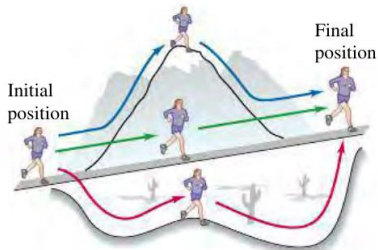


Figure: Fig 7.18 (Zemansky)

Korunumsuz kuvvetlere örnek ise sürtünme kuvveti en iyi örnektir.

Enerjinin Korunumu Yasası: Korunumsuz kuvvetlerden sürtünme kuvvetinin yaptığı iş cismin iç enerjisini değiştirir. Maddenin durum değişikliği ile ilgili olan bu enerjisine **iç enerji** denir. Bir cismin sıcaklığı ile iç enerjisi doğru orantılıdır. İç enerjideki bu değişimin sürtünme kuvvetinin yaptığı işin tersine eşit olacağı görülmüştür. $\Delta U_{ic} = -W_{diger}$. Bu ifadeyi genel enerji korunumu formülümüzle birleştirecek, $K_1 + U_1 + W_{diger} = K_2 + U_2$ yani $\Delta K + \Delta U + \Delta U_{ic} = 0$. Sistemdeki kinetik enerji değişimi, potansiyel enerji değişimi ve iç enerji değişimi toplamı bize sıfırı vermelidir. Bu bize enerjinin hiçbir zaman yok olmayacağını veya yoktan var edilemeyeceğini, sadece şekil değiştireceğini söyler. Bu ilişki **Termodinamik** dersinin konusu kapsamındadır.

Kuvvet ve Potansiyel Enerji: Bir cisim üzerinde yapılan iş $W = \vec{F}(x) \cdot \vec{x}$ şeklinde verilir. Ve bu iş, potansiyel enerji değişimine sebep olabilir. $W = \vec{F}(x) \cdot \Delta \vec{x} = -\Delta U(x)$. Buradan bize eğer, kuvvet sorulursa: $F(x) = \frac{-\Delta U(x)}{\Delta \vec{x}}$. Eğer, $\Delta x \rightarrow 0$ limitini kullanırsak, kuvvet değerini daha kesin olarak bulabiliriz. $\vec{F}_x = -\frac{dU}{dx}$ genel ifadesi bulunur. İki örnek verecek olursak:

Esneklik potansiyel enerjisini $U = \frac{1}{2}kx^2$ alıp, yukarıdaki kuvvet formülünde yerine koyarsak,

$\vec{F}_x = -\frac{d(\frac{1}{2}kx^2)}{dx} = -k \cdot \vec{x}$ şeklinde yayın ucundaki cisme uyguladığı kuvveti buluruz. Yine, kütleçekim potansiyel enerjisi $U(y) = m\vec{g}\vec{y}$ kullanılarak, $\vec{F}_y = -\frac{dU}{dy} = -\frac{m\vec{g}\vec{y}}{dy} = -m\vec{g}$ kütleçekim kuvveti bulunmuş olur.

Yukarıdaki iki örneğin şimdide grafiksel gösterimini inceleyelim. Kuvvet grafiğinde $-x$ yönünde cisim çekildikçe,

(a) Elastic potential energy and force as functions of x

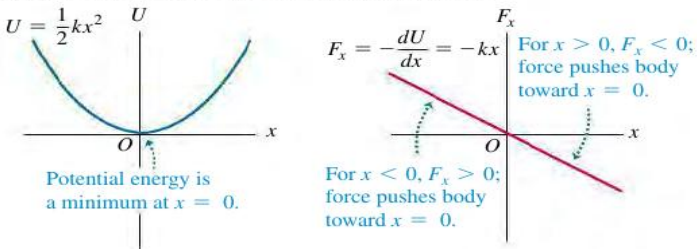


Figure: Fig 7.22a (Zemansky)

kuvvetin pozitif yönde artarak cismi aslında $x=0$ denge konumuna getirmeye çalıştığı görülür. Tam tersi olan $+x$ yönünde çekilen cisim ise negatif yönde bir kuvvete sahiptir. Bu ise, cismin yine $x=0$ denge konumuna çekilmekte olduğunu gösterir.

Konumla doğru orantılı olan yerçekimi potansiyel enerjisinde, kuvvetin konumdan bağımsız olarak sabit $-mg\vec{y}$ değerine sahip olduğu görülür. Yani cisim daima negatif y yönüne doğru çekilmektedir. Bu sayede, yerle temasımızı sağlarız.

(b) Gravitational potential energy and force as functions of y

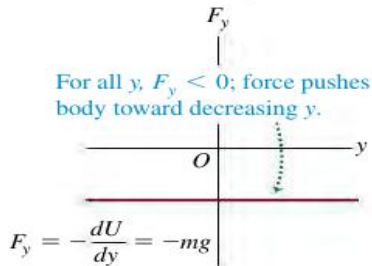
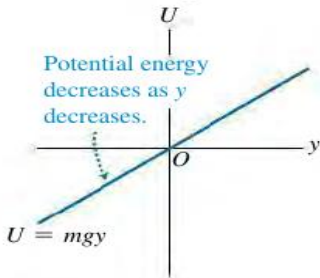


Figure: Fig 7.22b (Zemansky)

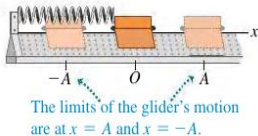
Üç Boyutta Kuvvet ve Potansiyel Enerji: $\vec{F}$ kuvvetini tek bir vektör ifadesiyle yazmak için birim vektör kullanabiliriz.

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k} == -\vec{\Delta} U = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k}\right)$$

Eğer yine yerçekimi kuvvetinden bir örnek verecek olursak:
 $\vec{F}_g = -\vec{\Delta}(mgy) = -\left(\frac{\partial mgy}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial mgy}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial mgy}{\partial z} \vec{k}\right) = (-mg) \vec{j}$ değeri açıkça yerçekimi kuvvetinin yönünü göstermektedir. Yani, yerçekimi kuvveti, büyüklüğü mg ve yönü $-\vec{j}$ olan -y yönünde bir vektördür.

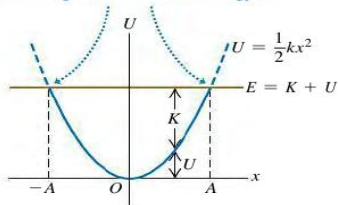
7.23 (a) A glider on an air track. The spring exerts a force $F_x = -kx$. (b) The potential-energy function.

(a)



(a) (Zemansky Figure 7.23a)

On the graph, the limits of motion are the points where the U curve intersects the horizontal line representing total mechanical energy E .



(b) (Zemansky Figure 3.9)

Daha önceden ispatladığımız yay kuvveti değeri ve onu temsil eden potansiyel enerji grafikte gösterilmiştir. Toplam mekanik enerjinin nasıl kinetik ve potansiyel enerjiye paylaştırıldığı da açıkça görülmektedir. Denge konumunda ($x=0$), yay sadece kinetik enerjiye sahipken, $x=A$ veya $-A$ durumunda maximum potansiyel enerjiye sahiptir.

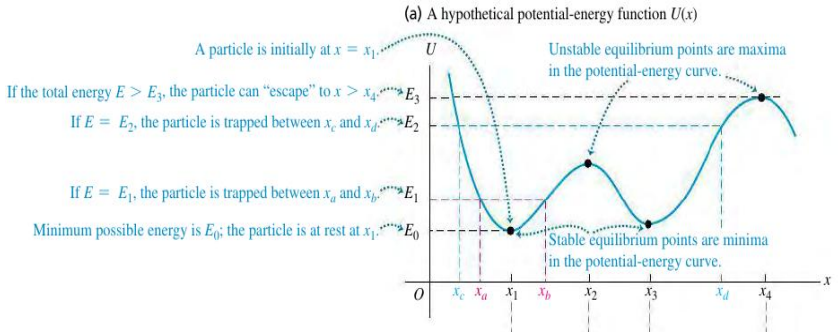


Figure: Fig 7.24a (Zemansky)

Grafikte eğimin negatif işaretlisi, bize kuvveti verir. Noktayla belirlilen kısımlarda eğim sıfır olacağından, kuvvetin değeri de sıfırdır. $x_c - x_1$, $x_2 - x_3$, $x_2 - x_3$ ve $x_4 - x_5$ arasında eğim negatif yönlüken, kuvvet pozitif olacaktır. $x_1 - x_1$ ve $x_3 - x_4$ arasında ise durum tam tersidir.

Örneğin, enerjisi E_1 olan bir parçacığın, $x_a - x_b$ arasında hareketinin kısıtlandığı görülür. Bu değerler, aynı zamanda cismin alabileceği maximum U potansiyel enerjisini temsil eder. Temsili olarak, cismin bu **potansiyel kuyu** içinde hareket ettiği söylenir.

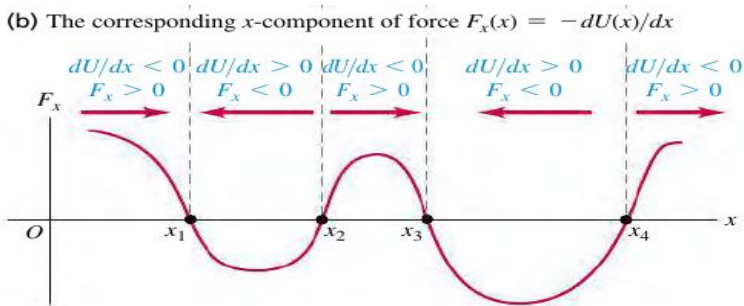


Figure: Fig 7.24b (Zemansky)

Öğreneceklerimiz:

- 1 Bir parçacığın momentumunun ne anlama geldiği ve parçacık üzerine etkiyen net kuvvetin itmesinin momentumu nasıl değiştirdiği,
- 2 Hangi şartla, sistemin toplam momentumu sabit kalır,
- 3 Esnek, esnek olmayan ve tamamen esnek olmayan çarpışmaların momentum analizi,
- 4 Bir sistemin Kütle merkezinin anlamı,

Momentumun korunumu yasaları, Newton yasalarının geçerli olmadığı ışık hızına yakın hızlarda veya mikro-alemdede (enerjinin korunumu yasalarının aksine) geçerlidir.

Momentum ve Newton'un ikinci yasası:

$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt}$ Bu formülde, toplam net kuvvetin aslında momentumun zamanla değişimine eşit olacağı görülür. Momentum ve kuvvet burada vektörel niceliklerdir. Bu yüzden, momentumla yapılan işlemlerde vektörel toplam yapılmalıdır. $\vec{P}$ momentumu, p_x , p_y ve p_z şeklinde üç bileşene ayrılırsa, bunları yaratan hız bileşenleride $\vec{v}_x$, $\vec{v}_y$ ve $\vec{v}_z$ şeklinde üçe ayrılmış demektir.

Yukarıdaki formülü tekrar düzenlersek, kısa süredeki ölçümlerde $\sum \vec{F}_{net} \cdot dt = d\vec{p}$ veya uzun süreli ölçümlerde $\sum \vec{F}_{net} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ olarak yazılabilir. Eşitliğin sol tarafı, bizi yeni bir terime götürür. Bunu, birinci formülde **anlık itme** ve ikinci formülde **itme** ($\vec{I}$) olarak isimlendireceğiz. Vektörel olan bu yeni terimde, $\vec{I}_x$, $\vec{I}_y$ ve $\vec{I}_z$ şeklinde üç bileşen olarak incelenebilir. Birim olarak, kuvvet ve zamanın çarpımı olan $N.s = kg.m/s^2.s = kg.m/s$ kullanılır.

Momentum ve kinetik enerjilerin karşılaştırılması: Eğer iş-enerji ilkesini hatırlayacak olursak, cisim üzerinde yapılan iş, cismin kinetik enerjisinde değişime neden olur. $W = \vec{F} \cdot \vec{x} = K_2 - K_1 = \Delta K$

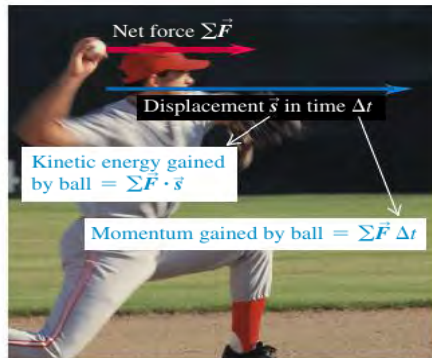


Figure: Sayfa 240 (Zemansky)

Hangi topu yakalamak daha kolaydır? 0.5kg kütleli ve 4m/s hızlı veya 0.1kg kütleli ve 20 m/s hızlı olanı. Burada her iki topun momentumları ($\vec{p} = m\vec{v}$) aynıdır. Fakat, kinetik enerjileri sırayla 4joule ve 20joule'dür. Momentumlarının eşit olması demek, aynı şiddetteki bir itmeyle ($I = \Delta\vec{P}$)

Esnek çarpışma yapan iki cismin genel şeması:

$$A, v_{A1x} \bullet \longrightarrow \text{---} \text{---} \text{---} \longleftarrow \circ B, v_{B1x}$$

Kinetik enerjinin korunumu:

$$\frac{1}{2} m_A v_{A1x}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B1x}^2 = \frac{1}{2} m_A v_{A2x}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{B2x}^2$$

Momentumun korunumu:

$$m_A \vec{v}_{A1x} + m_B \vec{v}_{B1x} = m_A \vec{v}_{A2x} + m_B \vec{v}_{B2x}$$

Enerji formülü düzenlenirse,

$$m_A (\vec{v}_{A1x}^2 - \vec{v}_{A2x}^2) = m_B (\vec{v}_{B2x}^2 - \vec{v}_{B1x}^2) \text{ yani}$$

▷ 1

$$m_A (\vec{v}_{A1x} - \vec{v}_{A2x})(\vec{v}_{A1x} + \vec{v}_{A2x}) = m_B (\vec{v}_{B2x} - \vec{v}_{B1x})(\vec{v}_{B2x} + \vec{v}_{B1x}) .$$

Momentum formülü düzenlenirse,

▷ 2

$$m_A (\vec{v}_{A1x} - \vec{v}_{A2x}) = m_B (\vec{v}_{B2x} - \vec{v}_{B1x}) \text{ formülleri bulunur.}$$

▷ 1 ve ▷ 2 formülleri alt alta birbirine bölünürse,

◆ $(\vec{v}_{A1x} + \vec{v}_{A2x}) = (\vec{v}_{B2x} + \vec{v}_{B1x})$ ifadesi bize çarpışmadan önceki ve sonraki hızlar toplamının sabit kalacağını gösterir. Buradan önce $\vec{v}_{B2x}$ hızını çekeriz.

●1 $\vec{v}_{B2x} = \vec{v}_{A1x} + \vec{v}_{A2x} - \vec{v}_{B1x}$

Daha sonra bu hız, ▷ 2 formülünde yerine yazılarak, $\vec{v}_{A2x}$ son hızı tamamen bilinen ilk değerler cinsinden yazılabilir. Bu ifade bulunduğundan sonra ise, geriye dönüp $\vec{v}_{B2x}$ formülüyle B'nin son hızı bulunur.

●2 $\vec{v}_{A2x} = \frac{m_A \vec{v}_{A1x} + m_B (2\vec{v}_{B1x} - \vec{v}_{A1x})}{m_A + m_B}$ bütün değerler çarpışma

öncesinde bilinir veya verilir. Farklı çarpışma durumları için çıkarımlar bu ●1 ve ●2 formüllerinden çıkarılabilir.

A, $\vec{v}_{A1x}$ $\bullet \longrightarrow - - - - \longleftarrow \circ B$, $\vec{v}_{B1x}$ Büyük olan cismi çok ağır bowling topu, küçük olanı ise çok ufak bir bilye olarak hayal ediniz.

Durum 1: $\vec{v}_{B1x} = 0$ ve $m_A = m_B = m$ ise $\bullet 2$ formülünden $\vec{v}_{A2x} = 0$ ve sonrasında $\blacklozenge$ formülünden $\vec{v}_{B2x} = \vec{v}_{A1x}$ bulunur.

Durum 2: $\vec{v}_{B1x} = 0$ ve $m_A \gg m_B$ ise $\bullet 2$ formülü kısaltarak $\vec{v}_{A2x} = \frac{\vec{v}_{A1x}(m_A - m_B)}{m_A + m_B}$ olacaktır. Kütlesi çok küçük olan $m_B = 0$ olarak alınabilir. Burandan da $\vec{v}_{A2x} \cong \vec{v}_{A1x}$ ve $\vec{v}_{B2x} \cong 2\vec{v}_{A1x}$ bulunur.

Durum 3: $\vec{v}_{B1x} = 0$ ve $m_A \ll m_B$ ise kısalan formül, $\vec{v}_{A2x} = \frac{\vec{v}_{A1x}(m_A - m_B)}{m_A + m_B}$ şeklini alır. $m_A = 0$ olarak alınarak, sonuç $\vec{v}_{A2x} \cong -\vec{v}_{A1x}$ ve $\vec{v}_{B2x} = 0$ olarak bulunur.

Eğer, üç örneğide tek tek incelersek. 1. örnekte kütleleri eşit olan bilyelere aşağıda görülen Newton oyuncağı verilebilir. Bilindiği gibi belirli bir yükseklikten bırakılan bilyelerden biri (A) diğer bilyeye tüm momentumunu bırakıp, durur ($\vec{v}_{A2x}$). Bilyeler arasında iletilen momentum, en son bilyenin (B) ayrılarak yükselmesiyle hareket devam eder. Sistem mükemmel olmadığı ve varolan sürtünmeler yüzünden, her defasında uçtaki toplar daha az yükselip, sonunda duracaktır.



Çarpışmadan önce, A, $\vec{v}_{A1x} \bullet \longrightarrow - - - - \circ B$, $\vec{v}_{B1x} = 0$

Sonra, A, $\vec{v}_{A2x} = 0 \bullet - - - - \circ \longrightarrow B$, $\vec{v}_{B1x} = \vec{v}_{A1x}$

2. örnekte ise, m_A kütleli çok ağır bir bowling topunun, çok ufak kütleli duran bir m_B bilyesine çarptığını düşünelim. Mantıksal veya tahmini olarak, bowling topunun küçük bilyeden hiç etkilenmemiş olması aklımıza gelir. Çarpılan bilyenin ise aynı sürede çok uzağa savrulmasını bekleriz. Sonuçlarda, bizi destekler nitelikte çıkmıştır. $\vec{v}_{A2x}$ neredeyse ilk hızla aynı kalmıştır, yani çarpışmadan etkilenmemiştir. Bilye ise, yaklaşık iki kat hızla $2\vec{v}_{A1x}$ ilerlemiştir.

Vektörel Diagram:

Çarpışmadan önce, $A, \vec{v}_{A1x} \bullet \longrightarrow - - - - \circ B, \vec{v}_{B1x} = 0$

Sonra, $A, \vec{v}_{A2x} = \vec{v}_{A1x} \bullet \longrightarrow - - - - \circ \longrightarrow \longrightarrow B, \vec{v}_{B1x} = 2\vec{v}_{A1x}$

3. örnekte ise, m_A kütleli küçük bir bilyenin duran çok ağır bir bowling topuna çarptığını hayal ediniz. Yine tahmini olarak, ufak bilyenin çarpışma sonrası geriye doğru sekeceğini ve büyük bowling topunun belkide hiç kımıldamayacağını düşünmek hiçte zor değildir. Sonuçta bizi desteklemektedir. Çarpan bilye $\vec{v}_{A2x} = -\vec{v}_{A1x}$ yönünü değiştirip, hızını korumuştur. Onun çarptığı bilye ise hiç kımıldamamıştır $\vec{v}_{B2x} = 0$.

Vektörel Diagram:

Çarpışmadan önce, $A, \vec{v}_{A1x} \bullet \longrightarrow - - - - \circ B, \vec{v}_{B1x} = 0$

Sonra, $A, \vec{v}_{A2x} = -\vec{v}_{A1x} \longleftarrow \bullet - - - - \circ B, v_{B1x} = 0$

Kütle Merkezi: Birçok parçacıktan oluşan bir sistemin kütle merkezini bulmaya çalışırsak, tek tek bu parçaların ağırlık merkezlerini (x_1, y_1) gibi koordinatlar olarak öncelikle yazmamız gerekir. Sonrasında, farklı her koordinat için aşağıdaki formülü uyguluyoruz.

$$x_{\text{kutlemerkezi}} = x_{km} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$$

$$y_{\text{kutlemerkezi}} = y_{km} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}$$

Bireysel olarak bulunan bu x_{km} veya y_{km} gibi koordinatların vektörel toplamı bize kütle merkezinin konum vektörünü verir.

$$\text{Konum vektörü} = \vec{r}_{km} = x_{km} \vec{i} + y_{km} \vec{j} + \dots$$

$$\text{Konum vektörünün büyüklüğü} = |\vec{r}_{km}| = \sqrt{x_{km}^2 + y_{km}^2 + \dots}$$

$$\vec{r}_{km} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

Kütle merkezinin hareketi:

$$v_{km,x} = \frac{m_1 v_{1,x} + m_2 v_{2,x} + m_3 v_{3,x} + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i v_{i,x}}{\sum_i m_i}$$

$$v_{km,y} = \frac{m_1 v_{1,y} + m_2 v_{2,y} + m_3 v_{3,y} + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i v_{i,y}}{\sum_i m_i}$$

Yine vektörel bir nicelik olan hızın bileşkesi ise

$\vec{v}_{km} = v_{km,x} \vec{i} + v_{km,y} \vec{j} + \dots$ şeklindedir.

$$\vec{v}_{km} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i} \text{ yani}$$

$$M \cdot \frac{d\vec{r}_{km}}{dt} = M \cdot \vec{v}_{km} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots = \vec{P} = \text{toplam momentum}$$

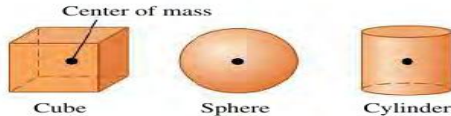
Görüldüğü gibi sistemin toplam kütlesi ve kütle merkezinin hızından, sistemin toplam momentumuna ulaşılabilir. Eğer, sistemin hızı değişmiyorsa, yani sisteme etkiyen net bir kuvvet yoksa, sistemin momentumu sabit kalacaktır.

Eğer sisteme etkiyen toplam net bir kuvvet varsa, yukarıdaki durumun aksine hızda değişim olacaktır. Hızda, belli bir zaman diliminde var olan değişim ise bize sistemin bir ivmeye sahip olacağını söylemektedir.

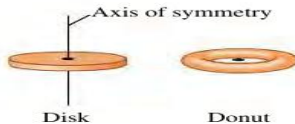
$$M \cdot \frac{d\vec{v}_{km}}{dt} = M \cdot \vec{a}_{km} = m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + m_3 \vec{a}_3 + \dots = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

Yukarıdaki bu ifade ise, aslında herbir parçacığa etkiyen kuvvetin yani $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ formülünün bir uygulamasından ibarettir.

