

Teknolojinin Bilimsel İlkeleri (Ders Notları)

*Hazırlayan
Dr. İlker AY*

2009

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	3
ÖLÇME VE BİRİM SİSTEMLERİ.....	3
1.1. Giriş.....	3
1.2. Ölçme.....	3
1.3. Birim Sistemleri.....	3
1.4. Üst katlar ve Ast katlar.....	5
1.5. Birimlerin dönüştürülmesi.....	6
SORULAR.....	7
BÖLÜM 2.....	9
KOORDİNAT SİSTEMLERİ VE VEKTÖRLER.....	9
2.1. Giriş.....	9
2.2. Koordinat Sistemleri.....	9
2.3. Kartezyen Koordinat Sistemi.....	9
2.4. Vektörler.....	10
2.5. Vektörlerin Bileşenlerine Ayrılması.....	12
2.6. Vektörlerin Ters ve Skaler Bir Sayı ile Çarpımı.....	13
2.7. Vektörlerde Toplama ve Çıkarma.....	14
2.8. İki Vektörün Çarpımı.....	16
SORULAR.....	19
BÖLÜM 3.....	21
HAREKETİN KİNEMATİK İNCELENMESİ.....	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. Kinematiğin Temel Kavramları.....	21
3.2. Hız.....	22
3.3. İvme.....	24
3.4. Düzgün Doğrusal Hareket.....	26
3.5. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket (Sabit İvmeli Hareket).....	27
3.6. Serbest Düşme Hareketi.....	29
3.7. Yukarıdan Aşağıya Düşey Atış Hareketi.....	30
3.8. Aşağıdan Yukarıya Düşey Atış Hareketi.....	31
3.9. Eğik Atış Hareketi.....	32
3.10. Yatay Atış Hareketi.....	35
3.11. Bağlı Hareket.....	36
SORULAR.....	38
BÖLÜM 4.....	40
HAREKETİN DİNAMİK VE STATİK İNCELENMESİ.....	40
4.1. Giriş.....	40
4.2. Dinamik ve Statiğin Temel Kavramları.....	40
4.3. Newton'un 1. Yasası (Eylemsizlik İlkesi).....	41
4.4. Newton'un 2. Yasası (Dinamiğin Temel İlkesi).....	41
4.5. Newton'un 3. Yasası (Etki Tepki İlkesi).....	41
4.6. Normal Kuvveti.....	42
4.7. Sürtünme Kuvveti.....	42
4.8. Geri Çağırıcı Kuvvet.....	45
4.9. Düzgün Dairesel Hareketin Dinamiği.....	45
4.10. Kuvvetin Döndürme Etkisi (Moment).....	46
4.11. Katı Cisimlerin Statik (Durgun Durum) Dengesi.....	48
4.12. Ağırlık Merkezi.....	49
SORULAR.....	51
BÖLÜM 5.....	54

İŞ, GÜÇ VE ENERJİ.....	54
5.1. Giriş.....	54
5.2. İş	54
5.3. Doğrusal Hareketinin Yaptığı İş	54
5.4. Dönme Hareketinin Yaptığı İş	56
5.5. Güç.....	57
5.6. Doğrusal Hareket Boyunca Harcanan Güç.....	57
5.7. Dönme Hareketinde Aktarılan Güç	57
5.8. Enerji.....	58
5.9. Enerjinin Korunumu	60
SORULAR.....	62
BÖLÜM 6.....	64
MADDE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ	64
6.1. GİRİŞ	64
6.2. Madde, Malzeme, Atom ve Molekül.....	64
6.3. Maddenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	65
6.3.1. Maddenin Elektriksel Özellikleri.....	66
6.3.2. Maddenin Manyetik Özelliği.....	67
6.3.3. Maddenin Esneklik Özelliği	68
6.3.3.1. Gerilme, Birim Uzama ve Young Modülü	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
6.3.4. Oksitlenme ve Pas.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
BÖLÜM 7.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
ELEKTROSTATİK.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
7.1. Giriş.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.2. İki Yükün Birbirlerine Uyguladıkları Kuvvet (Coulomp Kuvveti)...	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.3. Elektriklenme	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.4. Elektrik Alan	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.5. Elektriksel Potansiyel	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.6. Elektriksel Potansiyel Enerji	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.7. Kondansatör	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
7.8. Elektrik Akımı	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

BÖLÜM 1

ÖLÇME VE BİRİM SİSTEMLERİ

1.1. Giriş

Fiziğin temeli nedir, diye sorulduğunda verilecek en iyi cevap; **gözlem**dir. Fizik gözlemlere dayalı bir bilim dalıdır. Bu yüzden gözlemlediğiniz olayları doğru şekilde aktarabilmeniz çok önemlidir. Bunun için de doğru ölçümler almalı ve ölçtüğünüz büyüklüğün ne olduğunu herkesin anlayacağı şekilde doğru olarak söylemelisiniz. İnsanoğlu, zaman içinde farklılıkları ortadan kaldırabilmek için birim sistemini bulmuştur. Böylece birim sistemi evrensel bir dil olarak fiziğin içine girmiş ve fiziğin olmazsa olmazlarından olmuştur. Ölçme ve birim sistemi olmadan fizik ile uğraşmanın bir anlamı yoktur. Bu yüzden bu konu fiziğin en temel konusu olup iyi öğrenilmelidir.

1.2. Ölçme

İnsanlık var olduğundan beri gördüğü, tuttuğu ya da hayal ettiği şeyleri bir başkasına anlatırken büyüklüğünü belirtebilmek için karşılaştırmalar yapmıştır. İlk çağlarda yaşayan bir insanı düşünün, gördüğü bir dinazorun büyüklüğünü bir başkasına anlatırken ya bir ağacın boyuyla kıyaslamış ya da bir kaya ile karşılaştırmıştır. Ya da bir çocuğu düşünün, kocaman kavramını açıklarken ellerini nasıl iki yana açar?

İşte **ölçme**; bir büyüklüğün başka bir büyüklük içinde kaç tane olduğunun sayılmasına denir. Örneğin bir masanın uzunluğunu ölçeceksiniz, karışınız bir ölçme aleti olabilir. Masanın bir ucundan diğer ucuna kadar olan mesafeyi karışınız ile sayarak masanın uzunluğu hakkında bir fikir sahibi olabilir ve bunu bir başkasına söyleyebilirsiniz. Örneğin masanın boyu 10 karış, gibi. Ancak her insanın karışı birbirinden farklı olduğu için sizin olmadığınız bir yerde karış ile bir masanın boyunu tarif etmek karışıklıklara neden olacaktır. Örneğin masa bir çocuğun karışıyla ölçülmüşse ve siz bunu bilmiyorsanız sizin ölçeceğiniz 10 karış ile çocuğun ölçtüğü 10 karış birbiri ile aynı olmayacaktır.

İşte bu sorunları ortadan kaldırabilmek için toplumlar geliştikçe kendi içlerinde her fiziksel büyüklüğü ölçmek için belli standartlar getirmişlerdir ve bunlara da birim sistemleri demişlerdir.

1.3. Birim Sistemleri

Fiziksel bir büyüklüğün cinsini belirtmek için kullandığımız ifadeler **birim** denir. Örneğin uzunluk, fiziksel bir büyüklüktür ve bu fiziksel büyüklük için kullanılan birim SI birim sisteminde metre ve sembolü; (m) dir.

Birim sistemi, keyfi olarak seçilmiş temel büyüklükler ve bu temel büyüklüklerden türetilmiş büyüklüklerden oluşan sisteme denir. Temel büyüklükler; uzunluk, kütle ve zamandır. Diğer tüm büyüklükler bu temel büyüklüklerden türetilmiştir.

Toplumlar ilk başlarda sadece kendilerine özgü birim sistemleri kullanmışlardır. Osmanlılar uzunluk için kullandıkları birim “arşın” iken İngilizler “foot” demişlerdir. Bu karışıklığı ortadan kaldırmak için, Fransız hükümetinin girişimi ile aralarında Osmanlı İmparatorluğu’nun da bulunduğu 17 devlet temsilcisinin katılımıyla 20 Mayıs 1875’de Paris’de imzalanan Metre Konvansiyonu’nda birim sistemleri tanımlanarak bir standarda konmuş ve her birim sisteminin bir diğer sistemdeki karşılığı gösterilmiştir.

Başlıca kullanılan birim sistemleri:

- ✚ FPS (foot, pound, saniye) birim sistemi
- ✚ CGS (santimetre, gram, saniye) birim sistemi
- ✚ MKS (metre, kilogram, saniye) birim sistemi
- ✚ Uluslar arası birim sistemi (SI)

dır. Bu birimlerden en çok kullanılan SI birim sistemidir. SI birim sistemi 1960 yılında hemen hemen tüm ülkelerin katılımıyla gerçekleşen “Ağırlıklar ve Ölçümler Genel Konferansı”nda bilimsel ve teknik iletişimi kolaylaştırmak amacıyla tasarlanıp kabul edilmiştir.

Bu konferanslarda birimler ve sembollerin yazılışı belli standartlara bağlanmıştır. Buna göre; birimin adı olan kelime, anılan bilim adamının adı ile karışmaması için küçük harfle başlatarak yazılır. Ancak bu birimin kısaltılmış işareti (sembolü) mutlaka büyük harf ile belirtilir. Örneğin; Newton’un adını anmak için tanımlanan kuvvet birimi “newton” ve sembolü “N” ile gösterilir. Buna benzer olarak Kelvin’in adını anmak için tanımlanan sıcaklık birimi “kelvin” ve sembolü “K” ile gösterilir.... Bir özel isme bağlı olmaksızın tanımlanan birimler ve bunların sembolleri ise küçük harfle yazılabilirler. Örneğin uzunluk birimi olan “metre” ve sembolü “m” aynı şekilde kütle birimi olan “kilogram” ve sembolü “kg” gibi... .

Çizelge 1.1. cgs ve mks birim sistemleri

Fiziksel Büyüklük			cgs birim sistemi		mks birim sistemi	
			Birim		Birim	
	Adı	Sembolü	Adı	Sembolü	Adı	Sembolü
Temel	Uzunluk	<i>l</i>	<i>santimetre</i>	cm	<i>metre</i>	m
	Kütle	<i>m</i>	<i>gram</i>	g	<i>kilogram</i>	kg
	Zaman	<i>t</i>	<i>saniye</i>	s	<i>saniye</i>	s
Türetilmiş	Yüzey	<i>A</i>	<i>santimetrekare</i>	cm ²	<i>metrekare</i>	m ²
	Hacim	<i>V</i>	<i>santimetreküp</i>	cm ³	<i>metreküp</i>	m ³
	Hız	<i>v</i>	$\frac{\text{santimetre}}{\text{saniye}}$	cm/s	$\frac{\text{metre}}{\text{saniye}}$	m/s
	Kuvvet	<i>F</i>	<i>dyne</i>	dyn	<i>newton</i>	N
	Enerji	<i>E</i>	<i>erg</i>	erg	<i>joule</i>	J

Çizelge 1.2. SI birim sistemi

Fiziksel Büyüklük			SI birim sistemi	
			Birim	
	Adı	Sembolü	Adı	Sembolü
Temel	Uzunluk	l	metre	m
	Kütle	m	kilogram	kg
	Zaman	t	saniye	s
	Elektrik akımı	i	amper	A
	Termodinamik Sıcaklık	T	kelvin	K
	Madde miktarı	n	mol	mol
	Işık şiddeti	I	candela	cd
Türetilmiş	Yüzey	A	metrekare	m^2
	Hacim	V	metreküp	m^3
	Hız	v	$\frac{\text{metre}}{\text{saniye}}$	m/s
	Kuvvet	F	newton	N
	Enerji	E	joule	J

1.4. Üst katlar ve Ast katlar

Bazı fiziksel büyüklüklerin değeri çok büyük ya da çok küçük olabilir. Böyle değerleri söylemek ve yazmak sorunlar doğurduğu gibi yanlışlık yapmamıza da neden olur. Örneğin bir enerji santralinde üretilen güç 5000000 watt (W) ise bu değeri söylerken ya da bir başka yere yazarken bir sıfırı eksik veya fazla yazabiliriz.

Bu gibi sorunlardan kurtulmak için SI birim sisteminin ast katları ve üst katları kullanılır. Buna göre bir birimin 10 ve 10'un katlarına **üst kat**, 1/10 ve 1/10'un katlarına **ast kat** denir. Bu durumda 5000000 watt (W) yerine 5 megawatt (MW) yazılarak işlemleri kolaylaştırmış oluruz. Ast ve üst katların isimleri, değerleri ve simgeleri çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Üst ve ast katlar

Üst katlar			Ast katlar		
Ön ek	Sembolü	Çarpan	Ön ek	Sembolü	Çarpan
deka	D	10^1	desi	d	10^{-1}
hekto	h	10^2	santi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6	mikro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}	piko	p	10^{-12}
			femto	f	10^{-15}
			atto	a	10^{-18}

1.5. Birimlerin dönüştürülmesi

Farklı birim sistemlerindeki aynı fiziksel büyüklükleri birbirine dönüştürebilmek gerekir. Örneğin İngiltere’de günlük hayatta uzunluk birimi “inç” (in) iken ülkemizde “metre” (m)’dir. Bunun gibi kütle, ağırlık, kuvvet, uzunluk, zaman gibi bazı fiziksel büyüklüklerin farklı birim sistemlerindeki karşılıkları çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Birimlerin dönüştürülmesi

1inch (in) =1/12 foot =2,54 cm

1 foot (ft) =30,48 cm

1 yard (yd) =3 foot (ft)=91,44 cm

1mile (mi) =1760 yard (yd) =1609 m

1 ounce (oz) = 1/16 pound (lb) =28,4 g

1 pound (lb) = 0,454 kg

1 m =100 cm

1 saat = 60 dak. = 3600 s

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

SORULAR

- 1) Saatte 90 km hızla giden bir araba saniyede kaç m yol alır?
- 2) Ses hızı 300 m/s ise ses hızında giden bir araç saatte kaç km yol alır?
- 3) Birim zamanda yapılan iş'e fizikte güç denir($\text{güç} = \text{iş} / \text{zaman}$) ve SI birim sisteminde birimi watt'tır. Buna göre güç hangi temel büyüklüklerin bileşiminden oluşur?
- 4) Aşağıdakilerden hangisi SI birim sistemine göre temel bir büyüklük değildir?
a) hız b) uzunluk c) kütle d) sıcaklık e) zaman
- 5) Aşağıdakilerden hangisi SI birim sistemine göre türetilmiş bir büyüklüktür?
a) hız b) kuvvet c) hacim d) alan e) hepsi
- 6) Aşağıdakilerden hangisi SI birim sistemine ait değildir?
a) gram b) metre c) saniye d) amper e) mol
- 7) Uluslararası birim sistemine(SI) göre, elektrik akım şiddeti sembolü aşağıdakilerden hangisidir?
a) Amp. b) Amper c) a d) A e) coulomb

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

BÖLÜM 2

KOORDİNAT SİSTEMLERİ ve VEKTÖRLER

2.1. Giriş

Birinci bölümde fiziğin temelini gözlem oluşturur, demiştik. Bunun için de doğru ölçüm ve anlaşılır bir birim sistemi kullanmamızın öneminden bahsetmiştik. Ancak bu yeterli değildir. Bir hareketi anlatırken başlangıç ve bitiş noktasını, hareketin yönünü belirtmeliyiz. İşte **koordinat sistemi** hareketleri tarif etmek için kullanacağımız bir haritadır. Eğer elinizde bu harita olmazsa fiziğin içinde kaybolursunuz. **Vektörler** ise harita üzerinde yönünüzü bulmak için kullanacağınız bir gereçtir. Koordinat sistemi ve vektörler fiziğin her konusunda karşımıza çıkacaktır. Bu yüzden iyi öğrenilmelidir.

2.2. Koordinat Sistemleri

Bir hareketi tarif edebilmek için her zaman bir referansa ihtiyaç duyulur. Hareket, seçilen farklı referanslara göre değişik özellikler sergileyebilir. Örneğin, araba içinde oturan bir adama göre yanındaki kişi duruyor gözükürken, dışarıdan bakan başka bir gözlemciye göre o kişi belli bir doğrultuda ve hızda hareket etmektedir. Aynı şekilde arabanın arkasında ve aynı doğrultuda bulunan bir gözlemci arabanın kendinden uzaklaştığını görürken, arabanın önünde ve aynı doğrultuda duran bir başka gözlemci arabanın kendisine yaklaştığını görecektir. Peki, biz hangisine inanacağız? Oysaki her gözlemci aynı referans noktasına göre arabanın hareketini tarif etseydi, hepsi aynı hareketi söyleyecekti. Bu da yanlış anlaşılmaları ortadan kaldıracaktır.

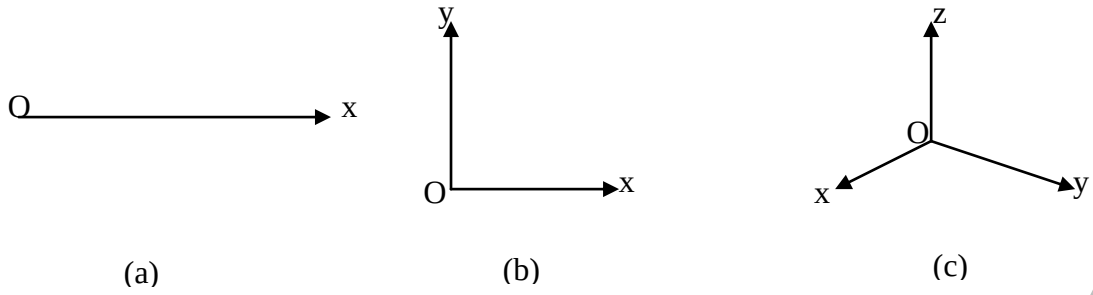
İşte **koordinat sistemleri** farklı gözlemcilerin aynı olayı görebilmeleri ve tarif etmeleri için kullanılan bir sistemdir. Sistemin özelliğine göre farklı koordinat sistemleri bulunur. Bunlar; Kartezyen koordinat, Silindirik koordinat, Küresel koordinat, Polar koordinat sistemleri gibi.

Her koordinat sisteminin kendine özgü kolaylıkları ve zorlukları vardır. Örneğin silindirik bir hareket yapan sistemi Kartezyen koordinat sisteminde tarif etmeye çalışırsanız zorlanırsınız. Oysaki aynı hareketi silindirik koordinat sisteminde daha rahat tarif edebilirsiniz.

Kartezyen koordinat sistemi bizim için yeterli olacağından biz bu kitapta sizlere sadece Kartezyen koordinat sistemini tanıtacağız.

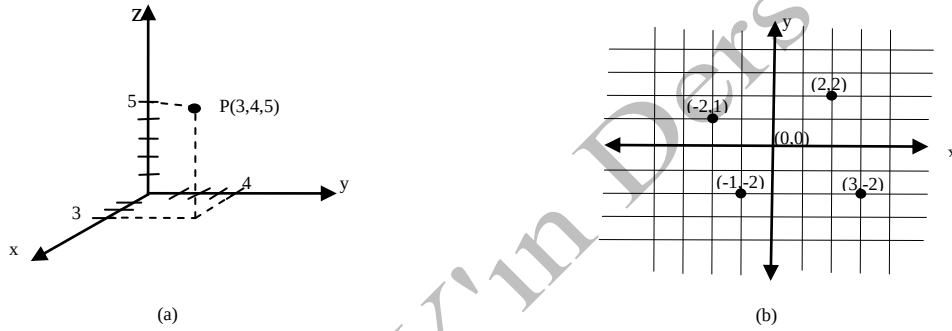
2.3. Kartezyen Koordinat Sistemi

Günlük hayatta en çok kullanılan sistemdir. Birbirine dik üç eksenenden oluşur. Bunlara derinlik, genişlik ve yükseklik diyebiliriz. Fiziksel olarak derinlik y ile, genişlik x ile ve yükseklik z ile gösterilir. Kartezyen koordinat sisteminde bir noktayı tarif ederken (x,y,z) değerlerini vermeliyiz. Biri eksik olursa noktanın yeri hakkında tam olarak bilgi sahibi olamayız. Kartezyen koordinat sistemi tarif edeceğimiz hareketin şekline göre bir, iki ve üç boyutlu olabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kartezyen koordinat sisteminin bir (a), iki (b) ve üç (c) boyutlu şekilleri.

Kaç boyutlu olursa olsun hareket her zaman orijine (referans noktasına) göre tarif edilir. Örneğin koordinatları $x=3$, $y=4$ ve $z=5$ olan bir P noktası $P(3,4,5)$ şeklinde verilir ve Kartezyen koordinat sisteminde şekil 2.2 (a)'daki gibi yerleştirilir. Şekil 2.2 (b)'de de iki boyutlu bir sistemde farklı noktaların yerleşimini görmekteyiz.



Şekil 2.2. Noktaların üç (a) ve iki boyutlu (b) Kartezyen koordinat sistemine yerleştirilmesi

2.4. Vektörler

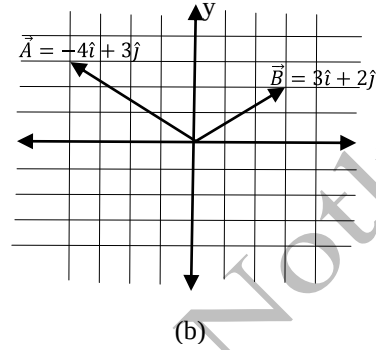
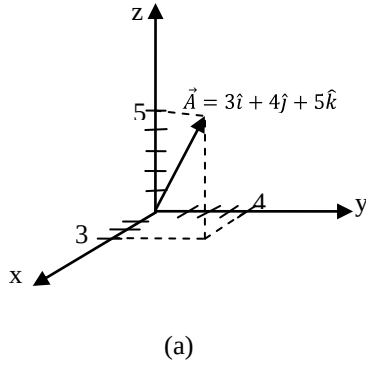
Fiziksel büyüklükler genelde büyüklüğü ve birimi verildiğinde anlam kazanırlar. Ancak bazı fiziksel büyüklüklerin anlam kazanabilmesi için büyüklüğünün ve biriminin yanı sıra doğrultusunu, yönünü, başlangıç ve bitiş noktalarını belirtmek gerekir. Örneğin, bir cisme 5 N'luk kuvvet etki ediyor, deniyorsa bu yetersizdir. Hangi yönden etki ediyor, başlangıç noktası neresidir gibi sorular sormak zorunda kalırız. Oysaki bir cismin kütlesi 5 kg dendiğinde başka bir soruya gerek kalmaz.