$\sum \vec{F}_{toplaml} = \sum \vec{F}_{ic} + \sum \vec{F}_{dis}$ formülü bize bir sisteme etkiyen toplam kuvvetin aslında sistem içinde var olan kuvvetler toplamıyla sistem dışından etki eden kuvvetler toplamının toplamı olduğunu gösterir. İç kuvvetler Newton'un 3. yasasındaki kuvvet çiftlerinden olduğundan, bir birlerini yok edecektirler. Sonuç olarak, toplam kuvvet sadece net dış kuvvete eşittir. Sistem ise kütle merkezi bu kuvvete maruz kalmış ve ivme kazanmış gibi davranacaktır.

8.29 Locating the center of mass of a symmetric object.

If a homogeneous object has a geometric center, that is where the center of mass is located.



If an object has an axis of symmetry, the center of mass lies along it. As in the case of the donut, the center of mass may not be within the object.

Figure: Fig 8.29 (Zemansky)

Bir cismin simetri eksenini varsa, kütle merkezi bu eksen üzerindedir. Homojen geometrik cisimlerde ise kütle merkezi geometrik şeklin merkezidir.

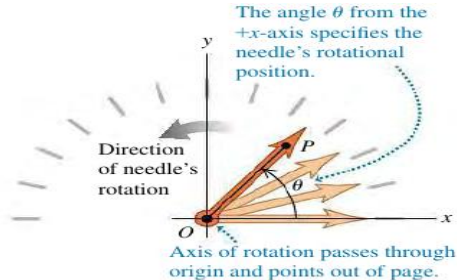
Unutulmaması gereken birşey ise hacimli cisimlerin hareketi, kütle merkezinin **öteleme hareketi** ve **dönme hareketi** olarak incelenir.

Üzerine uygulanan kuvvetin, şeklini veya büyüklüğünü değıştirmedini kabul ettiğimiz cisimlere **kıatı cisimler** diyoruz.

- 1 Bir kıatı cismin dönme hareketinin açısal koordinat, açısal hız ve açısal ivme cinsinden nasıl tanımlanacağı,
- 2 Açısal ivme sabit olduğunda bir kıatı cismin dönme hareketinin nasıl inceleneceğı,
- 3 Bir kıatı cismin dönme hareketi ile üzerindeki bir noktanın doğrusal hızı ve doğrusal ivmesi arasındaki ilişkinin nasıl kurulacağı,
- 4 Bir kıatı cismin dönme eksenine göre eylemsizlik momentinin anlamı ve dönme kinetik enerjisiyle ilişkisi,

- 1 Bir kıatı cismin eylemsizlik momentinin birbirlerine paralel eksenler etrafındaki değeri arasındaki ilişkinin nasıl hesaplanacağı,
- 2 Çeşitli kıatı cisimlerin eylemsizlik momentlerinin hesaplanması incelenecektir.

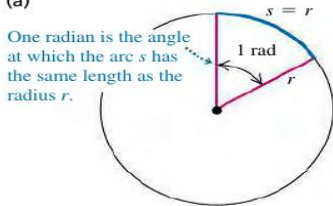
Açısal hız ve ivme: Şekildeki ibrenin dönme yönü aynı zamanda cismin hareket yönünü göstermektedir.



Dönme açısını tanımlarken, bunu derece değilde radyan olarak yapmak kolaylık sağlayabilir. Aşağıdaki grafiklerde 1 radyanın ne demek olduğunu ve radyan cinsinden açının formülünün $\theta = \frac{s}{r}$ şeklinde olduğunu görmekteyiz.

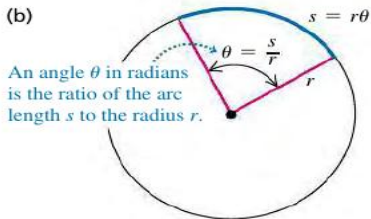
9.2 Measuring angles in radians.

(a)



(a) (Zemansky Figure 9.2a)

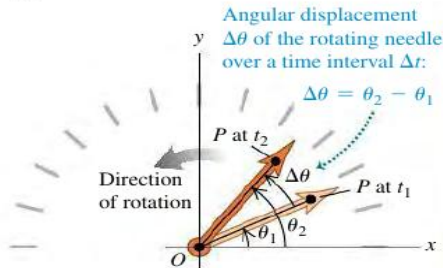
(b)



(b) (Zemansky Figure 9.2b)

Yer değiştirmenin açısal olduğu durumlarda, iki açısal konum arasındaki fark şekildeki gibi $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ olarak gösterilir.

(a)



Bu durumda z eksenini etrafında dönen cismin **ortalama açısal hızı** $\omega_{ort-z} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ ve **ani açısal hızı** ise $\omega_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ olarak tanımlanır.

Yerdeğiştirme ve hızı ardından ivme izler. Açısal ivme, belli bir zaman aralığında açısal hızdaki değişiktir. Ortalama açısal ivme: $\alpha_{ort-z} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega_z}{\Delta t}$ iken ani açısal ivme

$$\alpha_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega_z}{\Delta t} = \frac{d\omega_z}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \text{ halini alır.}$$

Bir dönme hareketinde açısal ivme pozitif ise açısal hız artarken, açısal ivme negatif iken açısal hız azalacaktır.

Açısal hız formüllerinin türetilmesi, doğrusal hız formüllerinin türetilmesiyle aynıdır. Bu yüzden burada sadece aşağıdaki tabloyla vermekle yetineceğiz. Detay için kitaplarınızı inceleyiniz. (Ör: Sears & Zemanski sayfa 279)

Sabit ivmeli doğrusal ve açısal hareketin karşılaştırılması:

**Straight-Line Motion with
Constant Linear Acceleration**

$$a_x = \text{constant}$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t \quad (2.8)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad (2.12)$$

$$v_x^2 = v_{0x}^2 + 2a_x(x - x_0) \quad (2.13)$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_{0x} + v_x)t \quad (2.14)$$

**Fixed-Axis Rotation with
Constant Angular Acceleration**

$$\alpha_z = \text{constant}$$

$$\omega_z = \omega_{0z} + \alpha_z t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_{0z}t + \frac{1}{2}\alpha_z t^2$$

$$\omega_z^2 = \omega_{0z}^2 + 2\alpha_z(\theta - \theta_0)$$

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{2}(\omega_{0z} + \omega_z)t$$

'Dairesel ve çizgisel hareket' veya 'açısal ve doğrusal hız' karşılaştırılırken, z ekseninde doğrusal hareket yapan cisim için kastedilen, cismin tamamen z ekseninde mesafe katettiğidir. Ancak, açısal hızı z ekseninde olan cisimden kasıt, z eksenini etrafında dönmesidir, katetmesi değildir.

Dönen cismin hareket yönü, dönme ekseniniyle yaptığı açının zamanla artıp azalmasına göre değişir. Eğer $\Delta\theta$ yerdeğiştirmesinde gösterdiğimiz gibi, dönme açısı zamanla artıyorsa, cisim **pozitif** yerdeğiştirme ve hıza sahipken, tersi yönde **negatif** bir yerdeğiştirme ve hıza sahiptir.

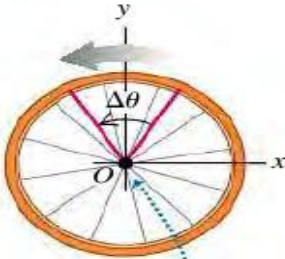
Açısal yerdeğiştirme ve yönü: Şekilde saat yönünün tersi açının arttığı yön olarak seçilmiştir. Açının arttığı yönde dönen cismin **açısal hızı pozitif**, ters yönde döneninki ise **negatif** olacaktır.

Counterclockwise rotation:

θ increases, so angular velocity is positive.

$\Delta\theta > 0$, so

$$\omega_{av-z} = \Delta\theta/\Delta t > 0$$



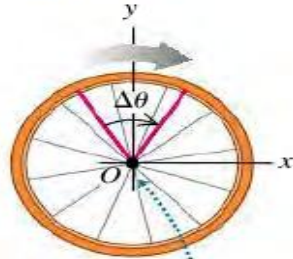
Axis of rotation (z-axis) passes through origin and points out of page.

Clockwise rotation:

θ decreases, so angular velocity is negative.

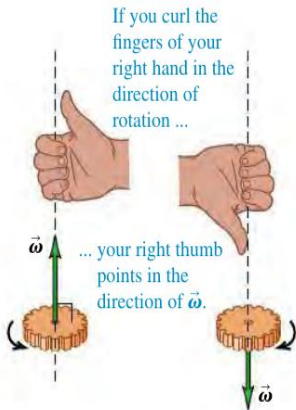
$\Delta\theta < 0$, so

$$\omega_{av-z} = \Delta\theta/\Delta t < 0$$

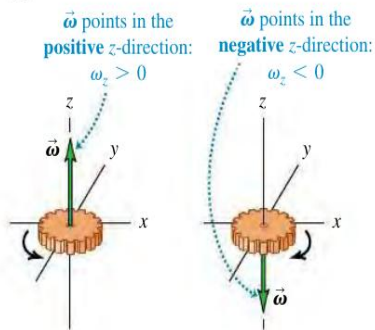


Açısal hız ve yönü: Dönme yönüne doğru çevrilen sağ elimizin baş parmağı **açısal hızın yönünü** gösterir. Pozitif veya negatif olması bizim yön seçimimize bağlıdır.

(a)



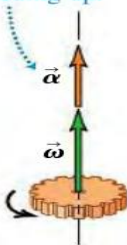
(b)



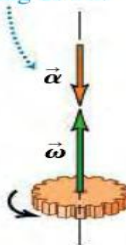
Açısal ivme ve yönü: Açısal hızdaki zamanla değişim anlamına gelen açısal ivmenin yönü ya açısal hıza paralel (hız artıyorsa) ya da anti-paraleldir (hız azalıyorsa). Bunu $\omega_z = \omega_{0z} + (\alpha_z \cdot t)$ bağıntısından da test edebiliriz.

9.7 When the rotation axis is fixed, both the angular acceleration and angular velocity vectors lie along that axis.

$\vec{\alpha}$ and $\vec{\omega}$ in the **same** direction: Rotation speeding up.



$\vec{\alpha}$ and $\vec{\omega}$ in the **opposite** directions: Rotation slowing down.

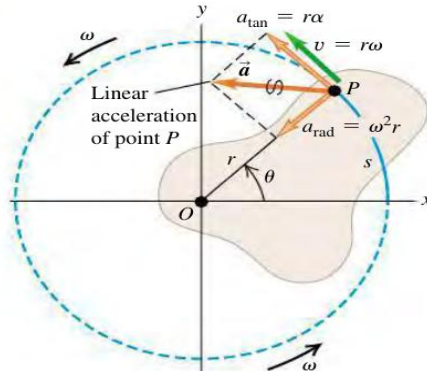


Doğrusal ve açısal kinematik arasındaki bağıntılar:

$s = (2\pi r)\left(\frac{\theta}{2\pi}\right) = r\theta$ ve $\left|\frac{ds}{dt}\right| = r\left|\frac{d\theta}{dt}\right|$ olduğundan $v = r.\omega$ bulunur.

Radial and tangential acceleration components:

- $a_{\text{rad}} = \omega^2 r$ is point P 's centripetal acceleration.
- $a_{\text{tan}} = r\alpha$ means that P 's rotation is speeding up (the body has angular acceleration).



Hem teğetsel hem de radyal ivme r mesafesine bağlıdır.

Dönme hareketinde enerji: Eğer katı bir cismin, kütleleri değışen ve dönme ekseninden farklı uzaklıklarda bulunan parçacıklar topluluğı olduğunu düşünürsek:

Herbir parçacığın kinetik enerjisi: $K_i = \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} m_i r_i^2 \omega^2$

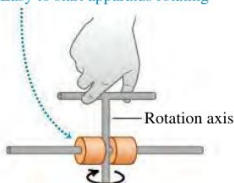
Toplam kinetik enerji:

$$K = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \omega^2 + \dots = \frac{1}{2} \omega^2 (\sum_i m_i r_i^2)$$

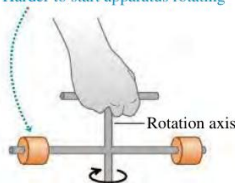
Eylemsizlik momenti: $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots = \sum_i m_i r_i^2$

Dönme kinetik enerjisi: $K = \frac{1}{2} I \omega^2$ her eksen için ayrı ayrı hesaplanır.

- Mass close to axis
- Small moment of inertia
- Easy to start apparatus rotating



- Mass farther from axis
- Greater moment of inertia
- Harder to start apparatus rotating



Eylemsizlik momenti katı cisimlerin, kendi rotasyon hareketlerindeki **değişime karşı eylemsizliğini** gösterir. Duran bir cismin eylemsizliği cismin **kütlesi** olduğu gibi, dönen bir cismin eylemsizliği de **eylemsizlik momentidir**. Bu şu anlama gelir: eylemsizlik momenti fazla olan bir sistemi döndürmek, az olanı döndürmekten daha fazla kuvvet gerektirecektir. Bunun bir örneğide bir önceki slayttaki figürlerdir.

Dikkat edilecek olursa, eylemsizlik momentindeki yarıçap (r_i) dönme eksenin dik uzaklığı temsil eder; fakat bu parçacıkların aynı düzlemde olma zorunlulukları yoktur. Her dönme eksenini kendi içinde ayrı ayrı incelenmelidir. Eylemsizlik momentinin formülü bize aynı zamanda, bu değer cismin kütlesinin düzlemsel dağılımına bağlı olduğunu söyler.

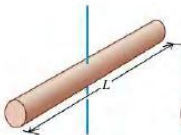
Eylemsizlik momenti seçilen dönme eksenine bağlıdır.

Kıatı Cisimlerin Eylemsizlik Momenti Hesaplamaları:

TABLE 9.2 Moments of Inertia of Various Bodies

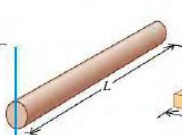
(a) Slender rod,
axis through center

$$I = \frac{1}{12}ML^2$$



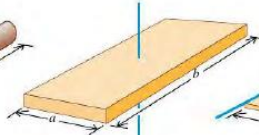
(b) Slender rod,
axis through one end

$$I = \frac{1}{3}ML^2$$



(c) Rectangular plate,
axis through center

$$I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$$



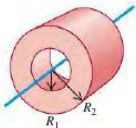
(d) Thin rectangular plate,
axis along edge

$$I = \frac{1}{3}Ma^2$$



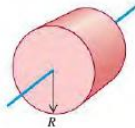
(e) Hollow cylinder

$$I = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$$



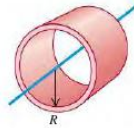
(f) Solid cylinder

$$I = \frac{1}{2}MR^2$$



(g) Thin-walled hollow
cylinder

$$I = MR^2$$



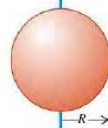
(h) Solid sphere

$$I = \frac{2}{5}MR^2$$

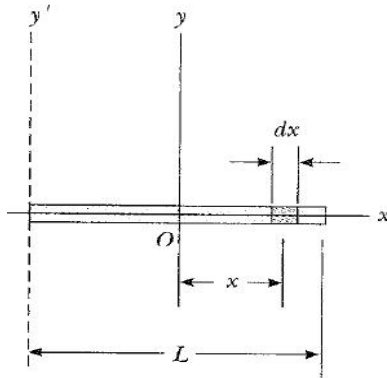


(i) Thin-walled hollow
sphere

$$I = \frac{2}{3}MR^2$$



Düzgün katı çubuğun eylemsizlik momenti, dönme eksenini cismin merkezindeyken: Yukarıdaki şekil a'da veya aşağıda görülen düzgün katı çubuğun, boyu L ve kütlesi M 'dir. Bu çubuğun ortasından geçen y eksenine göre eylemsizlik momentini bulmak için,



Cismin dm kütlesini, parçanın birim uzunluk başına kütlesi $\lambda = \frac{M}{L}$ ve dx uzunluk elemanın çarpımına eşitleriz. Yani, $dm = \lambda dx$. Genel eylemsizlik formülü $dI = r^2 dm$ ifadesindeki r yerine x alarak,

$$I = \int_{-L/2}^{L/2} x^2 \left(\frac{M}{L}\right) dx = \left(\frac{M}{L}\right) \int_{-L/2}^{L/2} x^2 dx \text{ bulunur.}$$

$$\text{Sonuç olarak, } I = \frac{M}{L} \frac{x^3}{3} \Big|_{-L/2}^{L/2} = \frac{1}{12} ML^2 \text{ elde ederiz.}$$

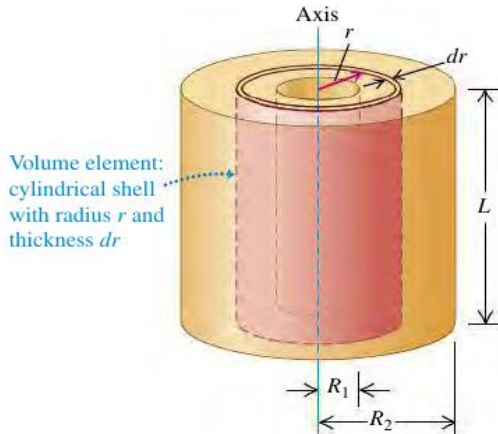
Düzgün katı çubuğun eylemsizlik momenti, dönme eksenini cismin bir ucundayken: Bu durumda, yukarıdakinin aksine integralin sınırları $0 - L$ arasında değişecektir. Aynı şekil ve yöntem, bu değişiklik göz önünde bulundurulduğunda,

$$I = \int_0^L x^2 \left(\frac{M}{L}\right) dx = \left(\frac{M}{L}\right) \int_0^L x^2 dx \text{ bulunur.}$$

$$\text{Sonuç olarak, } I = \frac{M}{L} \frac{x^3}{3} \Big|_0^L = \frac{1}{3} ML^2 \text{ elde ederiz.}$$

Bu bize her iki örnekte de, sadece integralin uzunluk sınırlarının değiştiğini gösterir. Yöntem hep aynıdır.

Delik Silindirin Eylemsizlik Momenti:



$dm = \rho dV = \rho(2\pi rLdr)$ ifadesi kullanılarak

$$I = \int dl = \int r^2 dm = \int_{R_1}^{R_2} r^2 \rho(2\pi rLdr) \text{ yazılabilir. Buradan}$$

$$I = 2\pi\rho L \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr = \frac{2\pi\rho L}{4} (R_2^4 - R_1^4) = \frac{\pi\rho L}{2} (R_2^2 - R_1^2)(R_2^2 + R_1^2)$$

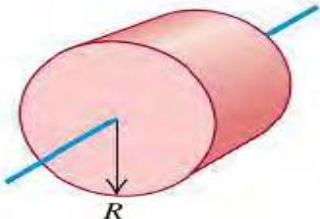
bulunur.

Verilen delik silindirin hacmi= $V=\pi L(R_2^2 - R_1^2)$ iken, kütlesi ise $M = \rho V = \pi L\rho(R_2^2 - R_1^2)$ olmaktadır. Eğer, eylemsizlik momentini kütle cinsinden yazarsak, $I = \frac{1}{2} M(R_2^2 + R_1^2)$ genel ifadesi bulunacaktır.

Delik silindir için bulunan $I = \frac{1}{2}M(R_2^2 + R_1^2)$ genel ifadesindeki, $R_1 = 0$ ve $R_2 = R$ alınırsa **dolu silindir** için eylemsizlik momenti $I = \frac{1}{2}MR^2$ bulunur. Diğer bir özel durum olan **ince çeperli delik silindirin** eylemsizlik momenti, $R_1 = R_2 = R$ yazılarak $I = MR^2$ olarak bulunur.

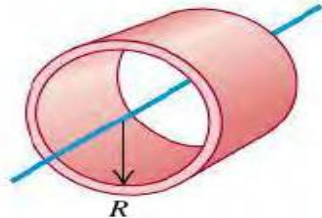
(f) Solid cylinder

$$I = \frac{1}{2}MR^2$$

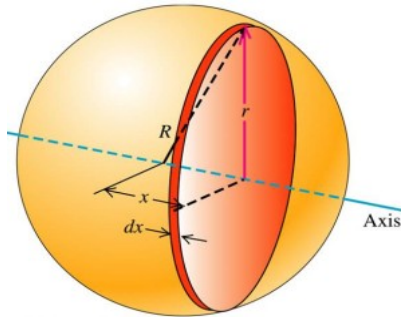


(g) Thin-walled hollow cylinder

$$I = MR^2$$



Dolu Kürenin Eylemsizlik Momenti:



Öncelikle küreyi şekildeki gibi eylemsizlik momentini bildiğimiz ince disklere böleriz. Bu diskler, önceden bulduğumuz **dolu silindire** örnektir. Bu yüzden, $I = \frac{1}{2}MR^2$ olarak alınacaktır.

Yukarıda bölünmüş disklerin yarı çapı 'r' olacak ve her dilim için 'x' uzaklığına bağlı olarak değişecektir. $r = \sqrt{R^2 - x^2}$ iken, hacim $dV = \pi r^2 dx = \pi(R^2 - x^2)dx$ ve kütle $dm = \rho V = \pi\rho(R^2 - x^2)dx$ olacaktır. Daha önceden bulunan katı silindirin eylemsizlik momenti ($I = \frac{1}{2}MR^2$), burada tekrardan işlev kazanacaktır.

$$dI = \frac{1}{2}(R^2 - x^2)[\pi\rho(R^2 - x^2)dx] = \frac{\pi\rho}{2}(R^2 - x^2)^2 dx$$

Tüm kürenin eylemsizlik momenti

$$I = \frac{\pi\rho}{2} \int_{-R}^R (R^2 - x^2)^2 dx = \frac{\pi\rho}{2} \left[\int_{-R}^R R^4 dx - \int_{-R}^R 2R^2 x^2 dx + \int_{-R}^R x^4 dx \right]$$

$$I = \frac{\pi\rho}{2} \left[R^4 x \Big|_{-R}^R - \frac{2}{3} R^2 x^3 \Big|_{-R}^R + \frac{x^5}{5} \Big|_{-R}^R \right] = \frac{8}{15} \pi \rho R^5$$

Burada yoğunluk terimini kütle cinsinden yazarsak, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi R^3}$ elde edilir. Sonrasında, bu terim yardımıyla eylemsizlik momenti tekrar şöyle yazılabilir:

$$I = \frac{8\pi R^4}{15} \left(\frac{3M}{4\pi R^3} \right) = \frac{2}{5} MR^2$$

Ince çeperli içi boş kürenin eylemsizlik momenti:

Yukarıda dolu küre için verilen şekil halen geçerlidir. Fakat, bu sefer dolu disk değilde boş çemberin eylemsizlik momenti olan $I = MR^2$ ifadesinden yardım alacağız. Küremizi, çemberlere bölünmüş bir yüzey gibi düşüneceğiz.

$dl = r^2 dm$, $dm = (M/A)dA$, yay uzunluğu $S = R\theta$, halkanın alanı olan $dA = dx \cdot (2\pi r) = (R\theta)(2\pi r)$, ayrıca $r = R \sin \theta$ olduğu için, $dA = 2\pi R^2 \sin \theta d\theta$ olur. Yüzey alanı $4\pi R^2$ olan kürede, $dm = (M/A)dA = \frac{M \sin \theta}{2} d\theta$ olur.

$$I = r^2 dm = \frac{MR^2}{2} \int_0^\pi \sin^2 \theta \sin \theta d\theta = \frac{MR^2}{2} \int_0^\pi (1 - \cos^2 \theta) \sin \theta d\theta$$

Şimdi $u = \cos \theta$ dönüşümü kullanılırsa,

$$I = \frac{MR^2}{2} \int_1^{-1} (u^2 - 1) du \text{ ve sonuç olarakta } I = \frac{2}{3} MR^2 \text{ olur.}$$

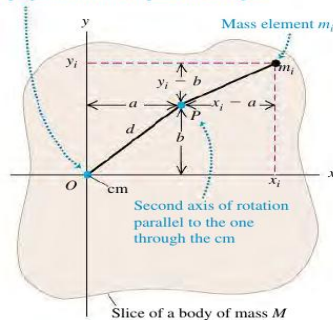
► Dikdörtgensel şekillerin eylemsizlik momentinin bulunuşu için tıklayınız.

► Eylemsizlik momentinin örnek canlandırma videosu için tıklayınız.

Paralel Eksen Teoremi:

9.20 The mass element m_i has coordinates (x_i, y_i) with respect to an axis of rotation through the center of mass (cm) and coordinates $(x_i - a, y_i - b)$ with respect to the parallel axis through point P .

Axis of rotation passing through cm and perpendicular to the plane of the figure



Daha önceden, x ve y eksenine dağılmış farklı kütlelerden oluşan bir sistemin ağırlık merkezi formülünün $x_{km} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$ ve

$y_{km} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}$ şeklinde verilebileceğini görmüştük. Toplam kütlesi

$M = \sum_i m_i$ olan cismin, kütle merkezinden "d" kadar uzaklıktaki P ekseninde döndüğünü varsayalım. Kütle merkezi $(x_{km}, y_{km}) = (0,0)$ alınacaktır. Dolayısıyla, $\sum_i m_i x_i = 0$ ve $\sum_i m_i y_i = 0$ olacaktır.

Kütle merkezi O noktasına göre eylemsizlik momenti: $I_{km} = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2)$ ve P noktasından geçen eksene göre

eylemsizlik momenti $a^2 + b^2 = d^2$ olduğu düşünülürse:

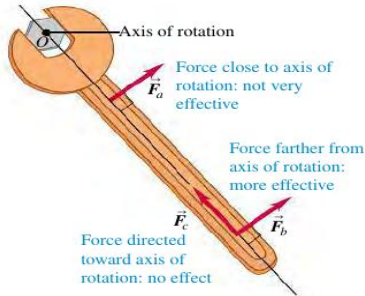
$$I_P = \sum_i m_i [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2] = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2) - 2a \sum_i m_i x_i - 2b \sum_i m_i y_i + (a^2 + b^2) \sum_i m_i = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2) + (a^2 + b^2) \sum_i m_i = I_{km} + d^2 \sum_i m_i \text{ olur.}$$

Buradan çıkarılacak sonuç şudur: kütle merkezine göre eylemsizlik momenti, ona paralel bir eksene göre eylemsizlik momentinden daha küçüktür. Yani, ağırlık merkezinden asılan cisimler daha kolay dönerler.

Bir cisme uygulanan net kuvvetin Newton'un 2.yasasına göre o cisme bir ivme kazandırdığını görmüştür. Bunları, iki başlık altında radyal ($\vec{a}_{radyal}$) ve teğetsel ($\vec{a}_{teget}$) olarak inceledik. Peki ya dönen cisimlere **açısal ivme** (α) kazandıran şey nedir? Bir cismi dönmeye başlatmak veya dönen bir cismi durdurmak için ne yapmak gerekir? Bütün bunların cevabı yine kuvvette yatmaktadır; fakat, bu kuvvetin artık özel bir ismi vardır, oda **torktur**.

Bir kuvvetin büyüklüğü ve yönünün yanında, cismin hangi noktasına uygulandığıda cismin dönme hareketini tayin etmede çok önemlidir.

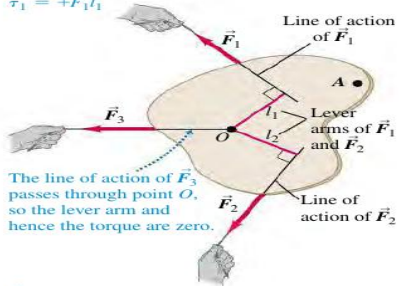
10.1 Which of these three equal-magnitude forces is most likely to loosen the tight bolt?



(c)

$\vec{F}_1$ tends to cause *counterclockwise* rotation about point O , so its torque is *positive*:

$$\tau_1 = +F_1 l_1$$



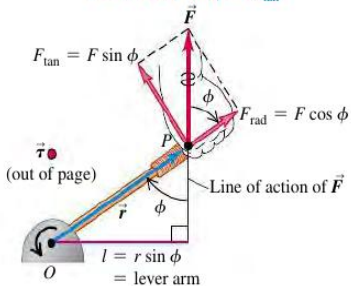
$\vec{F}_2$ tends to cause *clockwise* rotation about point O , so its torque is *negative*: $\tau_2 = -F_2 l_2$

(d)

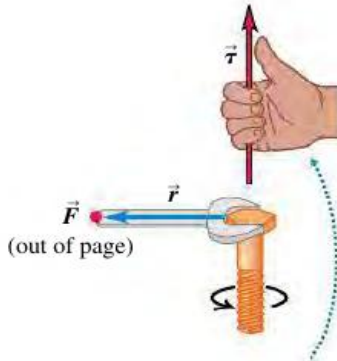
Tork formüsel olarak $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ ve $\tau = r(F \sin \theta)$ şeklinde verilir. Eğer, uygulanan kuvvet veya uzantısı dönme koluna dikse bu tork değeri $\tau = F.r$ şeklini alacaktır.

Three ways to calculate torque:

$$\tau = Fl = rF \sin \phi = F_{\tan} r$$



(e)

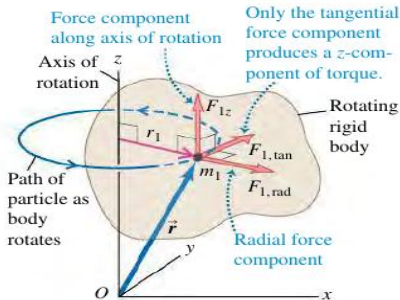


(f)

Vektörel bir büyüklük olan torkun, bizim tarafımızca belirlenen döndürme yönlerinden biri **pozitif** seçilirken, diğer yön haliyle **negatif** olacaktır. Yön sağ el kuralıyla bulunur.

Katı cisimler için tork ve açısal ivme:

10.6 As a rigid body rotates around the z -axis, a net force $\vec{F}_1$ acts on one particle of the body. Only the force component $F_{1,\text{tan}}$ can affect the rotation, because only $F_{1,\text{tan}}$ exerts a torque about O with a z -component (along the rotation axis).



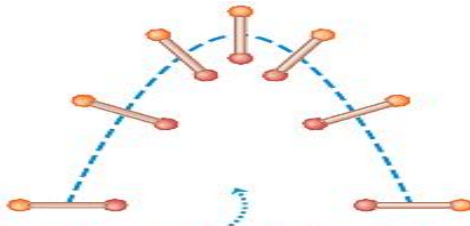
Üzerine $\vec{F}_1$ net kuvveti etkileyen cisim, z eksenini etrafında dönmektedir. Yalnız, bu kuvvetin $\vec{F}_{1,z}$, $\vec{F}_{1,tan}$ ve $\vec{F}_{1,rad}$ olmak üzere 3 bileşeni vardır. Bunlardan sadece $\vec{F}_{1,tan}$ bileşeni cisme dönme kazandıran tork kuvvetini oluşturur. Dolayısıyla, Newton'un 2. yasasına göre cisme aynı yönde bir $\vec{a}_{1,tan}$ 'si kazandırmalıdır.

Eğer, $\vec{a}_{tan} = \frac{d\vec{v}}{dt} = r \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} = r \cdot \vec{\alpha}_z$ olduğunu hatırlarsak; şekildeki m_1 kütleli parçacık için kuvvet $\vec{F}_{1,tan} = m_1 \vec{a}_{1,tan} = m_1 r_1 \vec{\alpha}_z$ olur.

Torku bulabilmek için $F_{1,tan} \cdot r_1 = m_1 r_1^2 \alpha_z$ yazarız, buda bize $\tau_{1z} = I_1 \alpha_z = m_1 r_1^2 \alpha_z$ 'yi verir. Aynı işlem diğer parçalar içinde yapılırsa,

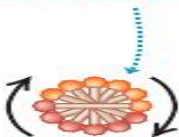
$$\tau_{1z} + \tau_{2z} + \dots = I_1 \alpha_z + I_2 \alpha_z + \dots = m_1 r_1^2 \alpha_z + m_2 r_2^2 \alpha_z + \dots$$

$$\sum \tau_{iz} = (\sum m_i r_i^2) \alpha_z \text{ yani } \sum \tau_z = I \alpha_z$$

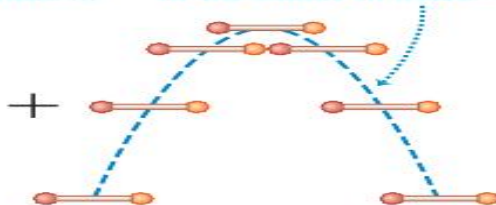


This baton toss can be represented as a combination of ...

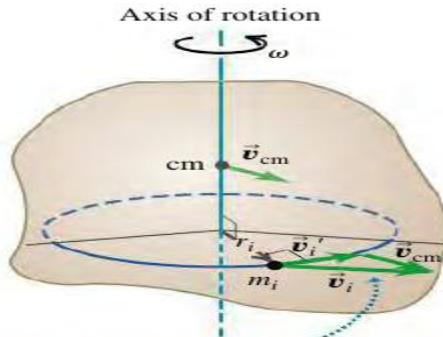
... **rotation** about the center of mass ...



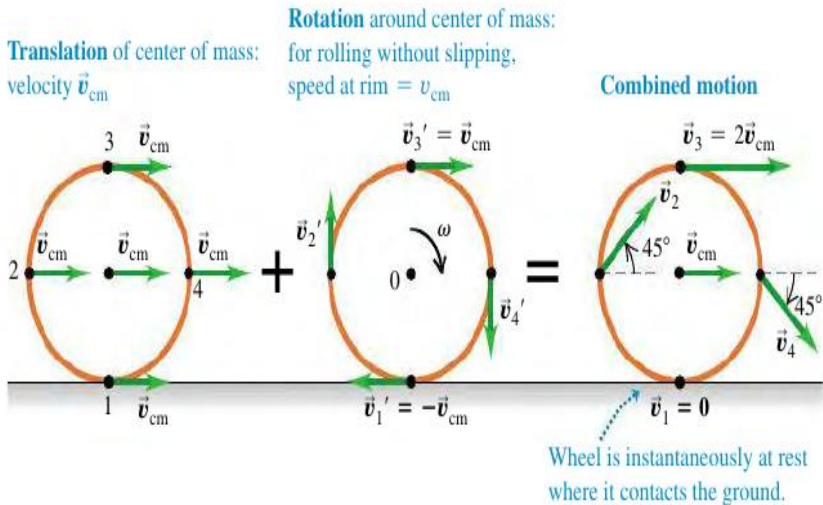
... **plus translation** of the center of mass.



10.12 A rigid body with both translational and rotational motions.

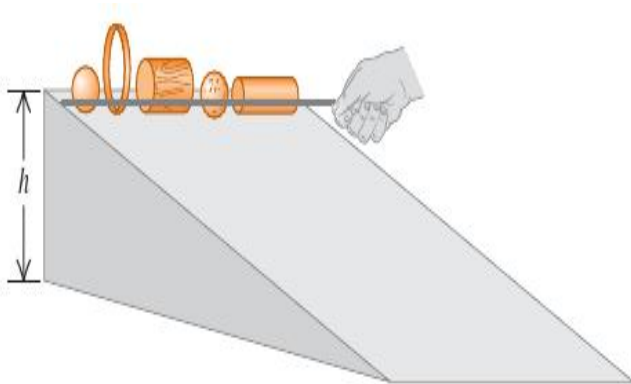


Velocity $\vec{v}_i$ of particle in rotating, translating rigid body = (velocity $\vec{v}_{cm}$ of center of mass) + (particle's velocity $\vec{v}_i'$ relative to center of mass)



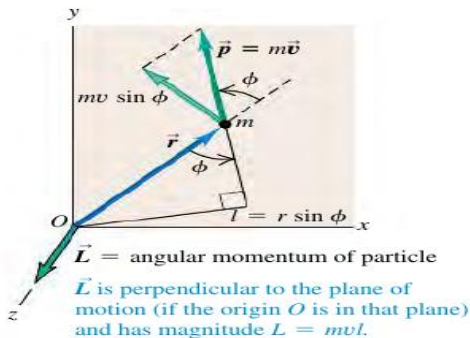
Farklı cisimlerin eğik düzlemde yuvarlanma hızları ve aşağıya varış sürelerinin kıyaslanması videosu için [▶ tıklayınız.](#)

Soru: Hangi cisim aşağıya daha hızlı ve çabuk iner?

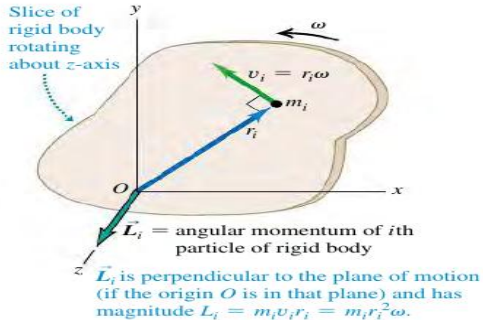


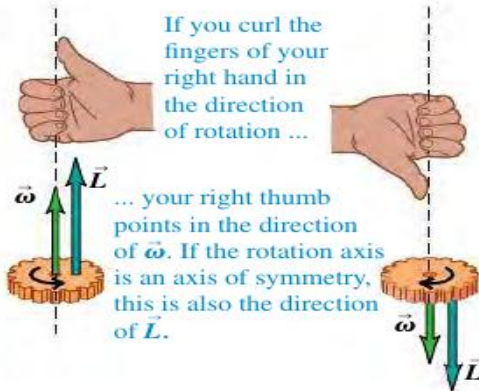
▶ Gyroscope videosunu izleyiniz.

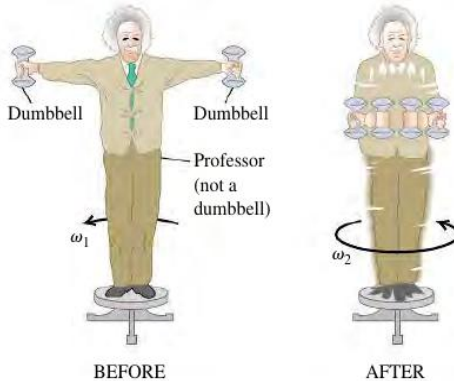
10.23 Calculating the angular momentum $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = \vec{r} \times \vec{p}$ of a particle with mass m moving in the xy -plane.



10.24 Calculating the angular momentum of a particle of mass m_i in a rigid body rotating at angular speed ω . (Compare Fig. 10.23.)





10.29 Fun with conservation of angular momentum.

Öğreneceklerimiz:

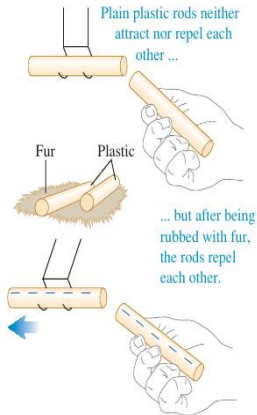
- 1 Elektrik yükünün doğası ve bu yükün nasıl korunduğu,
- 2 Nesnelerin nasıl elektrikle yüklendiği,
- 3 Coulomb kanunlarını kullanarak yükler arasındaki elektriksel kuvvetin hesaplanması,
- 4 Elektrik kuvveti ve alanı arasındaki fark,
- 5 Yük birikmesinden dolayı oluşan elektrik alanın hesabı,
- 6 Elektrik alan çizgilerini kullanarak elektrik alan hakkında tahmin yapmak,
- 7 Elektrik dipolları hesaplamak.

Elektromanyetik konusuna elektrik yükünün doğasını inceleyerek başlayacağız. Elektrik yükünün kuantumlanmış olduğunu ve korunumlu olduğunu inceleyeceğiz. Daha sonra, yüklü cisimler arasındaki elektrostatik etkileşimleri inceleyeceğiz. Coulomb yasası ve onu betimleyen elektrik alan konularına göz gezdireceğiz. Son olarakta hareketli yüklerin nasıl manyetik alanlara ve ışığın doğasına bizi götüreceğini gözlemleyeceğiz.

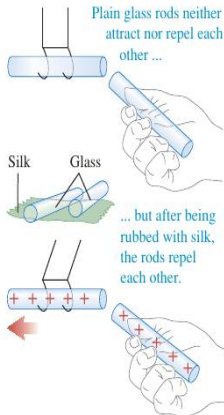
Yasa: Aynı işaretli yükler birbirini iterken, zıt yükler çekerler.

21.1 Experiments in electrostatics. (a) Negatively charged objects repel each other. (b) Positively charged objects repel each other. (c) Positively charged objects and negatively charged objects attract each other.

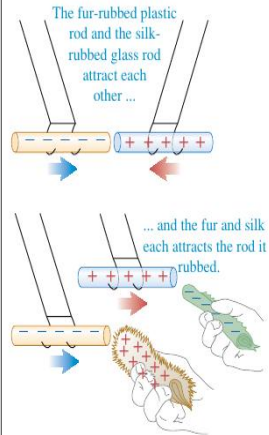
(a) Interaction between plastic rods rubbed on fur



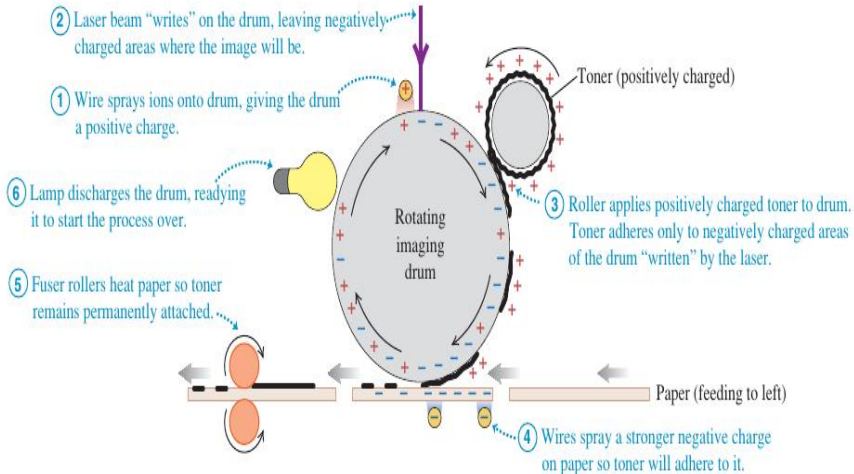
(b) Interaction between glass rods rubbed on silk

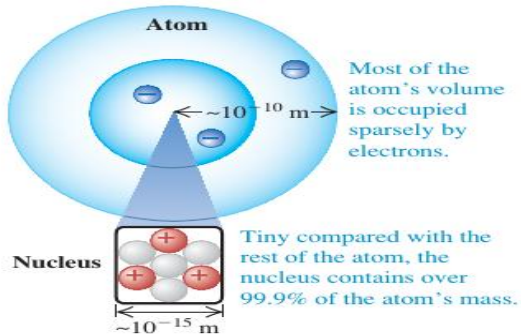


(c) Interaction between objects with opposite charges



21.2 Schematic diagram of the operation of a laser printer.





-  **Proton:** Positive charge
Mass = $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
-  **Neutron:** No charge
Mass = $1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
-  **Electron:** Negative charge
Mass = $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

The charges of the electron and proton are equal in magnitude.

Eğer atomları oluşturan daha küçük yapılara bakılırsa; proton, nötron ve elektronun varlığı görülecektir. Bunlardan temel yani daha ufak bir parçacığa bölünemeyen elektronun yükü temel yük (e^-) olarak isimlendirilmiştir. Protonun yüküne ise pozitif elementer yük (e) denilebilir. Ölçülen bu temel yük yaklaşık olarak $1.602 \times 10^{-19} C$ 'tur.

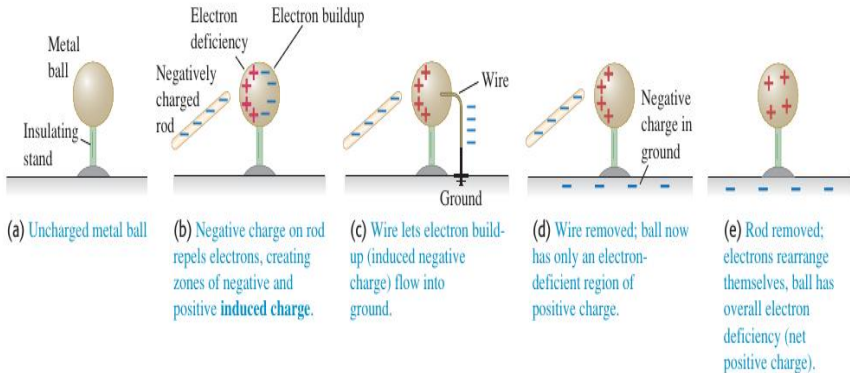
Maddelerin **yüklerinin kuantumlu** oluşu ise elementer parçacıkların yükünün e 'nin tam sayı katları olabileceğini söyler. Milikan yağ damlası deneyi bunu açıklayan bir deneydir. Bir istisna olarak temel parçacıklar olan **quarkların** $1/3$ 'ün tam katları olan yüklere sahip oluşunu verebiliriz. Fakat burada yine, asıl ilkenin **izole edilebilir** parçacıklar için söylendiğini düşünürsek, yasa halen geçerliliğini korur.

Quantumlanmış olmak demek, söylenen özelliğin **sadece belirli seviyelerde değerler** alabileceği anlamına gelir.