İşte sayısal büyüklüğü ve birimi verildiğinde tam olarak anlam kazanan büyüklüklere **skaler büyüklükler** denir. Bunlar kütle, uzunluk, zaman, hacim, iş, güç, sıcaklık gibi fiziksel büyüklüklerdir. Sayısal büyüklüğü ve birimi yanında doğrultusu ve yönü de verildiğinde tam olarak anlam kazanan büyüklüklere **vektörel büyüklükler** denir. Bunlar yer değiştirme, hız, ivme, kuvvet, moment, elektrik alan, manyetik alan gibi büyüklüklerdir.

Bir simgenin vektör olduğunu anlamak için o simge koyu harf ile (**A**) ya da üzerine ok işareti konarak ($\vec{A}$) yazılır. Vektörü tarif edebilmek için koordinat eksenine ihtiyaç duyulur. Koordinat eksenine yerleştirilen vektörün x, y ve z eksenlerine olan iz düşümleri şekil 2.3'teki gibi belirlenir ve vektörel ifadesi

$$\vec{A} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Burada $\hat{i}, \hat{j}$ ve $\hat{k}$ sırası ile $\vec{A}$ vektörünün x,y,ve z eksenindeki yönlerini gösteren birim vektörleridir. a_x, a_y, a_z ise $\vec{A}$ vektörünün x,y,ve z eksenindeki büyüklüklerin iz düşümüdür.

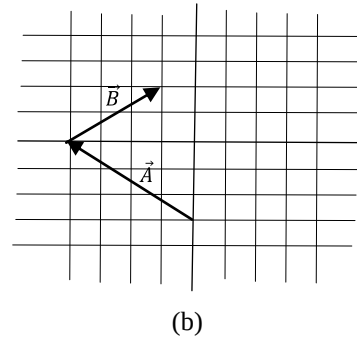
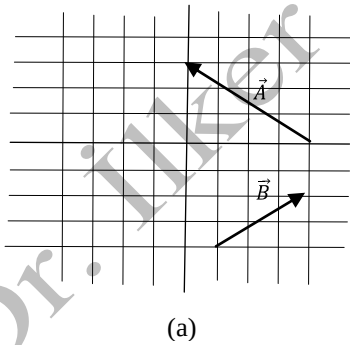


Şekil 2.3. Vektörlerin iz düşümlerinin bulunması ve vektörel ifadenin yazılımı

Birim vektör, büyüklüğü 1 olan ve sadece vektörün yönünü gösteren bir vektördür. Bir vektörel ifadeyi vektörün büyüklüğüne bölerseniz birim vektörü elde edersiniz. Birim vektör harfin üzerinde şapka ile gösterilir.

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (2.2)$$

Vektörlerin en büyük özelliği; büyüklüğü ve doğrultusu değiştirilmeden istenen yere taşınabilmesidir (şekil 2.4.). Vektörlerin bu özelliği vektörler üzerinde işlem yapmada kolaylık sağlar.

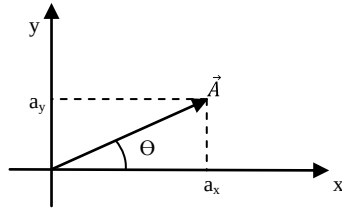


Şekil 2.4. Rastgele verilmiş iki vektörün (a) doğrultusu ve büyüklüğü değiştirilmeden uç uca eklenmesi

Bir vektörün büyüklüğü, mutlak değer içinde gösterilir ve

$$|\vec{A}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilir. x-y düzlemi üzerindeki doğrultusu ise

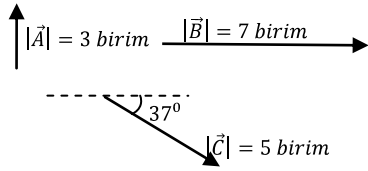


$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_y}{a_x} \quad (2.4)$$

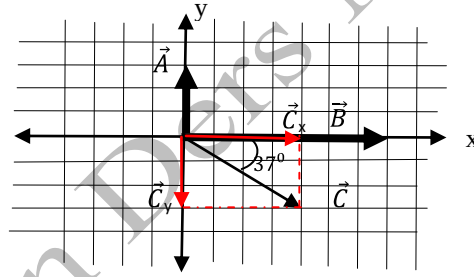
dir.

2.5. Vektörlerin Bileşenlerine Ayrılması

Şekil 2.5. (a)'deki gibi bir $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörü verildiğinde yapılması gereken ilk şey bu vektörleri doğrultusu, büyüklüğü ve yönünü değiştirmeden koordinat sistemine yerleştirmektir (şekil 2.5. (b)).



(a)



(b)

Şekil 2.5. Vektörlerin koordinat eksenine yerleştirilmesi ve bileşenlerine ayrılması

Eğer vektörümüz $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörü gibi x ya da y eksenine paralel ise bu vektörlerin büyüklüklerini ve yönünü tarif etmek kolaydır. $\vec{A}$ vektörü pozitif y eksenine doğrultusunda olduğundan ve $\vec{B}$ vektörü pozitif x eksenine doğrultusunda olduğundan

$$\vec{A} = 3\hat{j} \text{ ve } \vec{B} = 7\hat{i} \quad (2.5)$$

olarak yazılır. Oysaki vektörümüz $\vec{C}$ vektörü gibi ne x ne de y eksenine paralel değilse, $\vec{C}$ vektörünü tarif edebilmek için bileşenlerine ayırmak gerekir. Bileşenlerine ayırmak demek $\vec{C}$ vektörünün x ve y eksenine üzerindeki iz düşümlerinin büyüklüğünü hesaplamak demektir. Bunun için $\vec{C}$ vektörünün bittiği noktadan x ve y eksenine birer dikme indirilir (şekil 2.5.(b)). $\vec{C}$ vektörünün x eksenine yaptığı açı θ ise x eksenindeki iz düşümünün büyüklüğü $|\vec{C}_x|$ ve y eksenindeki iz düşümünün büyüklüğü $|\vec{C}_y|$ ise elde edilen dik üçgen

$$|\vec{C}_x| = c_x = |\vec{C}| \cos \theta \quad \text{ve} \quad |\vec{C}_y| = c_y = |\vec{C}| \sin \theta \quad (2.6)$$

olarak yazılır. Bu durumda $\vec{C}$ vektörü

$$\vec{C} = \vec{C}_x + \vec{C}_y \quad (2.7)$$

ifadesi ile verilir. Buradaki $\vec{C}_x$ ve $\vec{C}_y$ vektörleri $\vec{C}$ vektörünün bileşenleridir. Eşitlik 2.6'da değerler yerine konursa

$$\begin{aligned} |\vec{C}_x| &= c_x = 5 \cdot \cos 37 & \text{ve} & |\vec{C}_y| = c_y = 5 \cdot \sin 37 \\ |\vec{C}_x| &= c_x = 5 \cdot 0,8 & |\vec{C}_y| &= c_y = 5 \cdot 0,6 \\ |\vec{C}_x| &= c_x = 4 \text{ birim} & |\vec{C}_y| &= c_y = 3 \text{ birim} \end{aligned} \quad (2.8)$$

olarak bulunur. Artık bulduğumuz büyüklükleri vektörel olarak yazmak kolaydır. $\vec{C}_x$ vektörü pozitif x eksenı doğrultusunda olduğundan $\vec{C}_x = 4\hat{i}$ ve $\vec{C}_y$ vektörü negatif y eksenı doğrultusunda olduğundan $\vec{C}_y = -3\hat{j}$ değerlerini alırlar. Bu değerler eşitlik 2.7'de yerine yazılırsa

$$\vec{C} = 4\hat{i} - 3\hat{j} \quad (2.9)$$

olarak bulunur.

2.6. Vektörlerin Tersı ve Skaler Bir Sayı ile Çarpımı

Bir vektörün tersini almak ya da eksi (-) ile çarpmak demek vektörü 180 derece çevirmek demektir.

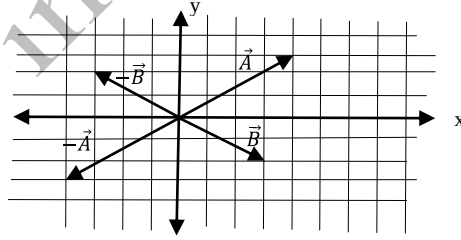
Örnek:

$\vec{A} = 4\hat{i} + 3\hat{j}$ ise $\vec{A}$ vektörünün tersi nedir?

$$-1 \cdot \vec{A} = -\vec{A} = -4\hat{i} - 3\hat{j}$$

$\vec{B} = 3\hat{i} - 2\hat{j}$ ise $\vec{B}$ vektörünün tersi nedir?

$$-1 \cdot \vec{B} = -\vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j}$$

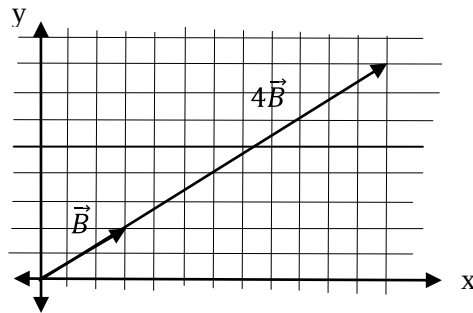


Bir vektörü skaler bir sayı ile çarpmak demek ise sadece vektörün büyüklüğünü bu sayı ile çarpmaktır. Bu çarpım sonucunda vektörün büyüklüğü değişirken yönü ve doğrultusu değişmez.

Örnek:

$\vec{B} = 3\hat{i} + 2\hat{j}$ ise $4\vec{B} = ?$

$$4\vec{B} = 4 \cdot 3\hat{i} + 4 \cdot 2\hat{j} = 12\hat{i} + 8\hat{j}$$



2.7. Vektörlerde Toplama ve Çıkarma

$\vec{A}$ ve $\vec{B}$ gibi vektörel ifadesi verilmiş iki vektörün toplamı isteniyorsa, vektörlerin aynı doğrultudaki bileşenleri kendi aralarında toplanır. Farklı doğrultudaki bileşenler arasında bir işlem yapılmaz. İki vektörün farkı isteniyorsa, çıkarılacak olan vektör (-1) ile çarpılır yani tersi alınır. Daha sonra tersi alınan vektör ile diğer vektör toplanır.

Örnek:

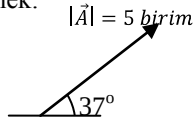
$\vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}$ ve $\vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k}$ olarak verilmişse $\vec{A} + \vec{B}$ ve $\vec{A} - \vec{B}$ nedir?

$$\begin{array}{r} \vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k} \\ + \quad \vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k} \\ \hline \vec{A} + \vec{B} = \hat{i} + 7\hat{j} - 7\hat{k} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k} \text{ ise} \\ -\vec{B} = 3\hat{i} - 2\hat{j} + 4\hat{k} \text{ olur} \\ \vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k} \\ + \quad -\vec{B} = 3\hat{i} - 2\hat{j} + 4\hat{k} \\ \hline \vec{A} - \vec{B} = 7\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k} \end{array}$$

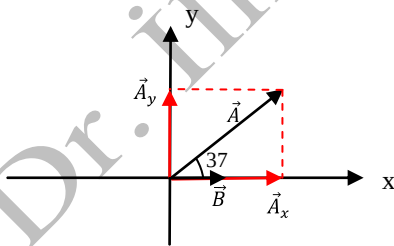
Vektörel ifadesi değil de vektörel şekli verilmiş iki farklı vektörün toplamı ya da farkı isteniyorsa yapılması gereken ilk şey, vektörleri, başlangıç noktası koordinat ekseninin merkezine gelecek şekilde koordinat eksenine koymaktır. Daha sonra gerekliyse vektörlerin bileşenlerini bulmalıyız. Artık vektörlerin bileşenleri belli olduğuna göre verilen vektörlerin vektörel ifadesini yazabiliriz. Vektörel ifadesini bulduğumuz iki vektörün toplamı isteniyorsa, vektörlerin aynı doğrultudaki bileşenleri kendi aralarında toplanır. Farklı doğrultudaki bileşenler arasında bir işlem yapılmaz. İki vektörün farkı isteniyorsa, çıkarılacak olan vektör (-1) ile çarpılır yani tersi alınır. Daha sonra tersi alınan vektör ile diğer vektör toplanır. Elde edilen vektörün büyüklüğü ve doğrultusu eşitlik 2.3 ve 2.4 ten hesaplanır.

Örnek:



$\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri şekildeki gibi verilmişse $|\vec{A} - \vec{B}|$ ve $|\vec{A} + \vec{B}|$ nedir?

İlk olarak vektörler koordinat sistemine yerleştirilir ve gerekliyse bileşenlerine ayrılır.



$\vec{A}$ vektörü ne x ne de y ekseninde olmadığından bileşenlerine ayırılır.

$$|\vec{A}_x| = |\vec{A}| \cdot \cos 37 = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ birim}$$

$$|\vec{A}_y| = |\vec{A}| \cdot \sin 37 = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ birim}$$

Şimdi $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin vektörel ifadelerini yazabiliriz.

$$\vec{A} = 4\hat{i} + 3\hat{j} \text{ ve}$$

$$\vec{B} = 2\hat{i} \text{ olarak yazılır ve}$$

$$\vec{A} + \vec{B} = 6\hat{i} + 3\hat{j}$$

$$\vec{A} - \vec{B} = 2\hat{i} + 3\hat{j} \text{ olarak bulunur.}$$

$\vec{A} + \vec{B}$ vektörünün büyüklüğü

$$|\vec{A} + \vec{B}| = \sqrt{6^2 + 3^2} = \sqrt{45} \text{ birim}$$

doğrultusu ise

$$\theta = \tan^{-1} \frac{3}{6} \text{ dir.}$$

$\vec{A} - \vec{B}$ vektörünün büyüklüğü

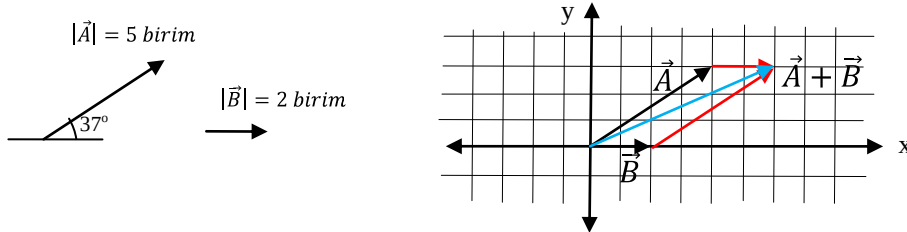
$$|\vec{A} - \vec{B}| = \sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13} \text{ birim}$$

doğrultusu ise

$$\theta = \tan^{-1} \frac{3}{2} \text{ dir.}$$

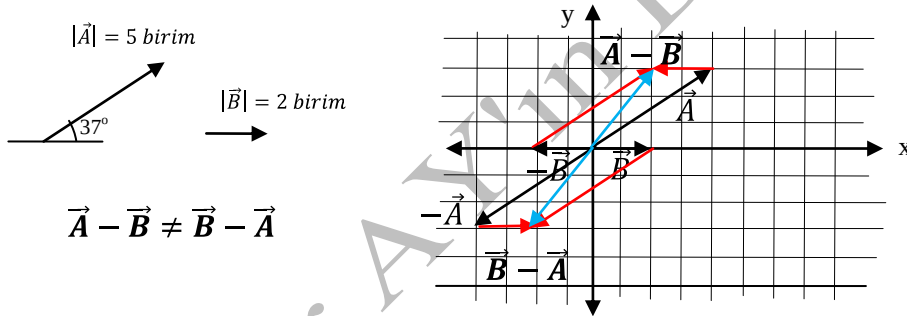
Bir başka yöntem ise paralel kenar yöntemidir. Bu yöntemi kullanabilmek için elimizde cetvel ve iletki olması lazımdır ya da vektörler milimetrik bir kâğıt üzerine çizilmelidir.

Bu yöntemle göre iki vektörün başlangıç noktaları çakıştırılır ve her vektörün bir kopyası, başlangıç noktası diğer vektörün ucuna gelecek şekilde çizilir. Elde edilen dikdörtgen ya da baklava diliminin köşegenler arası uzaklığı iki vektörün toplamıdır şekil 2.6.



Şekil 2.6. İki vektörün paralel kenar yöntemi ile toplanması.

Eğer $\vec{A}$ vektörünü $\vec{B}$ vektöründen çıkarmak gerekiyorsa, çıkarılacak vektör $(-)$ ile çarpılır yani $\vec{B}$ vektörünün tersi alınır. Ters alanan vektör ile diğer vektör yukarıda anlatıldığı gibi toplanır $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin farkı alınmış olur. Şekil 2.7'deki $\vec{A} - \vec{B}$ vektörü ile $\vec{B} - \vec{A}$ vektörünü karşılaştırırsak; bunların büyüklükleri birbirine eşit olmasına rağmen yönleri farklı olduğundan birbirlerine eşit olmadığı görülür.



Şekil 2.7. İki vektörün paralel kenar yöntemi ile çıkarılması

Büyüklükleri ve aralarındaki açı verilmiş iki vektörün toplamının büyüklüğü

$$|\vec{A} + \vec{B}| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}||\vec{B}| \cos \phi} \quad (2.10)$$

ifadesi ile verilirken, büyüklükleri ve aralarındaki açı verilmiş iki vektörün farkının büyüklüğü

$$|\vec{A} - \vec{B}| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 - 2|\vec{A}||\vec{B}| \cos \phi} \quad (2.11)$$

ifadesi ile verilir. Bu hesaplamalardan yeni vektörün büyüklüğü hakkında bilgi sahibi olunurken, vektörün doğrultusu hakkında kesin bir sonuç söylenemez.

Örnek:

3 N ve 5 N 'luk iki kuvvetin arasında 120° lik açı varsa $|\vec{A} + \vec{B}|$ ve $|\vec{A} - \vec{B}|$ nedir? ($\sin 120^\circ = 0,86$; $\cos 120^\circ = -0,5$)

$|\vec{A}| = 3 \text{ N}$ ve $|\vec{B}| = 5 \text{ N}$ ve aralarındaki açı 120° ise

$$|\vec{A} + \vec{B}| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}||\vec{B}|\cos \phi}$$

$$|\vec{A} + \vec{B}| = \sqrt{3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos 120} = \sqrt{9 + 25 - 15} = \sqrt{19} \text{ N dır.}$$

$$|\vec{A} - \vec{B}| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 - 2|\vec{A}||\vec{B}|\cos \phi}$$

$$|\vec{A} - \vec{B}| = \sqrt{3^2 + 5^2 - 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos 120} = \sqrt{9 + 25 + 15} = \sqrt{49} \text{ N dır.}$$

2.8. İki Vektörün Çarpımı

Vektörlerin çarpımı iki şekilde olur. Birincisi skaler çarpım, ikincisi vektörel çarpımdır.

Skaler çarpım;

Skaler çarpım $\vec{A} \cdot \vec{B}$ ifadesi ile gösterilir ve sonuç her zaman skalerdir. Birbirine paralel iki vektörün skaler çarpımı en büyük değeri verirken birbirine dik iki vektörün skaler çarpımı sıfırdır. Birim vektörlerin skaler çarpımı

$$\begin{aligned} \hat{i} \cdot \hat{i} &= \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = 1 \\ \hat{i} \cdot \hat{j} &= \hat{i} \cdot \hat{k} = \hat{j} \cdot \hat{k} = 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

ile verilir. Buna göre bileşenlerine ayrılmış iki vektörün skaler çarpımı yapılırken aynı yöndeki bileşenler kendi aralarında çarpılır ve sonuçlar toplanır.

Örnek:

$\vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}$ ve $\vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k}$ olarak verilmişse $\vec{A} \cdot \vec{B}$ nedir?

$$\begin{aligned} \vec{A} \cdot \vec{B} &= (4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}) \cdot (-3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k}) \\ &= -12\hat{i} \cdot \hat{i} + 8\hat{j} \cdot \hat{j} - 16\hat{k} \cdot \hat{k} - 15\hat{j} \cdot \hat{i} + 10\hat{j} \cdot \hat{j} - 20\hat{j} \cdot \hat{k} + 9\hat{k} \cdot \hat{i} - 6\hat{k} \cdot \hat{j} + 12\hat{k} \cdot \hat{k} \\ &= -12 + 0 - 0 - 0 + 10 - 0 + 0 - 0 + 12 \\ &= 10 \text{ birim} \end{aligned}$$

Aralarında belli bir açı bulunan iki vektörün skaler çarpımının büyüklüğünün, vektörlerin büyüklükleri ile olan ilişkisi ise

$$|\vec{A} \cdot \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}|\cos \phi \quad (2.13)$$

ifadesi ile verilir.

Örnek:

3 N ve 5 N 'luk iki kuvvetin arasında 60° lik açı varsa iki vektörün skaler çarpımı nedir? ($\sin 60^\circ = 0,86$; $\cos 60^\circ = 0,5$)

$|\vec{A}| = 3 \text{ N}$ ve $|\vec{B}| = 5 \text{ N}$ ve aralarındaki açı 60° ise skaler çarpım:

$$|\vec{A} \cdot \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta \text{ den}$$

$$|\vec{A} \cdot \vec{B}| = 3 \cdot 5 \cdot \cos 60^\circ$$

$$|\vec{A} \cdot \vec{B}| = 7,5 \text{ N dur.}$$

Vektörel çarpım;

Vektörel çarpım $\vec{A} \times \vec{B}$ ifadesi ile verilir. Sonuç her zaman vektöreldir. Birbirine dik iki vektörün vektörel çarpımı bu iki vektöre de dik doğrultuda yönelmiş ve büyüklüğü iki vektörün çarpımına eşit olan yeni bir vektörü verir. Birbirine paralel iki vektörün vektörel çarpımı ise sıfırdır. Birim vektörlerin vektörel çarpımı

$$\begin{aligned} \hat{i} \times \hat{i} &= \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} = 0 \\ \hat{j} \times \hat{k} &= \hat{i} & \hat{k} \times \hat{j} &= -\hat{i} \\ \hat{k} \times \hat{i} &= \hat{j} & \hat{i} \times \hat{k} &= -\hat{j} \\ \hat{i} \times \hat{j} &= \hat{k} & \hat{j} \times \hat{i} &= -\hat{k} \end{aligned} \quad (2.14)$$

ile verilir. Buna göre bileşenlerine ayrılmış iki vektörün vektörel çarpımı yaparken birbirine dik yöndeki bileşenler kendi aralarında çarpılır ve çarpım sonucundan yeni vektör bulunur.

İki farklı vektörün vektörel çarpımı arasında

$$\vec{A} \times \vec{B} \neq \vec{B} \times \vec{A} \quad (2.15)$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{B} \times \vec{A}|$$

İlişkisi vardır.

Örnek:

$\vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}$ ve $\vec{B} = -3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k}$ olarak verilmişse $\vec{A} \times \vec{B}$ nedir?