Elektrik yükleri aynı zamanda **korunumludur**. Bunun anlamı, kapalı bir sistemde elektriksel yüklerin cebirsel toplamının değişmezliğidir. Örneğin, sürtünme ile elektriklenmede bir taraf elektron kaybederken diğer taraf kazanır. Fakat, toplamda yükler eşit miktarda negatif ve pozitif olarak cisimlere dağılmıştır. Yani, herhangi bir yük yükleme işleminde, yükler yaratılmaz veya yok edilemezler.

Maddeleri elektriksel iletkenliklerine göre üçe ayırabiliriz. Bunlar içinde elektronların akışına izin veren **iletkenler**, buna izin vermeyen **yalıtkanlar** ve ikisinin arasında olup genelde sıcaklıkla yalıtkan veya iletken olma özelliğinin ikisini de içinde barındıran **yarı-iletkenlerdir**.

21.7 Charging a metal ball by induction.

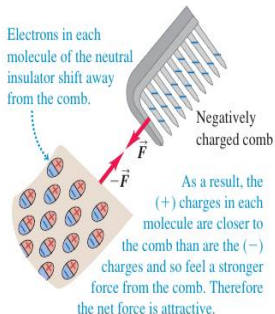


21.8 The charges within the molecules of an insulating material can shift slightly. As a result, a comb with either sign of charge attracts a neutral insulator. By Newton's third law the neutral insulator exerts an equal-magnitude attractive force on the comb.

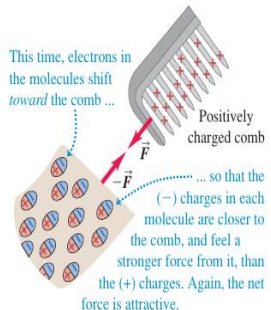
(a) A charged comb picking up uncharged pieces of plastic

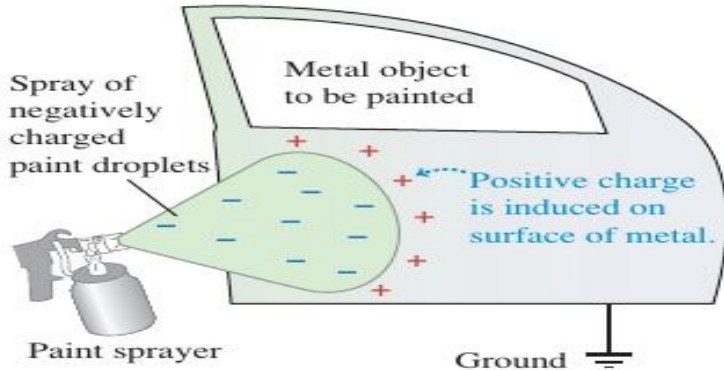


(b) How a negatively charged comb attracts an insulator



(c) How a positively charged comb attracts an insulator





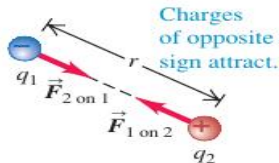
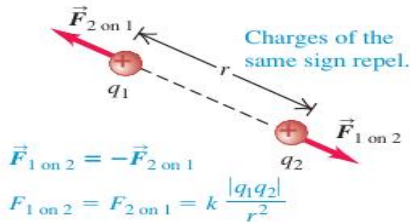
- ▶ İndüklenme ile elektriklenme videosu için tıklayınız.
- ▶ İndüklenme 2 ile elektriklenme videosu için tıklayınız.
- ▶ İndüklenme ile elektriklenme videosu için tıklayınız.
- ▶ Coulomb elektrik kuvvetini ölçmek için kullanılan burulma terazisi videosu için tıklayınız.
- ▶ Elementer yükün tanım videosu için tıklayınız.
- ▶ Tarihi Milikan yağ damlası deneyi videosu için tıklayınız.
- ▶ Tarihi Milikan yağ damlası deneyi videosu için tıklayınız.
- ▶ Tarihi Milikan yağ damlası deneyi2 videosu için tıklayınız.

Coulomb Yasası: $\vec{F} = \frac{q_{\text{kaynak}} \cdot k_e}{r^2} q_2 \hat{r}$ burada

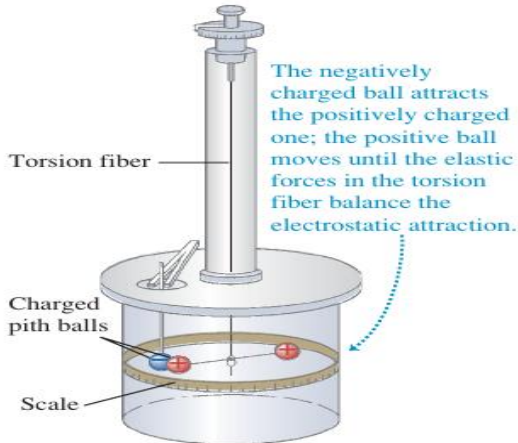
$$k_e = 8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 = (10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2) c^2 \text{ ve } k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ iken}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \text{ dir.}$$

(b) Interactions between point charges



(a) A torsion balance of the type used by Coulomb to measure the electric force



Elektrik Alanı: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_{kaynak}}{r^2} \hat{r}$

21.15 A charged body creates an electric field in the space around it.

(a) *A* and *B* exert electric forces on each other.



(b) Remove body *B* ...



... and label its former position as *P*.

(c) Body *A* sets up an electric field $\vec{E}$ at point *P*.

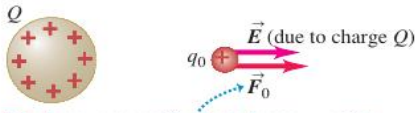


Test charge q_0

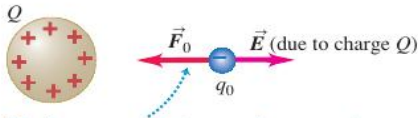


$\vec{E}$ is the force per unit charge exerted by *A* on a test charge at *P*.

21.16 The force $\vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$ exerted on a point charge q_0 placed in an electric field $\vec{E}$.

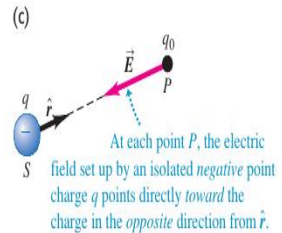
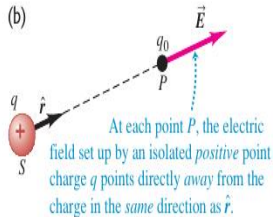
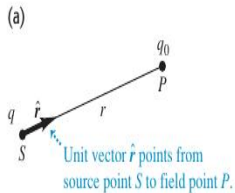


The force on a positive test charge q_0 points in the direction of the electric field.



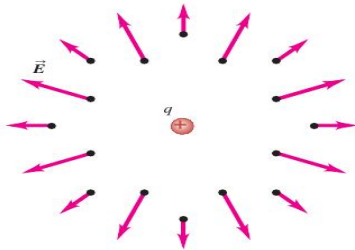
The force on a negative test charge q_0 points opposite to the electric field.

21.17 The electric field $\vec{E}$ produced at point P by an isolated point charge q at S . Note that in both (b) and (c), $\vec{E}$ is *produced* by q [see Eq. (21.7)] but *acts* on the charge q_0 at point P [see Eq. (21.4)].

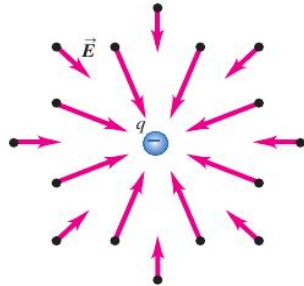


21.18 A point charge q produces an electric field $\vec{E}$ at *all* points in space. The field strength decreases with increasing distance.

(a) The field produced by a positive point charge points *away from* the charge.

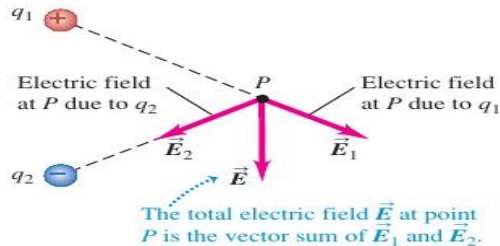


(b) The field produced by a negative point charge points *toward* the charge.



(g) Eşit vektörler(Serway Figure 3.5)

(h) Vektörlerde Toplama(Serway Figure 3.9)

21.21 Illustrating the principle of superposition of electric fields.

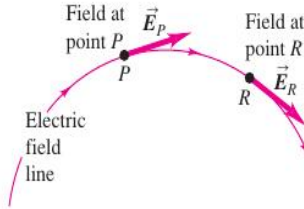
$\vec{F}_o = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = q_o \vec{E}_1 + q_o \vec{E}_2 + q_o \vec{E}_3 + \dots$ bu yüklerin toplam etkisinde P noktasındaki toplam elektrik alanı verir.

$\vec{E} = \frac{\vec{F}_o}{q_o} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$ P noktasındaki toplam elektrik alanı gösteren bu ifadeye üst üste binme ilkesi de denir.

Yük kimi zaman bir doğru üzerinde, kimi zamanda bir yüzeye veya hacime dağılmış olabilir. Sırasıyla bu durumlarda yük, birimi C/m olan çizgisel yük yoğunluğu (λ), birimi C/m^2 olan yüzeysel yük yoğunluğu (σ) ve birimi C/m^3 olan hacimsel yük yoğunluğu (ρ) ile ifade edilecektir.

Elektrik Alan Çizgileri ve Elektrik Alanın Gösterimi:

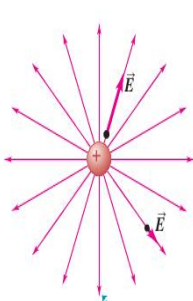
21.27 The direction of the electric field at any point is tangent to the field line through that point.



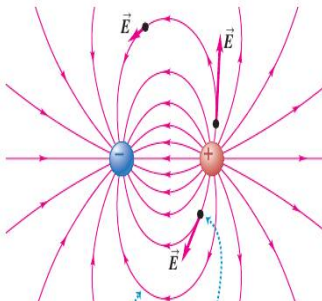
Her noktada elektrik alanın yönü o noktadan geçen elektrik alan çizgisinin teğetinin yönüdür. Alan çizgilerinin arasındaki mesafeler ise $\vec{E}$ alanının büyüklüğü hakkında fikir verir. Sık oldukları yerlerde alan büyüktür. Bir noktadan sadece bir tane alan çizgisi geçer, yani birbirlerini asla kesmezler. Alan çizgileri pozitif yüklerde dışarı doğru iken, negatif yüklerde yüke doğru yönelir.

21.28 Electric field lines for three different charge distributions. In general, the magnitude of $\vec{E}$ is different at different points along a given field line.

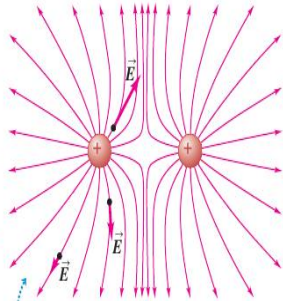
(a) A single positive charge



(b) Two equal and opposite charges (a dipole)



(c) Two equal positive charges



Field lines always point away from (+) charges and toward (-) charges.

At each point in space, the electric field vector is *tangent* to the field line passing through that point.

Field lines are close together where the field is strong, farther apart where it is weaker.

Elektrik alan çizgilerinin yukarıdaki gibi 2D gösterilmesi bazı sakıncalar doğurabilir. Mesela, sanki her yük için belirli sayıda alan çizgisi varmış ve belirli bir yöne doğru etkiyormuş gibi görünmektedir. Oysa, alan her noktada 3D olarak vardır ve süreklidir.

Elektrik alan, birim yüzeye düşen alan çizgilerinin sayısıyla doğru orantılıdır. Toplam yük $Q_1 = N_1 \cdot q$ olur.

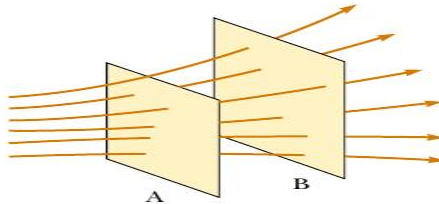
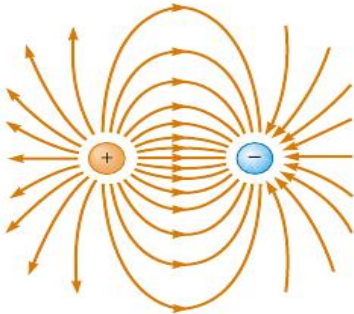


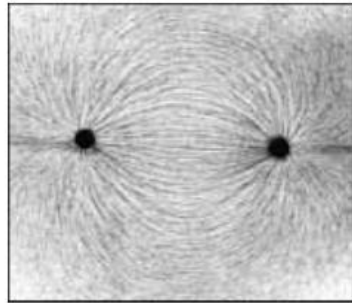
Figure 23.19 Electric field lines penetrating two surfaces. The magnitude of the field is greater on surface A than on surface B.

Yüklere yakın yerlerde alan çizgilerinin hemen hemen radyal olduğuna ve yüksek yük yoğunluklu kısımlardaki alanın daha şiddetli olacağını unutmayınız.



(a)

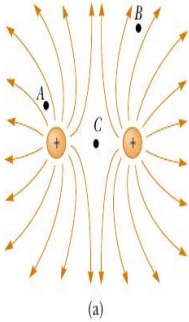
(i) Eşit yükler(Serway Figure 23.21a)



(b)

(j) (Serway Figure 23.21b)

Şekildeki $+2q$ yükünden ayrılan alan çizgilerinin sayısının $-q$ yüküne girenlerin iki katı olduğuna dikkat ediniz.



(k) Eşit yükler(Serway Figure 23.22)

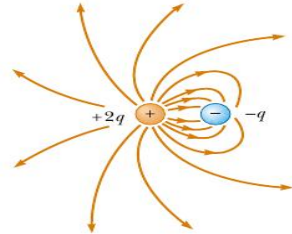
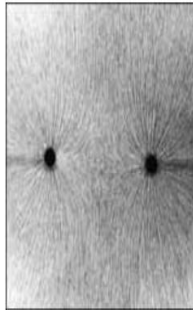
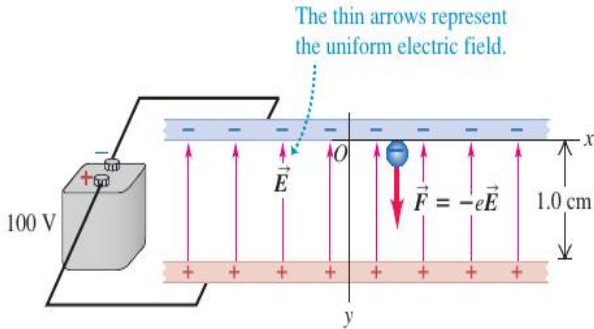


Figure 23.23 The electric field lines for a point charge $+2q$ and a second point charge $-q$. Note that two lines leave $+2q$ for every one that terminates on $-q$.

(l) (Serway Figure 23.23)

Düzgün bir elektrik alandaki yüklü cisimlerin hareketi:

$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$ sabit bir elektrik alan altındaki cisme etki eden sabit kuvvet cisimde bir ivme oluşturacaktır. Cisim negatifken kuvvet ve ivmenin yönü elektrik alan ile ters yönlü olur.



Düzgün elektrik alanı temsil eden çizgiler buradaki gibi doğrusal, paralel ve eşit aralıktırlar.

$\vec{a}_y = \left(\frac{qE}{m}\right) \cdot (-\vec{j})$ başlangıçta sadece yatayda bir ilk hızı olan elektron, şekildeki parabolik yörüngeyi izler. Bir süre sonra $\vec{v}_{xs} = \vec{v}_{xi}$ sabit kalırken, $v_{ys} = a_y t = -\frac{qE}{m} t$, $x_s = v_{xi} t$ ve $y_s = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \left(-\frac{qE}{m}\right) t^2$. Örneğin, 10^4 N/C 'luk bir elektrik alandaki elektron için $\frac{F_e}{mg} \cong 10^{14}$ ve proton için 10^{11} civarında olacağından ağırlıklar ihmal edilebilir.

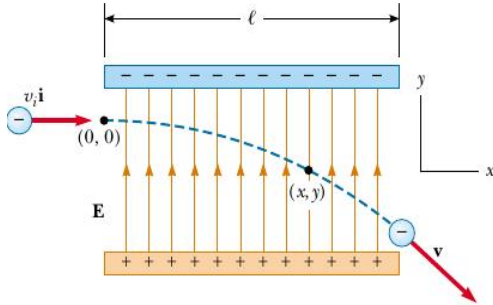


Figure 23.25 An electron is projected horizontally into a uniform electric field produced by two charged plates. The electron undergoes a downward acceleration (opposite $\mathbf{E}$), and its motion is parabolic while it is between the plates.

Elektrik alan ile ona dik alanın çarpımına **elektrik akısı** denir. $\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = |\vec{E}| |\vec{A}| \cos \theta$, burada alanın vektörel bir büyüklük olduğu ve yönünün yüzeyin normaliyle aynı yönlü olacağını bilmeliyiz. Şekil 1 de akı maximumdur.

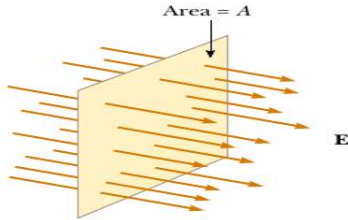
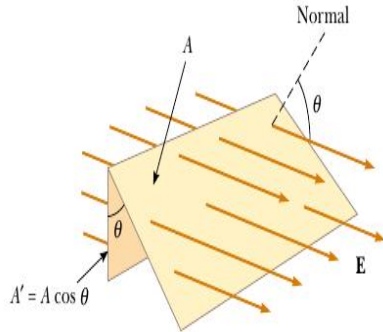


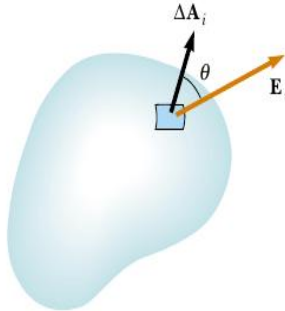
Figure 24.1 Field lines representing a uniform electric field penetrating a plane of area A perpendicular to the field. The electric flux Φ_E through this area is equal to EA .

(m) (Serway Figure 24.1)



(n) (Serway Figure 24.2)

Kapalı bir yüzeyin üzerindeki elektrik akısı: $\Delta\Phi = \vec{E}_i \cdot \Delta\vec{A}$ iken, cismin üzerindeki bütün yüzey öğelerinin toplamı $\Phi = \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum E_i \cdot \Delta A_i = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$ olur. Yani, cisimlerin yüzey alanlarının ve içlerinden geçen elektrik alanların yönleri çok önemlidir.



Kapalı bir yüzeydeki yüzey alanı ve elektrik alanın birbirlerine göre yönlerinin elektrik akısını bulmadaki önemi: $\Delta \vec{A}$ yüzölçüm vektörleri her zaman yüzeye dik ve dışarı doğrudur. Sırasıyla 1. yüzey parçasından geçen **akı pozitif**, 2.'de **sıfır** ve 3.'de ise **negatiftir**.

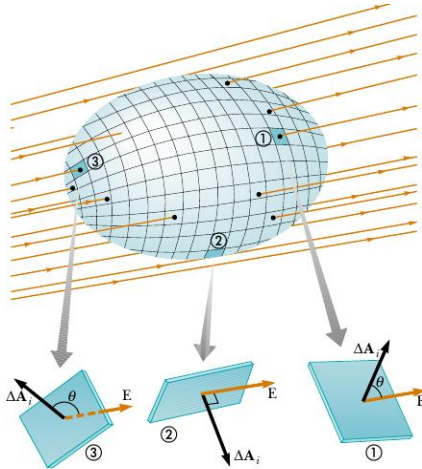


Figure 24.4 A closed surface in an electric field. The area vectors $\Delta \vec{A}_i$ are, by convention, normal to the surface and point outward. The flux through an area element can be positive (element ①), zero (element ②), or negative (element ③).

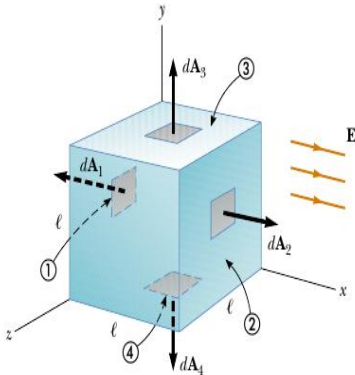
Bir önceki slayttaki kapalı şekildeki elektrik akısı,

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

şeklindeki kapalı alan integraliylede bulunur. Bu ifadenin sözel mantığı şöyledir: sistemdeki net akı, sistemden çıkan elektrik alan çizgilerinden girenlerin farkını alarak bulunur. Yüzeye girenden çok çıkan alan çizgisi varsa, akı pozitifdir.

Gauss Yasası: Kapalı alandaki elektrik akısının yüzeyden bağımsızlığı:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \vec{E} \oint d\vec{A} = E \cdot A = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \right) (4\pi r^2) = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0}$$



(o) (Serway Figure 24.5)

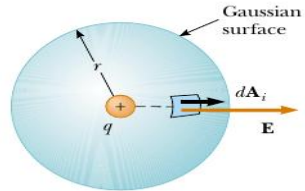
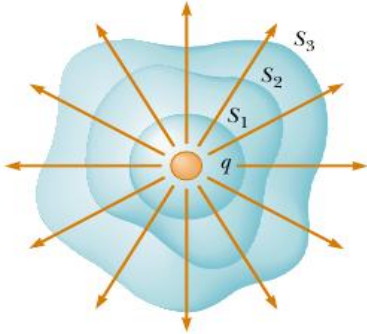
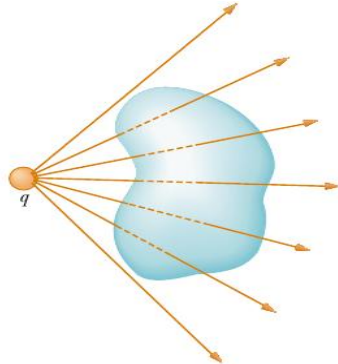


Figure 24.6 A spherical gaussian surface of radius r surrounding a point charge q . When the charge is at the center of the sphere, the electric field is everywhere normal to the surface and constant in magnitude.

(p) (Serway Figure 24.6)



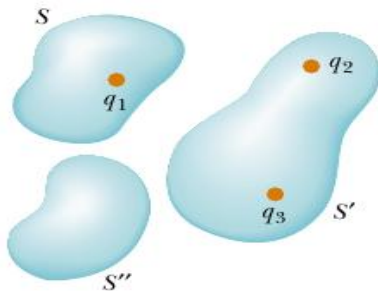
(q) (Serway Figure 24.7)



(r) (Serway Figure 24.8)

Q yükünü saran çeşitli kapalı şekiller için akı hep aynıdır.
Fakat, yüzey dışında bulunan bir yükün akısı sıfırdır.