Bu soruyu çözmek için iki yöntem vardır. Birincisi dağıtma, ikincisi matris yöntemidir. Dağıtma yöntemi ile çözersek;

$$\vec{A} \times \vec{B} = (4\hat{i} + 5\hat{j} - 3\hat{k}) \times (-3\hat{i} + 2\hat{j} - 4\hat{k})$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = -12(\hat{i} \times \hat{i}) + 8(\hat{i} \times \hat{j}) - 16(\hat{i} \times \hat{k}) - 15(\hat{j} \times \hat{i}) + 10(\hat{j} \times \hat{j}) - 20(\hat{j} \times \hat{k}) + 9(\hat{k} \times \hat{i}) - 6(\hat{k} \times \hat{j}) + 12(\hat{k} \times \hat{k})$$

Eşitlik 2.12 kullanılarak

$$\vec{A} \times \vec{B} = 0 + 8\hat{k} + 16\hat{j} + 15\hat{k} + 0 - 20\hat{i} + 9\hat{j} + 6\hat{i} + 0$$

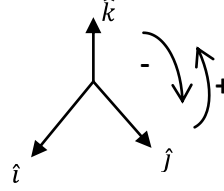
$$\vec{A} \times \vec{B} = -14\hat{i} + 25\hat{j} + 23\hat{k}$$

olarak bulunur. Sonuç görüldüğü gibi vektöreldir.

Matris yöntemi ise;

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 4 & 5 & -3 \\ -3 & 2 & -4 \end{vmatrix} = \hat{i}[5 * (-4) - 2 * (-3)] - \hat{j}[4 * (-4) - (-3) * (-3)] + \hat{k}[4 * 2 - (-3) * 5]$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = -14\hat{i} + 25\hat{j} + 23\hat{k} \text{ olarak bulunur.}$$



Aralarında belli bir açı bulunan iki vektörün vektörel çarpımının büyüklüğünün, vektörlerin büyüklükleri ile olan ilişkisi ise

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}| \sin \phi \quad (2.16)$$

ifadesi ile verilir.

Örnek:

3 N ve 5 N 'luk iki kuvvetin arasında 60° lik açı varsa iki vektörün vektörel çarpımının büyüklüğü nedir? ($\sin 60^\circ = 0,86$; $\cos 60^\circ = 0,5$)

$|\vec{A}| = 3 \text{ N}$ ve $|\vec{B}| = 5 \text{ N}$ ve aralarındaki açı 60° ise vektörel çarpımın büyüklüğü:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}| \sin \phi \text{ den}$$

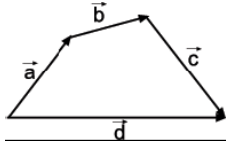
$$|\vec{A} \times \vec{B}| = 3 \cdot 5 \cdot \sin 60$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = 12,9 \text{ N dur.}$$

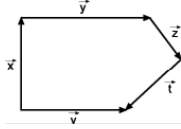
SORULAR

- 1) Aynı yönlü iki kuvvetten biri 3 N, diğeri 4 N 'dur. Bu kuvvetlerin bileşkesi kaç N'dur?
- 2) Bir otomobil önce doğuya doğru 50 km, daha sonra kuzeye doğru 30 km ve son olarak kuzeyden doğuya doğru 37° bir açı yapacak şekilde 25 km yol almıştır. Vektörel diyagramı çizin ve toplam vektörü bulunuz.
- 3) Her birinin boyu 50 birim olan $\vec{A}, \vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörleri x-y düzleminde ve pozitif x eksenine sırası ile $30^\circ, 125^\circ$ ve 315° lik açı yapacak şekilde konumlanmıştır. Vektörel diyagramı çizin. $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ ve $\vec{A} - \vec{B} - \vec{C}$ vektörel işlemlerin büyüklüklerini ve yönlerini bulunuz.

- 4) Şekildeki dört vektörün bileşkesi nedir?

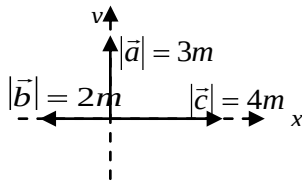


- 5) Şekildeki çizime göre, vektörlerden hangisi diğer dördünün bileşkesi durumundadır?



- 6) Büyüklükleri 6 N ve 10 N olan iki kuvvetin arasında 60° lik açı vardır. İki vektörün bileşkesi kaç N 'dur? ($\sin 60^\circ = 0,86$; $\cos 60^\circ = 0,5$)
- 7) $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k}$ ve $\vec{B} = \hat{i} + \hat{j} + 3\hat{k}$ olmak üzere iki vektör verilmiştir. Buna göre $\vec{A} + \vec{B} = ?$ $\vec{A} - \vec{B} = ?$ $\vec{A} \cdot \vec{B} = ?$ $\vec{A} \times \vec{B} = ?$ vektörel işlemlerini yapınız.
- 8) $\vec{A} = 3\hat{i} - 3\hat{j} + 3\hat{k}$, $\vec{B} = 2\hat{i} + \hat{j} - 3\hat{k}$ ve $\vec{C} = 2\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k}$ olmak üzere üç vektör verilmiştir. Buna göre $\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = ?$ $\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = ?$ $\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = ?$ vektörel işlemlerini yapınız.
- 9) Değerleri 12 N olan iki kuvvetin arasındaki açı 120° 'dir. Buna göre $|\vec{A} + \vec{B}| = ?$ $|\vec{A} - \vec{B}| = ?$ $|\vec{A} \times \vec{B}| = ?$ $|\vec{A} \cdot \vec{B}| = ?$ ($\cos 120^\circ = -0.5$, $\sin 120^\circ = 0.86$)

- 10)



Şekildeki vektörlerle yapılan $\vec{a} + \vec{b} - \vec{c}$ işleminin sonucu $\vec{d}$ vektörü olarak veriliyorsa $\vec{d}$ vektörünün büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

BÖLÜM 3

HAREKETİN KİNEMATİK İNCELENMESİ

3.1. Giriş

Kinematik, hareketin hangi sebepten oluştuğu sorusunun yanıtını vermeden yalnızca yer değiştirme, hız ve ivme gibi fiziksel nicelikleri tanımlayıp, bunlar arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.

Bu bölümde hareketi kinematik bakış açısından incelerken konum, alınan yol, yer değiştirme, hız, sürat, ivme gibi fiziksel kavramların ne anlama geldiğini, skaler mi yoksa vektörel büyüklük mü olduklarını ve aralarındaki ilişkileri öğreneceğiz.

Fiziğin bir dalı olan kinematik her ne kadar karışık görünse de aslında her şey üç formül etrafında dönmektedir. Bunlar:

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \vec{v}_0 + \vec{a}t \\ \vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2 \\ v^2 &= v_0^2 + 2\vec{a}\Delta\vec{r}\end{aligned}\tag{3.1}$$

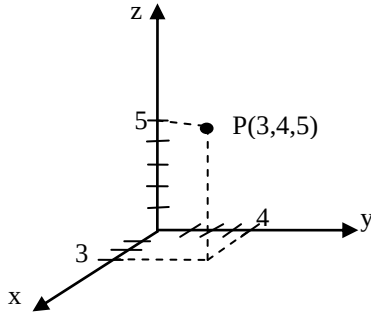
dır. Bu üç formül hareketin şekline göre işaret değiştirebilir; ivme, hareketin durumuna göre yerçekimi ivmesi ile değişebilir, pozitif ve ya negatif değer alabilir. Hareket, sadece yatay konumda ise $\vec{r}$ vektörü yerine yatay konumu gösteren x , sadece düşey konumda ise düşey konumu gösteren y gelebilir.

İşte hareketin ne olduğunu anlayabilirsek sonuca ulaşmak çok kolay olacaktır. Bu yüzden kavramları ve hareketin şeklini iyi anlamak önemlidir.

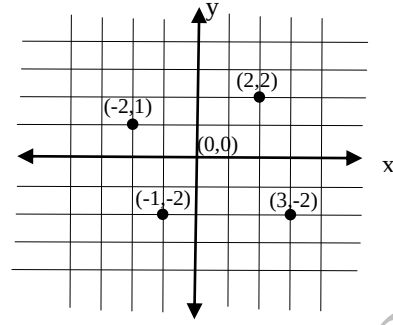
3.2. Kinematiğin Temel Kavramları

Aslında günlük hayatımızda bu tür kavramları doğru ya da yanlış birçok yerde kullanıyoruz. Bir hareketi tarif ederken mutlaka başlangıç noktasını belirtmemiz gerekir. Fiziksel dünyada bu bir ağaç, ev ya da her hangi bir cisim olabilir. Ancak kâğıt üzerinde bir hesaplama yaparken genellikle koordinat eksenini çizilir ve hareket bu koordinat ekseninin orijinine göre tarif edilir.

İşte bir cismin koordinat ekseninin orijinine ya da başlangıç noktasına göre bulunduğu yere **konum** denir. Konum, Kartezyen koordinat sisteminde üç boyutlu ise (x,y,z) , iki boyutlu ise (x,y) uzaklıkları verilerek belirtilir.



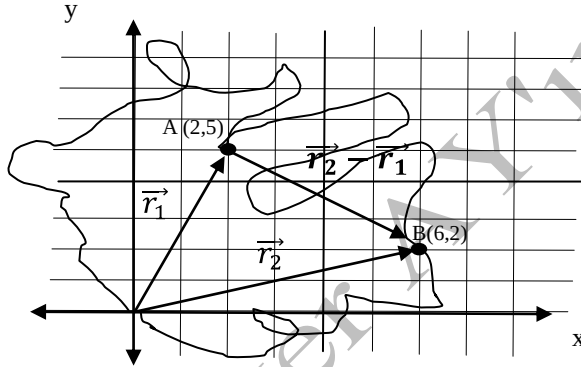
(a)



(b)

Şekil 3.1. Kartezyen koordinat sisteminde konumların belirtilmesi

Cisim bulunduğu konuma giderken farklı yollar izleyebilir. (Şekil 3.2) cismin bulunduğu konuma giderken, farklı zamanlarda bulunduğu konumları birleştiren çizgiye **alınan yol** ya da **cismin yörüngesi** denir. Alınan yol skaler bir değer olup SI birim sisteminde uzunluk birimi olan metre ile ölçülür. Oysaki cismin başlangıç noktası ile bulunduğu konumu birleştiren doğru büyüklüğündeki vektöre **konum vektörü** denir. Konum vektörü vektörel bir büyüklük olup $\vec{r}$ sembolü ile gösterilir ve alınan yoldan bağımsızdır. SI birim sisteminde birimi metre'dir. (Şekil 3.2)



Burada;
A ve B konumlar,
 $\vec{r}_1$ ve $\vec{r}_2$ konum vektörleri,
 $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ yer değiştirme vektörüdür.

Şekil 3.2. Yörünge, konum vektörü ve yer değiştirme vektörünün gösterimi

Bir cismin bir konumdan bir başka konuma gidişini gösteren vektöre ise **yer değiştirme vektörü** denir.

3.2. Hız

Bir cismin, yer değiştirme hareketinin yavaşlığını ya da çabukluğunu anlatmak için kullanılan bir kavramdır. Hız, vektörel bir büyüklük olup yer değiştirme vektörünün birim zamandaki değişimidir ve

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (3.2)$$

ifadesi ile verilir. SI birim sisteminde birimi m/s dir.

Hızı sürat ile karıştırmamak gerekir. Sürat, skaler bir değer olup birim zamanda alınan yol ile tarif edilir, SI birim sisteminde birimi m/s dir. Oysaki hız vektörü, cismin süratini ve yönünü veren bir vektördür. Örneğin bir araba 20 m/s hızla güneye gidiyor, dendiğinde bu ifade arabanın hem süratini hem de yönünü bize söyler. Kısaca hız vektörünün büyüklüğü sürat'e eşittir.

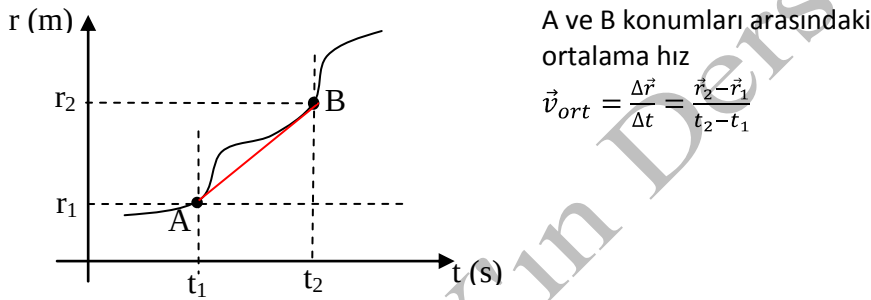
$$|\vec{v}| = \text{sürat} \quad (3.3)$$

İki çeşit hız vardır; ortalama hız ve ani hız:

Ortalama hız bir cisim Δt zaman aralığında A noktasından B noktasına giderken değişik hızlarla $\Delta \vec{r}$ kadar yer değiştiriyorsa ortalama hızı

$$\vec{v}_{ort} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} \quad (3.4)$$

olur.

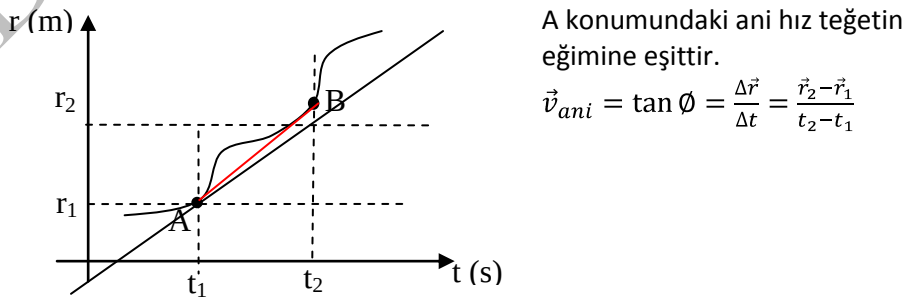


Şekil 3.3. Konum zaman grafiğinden ortalama hızın bulunması

Ani hız ise cismin yörüngesi üzerindeki herhangi bir konumdaki hızıdır. Örneğin Ankara'dan İstanbul'a giden bir arabanın Bolu tüneline geçerkenki hızı arabanın ani hızıdır. Aynı zamanda cismin t anındaki ani hızın büyüklüğü cismin t anındaki süratini verir. Matematiksel olarak söylersek ani hız yer değiştirme vektörünün zamana göre türevidir.

$$\vec{v}_{ani}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3.5)$$

Konum zaman grafiğinde A noktasındaki cismin ani hızı bu noktadan geçen teğetin eğimidir (şekil 3.4).



Şekil 3.4. Konum zaman grafiğinden ani hızın bulunması

3.3. İvme

İvme bir cismin hızındaki sürekli artışı ya da azalışı tarif eden bir kavramdır. Birim zamandaki hız değişimine **ivme** denir ve

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (3.6)$$

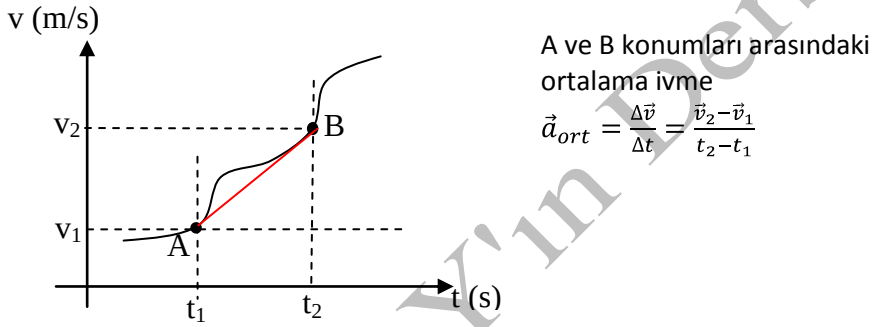
ifadesi ile verilir. İvme vektörel bir büyüklük olup, SI birim sisteminde birimi m/s^2 dir.

Bir araba çok hızlı gidiyor olsa da zaman içinde hızı değişmiyor sabit kalıyorsa ivmesi sıfırdır. Belli bir ivmeye sahip olan araba hızlanır ya da yavaşlar. Aynı hız kavramında olduğu gibi ivmeyi de iki farklı şekilde tarif ederiz; ortalama ivme ve ani ivme.

Bir arabanın t_1 anındaki hızı $\vec{v}_1$, t_2 anındaki hızı $\vec{v}_2$ ise bu zaman aralığındaki **ortalama ivmesi**

$$\vec{a}_{ort} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad (3.7)$$

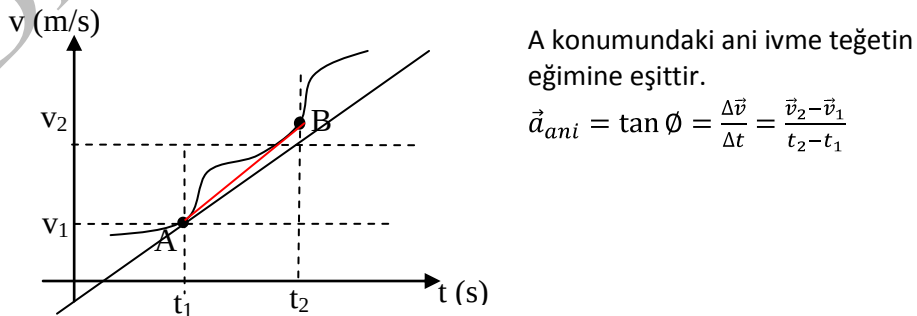
dir.



Şekil 3.5. Hız zaman grafiğinden ortalama ivmenin bulunması

Ani ivme ise cismin yörüngesi üzerindeki herhangi bir konumdaki ya da zamandaki ivmesidir. Örneğin Gölbaşı'ndan Ankara'ya giden bir arabanın Dikmen'den geçerkenki ya da 20. dakikadaki ivmesi arabanın ani ivmesidir. Matematiksel olarak söylersek ani ivme, hız vektörünün zamana göre türevidir.

$$\vec{a}_{ani}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3.8)$$



Şekil 3.5. Hız zaman grafiğinden ani ivmenin bulunması

Örnek:

Bir cisim zamanla değişen yer değiştirme vektörü $\vec{r}(t) = 3t^3 + 2t + 5$ (r:m, t:s) fonksiyonu ile verilmektedir.

Buna göre;

- a) t=2 s ve t=4 s arasındaki ortalama hızını,
- b) t=2 s, t=3 s ve t=4 s'deki ani hızı,
- c) t=2 s ve t=4 s arasındaki ortalama ivmesini
- d) t=3 s deki ani ivmesini bulunuz.

- a) Ortalama hızı bulmak için 2 ve 4. s'deki yer değiştirme vektörlerini bilmeliyiz. Bunun içinde $\vec{r}(t)$ bağıntısında t gördüğümüz yerlere zamanı koyacağız.

t=2 s deki yer değiştirme vektörünün büyüklüğü

$$\vec{r}(t) = 3t^3 + 2t + 5$$

$$\vec{r}(2) = 3 \cdot 2^3 + 2 \cdot 2 + 5$$

$$\vec{r}(2) = 33 \text{ m}$$

t=4 s deki yer değiştirme vektörünün büyüklüğü

$$\vec{r}(4) = 3 \cdot 4^3 + 2 \cdot 4 + 5$$

$$\vec{r}(4) = 205 \text{ m}$$

$$\vec{v}_{ort} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{205 - 33}{4 - 2} = 86 \text{ m/s}$$

- b) Yer değiştirme vektörünün türevi bize ani hızın zamanla değişimini verecektir. Ani hızın zamanla değişimini bulduktan sonra zamanı yerine koyarsak o zamandaki ani hızın büyüklüğünü buluruz.

$$\vec{v}_{ani}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(3t^3 + 2t + 5) = 9t^2 + 2 \text{ olarak bulunur.}$$

t=2 s deki ani hız vektörünün büyüklüğü

$$\vec{v}_{ani}(t) = 9t^2 + 2$$

$$\vec{v}_{ani}(2) = 9 \cdot 2^2 + 2 = 38 \text{ m/s}$$

t=3 s deki ani hız vektörünün büyüklüğü

$$\vec{v}_{ani}(3) = 9 \cdot 3^2 + 2 = 83 \text{ m/s}$$

t=4 s deki ani hız vektörünün büyüklüğü

$$\vec{v}_{ani}(4) = 9 \cdot 4^2 + 2 = 146 \text{ m/s olarak bulunur.}$$

- c) Ortalama ivme ise

$$\vec{a}_{ort} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{146 - 38}{4 - 2} = 54 \text{ m/s}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

- d) Hız vektörünün türevi bize ani ivmenin zamanla değişimini verecektir. Ani ivmenin zamanla değişimini bulduktan sonra zamanı yerine koyarsak o zamandaki ani ivmenin büyüklüğünü buluruz.

e)

$$\vec{a}_{ani}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(9t^2 + 2) = 18t$$

t=3 s deki ani ivme vektörünün büyüklüğü

$$\vec{a}_{ani}(t) = 18t$$

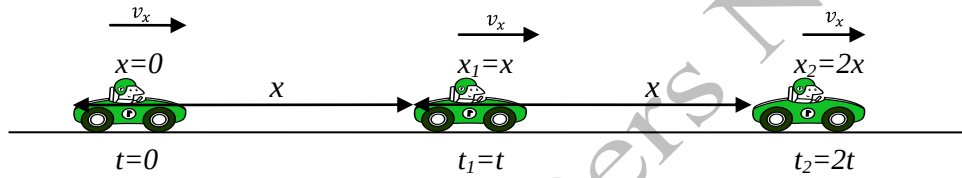
$$\vec{a}_{ani}(3) = 18 \cdot 3 = 54 \text{ m/s}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

3.4. Düzgün Doğrusal Hareket

Hareketli bir cisim bir doğru üzerinde eşit zaman aralıklarında eşit miktarda yer değiştirmeler yapıyorsa bu cismin hareketine **düzgün doğrusal hareket** denir. Hareket doğrusal olduğundan tek boyutludur. Hareketin tek boyutlu olması demek; hareketin sadece x , y veya z ekseninde olduğu anlamına gelir ve bu eksenlerde hareket ya ileri doğrudur (pozitif eksen yönünde) ya da geriye doğrudur (negatif eksen yönünde). Bu yüzden de vektörel ifadeleri kullanmak gereksizdir.

Biz doğrusal hareketi anlatırken hareketimizin x eksenini üzerinde olduğunu varsayacağız. Dolayısıyla $\vec{r}$ konum vektörü yerine x , $\vec{v}$ hız vektörü yerine v_x ve $\vec{a}$ ivme vektörü yerine a dememiz konuyu anlatırken ve sorulan sorularda hareketin nasıl bir hareket olduğunu anlamada bize kolaylık sağlayacaktır.

Düzgün doğrusal harekette cismin hızı sabittir ve sürtünme yoktur. Hız sabit olduğundan dolayı da ivmesi sıfırdır.