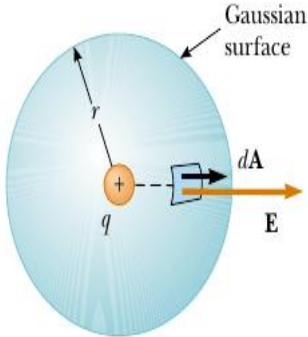
$$\Phi_E = \oint \vec{E}_{toplam} \cdot d\vec{A} = \oint (\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots) \cdot d\vec{A}$$



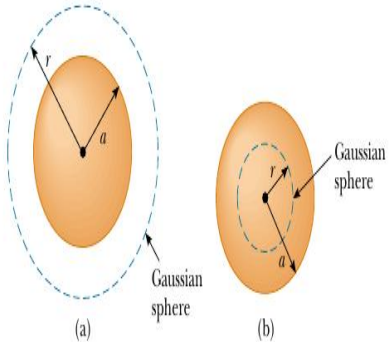
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0}$$

yasasından ötürü akı bu yüzeylerde sırasıyla $\Phi_S = \frac{q_1}{\epsilon_0}$, $\Phi_{S'} = \frac{q_2+q_3}{\epsilon_0}$ ve $\Phi_{S''} = 0$ 'dır.

Gauss yasasının yüklü iletkenlere uygulanması:



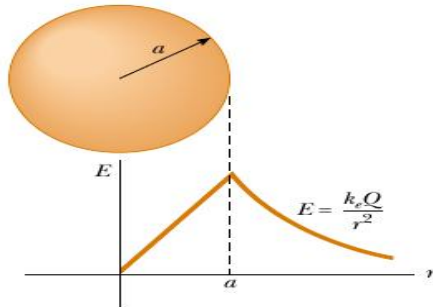
(s) (Serway Figure 24.10)



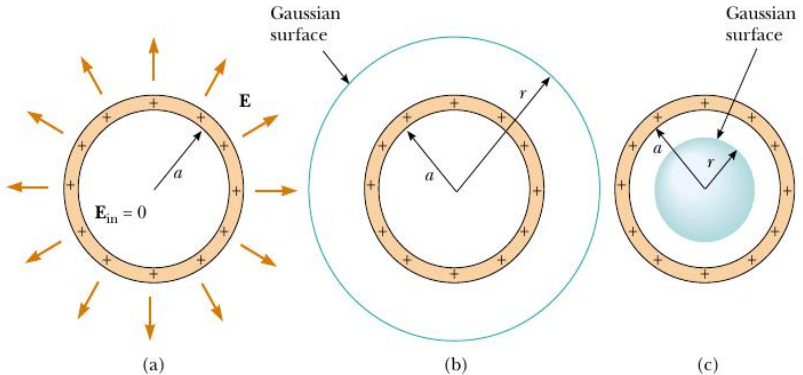
(t) (Serway Figure 24.11)

1. şekilde bir nokta yükün gauss yüzeyi kullanılarak bulunan elektrik alanının büyüklüğü $|\vec{E}| = \frac{kq_{ic}}{r^2}$, 2. şekilde ise düzgün yük yoğunluklu bir kürenin dışında ve içindeki elektrik alanlar sırasıyla $|\vec{E}| = \frac{kQ}{r^2}$ ve $|\vec{E}| = \frac{kQr}{a^3}$ 'dir.

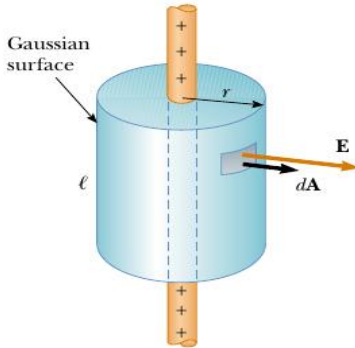
Yüklü bir küreye uygulanan gauss yasası, kürenin içinde ve dışında sahip olduğu elektrik alan hakkında önemli bilgiler verir. Kürenin içinde yarıçapla doğru orantılı artan $|\vec{E}|$, kürenin dışında parabolik olarak azalacaktır.



İnce küresel bir tabakanın elektrik alanı, 2. şekildeki gibi dışarıda seçilen bir gauss yüzey alanıyla nokta yükünkiyle aynı ($\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$) bulunur. Cismin içinde seçilen gauss yüzeyine göre ise $\vec{E} \cdot \vec{A} = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0}$ ve $q_{ic} = 0$ olduğundan $E=0$ 'dır.

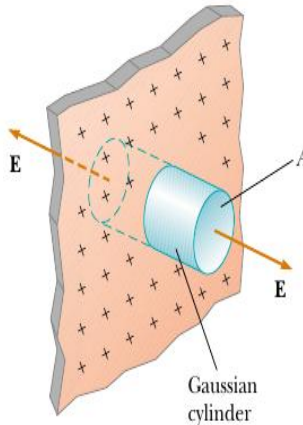


Silindirik simetrikli yüklü çubuğun yükü $Q = \lambda \ell$ 'dir. Alan vektörleri ($d\vec{A}$) yan yüzlerde çubuktan dışarı doğru uzanan $\vec{E}$ 'ye paralelken, alt yüzlerde diktir. $\Phi_E = \oint \vec{E} d\vec{A} = E \oint d\vec{A} = \frac{q_{ic}}{\epsilon_o} = \frac{\lambda \ell}{\epsilon_o}$ yani $E.A = E.(2\pi r \ell) = \frac{\lambda \ell}{\epsilon_o}$ olur. Buradanda, yan yüzeyler için $E = \frac{2k_e \lambda}{r}$ bulunur. Alt yüzeyler içinse $\cos 90 = 0$ 'dan $E=0$ bulunacaktır. Sınırlı uzunluklu çubuk için %100 doğru değildir.



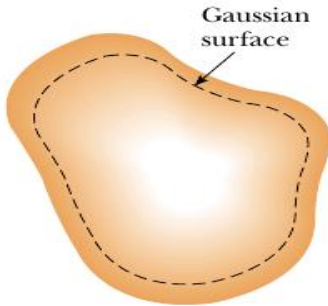
(a)

$\vec{E}$ gauss silindirine paralel ve $d\vec{A}$ her yerde yan yüzeylere diktir. Bu yüzden katkı sadece taban yüzeylerden gelir. Akı skaler toplanacağından, iki tabandan $\Phi = 2EA$ 'lik akı gelir. $\Phi = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma \cdot A}{\epsilon_0}$ ise $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ bulunur. **Formül uzaklıktan bağımsızdır.**

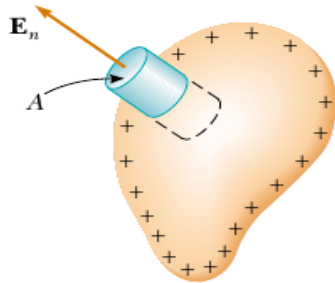


Elektrostatik dengedeki bir iletkende her yerde elektrik alan sıfırdır. Seçilen bu gauss yüzeyinden geçen net akı sıfır olduğunda, yüzeyin içindeki net yükünde sıfır olduğu ortaya çıkar. Bu yüzden, iletkendeki herhangi bir **net yük yüzeyde olmak zorundadır**.

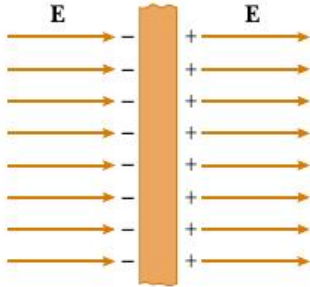
Silindir içindeki tabandan geçen net akı sıfırken, tüm akı dış tabandan geçer. $\Phi = \oint E dA = EA = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$ yani $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$.



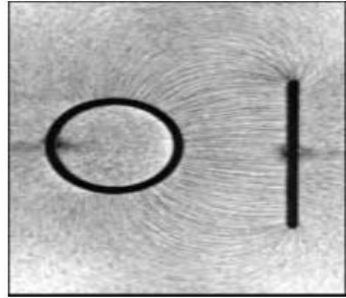
(u) (Serway Figure 24.17)



(v) Yüklü iletken yüzeyinde E

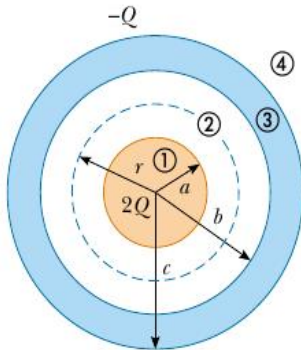


(w) (Serway Figure 24.16)



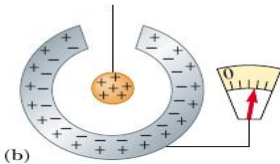
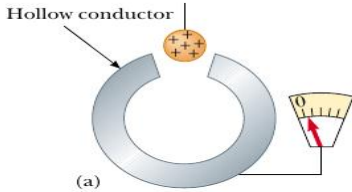
(x) (Serway Figure 24.17)

Elektrostatik denge halindeki iletkenlerin içinde her yerde $\vec{E}$ sıfırdır. Aksi halde, iletkendeki elektronlar $\vec{E}$ yüzünden hızlanacak ve dengeyi bozacaktır. Dış elektrik alan uygulandığında elektronlar sol tarafa doğru hızlanır ve sol tarafı eksi yapar. Bu, dış elektrik alana zıt bir alan oluşturur. Yüzey yoğunluğu, iç ve dış alan eşitleninceye kadar ($10^{-6}s$) artar.

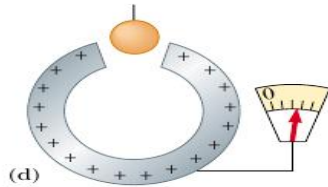
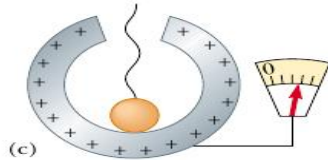


Elektrostatik dengede olan iletken kürede $r < a$ için $q_{ic} = 0$ yani $|\vec{E}_1| = 0$ 'dır. $a < r < b$ için $E_2 A = \frac{q_{ic}}{\epsilon_0} \Rightarrow E_2 \cdot 4\pi r^2 = \frac{2Q}{\epsilon_0}$ yani $|\vec{E}_2| = \frac{2kQ}{r^2}$ 'dir. $r > c$ için $q_{ic} = 2Q - Q = Q$ yani $|\vec{E}_4| = \frac{kQ}{r^2}$ 'dir. $b < r < c$ için iletkenin içinde $|\vec{E}_3| = 0$ ise dış kürenin iç yüzü $-2Q$ yüklü ve dış yüzü $+1Q$ yüklü olmalıdır.

Elektrometre ile gauss ve Coulomb yasalarının ispatı:

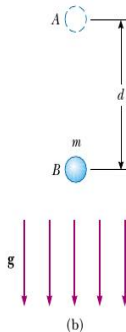
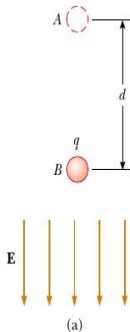


(y) (Serway Figure 24.20a)



(z) (Serway Figure 24.20b)

Elektriksel Potansiyel Enerji: Bir $\vec{E}$ elektriksel alanı içine konan q_o test yükü üzerine alan tarafından yapılan **iş**, yer değiştirmeye neden olan dış etkence yapılan işin negatifine eşittir. $\vec{F}_e$ **korunumlu** bir kuvvettir. $\vec{F}_e = q_o \vec{E}$ ve $\Delta U = U_B - U_A = -q_o \int_A^B \vec{E} d\vec{s}$



Not: Mekanik konusunda işin $W = \vec{F} \cdot \vec{x} = \Delta K = -\Delta U$ olduğunu görmüştük.

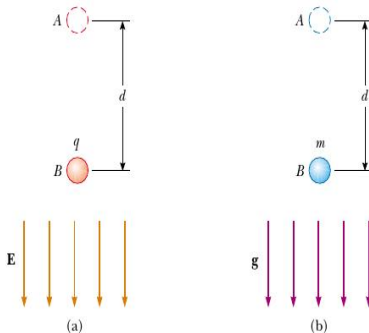
Birim yük başına düşen potansiyel enerjiye $U/q_o = V$ **elektriksel potansiyel** denir. Bu değer skalerdir ve ikinci bir **yükten bağımsızdır**. Bir elektrik alan içindeki A ve B gibi herhangi iki nokta arasındaki $\Delta V = V_B - V_A$ **potansiyel farkı** ise sistemin potansiyel enerji farkının q_o deneme yüküne oranıdır.

$$(\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = - \int_A^B \vec{E} d\vec{s})$$

Varsayım: Bir elektrik alandaki keyfi bir noktadaki **elektriksel potansiyel**, pozitif bir deneme yükünü sonsuzdan bu noktaya getirmek için birim yük başına yapılan işe eşittir. Nedeni ise sonsuzdaki bir uzaklıktaki ($r = \infty$) iş zaten 0'dır. Dolayısıyla $\Delta V = V_2 - V_1 = V_2 - 0 = V_2$ olacaktır.

$V_P = - \int_{\infty}^P \vec{E} d\vec{s}$ iken, gerçekte bu ifade sonsuzdaki bir nokta ile P noktası arasındaki ΔV potansiyel farkını göstermektedir. Yani, yukarıdaki genel denklemin özel bir durumudur.

Düzgün bir elektrik alandaki elektriksel potansiyel farkları:



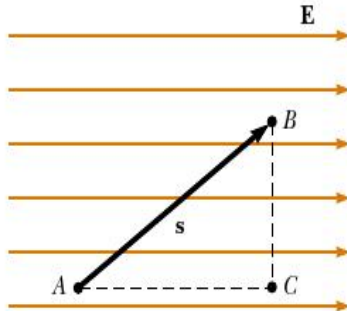
$$V_B - V_A = \Delta V = - \int_A^B \vec{E} d\vec{s} = -E \int_A^B ds = -\vec{E} \cdot \vec{s} = -E \cdot s \cos 0^\circ$$

Sonucun negatif olması A noktasının B noktasından daha yüksek potansiyelli olduğunu gösterir. **Elektrik alan çizgileri daima potansiyelin azalan doğrultusuna doğrudur.**

Önceki slayttaki yükün A'dan B'ye gidince potansiyel enerjisindeki değişim $\Delta U = U_B - U_A = q_o \Delta V = -q_o \vec{E} \vec{d}$ olur. Burada yük pozitifse, ΔU negatiftir. Bu, pozitif yükün elektrik alan yönündeki hareketinde elektrikselsel potansiyel enerji kaybedeceğini söyler. Yani, elektrik alan pozitif yük üzerinde iş yapar. Kinetik enerji kazanarak aşağıya doğru hızlanan yük, aynı miktarda pozitif enerjiyi kaybeder.

$$\Delta V = - \int_A^B \vec{E} d\vec{s} = -E \int_A^B d\vec{s} = -\vec{E}\vec{s} = -E.s.\cos\theta$$

Bu formül bize, [BC] doğrultusunda elektrik alana dik bütün noktalarda aynı potansiyeli ölçmemiz gerektiğini söyler. Bu yüzden birbirine paralel ve alana dik olan bu yüzeylere **eş potansiyel yüzeyleride** denir.

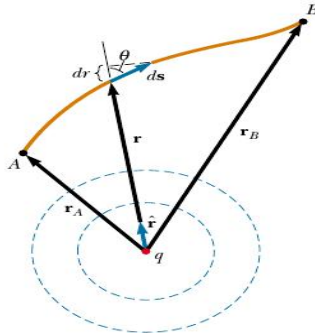


$\Delta U = q_o \Delta V = -q_o \vec{E}\vec{s}$ olduğundan, bir deneme yükünün eş potansiyel yüzey üzerindeki iki nokta arasındaki hareketinde hiçbir iş yapılmaz.

Elektriksel potansiyel ve noktasal yüklerin oluşturduğu potansiyel enerji:

$$V_B - V_A = - \int \vec{E} d\vec{s} = - \int E dr = -kq \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = kq \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right]$$

Aşağıdaki küçük üçgende $ds \cdot \cos \theta = dr$ 'dir. Eğer sonsuzdaki ilk konum r_A 'dan son konum r_B 'ye gelen noktasal yükün potansiyeline bakılırsa, $V = V_B - 0 = \frac{kq}{r_B}$ bulunur.



Elektriksel potansiyeli ve enerjiyi bulurken unutulmaması gereken en önemli şey, bu iki niceliğin öncelikle skaler nicelikler olmasıdır. Aynı **elektriksel alan ve kuvvet** konusundaki gibi, önce doğası gereği yüklü olan cismin etrafında bir elektriksel alan oluşturacağı, kuvvetin ise sonradan bu alan girecek olan yüklü 2. bir cisim tarafından hissedilen bir nicelik olduğunu bilmek gerekir. Yine bu benzerlikten yararlanılarak, önce sonsuzdan (konum A) belirli bir konuma (konum B) getirilerek konan yüklü bir cismin, o noktada bir potansiyel oluşturacağı ve bunun aslında

$\Delta V = V_B - V_A = V_B - 0 = V_B = V = \frac{kq}{r}$ olduğunu bilmek

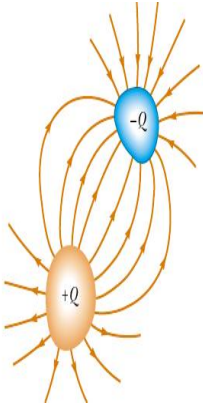
gerekir. **Elektriksel enerjinin** ise, önceden oluşturulan bu potansiyele daha sonradan getirilen 2. bir yük tarafından, bu cisim üzerinde değişen potansiyel farktan ötürü o cisme hissettirilen **enerji değişimi** olduğunu bilmek gerekir. Özetle, elektrik alan ve kuvvet birbirine nasıl bağlıysa, elektriksel potansiyel ve enerjide öyle bağlıdır.

Not: $\Delta U = -\Delta K = -W_{is} = -\vec{F}\vec{x} = -q_o\vec{E}\vec{s} = -q_o\Delta V$

İki iletkenin eş ve zıt yüklenip, bir araya getirilmesiyle **kondansatörler** oluşur. Yükler yüzünden, iletkenler arasında bir potansiyel farkı (**voltaj**) oluşur. Oluşan bu voltajda, plakalar arasında ne kadar yük oluşacağını ise **sığa** belirler.

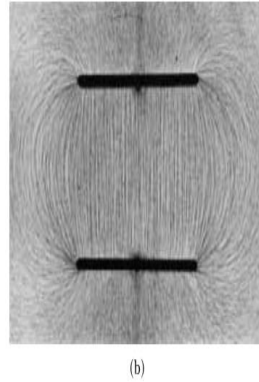
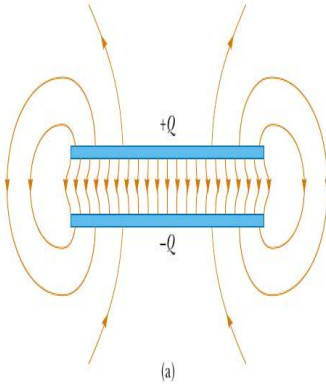
Bu üç terim arasındaki bağıntıda $C = \frac{Q}{\Delta V}$ olarak verilir. Burada Q yükün büyüklüğüdür. Birimsel olarak $1\text{Farad} = 1\text{Coulomb}/1\text{Volt}$ eşitliği söz konusudur. Buradaki potansiyel farkı ve sığa her zaman **pozitif** bir değer olacaktır.

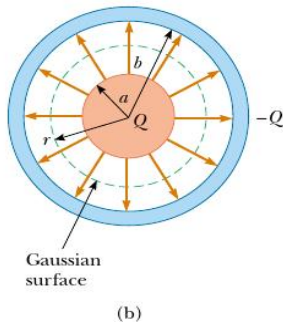




$$C = \frac{Q}{\Delta V}, E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}, \Delta V = Ed = \frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A}, C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A}},$$

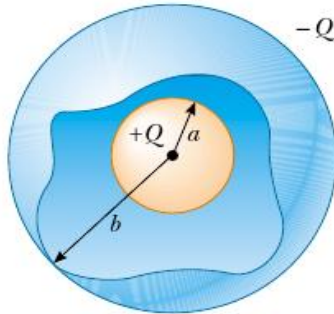
$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

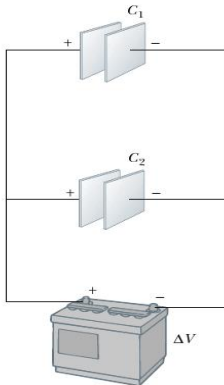




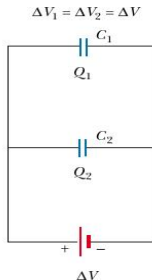
$$V_b - V_a = - \int_a^b \vec{E} d\vec{r}, |\vec{E}| = \frac{kQ}{r^2},$$

$$\Delta V = |V_b - V_a| = |kQ(b - a)/a.b|, C = \frac{Q}{\Delta V} = \left| \frac{a.b}{k(b-a)} \right|$$

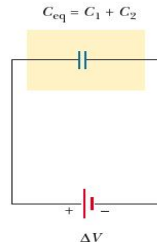




(a)



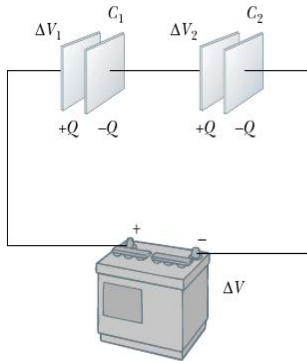
(b)



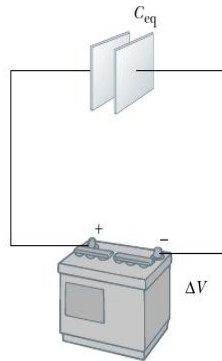
(c)

Paralel Bağlama: Akım birim zamanda devreden geçen yük (elektron) miktarıdır. $I = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot e}{t}$ ile gösterilirken, n toplam elektron sayısını temsil eder. Paralel bağlamada ΔV 'ler eşittir.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \Rightarrow C_T \cdot \Delta V_T = C_1 \cdot \Delta V_1 + C_2 \cdot \Delta V_2 \Rightarrow C_T = C_1 + C_2$$



(a)



(b)

Seri Bağlama: Seri bağlamada akımlar, yani yükler eşittir. $Q_T = Q_1 = Q_2 \Rightarrow \Delta V_T = \Delta V_1 + \Delta V_2 \Rightarrow \frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Yüklü kondansatörde depolanan enerji: Başlangıçta yüksüz olan paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasındaki $\Delta V = 0$ olsun. Sonrasında bir bataryanın ucuna bağlanarak Q yüküne kadar yüklenen kondansatörün negatif kutba denk gelen plakasında elektron yığılması olurken, diğer tarafta zamanla kaybedilen elektronlar yüzünden plaka pozitif yüklenecektir.