$t_1 - t = t_2 - t_1$ ve $x_1 = x_2 - x_1$ ise cisim düzgün doğrusal hareket yapıyordur ve hızı sabittir.

Şekil 3.6. Düzgün doğrusal hareket yapan bir arabanın hareketi

Bir cisim Şekil 3.6'da görüldüğü gibi $t=0$ s anında $x=0$ m den yola başlıyor ve $t_1 = t$ s sonra $x_1 = x$ kadar yer değiştiriyorsa ve $t_2 - t_1$ zaman aralığında da yer değiştirmesi $x_2 - x_1 = x$ ise bu arabanın hızı

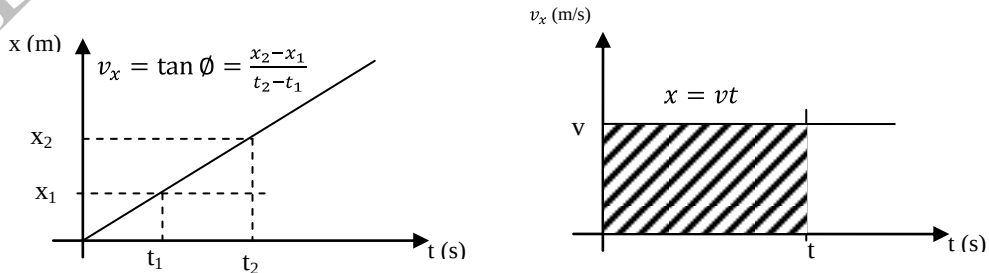
$$v_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x}{t} \quad (3.9)$$

dir. Bu eşitlik düzenlendiğinde cismin t süresinde aldığı yol

$$x = v_x t \quad (3.10)$$

olarak bulunur.

Şekil 3.7'de düzgün doğrusal bir hareket yapan cismin $x-t$ ve v_x-t grafikleri görünüyor. Buna göre $x-t$ grafiğinin eğimi, hızı verirken $v-t$ grafiğinin altında kalan taralı alan t süresince, alınan yolu verir.



Şekil 3.7. Düzgün doğrusal hareket yapan cismin $x-t$ ve $v-t$ grafikleri

Örnek:

Doğrusal bir yolda 90km/saat sabit hızla giden bir araba yarım saatte kaç metre yol alır?

Önce verileri yazalım:

$$v_x = 90 \text{ km/saat}$$

$$t = 30 \text{ dakika}$$

Bizden, alınan yol metre olarak istendiğine göre hızı m/s ye ve zamanı saniyeye çevirmeliyiz.

$$v_x = 90 \frac{\text{km}}{\text{saat}} = 90 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \text{ m/s dir.}$$

$$t = 30 \text{ dak.} = 30 \cdot 60 \text{ s} = 1800 \text{ s yapar.}$$

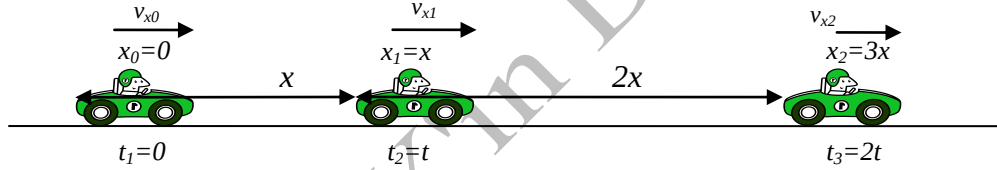
Hız sabit olduğuna göre araba düzgün doğrusal hareket yapıyordur ve

$x = v_x t$ olarak verilir. Değerleri yerine yazalım:

$$x = 25 \cdot 1800 = 45000 \text{ m} = 45 \text{ km yol alır.}$$

3.5. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket (Sabit İvmeli Hareket)

Hareketli bir cisim bir doğru üzerinde ilerlerken hızı, eşit zaman aralıklarında eşit miktarlarda artıyor ya da azalıyorsa bu cisim **düzgün değişen doğrusal hareket** yapıyor, denir. Bu harekette cismin ivmesi sabittir. Hareket doğrusal olduğundan tek boyutlu bir harekettir.



$t_2 - t_1 = t_3 - t_2$ ve $x_2 - x_1 \neq x_1 - x_0$ ise cisim düzgün değişen doğrusal hareket yapıyordur ve hızı lineer olarak artar.

Şekil 3.8. Düzgün değişen doğrusal hareket yapan bir arabanın hareketi

Bir cisim şekilde görüldüğü gibi $t_1=0$ s anında x_0 dan yola başlarken ilk hızı v_{x0} ve $t_2= t$ s sonra $x_1=x$ konumuna vardığında son hızı $v_{x1}=v_x$ ise sürtünmesiz bir ortam için bu cismin ivmesi

$$a = \frac{v_{x1} - v_{x0}}{t_2 - t_1} \quad (3.11)$$

dir. Bu eşitlik düzenlendiğinde cismin t süresinde kazandığı hız

$$v_x = v_{x0} + at \quad (3.12)$$

olarak bulunur. Cismin $t_2 - t_1 = t - 0 = t$ zaman sonra aldığı yol $(x_1 - x_0)$ ise ortalama hız ile zamanın çarpımıdır. Buna göre alınan yol

$$x_1 - x_0 = \frac{v_x + v_{x0}}{2} t \quad (3.13)$$

olarak bulunur. Bu eşitlik, eşitlik 3.12 kullanılarak düzenlenirse t süre sonra alınan yol

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}at^2 \quad (3.14)$$

olarak bulunur. Son olarak eşitlik 3.12 ile eşitlik 3.14'den zaman yok edilirse

$$v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a\Delta x \quad (3.15)$$

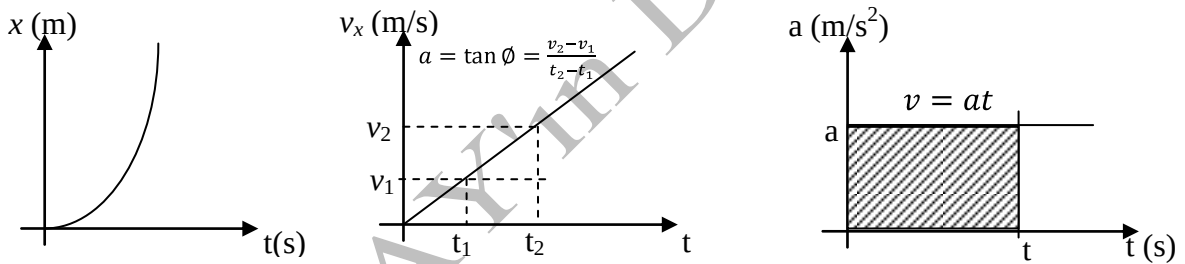
zamansız hız ifadesini elde ederiz. Buna göre hızlanan bir cismin hareketi eşitlik 3.12, 3.14 ve 3.15'te verilen bu üç formül ile açıklanabilir.

Eğer hareket düzgün yavaşlayan bir hareket ise ivme negatif'tir. Bu durumda hareketi açıklayan formüllerdeki ivme "negatif" olacak demektir. Düzgün yavaşlayan hareket için ise formüller,

$$\begin{aligned} v_x &= v_{x0} - at \\ x &= x_0 + v_{x0}t - \frac{1}{2}at^2 \\ v_x^2 &= v_{x0}^2 - 2a\Delta x \end{aligned} \quad (3.16)$$

olarak verilir.

Şekil 3.9'da düzgün değişen doğrusal bir hareket yapan cismin $x-t$, v_x-t ve $a-t$ grafikleri görülüyor. Buna göre $x-t$ grafiği bir parabolü verir ve eşit zaman aralıklarında cismin daha uzun yol aldığını gösterir. $v-t$ grafiği doğrusal olup eğim, ivmeyi verir. Son olarak $a-t$ grafiğine bakıldığında; grafiğin altında kalan alan, cismin t anındaki hızını verir.



Şekil 3.9. Düzgün değişen doğrusal hareket yapan cismin $x-t$, v_x-t ve $a-t$ grafikleri

Örnek:

Bir Jumbo jet'in havalanabilmesi için 360 km/saat'lik hıza erişmesi gerekmektedir. İvmenin sabit ve başlangıçtaki hızının sıfır olduğu varsayılarak, jetin 1,8 km'lik bir pistten havalanabilmesi için ivmesi ne olmalıdır?

Önce verileri yazalım:

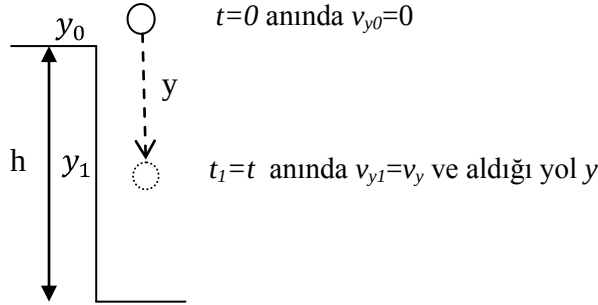
$$\begin{aligned} v_{x0} &= 0 \\ v_x &= 360 \text{ km/saat} = 360 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 100 \text{ m/s} \\ x - x_0 &= 1,8 \text{ km} = 1800 \text{ m} \\ a &= ? \end{aligned}$$

İvme sabit olduğuna göre jet sabit ivmeli hareket yapmaktadır. Hız da 0'dan 360 km/saat'e çıktığına göre ivme pozitiftir. Verilenler listesinde zaman olmadığından kullanmamız gereken ilk formül zamansız hız formülüdür.

$$\begin{aligned} v_x^2 &= v_{x0}^2 + 2a\Delta x \text{ değerleri burada yerine yazarsak} \\ 100^2 &= 0^2 + 2a1800 \\ a &= 2,78 \text{ m/s}^2 \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

3.6. Serbest Düşme Hareketi

Bir cisim şekil 3.10'daki gibi belli bir yükseklikten ilk hızı sıfır olacak şekilde serbest bırakılırsa, cisim hızlanarak yere doğru düşer. Cismin bu hareketine **serbest düşme** denir. Bu durumda havanın sürtünmesi ihmal edildiğinde cisme sadece yerçekimi ivmesi etki eder ve bu ivme cismin yere düşmesine ve düzgün hızlanmasına neden olur. Yerçekimi ivmesinin sembolü g olup büyüklüğü $g=9,8 \text{ m/s}^2$ dir ve yönü daima yere doğrudur. Biz hesaplarımızda kolaylık olması açısından yerçekimi ivmesini $g=10 \text{ m/s}^2$ olarak alacağız.



Şekil 3.10. Serbest düşme yapan bir cismin hareketi

Bu hareket sabit ivmeli hareket olduğundan, düzgün değişen doğrusal hareket için bulduğumuz formülleri serbest düşme hareketine uyarlayabiliriz.

Serbest düşmede, düzgün değişen doğrusal harekette eşitlik 3.12, 3.14 ve 3.15'te a ile gösterdiğimiz ivme yerine yerçekimi ivmesi g 'yi ve x ile gösterilen yatay konum yerine y ile göstereceğimiz düşey konumu yazar ve ilk hızın sıfır olduğunu anımsarsak,

Cismin t zaman sonraki hızı

$$v_y = gt \quad (3.17)$$

t zamanda düştüğü mesafe

$$y_1 - y_0 = y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.18)$$

ve zamansız hız yükseklik ilişkisi

$$v_y^2 = 2g\Delta y \quad (3.19)$$

eşitlikleri ile verilir.