Not: $\Delta U_{\text{potansiyel}} = -\Delta K = -W_{is} = -\vec{F}\vec{x} = -q_o\vec{E}\vec{s} = -q_o\Delta V$

Başlangıçta yüksüz olan plakalar arasındaki bir yükü, bir levhadan diğerine taşımak için bir iş yapmak gerekmezken, sonrasında bir yük ve potansiyel farka sahip olan plakalar için bu doğru olmaz. Çok küçük bir dq yükünü -yüklü plakadan +yüklü plakaya götürmek için yapılması gereken iş $dW = \Delta V \cdot dq = \left(\frac{Q}{C}\right) dq$ ile verilir.

Bir kondansatörü $q=0$ 'dan herhangi bir Q yüküne yüklemek için gereken toplam iş $W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$ olur. Kondansatörde depolanan potansiyel enerji:

$$U_{\text{konsansator}} = W = \frac{Q^2}{2C_{es}} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2$$

Kondansatörde depolanan enerji

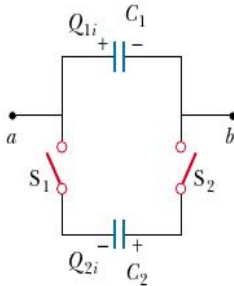
$$U_{\text{konsansator}} = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_o A}{d} (E^2 d^2) = \frac{1}{2} (\epsilon_o A d) E^2 \text{ ve buradaki}$$

A.d çarpanı aslında toplam hacimi (V_{hacim}) vermektedir. O zaman

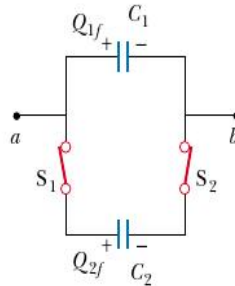
$$\frac{U_{\text{konsansator}}}{V_{\text{hacim}}} = u_E = \frac{1}{2} \epsilon_o E^2 \text{ şeklinde birim hacimdeki enerjiyi yani}$$

enerji yoğunluğunu gösteren yeni bir terim türetebiliriz.

Soru: $C_1 > C_2$ olan iki kondansatör aynı ΔV_i potansiyel farkında fakat zıt işaretli yükleniyorlar. Yüklü kondansatörler bataryadan ayrılarak, bunların plakaları şekildeki gibi birbirlerine bağlanıyor. Sonra S_1 ve S_2 anahtarları kapatılıyor. Anahtarlar kapatıldıktan sonra a ve b noktaları arasındaki son ΔV_s potansiyel farkı ne olur? Anahtarlar kapatılmadan önce ve sonraki kondansatörlerde depolanan enerjileri bulunuz. Enerji kaybı var mıdır? Varsa, nasıl açığa çıkar?

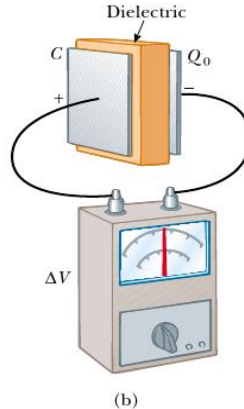
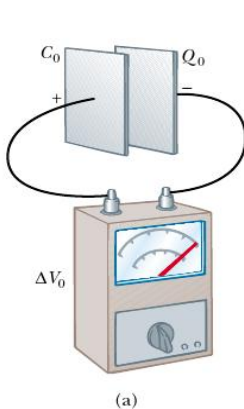


(a)



(b)

Plakalar arasına bir **dielektrik** yani yalıtkan bir madde konulduğunda, yük değişmeden kalır ($Q = Q_0 = \Delta V \cdot C$). Potansiyel farkı $\Delta V = \frac{\Delta V_0}{\kappa}$ ile azalırken sığa artarak $C = C_0 \kappa = \kappa \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$ olur.



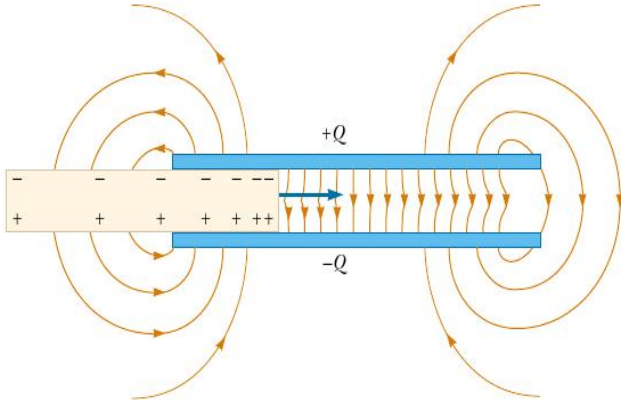
Verilen bir d uzaklığı için bir kondansatöre uygulanabilecek **maximum voltaj, dielektriğin sertliğine** bağlıdır. Dielektriğin sertliğinden kasıt plakalar arasındaki maximum elektrik alan şiddetidir ($|\vec{E}_{max}|$). [Not: $Q_{max} = C \cdot \Delta V_{max} = C \cdot E_{max} \cdot d$]

TABLO 28.1 Oda Sıcaklığında Çeşitlik Maddelerin Dielektrik Sabiti ve Dielektrik Şiddeti

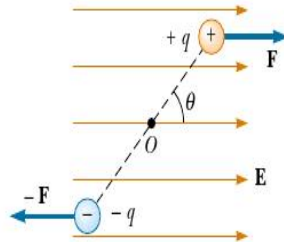
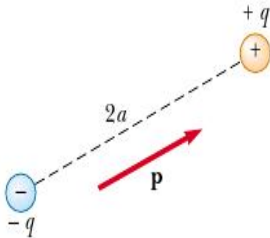
Madde	Dielektrik Sabiti κ	Dielektrik Sertlik* (V/m)
Hava (kuru)	1,00059	3×10^5
Bakalit	4,9	24×10^6
Eritilmiş kuartz	3,78	8×10^6
Neoprene lastik	6,7	12×10^6
Naylon	3,4	14×10^6
Kâğıt	3,7	16×10^6
Polystyrene	2,56	24×10^6
Porselen	6	12×10^6
Polyvinyl klorür	3,4	40×10^5
Pyrex Camı	5,6	14×10^6
Silikon yağı	2,5	15×10^6
Srionsium titanate	233	8×10^6
Teflon	2,1	60×10^6
Boşluk	1,00000	—
Su	80	—

* Dielektrik şiddet (sertlik), elektriksel bozulma olmadan dielektrikte bulunabilecek maksimum elektrik alana eşittir. Bu değerlerin madde içindeki kusur ve kirliliklere sıkıca bağlı olduğuna dikkat ediniz.

Kondansatörün plakaları arasına yerleştirilen dielektrik madde sırasında kondansatörde biriken enerjide ilk duruma kıyasla azalma olur. Bunun nedeni, şekilde de görüldüğü gibi plakaların uçlarındaki düzgün olmayan elektrik alanın dielektrik madde üzerinde iş yaparak onu sistemin içine çekmesi sırasındaki kayıptandır. $\sum F_{net} \neq 0$



Tanımı gereği elektrik dipolü, bir birine zıt yüklü ve aralarında $2a$ kadar mesafe bulunan eş iki yükten oluşur. Oluşan dipol moment $|\vec{p}| = 2aq$ vektörelidir ve $+$ yüke doğrudur.



Sağda ise elektrik alana bırakılan dipolün O noktası etrafında dönerek, kendini $\vec{E}$ 'ye paralel yapacak şekilde dönme eğiliminde olduğu görülür. Toplam tork, saat yönüne $\tau = 2F(a \cdot \sin \theta) = 2Eq a \sin \theta = \vec{p} \times \vec{E}$ 'dir.

Bir dipolü, elektrik alanda $d\theta$ kadar döndürmek için yapılması gereken iş $dW = \tau \cdot d\theta$ 'dir. Bu iş, potansiyel enerjiye dönüşür.

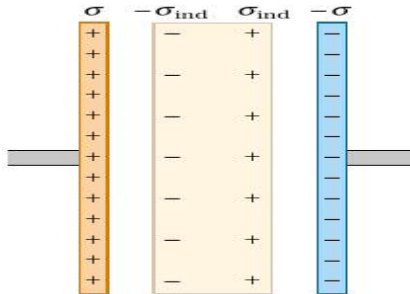
$$U_s - U_i = \int_{\theta_i}^{\theta_s} \tau d\theta = \int_{\theta_i}^{\theta_s} pE \sin \theta d\theta = pE \int_{\theta_i}^{\theta_s} \sin \theta d\theta = pE [\cos \theta_i - \cos \theta_s]$$

Moleküllerin kutuplu veya kutupsuz olmasına bakılmaksızın, bir dış elektrik alan yardımıyla dielektrikler polarize edilebilirler. Bir önceki slaytın son şeklinde, dış elektrik alanca yönlendirilip kutuplanmış dielektrik malzeme görünür. Buna **indüklenmede** denir. Cismin artık sol tarafı + ve sağ tarafı eksi olarak yüklenmiştir. Buda pozitif ve negatif yüzey yük yoğunluğu ($\sigma_{ind.}$) ile gösterilmiştir.

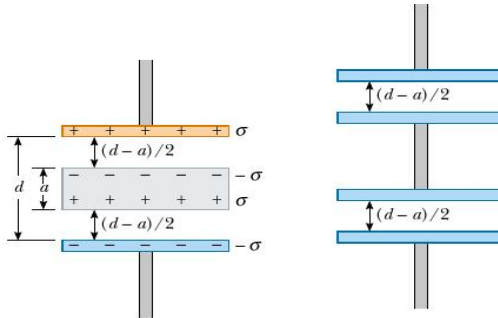
Net olarak oluşan elektrik alan ise

$\vec{E}_{net} = \vec{E}_o - \vec{E}_{ind.} = \frac{\sigma}{\epsilon_o} - \frac{\sigma_{ind.}}{\epsilon_o} = \frac{\sigma}{\kappa \cdot \epsilon_o}$ şeklindeki azalmayı açıklamaktadır. $\sigma_{ind.} = \left(\frac{\kappa-1}{\kappa}\right)\sigma$ bağıntısında $\kappa > 1$ olduğu bilinmelidir. Yorum olarak, hiç bir dielektrik madde içermeyen kondansatörde $\kappa = 1$ yani $\sigma_{ind.} = 0$ bulunurken, içine bir iletken yerleştirilen kondansatörde $E=0$ yani $E_o = E_{ind.}$ demektir. Buda, $\sigma_{ind.} = \sigma'$ ya denk gelir. Dış ve iç elektrik alan birbirini nötürler.

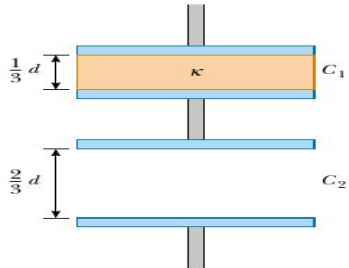
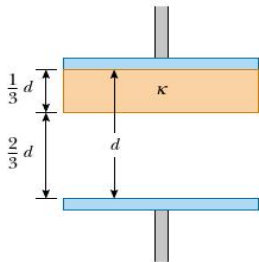
Buradaki indüklenmiş yük, plakalar arasındaki yükten daha az olacaktır. Neden?



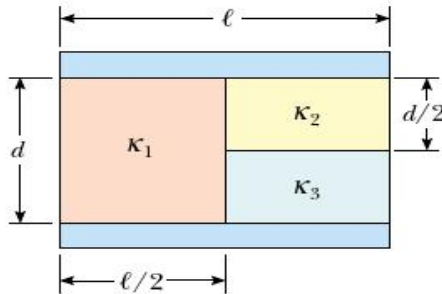
Soru: Kalınlığı a olan yüksüz metal bir dilim, levhalar arasında ortaya konulursa sistemin sığası ne olur? (b) Kalınlık ihmal edilecek kadar küçük olursa sığa nasıl değişmiştir? (c) Dilimin konulduğu yer bir önem arz eder mi? Not: $C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$



Soru: Dielektrik madde yokken sığası C_o olan bir kondansatöre dielektrik sabiti κ ve kalınlığı şekildeki gibi $(1/3)d$ olacak şekilde bir madde dilimi yerleştirilirse, yeni sığa ne olacaktır? Not: $C_o = \frac{\epsilon_o \cdot A}{d}$



Soru: Üç farklı dielektrik maddeden yapılan kondansatörde $\ell \gg d$ ise bu aygıtın sığasını, A plaka yüzey alanı, d mesafesi, κ_1 , κ_2 , κ_3 terimleri cinsinden bulunuz. (Not: $A = 1\text{cm}^2$, $d=2\text{mm}$, $\kappa_1 = 4.9$, $\kappa_2 = 5.6$ ve $\kappa_3 = 2.1$)



Cevap:

$$(a) \quad C_1 = \frac{\kappa_1 \epsilon_0 A/2}{d}; \quad C_2 = \frac{\kappa_2 \epsilon_0 A/2}{d/2}; \quad C_3 = \frac{\kappa_3 \epsilon_0 A/2}{d/2}$$

$$\left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)^{-1} = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left(\frac{\kappa_2 \kappa_3}{\kappa_2 + \kappa_3} \right)$$

$$C = C_1 + \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)^{-1} = \boxed{\frac{\epsilon_0 A}{d} \left(\frac{\kappa_1}{2} + \frac{\kappa_2 \kappa_3}{\kappa_2 + \kappa_3} \right)}$$

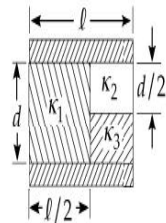
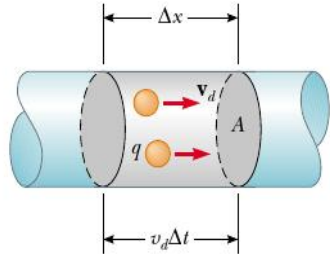
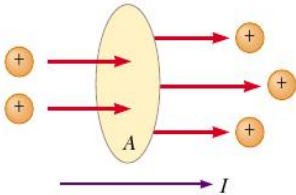


FIG. P26.61

$$(b) \quad \text{Using the given values we find:} \quad C_{\text{total}} = 1.76 \times 10^{-12} \text{ F} = \boxed{1.76 \text{ pF}}.$$

Şimdiye kadar durgun yüklerle veya elektrostatikle ilgilenmişken, bundan sonra hareketli yükleri ve sonuçlarını inceleyeceğiz.

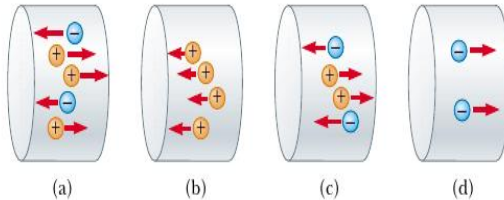


Akım: birim zamanda iletkenenden geçen yük miktarıdır. $I = \frac{Q}{\Delta t}$ iken birim amper'dir. Pozitif yükün akış yönü akım yönüyken, **elektronlar** tersi yönde akar.

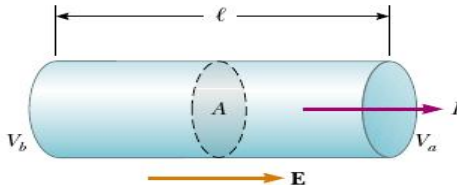
$$I = \frac{(n \cdot A \cdot v_s \cdot \Delta t) \cdot q}{\Delta t} = n \cdot q \cdot A \cdot v_s$$

Normalde iletken içinde zigzag hareketi yapan elektronun iletken içinde ortalama bir hızı vardır. Bu hıza sürüklenme hızı v_s denir. İletkenin uçlarına uygulanan elektrik alan, yükler üzerinde bir kuvvet oluşturarak onların hareketini sağlar. Elektronlar, metal atomlarıyla çarpışarak yollarına devam ederler. Bu atom-elektron çarpışması sanki bir sürtünme kuvveti gibi rol oynar. Elektronlardan metal atomlarına aktarılan enerji sayesinde, metal atomları ısınır.

Soru:



Yukarıdaki şekildeki akımları büyükten küçüğe sıralayınız.



$$2. \text{Yol: } R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{E \cdot \ell}{J \cdot A} = \frac{E \cdot \ell}{(\sigma \cdot E) \cdot A} = \frac{\ell}{\sigma \cdot A} = \frac{\ell \cdot \rho}{A}$$

Not: Ohm kanununa uyan maddelere ohmik maddeler, uymayanlara ise ohmik olmayan maddeler denir. Öz direnç = $\frac{1}{\sigma}$

TABLE 27.1 Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity ^a ($\Omega \cdot \text{m}$)	Temperature Coefficient $\alpha[(^{\circ}\text{C})^{-1}]$
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome ^b	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\approx 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

^a All values at 20°C.^b A nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.

TABLE 27.2 Color Coding for Resistors

Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	10^1	
Red	2	10^2	
Orange	3	10^3	
Yellow	4	10^4	
Green	5	10^5	
Blue	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Gray	8	10^8	
White	9	10^9	
Gold		10^{-1}	5%
Silver		10^{-2}	10%
Colorless			20%

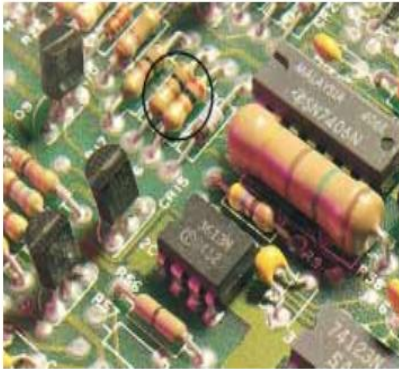
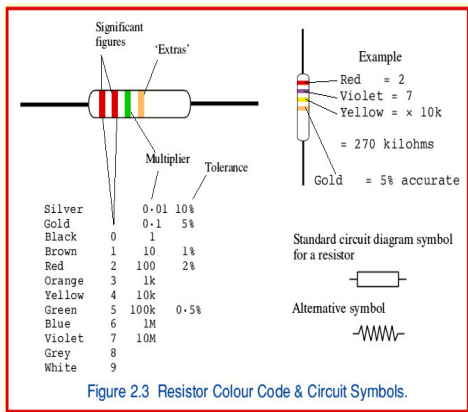


Figure 27.6 The colored bands on a resistor represent a code for determining resistance. The first two colors give the first two digits in the resistance value. The third color represents the power of ten for the multiplier of the resistance value. The last color is the tolerance of the resistance value. As an example, the four colors on the circled resistors are red (= 2), black (= 0), orange (= 10^3), and gold (= 5%), and so the resistance value is $20 \times 10^3 \Omega = 20 \text{ k}\Omega$ with a tolerance value of $5\% = 1 \text{ k}\Omega$. (The values for the colors are from Table 27.2.)

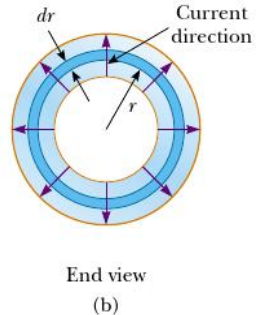
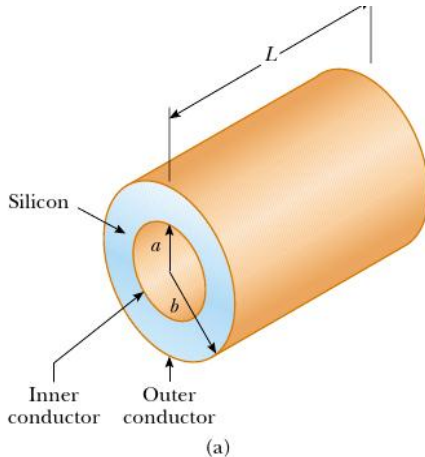
Kural: Direnç üzerindeki 4 renkten ilk ikisi direncin iki basamağını, 3. renk direnç çarpanını (10^x) ve sonuncusu toleransı verir. Örneğin, 1.renk=kırmızı, 2.renk=siyah, 3. renk=turuncu ve 4.renk=Altın rengi ise direncimizin değeri $R=20\text{k}\Omega$ olur.

Rezistans ve tolerans terimlerini açıklayacak olursak; akım seviyesini kontrol etmek için kullanılan dirençlere rezistör denirken, tolerans ise dirençteki hata payıdır.



Silisyum dielektrik maddesiyle içi tamamen dolu koaksiyel kablunun iki iletkeninin arasındaki radyal direnci nedir?

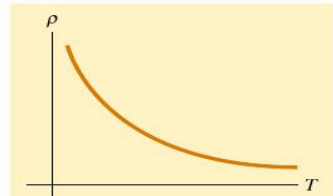
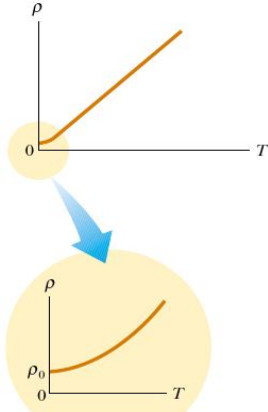
$$(a = 0.5\text{cm}, b = 1.75\text{cm}, L = 15\text{cm}, dR = \rho \frac{d\ell}{A} = \rho \frac{dr}{2\pi \cdot r \cdot L})$$



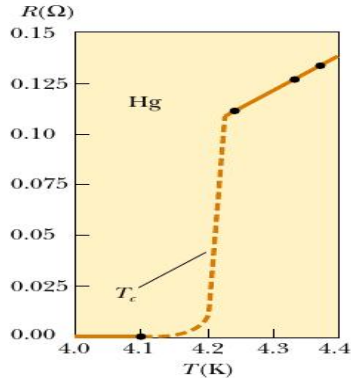
Elektriksel iletkenlik için bir model: Bir iletkende iletkenliğin serbest elektronlarla oluşturulduğunu kabul edersek, elektrik alan yokken bu elektronların mobilitesini (ortalama hız) sıfır kabul ederek iletkenliğin oluşmayacağını söyleyebiliriz. Bir elektrik alanında ilerleyen elektron için ivme $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m_e} = \frac{q\vec{E}}{m_e}$ olur. Hızlandırılan bu elektronun son hızı ise $\vec{v}_s = \vec{v}_i + (\vec{a} \cdot t)$ ile bulunurki burada ilk hız sıfır alınmalıdır. Aynı zamanda t ifadesi çarpışmalar arasındaki ortalama zaman olan τ ile değiştirilirse ifade $\vec{v}_s = \frac{q\vec{E}}{m_e}\tau$ olacaktır. ($\tau = \frac{\ell}{v}$) Eğer öz direncin ve iletkenliğin elektrik alandan bağımsız olduğunu göstermek istersek: $\vec{J} = nq\vec{v}_s = nq \cdot \frac{(q\vec{E}\tau)}{m_e}$ ve $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$ bağıntılarını birleştirirsek $\sigma = \frac{nq^2\tau}{m_e}$ veya $\rho = \frac{m_e}{nq^2\tau}$ bulunacaktır. NOT!! Saf metallerde öz direnç sıcaklıkla doğru orantılıdır; fakat burada $\bar{v}$ 'un sıcaklığın kareköküyle orantılı olduğu ideal gaz modeli bu ifadeyle çelişir.

Direnç ve sıcaklık: Herhangi bir sıcaklıktaki öz direncin bulunması: $\rho = \rho_o[1 + \alpha.(T - T_o)]$ Buradaki alfa öz direncin sıcaklık katsayısıdır ve değeri $\alpha = \frac{1}{\rho_o} \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$ 'dir. Tablo 27.1'i inceleyiniz. Hassas sıcaklıkla ölçümler dışında $R = R_o[1 + \alpha.(T - T_o)]$ bağıntısı kullanılabilir.

Solda bakırın öz direncinin sıcaklıkla değişimi verilirken, sağdaki ters orantılı grafikte Germanyum ve Silisyum gibi yarı-iletkenlerin öz direncinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Bakırdaki öz direncin sıfır olmaması, iletken içindeki safsızlıklardandır. Yarı-iletkenlerde ise artan sıcaklıkla yük taşıyıcı sayısı yani iletkenlik artar.



Süperiletkenlik: Belirli bir kritik sıcaklığın altında dirençleri sıfır olan maddelerdir.



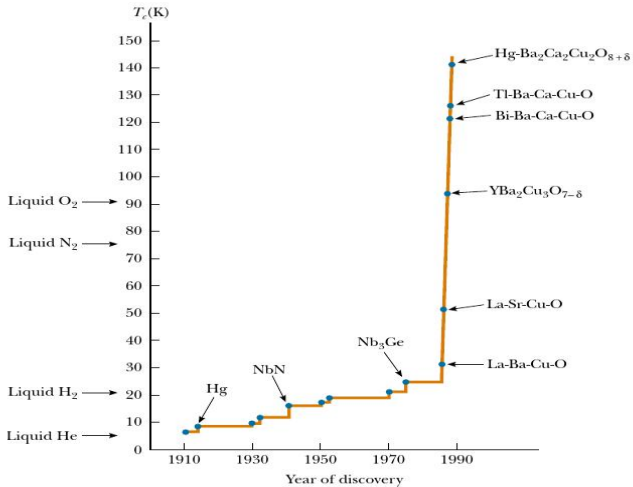
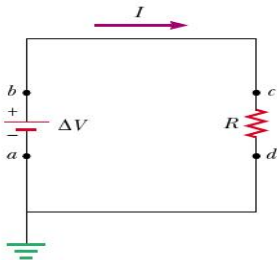


Figure 27.13 Evolution of the superconducting critical temperature since the discovery of the phenomenon.

Elektrik enerjisi ve güç:

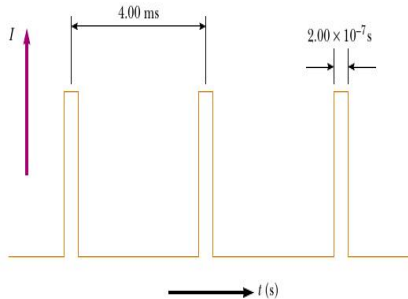


Yükün harekete başladığı topraklanmış a noktasında potansiyeli ve enerjisi sıfırdır. Devrede herhangi bir yerde yük artışı olmadığından devreden geçen akım hep aynıdır. Yük a'dan başlayıp a'ya döndüğünde başlangıçtaki sıfır enerjisine sahiptir. Elektriksel güç $P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{Q \cdot \Delta V}{\Delta t} = I \cdot \Delta V = I^2 \cdot R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$ olarak gösterilir. Birimi watt olacaktır.

Bir bataryaya veya herhangi bir elektriksel enerji sağlayan kaynağa **elektromotor kuvvet kaynağı** (Emk) denir. Bu ifadenin kuvvetle bir alakası yoktur! Bu emk kaynağının iç direnci sıfır kabul edilirse $\Delta V = V_b - V_a = \varepsilon$

Yüksek dirençli teller ucuzdur. Buda düşük akım demektir. Eğer devreye yüksek potansiyel verilerek $P = \Delta V \cdot I$ gücü elde edilirse maliyet düşük olmaktadır. Yüksek dirençli tel aynı zamanda düşük kesit alanlı tel demektir. $P = I^2 \cdot R$ iken akım düşük tutularak az enerji kaybı sağlanabilir.

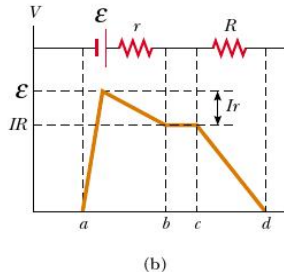
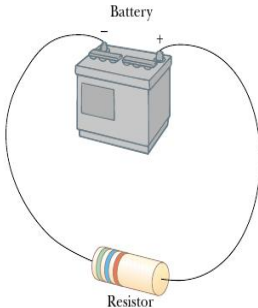
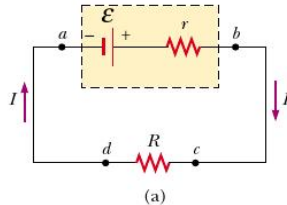
Soru: Bir hızlandırıcıdan 250 atma/s şeklinde çıkan 40 MeV 'luk elektronlarda atmalar arasındaki süre 4 ms 'dir. Herbir atma 200 ns durumunu korurken bu atma 250 mA 'lik akım getirir. Akım atmalar arasında sıfırdır. (a) Atma başına hızlandırıcıdan ne kadar elektron çıkarılır? (b) Oluşturulan atma başına ortalama akım nedir?



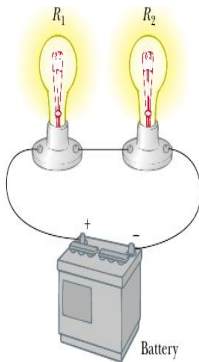
Elektromotor kuvvet (emk) aslında batarya veya jeneratör gibi bir enerji kaynağıdır. Sistemde devre arasında bir potansiyel fark oluşumunu sağlar. Yalnız, her emk bir iç dirence sahiptir, bu onun çıkış voltajının giriş voltajından az olmasına yol açacaktır. Bu gibi kaynaklarda yükler düşük potansiyelli negatif uçtan yüksek potansiyelli artı uça hareket ettirilir.

$\Delta V = V_b - V_a = \varepsilon - (I.r)$ Burada eğer iç direnç sıfır olsaydı $\Delta V = \varepsilon$ olacağına dikkat ediniz. NOT: Batarya üzerindeki etiketlenmiş gerilimler ε değerleridir. Bir sonraki slayttaki devredeki potansiyel fark $\Delta V = \varepsilon - (I.r) = I.R$ olup, ana direnç üzerindeki gerilime eşittir. Buradan $\varepsilon = I.(R + r)$ veya $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ çıkar. Eğer bu formül I akımı ile çarpılırsa bize elektriksel gücü $P = \varepsilon.I = I^2.(R + r)$ şeklinde verir. Aslında bu formülün sol tarafı toplam çıkış gücünü gösterirken, sağ tarafı harcanarak ısıya dönüşen elektriksel enerjiyi göstermektedir.

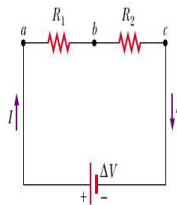
Bir bataryanın iç direncinden ötürü çıkış voltajının emsından oluşuracağı azalma görülmektedir.



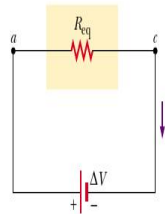
Dirençlerin seri bağlanması: Seri bağlı dirençlerdeki püf nokta, R_1 direncinden akan yükün R_2 direncinden akan yüke eşit olması gerektiridir. Yükün eşit olması ise $I = \frac{Q}{\Delta t}$ eşitliğinden akımın eşit olması gerekliliğini doğurur.



(a)



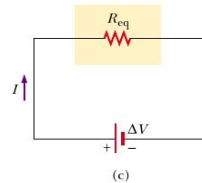
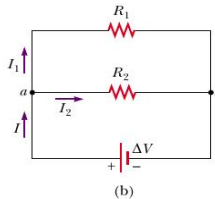
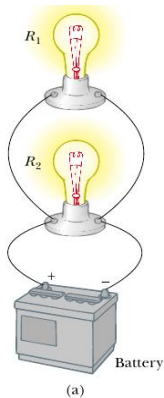
(b)



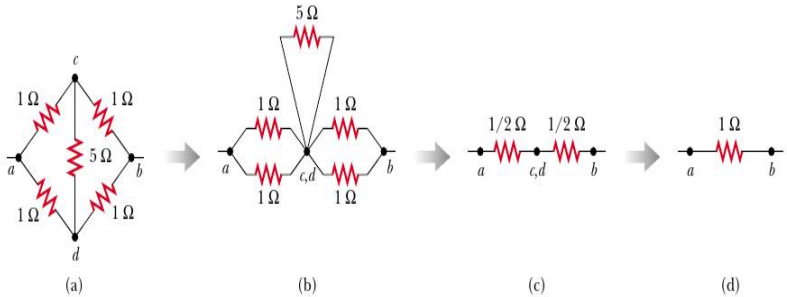
(c)

$$\Delta V_T = \Delta V_1 + \Delta V_2 = I.(R_1 + R_2) = I.R_T$$

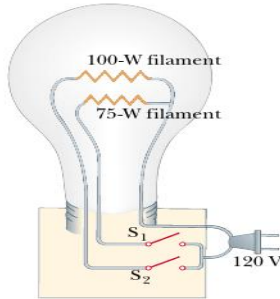
Dirençlerin paralel bağlanması: Paralel bağlı dirençlerin püf noktası ise dirençler üzerindeki potansiyel farkların eşit olmasıdır. Yani $\Delta V_T = \Delta V_1 = \Delta V_2$ olurken, a noktasına giren ve çıkan akımların eşitliğinden $I_T = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_T}{R_1} + \frac{\Delta V_T}{R_2} = \frac{\Delta V_T}{R_T}$ olur. Bu ise dirençlerin $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ bağıntısını verir.



Simetri yoluyla eş değer direncin bulunması: Şekilde simetriden ötürü ac ve ad telleri üzerinden aynı akım geçerken, c ve d noktalarındaki potansiyel farklar eşit olacaktır. Bu 5Ω 'luk direçten akım geçmemesi, onun etkisiz bir devre elemanı olması demektir.



Çok amaçlı ampul: Devredeki anahtarların farklı şekilde kapatılmasıyla, farklı güçlerde nasıl ışık elde edileceğini açıklayınız?



Kirchhoff kuralları:

★ $\sum I_{in} = \sum I_{out}$ Herhangi bir düğüm noktasına gelen ve çıkan akımlar toplamı eşit olmalıdır. Bu, yük korunumunun bir ifadesidir.

★ $\sum_{closedcircuit} \Delta V = 0$ Herhangi kapalı bir devredeki bütün devre elemanlarının uçlarındaki gerilim sıfır olmalıdır. Bu, enerjinin korunumu ile ilgilidir. Bir yük devrede dolaşıp başladığı noktaya geri geldiğinde kazandığı ve kaybettiği enerjilerin toplamı eşit olmalıdır. Bu kuralı uygularken devredeki elektriksel potansiyel değişimine bakılır.

(a)

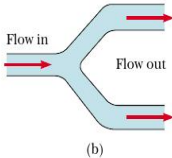


Figure 28.11 (a) Kirchhoff's junction rule. Conservation of charge requires that all current entering a junction must leave that junction. Therefore, $I_1 = I_2 + I_3$. (b) A mechanical analog of the junction rule: the amount of water flowing out of the branches on the right must equal the amount flowing into the single branch on the left.

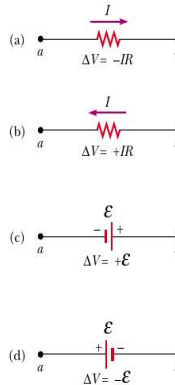
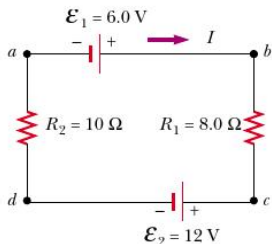


Figure 28.12 Rules for determining the potential changes across a resistor and a battery. (The battery is assumed to have no internal resistance.) Each circuit element is traversed from left to right.

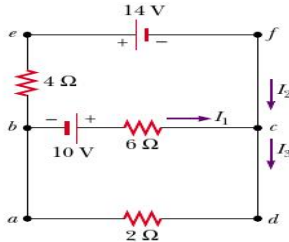
NOT: Kirchhoff kuralları uygulanırken unutulmaması gereken devre elemanlarının kararlı olduğu yani devreden geçen akımın kolları hep **sabit** olduğunu kabul etmekteyiz. Bir başka deyişle, devrenin herhangi bir yerinde devreyi **piller** dışında besleyen **sığa** gibi yük depolayıcı unsurlar olmamalıdır. Olduğu takdirde ise bu ek durum devrenin ilgili kolunda devre sanki **açık devre** gibi göz önünde bulundurulmalıdır.

Tek ilmekli bir devre:



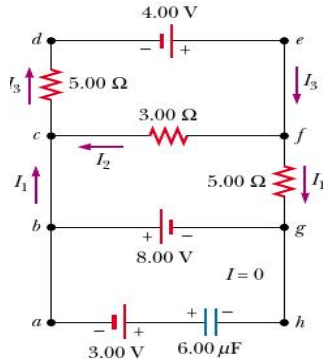
$\sum \Delta V = 0$ ise $\varepsilon_1 - (I.R_1) - \varepsilon_2 - (I.R_2) = 0$ yani $I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2}$ Eğer kabul edilen akım yönüne rağmen sonuç negatif çıkmışsa, bunun anlamı akım yönü ters seçilmiştir demektir. İlaveten her bir dirençteki kaybedilen güç $P = I^2.R$ ile bulunabilir.

Kirchhoff kuralının uygulanması:

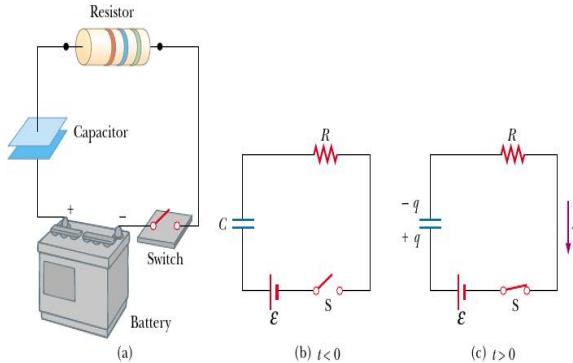


Akımların C düğümündeki durumundan $I_1 + I_2 = I_3$ iken abcda ve befcb kapalı devrelerinde saat yönünü akım yönü seçersek, birinci kapalı devrede $10V - (6 \cdot I_1) - (2 \cdot I_3) = 0$ ve 2. devrede $-14V - 10V + (6 \cdot I_1) - (4 \cdot I_2) = 0$ eşitlikleri çıkar.

Çok ilmekli bir devre: Öncelikle kondansatörün bulunduğu ghab kolu **açık devre gibi** davranacak yani bu koldan **akım geçmeyecektir**. Bu yüzden I_1 ile ilgili yükler g noktasına geldiğinde 8V üzerinden geçecektir. F notkasındaki akım ilmeği kuralından $I_1 + I_2 = I_3$ iken defcd ilmeğinde $4V - (3 \cdot I_2) - (5 \cdot I_3) = 0$ ve cfgbc ilmeğinde $8V - (5 \cdot I_1) + (3 \cdot I_2) = 0$ çıkar. Sıgalı ghab yolunda akım yoktur.



RC Devreleri: Şu ana kadar sabit akımlı devrelerle ilgilenmişken, artık değişken akımlı RC devrelerini inceleyeceğiz. RC harfleri direnç ve kapasitörden oluşan devrelere atfen kullanılmaktadır.

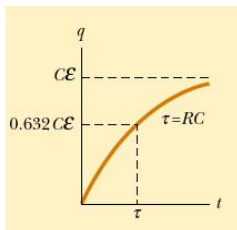


Bir önceki slaytta Kirchhoff uygulanırsa, $\varepsilon - \frac{q}{C} - I.R = 0$ bulunur. " $t=0$ " anında kondansatörde hem " $q=0$ " hem de " $I=0$ " değeri okunur. Dolayısıyla $I_0 = I_{max} = \frac{\varepsilon}{R}$ çıkacaktır ve potansiyelin sadece direnç üzerinden harcandığı görülür. Kondansatör Q_{max} değerine geldiğinde ise yük akışı durur yani devredeki akım sıfır ($I = 0$) olur. Bu seferde potansiyel düşmesi sadece kondansatörün plakaları arasında olacaktır. Yani $\varepsilon - \frac{q}{C} = 0$ iken $Q_{max} = \varepsilon.C$ 'dir.

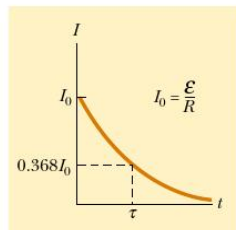
Yukarıdaki ifadeleri düzenleyecek olursak, devreden geçen en yüksek akımın " $t=0$ " anında olduğunu ve zamanla giderek azaldığını görürüz. Aynı şekilde, minimum yükün " $t=0$ " anında olduğunu ve zamanla maximum değerine ulaştığı görülür.

Bir önceki ifadelerin grafiksel gösterimi: Formüllerde gözlenen **RC** katsayısına τ **zaman sabiti** denmektedir. Burada $\frac{1}{e} = e^{-1} = 0.368$ olarak alınacaktır.

$$[\tau] = [RC] = \left[\frac{\Delta V}{I} \times \frac{Q}{\Delta V} \right] = \left[\frac{Q}{Q/\Delta t} \right] = [\Delta t] = T$$



(a)



(b)

Bir önceki ifadelerin formüsel gösterimi:

Genel denklem $\varepsilon - \frac{q}{C} - I.R = 0$ 'den $I = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC}$ yazılabilir. Eğer bu ifadeyi düzenlersek, $\frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} dt$ bulunur.

Eğer "t=0" iken "q=0" gerçeğini kullanarak integral alırsak

$\int_0^q \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$ bulunur. Eğer bu denklem çözülürse,

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

Başlangıçta zamanla artarak değişecek olan kondansatördeki yük için $q(t) = C\varepsilon(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) = Q_{max}(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$ ifadesi ortaya çıkmaktadır.

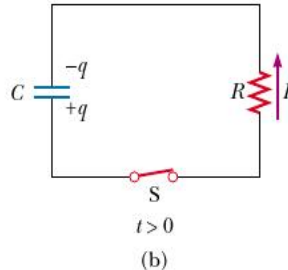
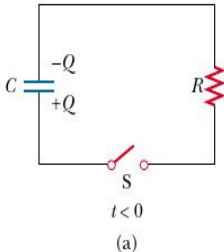
Başlangıçta zamanla azalarak değişecek olan devredeki akım için $I = \frac{\varepsilon}{R}(e^{\frac{-t}{RC}}) = I_{max}(e^{\frac{-t}{RC}})$ ifadeleri yazılabilir.

RC Devrelerinde kondansatörün boşalması: NOT: Boşalan kondansatörde akımın yönü **sonradan** değişir. Şekildeki devrede Kirchhoff **ilk duruma** göre yazılırsa: $-\frac{q}{C} - IR = 0$ bulunur. $I = \frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC}$ yani

" $t=0$ " da " $q = Q_{max}$ " şartını kullanarak $\int_{Q_{max}}^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$ bulunur.

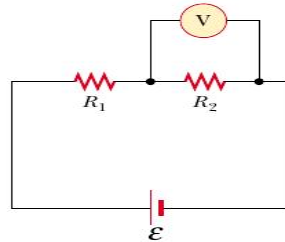
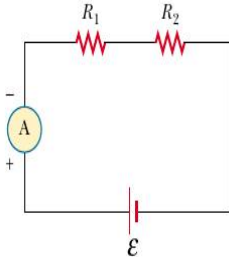
Sonuç olarak $\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$ yani $q(t) = Qe^{-\frac{t}{RC}}$ 'dir. Eğer akım

$I = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = -I_{max} e^{-\frac{t}{RC}}$ bulunur. Buradaki **negatif** işareti kondansatör dolarken ve boşalırken **akımın yönünün ters** olacağını belirtir.

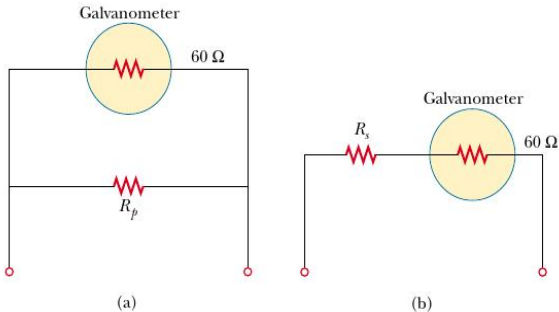


Elektrik ölçen aletlerden ampermetre ve voltmetre:

Görüldüğü gibi iç direnci sıfır olan ampermetre devreye seri bağlanırken, iç direnci sonsuz kabul edilen voltmetre devreye her zaman paralel bağlanır.



Elektrik ölçen aletlerden galvanometre: Hem ampermetre hem de voltmetre olarak kullanılabilen voltmetrenin bağlanış şekli olması gerekenin tam tersi gibidir. Paralel bağliken ampermetre, seri bağliken voltmetre gibi çalışır.



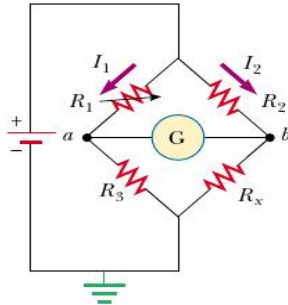
Hatırlatma: Bir dq yükünü $+q$ yüklü plakadan $-q$ yüklü plakaya nakletmek için gerekli iş $dW = \Delta V \cdot dq = \frac{q}{C} dq$ 'tir.

Buradan, kondansatörü öldürmek için gereken iş $W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$

olur. Bu ifade aynı zamanda kondansatörde depolanan işe ($U = W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V^2)$) eşittir.

RC devrelerinde tüketilen ve üretilen enerjiye gelince, bataryanın kondansatör yüklenirken sisteme verdiği **elektriksel enerji** $\Delta U = Q\varepsilon = C\varepsilon^2$ olur. Tamamen yüklenen kondansatörün boşalması sırasında tükettiği, içinde öncesinde depolanmış olan enerji ise $\Delta U = \frac{1}{2} Q\varepsilon = \frac{1}{2} C\varepsilon^2$ olarak bataryanın ürettiğinin tam yarısıdır. Buradan kaybolan enerjinin diğer yarısının dirençler tarafından tüketileceği açıktır.

Wheatstone köprüsü: Bilinmeyen bir direncin, bilenen diğer 3 direnç vasıtasıyla galvanometreden geçen akımın sıfır olduğu anda a ve b kollarındaki potansiyellerin eşit olması gerekliliğinden yararlanılarak bulunmasından kaynaklanır.



$I_1 R_1 = I_2 R_2$ ve $I_1 R_3 = I_2 R_x$ olacağından $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$ bulunur.

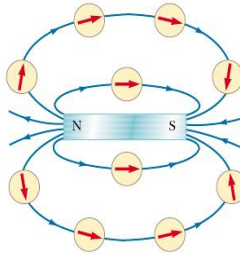
Michael Faraday ve James Clerk Maxwell gibi bilim adamları elektrik ve manyetik olaylar arasında benzerlikler bulmuşlardır. Örneğin, elektrostatik konusunda sürtünme ve etkiyle elektriklenmeyi gördük. Benzer şekilde mıknatıslanmamış bir demir parçası bir mıknatısa sürtünerek mıknatıslanabilmektedir. Veya demir parçası kuvvetli bir mıknatısın yanına getirildiğinde etkiyle de mıknatıslanmaktadır.

Elektrik ve manyetik kuvvetleri birbirine benzemekle beraber, aralarında bazı farklar vardır. Mesela, iki yük $+$ ve $-$ olarak veya proton ve elektron olarak ayrı ayrı düşünülebilirken, manyetik kutuplar asla birbirinden ayrı düşünülemezler. Yani, tek kutuplu bir mıknatıs şu ana kadar oluşturulamamıştır.

► Magnetizma videosu için tıklayınız.

► Magnetizma videosu 2 için tıklayınız.

► Magnetizma videosu 3 için tıklayınız.

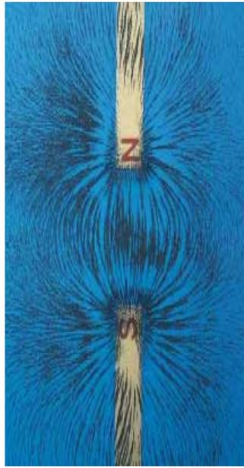


Deney sonuçları:

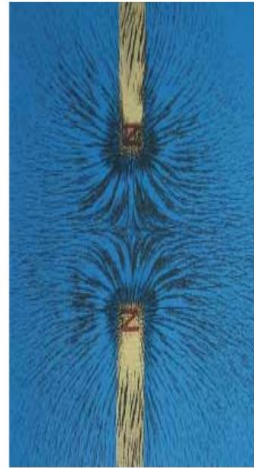
- ❶ Parçacığa etkiyen manyetik alanın büyüklüğü parçacığın hızı ve yüküyle doğru orantılıdır.
- ❷ Manyetik kuvvetin büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızına ve B manyetik alanının büyüklüğü ve yönüne bağlıdır.
- ❸ Yüklü bir parçacık manyetik alan vektörüne paralel hareket ettiği zaman ona etkiye manyetik kuvvet sıfır olur.
- ❹ Manyetik alan kuvveti hem B manyetik alanına hem de hıza dik olan düzlemdedir.



(a)

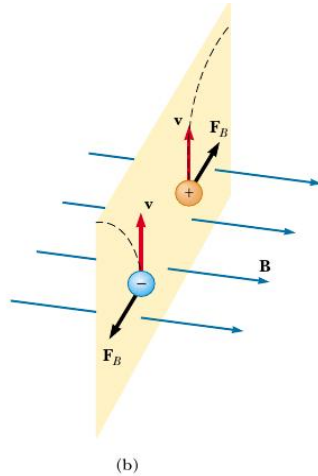
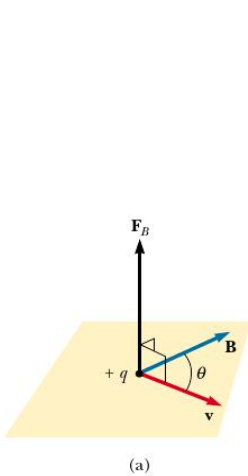


(b)



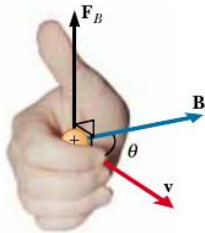
(c)

Manyetik kuvvet, her zaman hızın ve manyetik alanın bulunduğu düzleme diktir.

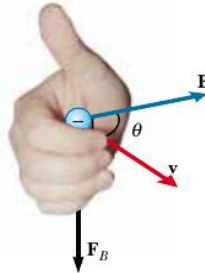


$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Manyetik alandaki bir cismin hızına ve alanın yönüne göre maruz kalacağı kuvvetin yönü sağ el kuralıyla bulunabilir. İlk 4 parmak hızı gösterirken, avuç içi manyetik alanı gösterirse baş parmakta manyetik kuvveti gösterecektir.



(a)



(b)

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Elektrik ve manyetik alan arasındaki farklar:

- 1 Elektrik kuvveti her zaman alana paralelken, manyetik kuvvet alana diktir.
- 2 Elektrik kuvveti yüklü parçacıkların hızından bağımsızken, manyetik alan sadece yüklü parçacık hareketliyse etkindir.
- 3 Elektrik kuvveti yüklü parçacığın yerini değiştirerek iş yaparken, manyetik kuvvet parçacık yerdeğiştirdiğinde iş yapmaz. NOT: Sonuç olarak, yüklü bir parçacığın kinetik enerjisinin sadece manyetik alanla değiştirilemeyeceğine bilgisine ulaşırız. Bu manyetik alan sadece hızın yönünü değiştirecektir.

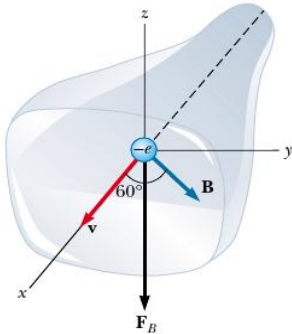
Manyetik alanın birimi (SI'da) Tesla'dır.

$$1 \text{ Tesla} = 1 T = \frac{N}{C.m/s} \text{ veya cgs birim sisteminde}$$

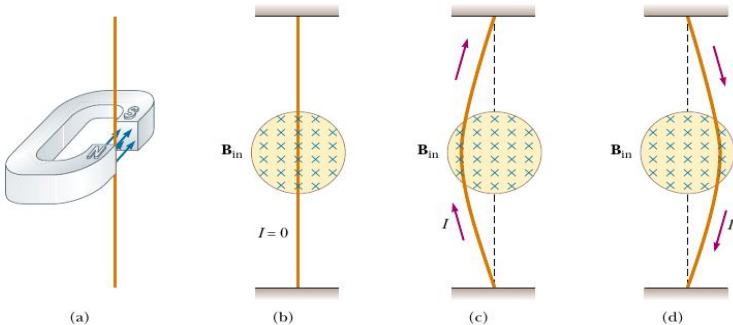
$$1 T = 10^4 \text{ Gauss} = 10^4 G \text{ dir.}$$

Alan Kaynağı	Alan Büyüklüğü (T)
Kuvvetli süperiletken laboratuvar mıknatısı	30
Kuvvetli sıradan laboratuvar mıknatısı	2
Tıpta kullanılan MRI birimi	1,5
Çubuk mıknatıs	10^{-2}
Güneşin yüzeyi	10^{-2}
Dünyanın yüzeyi	$0,5 \times 10^{-4}$
İnsan beyninin içi (sinir atımlarından kaynaklanan)	10^{-13}

Soru: Bir elektron X eksenini boyunca $8 \times 10^6 \text{ m/s}$ hızla şekildeki gibi ilerliyor. XY düzleminde oluşturulan ve 0.025 T büyüklüğünde olan manyetik alan yüzünden elektrona etkiyen kuvveti ve sonuç olarak oluşacak ivmeyi bulunuz. Not: $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$



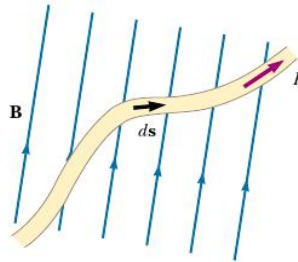
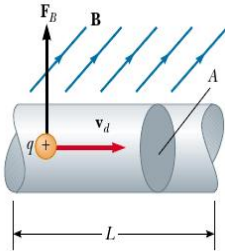
Akım taşıyan teldeki manyetik kuvvetin yönünün bulunması:



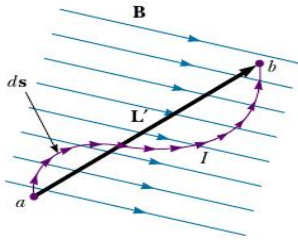
Sağ el kuralı uygulanırken, avuç içi manyetik alanı ve ilk 4 parmak akım yönünü gösterirken, baş parmak bize kuvvetin yönünü vermektedir.

$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ iken telin toplamına etkiyen kuvveti bulmak için tel parçasında bulunan toplam yük sayısı ile bu değeri çarpmak gerekmektedir. $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \cdot (n \cdot \vec{A} \cdot \vec{L}) = (n \cdot q \cdot \vec{v} \cdot \vec{A}) \cdot \vec{L} \times \vec{B} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$
Buradaki L akım yönünde bir vektördür. NOT: Bu ifade sadece **düzgün manyetik alandaki doğrusal** bir tel için geçerlidir.

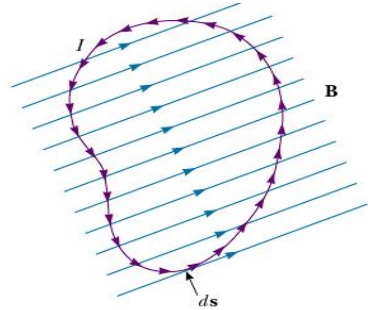
Düzgün bir manyetik alanda üzerinden akım geçen şekilsiz bir telden geçen manyetik kuvvet: $d\vec{F}_B = I \cdot d\vec{s} \times \vec{B}$ buradan $\vec{F}_B = I \int_b^a d\vec{s} \times \vec{B}$



Özel durumlar: Düzgün bir manyetik alana bırakılan şekilsiz telin a ve b uçları arasındaki manyetik kuvvet, L' uzunluğunda üzerinden I akımı geçen tele uygulananla aynıdır. Kapalı bir tele uygulanan toplam kuvvet ise sıfırdır. Bunun nedeni, a-b arasındaki kapalı integrali oluşturan uzunluk vektörlerinin toplamının sıfırı vermesidir.



(a)



(b)

Şu ana kadar manyetizmayla ilgili anlatılanlarda dikkatinizi çekmek istediğim iki ana formül ve bu formüllerin aslında sizlere anlatmak istediği mesaj vardır. Bu formüller sırasıyla :

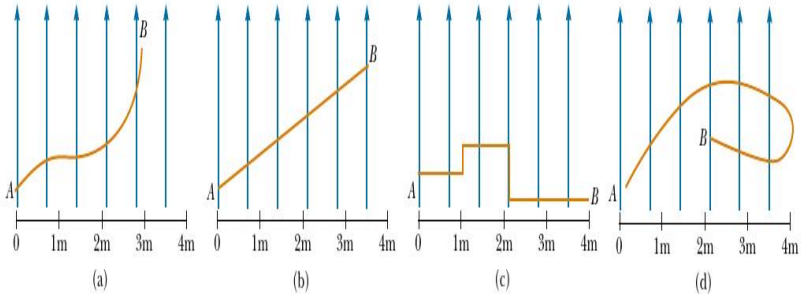
$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B}) \text{ ve } \vec{F}_B = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

Aslında bunlar, birbirinden türetilen ve aynı manyetik kuvveti farklı yollarla bulmamızı sağlayan iki formüldür. İlk formüldeki **q** yükü ve ikincideki **I** akımı kaynak olarak **manyetik kuvveti yaratan** iki temel unsurun kendisidir. Yani neden manyetik alan var sorusunun cevaplarıdır.

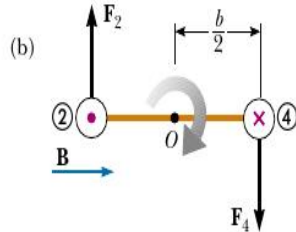
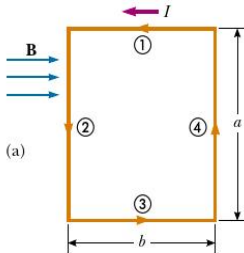
Bu iki formülü tanıma dökersek, 1.sinde önce bir yüke sahip olmak, sonra bu yükü bir şekilde hızlandırmak, son olarakta bu hızlanan yükü bir manyetik alana koymak şarttır. 2. formül ise L uzunluğunda bir telden akım geçirilmesi ve bu telin sonrasında bir manyetik alana konulması kuvvetin oluşması için elzemdir. Hatırlanmalıdırki, akım birim zamanda telden geçen hareketli yükün ta kendisidir. Yani aslında iki formül birbirinin kopyasıdır.

A diagram showing a semi-circular wire of radius R placed in a uniform magnetic field $\mathbf{B}$ directed vertically upwards. A current I flows clockwise through the wire. A small segment of the wire is labeled ds , and its position is defined by the angle θ from the vertical dashed line. The angle between the radius R and the segment ds is $d\theta$.

Soru: Aynı manyetik alanda aynı akımı taşıyan tellerin hissettikleri manyetik kuvvetleri büyüklükçe sıralayınız.

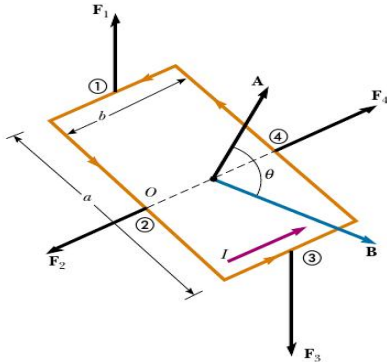


Düzgün bir manyetik alandaki akım ilmeğine etkiyen
tork:

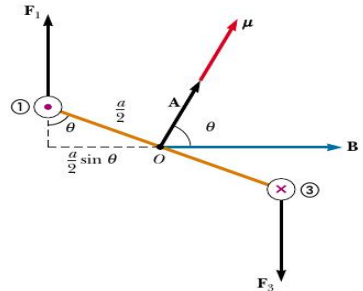


$|F_2| = |F_4| = IaB$ ve O noktası etrafındaki tork
 $\tau = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = IabB$ olur. Ilmek alanı $A=ab$ olduğuna göre
 $\tau = IAB$ çıkar. B alanı 1 ve 3 nolu tellere paralel olduğu için
 $\vec{L} \times \vec{B} = 0$ olduğunu unutmayınız.

Düzgün bir manyetik alandaki A alan vektörlü dikdörtgen akım ilmeği manyetik alanla θ açısını yapmaktadır. 2 ve 4 kuvvetleri birbirlerini götürürken, 1 ve 3 kuvvetleri O noktası etrafında bir tork oluştururlar.



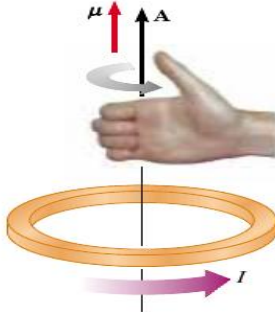
(a)

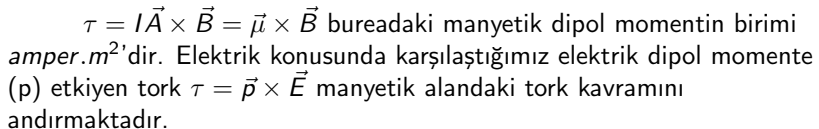


(b)

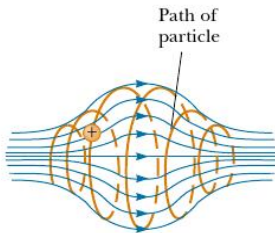
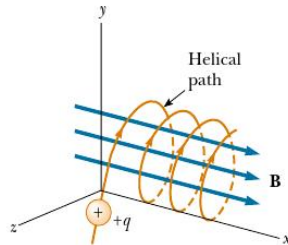
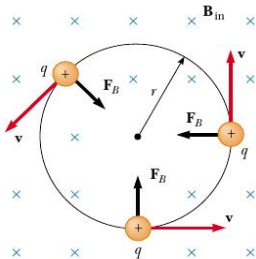
Hesaplama: $\tau = F_1 \frac{a}{2} \sin \theta + F_3 \frac{a}{2} \sin \theta =$
 $lbB(\frac{a}{2} \sin \theta) + lbB(\frac{a}{2} \sin \theta) = I(ab)B \sin \theta = IAB \sin \theta$ Bu ifadenin
 öncedende bulunan torkun, ilmek manyetik alana paralelken ($\theta = 90^\circ$) en
 büyük değer olan $\tau = IAB$ olduğu; fakat dik iken ise 0 olduğunu gösterir.

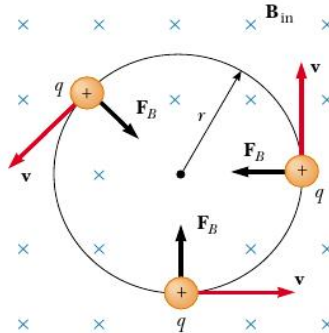
Eğer bu formül genelleştirilirse, düzgün bir manyetik alandaki akım
 ilmeğine etkiyen tork $\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$ olarak gösterilir. Burada kullanılan ala
 vektörü A'nın yönü sağ el kuralıyla, kapalı alanda akımın yönüne çevrilen
 sağ elin baş parmağının yönüdür.





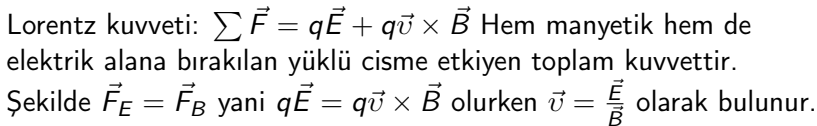
Yüklü bir parçacığın düzgün bir manyetik alandaki hareketi:

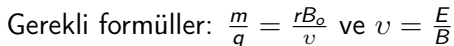


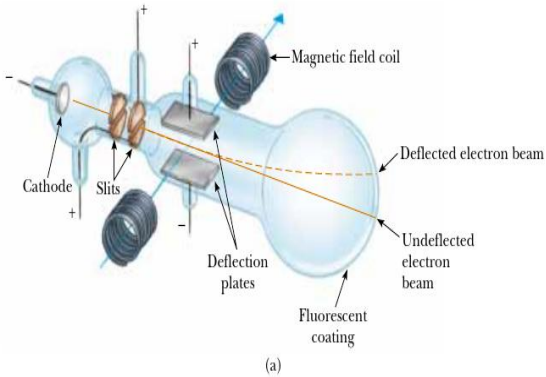


Eğer hıza dik ($\theta = 90^\circ$) uygulanan kuvvetin sadece ve sadece cismin dairesel bir yörünge çizmesine neden olacağı hatırlanırsa, Newton'un 2. prensibi bu cisme uygulanabilir.

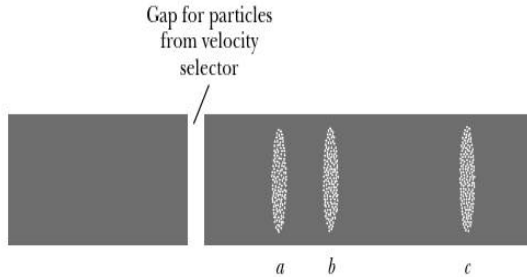
$$|\sum \vec{F}| = m|\vec{a}| = m\frac{v^2}{r} = qvB \text{ yani } r = \frac{mv}{qB} \text{ çıkar. Bu cismin açısal hızı } \omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \text{ olurken, periyodu } T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB} \text{ 'dir.}$$



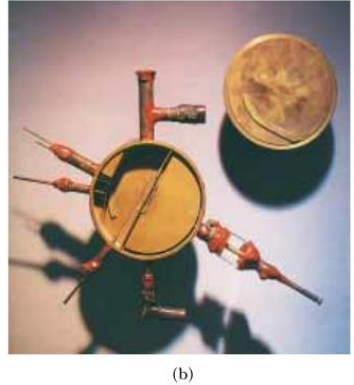
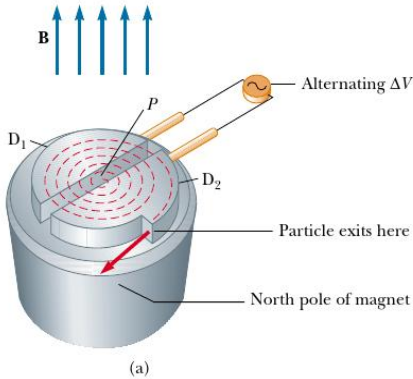


J.J.Thomson'ın e/m deneyi:

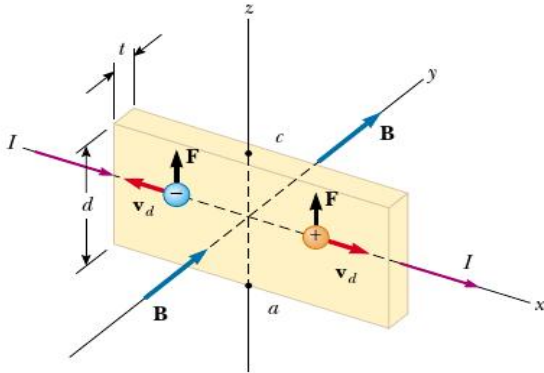
Soru: Kütle spektrometresinden alınan parçacıkların desenine göre parçacıkların süratlerini ve m/q değerlerini sıralayınız.



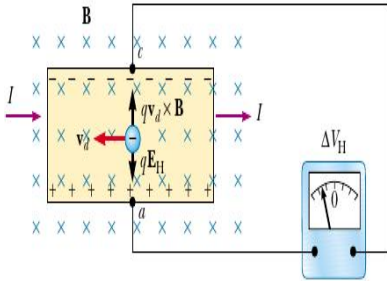
Siklotron hızlandırıcısının çalışma prensibi:



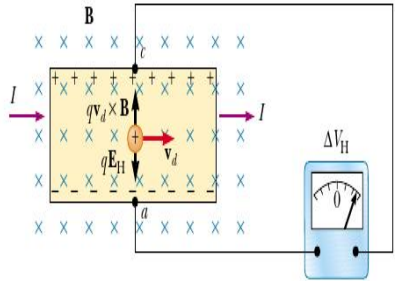
Hall Olayı: Akım geçen telde farklı yükler farklı yönlerde gideceği hatırlanırsa, manyetik alanda hem negatif hemde pozitif yük aynı yöne yani yukarı sapacaktır.



Hall Olayı:



(a)



(b)

$|\vec{F}_E| = |\vec{F}_B|$ yani $qvB = qE$ ise $E = vB$ 'dir. $\Delta V = E \cdot d = v \cdot B \cdot d$ olur. $v = \frac{I}{nqA}$ olduğu hatırlanırsa, $\Delta V = \frac{IBd}{nqA}$ çıkar. Eğer t kalınlık ve A alan ise $A = t \cdot d$ olur. $\Delta V = \frac{IB}{nqt} = \frac{R_H IB}{t}$ ifadesindeki $R_H = \frac{1}{nq}$ niceliği Hall katsayısıdır.

Bu bölümün son slaytıdır.

Herhangi bir sorunuz var mı?