Örnek:

Bir tenis topu 1 m yükseklikten serbest bırakıldığında ne kadar sürede yere düşer? Bu süredeki hızı nedir?

$$y_1 - y_0 = y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{değerler yerine yazıldığında}$$

$$1 = \frac{1}{2}10t^2$$

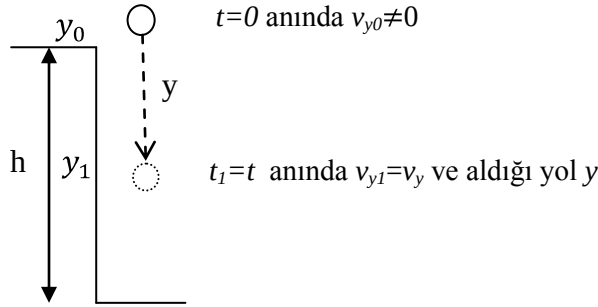
$$t = 0,45 \text{ s}$$

Bu süredeki hızı:

$$v_y = gt = 10 \cdot 0,45 = 4,5 \text{ m/s} \text{ dir.}$$

3.7. Yukarıdan Aşağıya Düşey Atış Hareketi

Eğer bir cisim şekil 3.11'deki gibi yukarıdan aşağıya sabit v_{y0} ilk hızı ile düşey olarak atılırsa cismin hareketine *yukarıdan aşağıya düşey hareket* denir. Bu durumda cisme yer çekimi ivmesi etki ettiğinden cisim hızlanacaktır. Aynı serbest düşmede olduğu gibi havanın sürtünmesini ihmal ederek, eşitlik 3.12, 3.14 ve 3.15'te değişen doğrusal hareket için bulduğumuz formülleri yukarıdan aşağıya düşey atış hareketine uyarlırsak



Şekil 3.11. Yukarıdan aşağıya düşey hareket yapan bir cismin hareketi

Cismin t zaman sonraki hızı

$$v_y = v_{y0} + gt \quad (3.20)$$

t zamanda düştüğü mesafe

$$y = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.21)$$

ve zamansız hız yükseklik ilişkisi

$$v_y^2 = v_{y0}^2 + 2g\Delta y \quad (3.22)$$

eşitlikleri ile verilir.

Örnek:

Bir çocuk bir taşı 20 m'lik bir uçurumun tepesinden 5 m/s sabit hızla aşağıya atıyor. Taş ne kadar sürede yere düşer? Taşın yere çarptığı andaki hızı nedir?

Veriler:

$$y - y_0 = 20 \text{ m}$$

$$v_{y0} = 5 \text{ m/s}$$

$$t_{uçuş} = ?$$

$$v_y = ?$$

İlk olarak zamansız hız formülünden taşın yere düştüğü andaki hızını bulalım:

$$v_y^2 = v_{y0}^2 + 2g\Delta y \text{ değerler yerine konursa}$$

$$v_y^2 = 5^2 + 2 \cdot 10 \cdot 20$$

$$v_y^2 = 425$$

$$v_y = 20,6 \text{ m/s}$$

Taş bu hıza ne kadar sürede ulaşır?

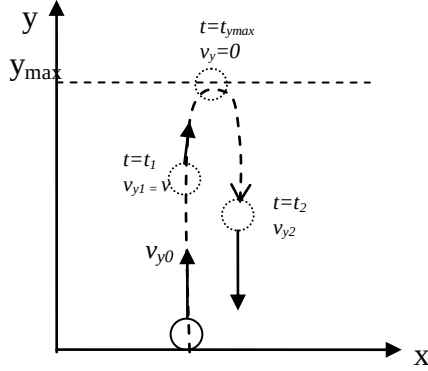
$$v_y = v_{y0} + gt \text{ değerler yerine yazılırsa}$$

$$20,6 = 5 + 10t_{uçuş}$$

$$t_{uçuş} = \frac{15,6}{10} = 1,56 \text{ s olarak bulunur. Aynı sonuca eşitlik 3.21'den de ulaşabiliriz.}$$

3.8. Aşağıdan Yukarıya Düşey Atış Hareketi

Eğer bir cisim şekil 3.12'deki gibi aşağıdan yukarıya sabit v_{y0} ilk hızı ile düşey olarak atılırsa cismin hareketine *aşağıdan yukarıya düşey hareket* denir. Bu durumda havanın sürtünmesi ihmal edilirse cisme, hareketine zıt yönde sadece yer çekimi ivmesi etki eder. Bu da cismin hızının azalmasına yani yavaşlamasına neden olur. Cisim max. yüksekliğe ulaştığında son hızı sıfır olur ve serbest düşme hareketi yaparak aşağı düşmeye başlar. Cismin fırlatıldığı yere tekrar geldiği andaki hızı, sürtünme olmadığından cismin ilk hızına (fırlatılış hızına) eşittir.



Şekil 3.12. Aşağıdan yukarıya düşey hareket yapan bir cismin hareketi

Aynı yukarıdan aşağıya düşey atış hareketinde olduğu gibi eşitlik 3.16'te düzgün yavaşlayan bir hareket için bulduğumuz formülleri, aşağıdan yukarıya düşey atış hareketine uyarlırsak

Cismin t zaman sonraki hızı

$$v_y = v_{y0} - gt \quad (3.23)$$

t zamanda çıktığı mesafe

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.24)$$

ve zamansız hız yükseklik ilişkisi

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g\Delta y \quad (3.25)$$

eşitlikleri ile verilir. Bu harekette yer çekimi ivmesi yavaşlatıcı rol oynadığından formüllerde yer çekimi ivmesi negatif alınmıştır.

Bu eşitliklere göre cismin max. yüksekliğe çıkış süresi hesaplanırken max. yükseklikteki hızın sıfır olduğu bilgisinden yararlanılır. Bu bilgi hareketin bir özelliği olduğundan sorularda verilmez. Buna göre eşitlik 3.23'de son hız yerine sıfır konursa max. yüksekliğe çıkış süresi (t_{ymax})

$$t_{ymax} = \frac{v_0}{g} \quad (3.26)$$

dir. Havada kalma süresi ise max. yüksekliğe çıkış süresinin iki katıdır.

$$t_{uçuş} = 2t_{ymax} = 2\frac{v_0}{g} \quad (3.27)$$

Cismin çıkacağı max. yükseklik ise zamansız hız formülünden kolayca bulunur. max. yükseklikte $v_y=0$ ise eşitlik 3.25'ten

$$y_{max} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (3.28)$$

olarak bulunur.

Örnek:

Bir top yerden dikey olarak yukarı doğru 30 m/s hızla fırlatılıyor. Topun çıkabileceği max. yükseklik nedir? Topun havada kalma süresi nedir?

Veriler:

$$v_{y0}=30 \text{ m/s}$$

$$y_{max}=?$$

$$t_{uçuş}=?$$

Top max. yüksekliğe eriştiğinde son hızı sıfır olur. Zamansız hız formülünde verilenleri yerine koyarsak

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g\Delta y \text{ de } v_y = 0 \text{ ise } \Delta y = y_{max} \text{ olur.}$$

$$0^2 = 30^2 - 2 \cdot 10 y_{max}$$

$$y_{max} = \frac{900}{20} = 45 \text{ m olarak bulunur.}$$

Max. yüksekliğe çıkış süresi

$$v_y = v_{y0} - gt \text{ de } v_y = 0 \text{ ise } t = t_{y_{max}} \text{ olur.}$$

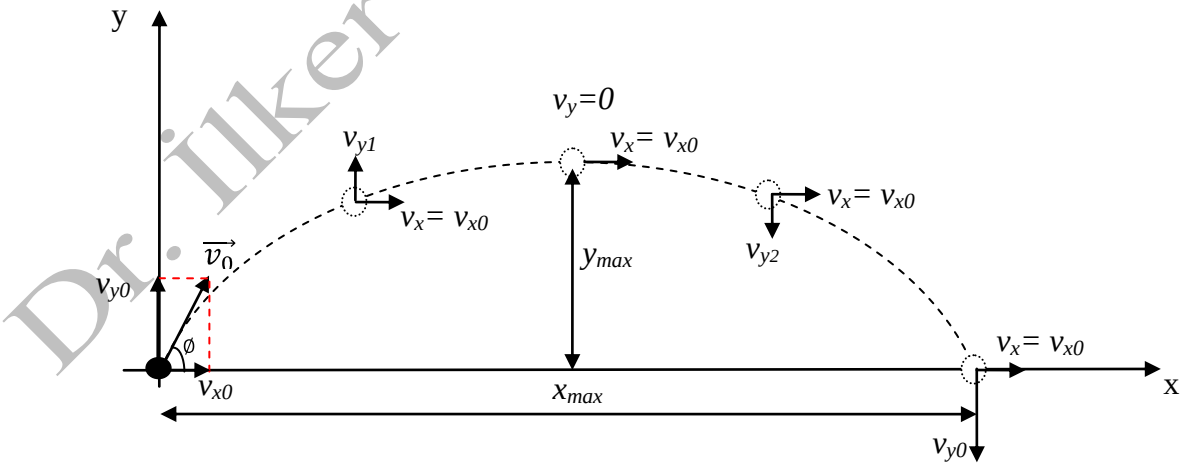
$$0 = 30 - 10 t_{y_{max}}$$

$$t_{y_{max}} = \frac{30}{10} = 3 \text{ s olarak bulunur. Havada kalma süresi ise max. yüksekliğe çıkış süresinin iki katıdır.}$$

$$t_{uçuş} = 2 t_{y_{max}} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ s olarak bulur.}$$

3.9. Eğik Atış Hareketi

Bir cisim şekil 3.13'teki gibi yatayla belli bir açı yapacak şekilde sabit hızla fırlatılmışsa cismin yaptığı harekete **eğik atış hareketi** denir.



Şekil 3.13. Eğik atış hareketi yapan bir cismin hareketi

Şimdiye kadar incelediğimiz hareketler tek boyutlu idi, oysaki eğik atış hareketi iki boyutludur. Hareket hem yatay ekseninde hem de düşey ekseninde incelenmelidir. Cisim sabit

hızla fırlatıldığından ivmesi sıfırdır. Buna göre yatay eksenindeki hareket düzgün doğrusal hareketle açıklanırken, düşey doğrultudaki hareket aşağıdan yukarıya düşey atış ile açıklanır.

Cismin yatay ve düşey doğrultudaki ilk hızları, ilk hız vektörünün ($\vec{v}_0$) bileşenlerine ayrılması ile bulunur. Buna göre yatay doğrultudaki ilk hız

$$v_{x0} = v_0 \cos \emptyset \quad (3.29)$$

dır. Cisim sabit hızla fırlatıldığından yatay doğrultuda cisme etkiyen herhangi bir ivme yoktur ve bu doğrultudaki hız sabittir.

$$v_{x0} = v_x \quad (3.30)$$

Yatay doğrultuda (x ekseninde) t süresinde alınan yol ise

$$x = v_{x0}t \quad (3.31)$$

olarak verilir.

Düşey doğrultudaki ilk hız ise

$$v_{y0} = v_0 \sin \emptyset \quad (3.32)$$

olarak verilir. Düşey doğrultuda yerçekimi ivmesi etkili olduğundan, cismin t zaman sonraki hızı

$$v_y = v_{y0} - gt \quad (3.33)$$

t zamanda çıktığı mesafe

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.34)$$

ve zamansız hız yükseklik ilişkisi

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g\Delta y \quad (3.35)$$

eşitlikleri ile verilir. Aşağıdan yukarı atışta olduğu gibi eğik atışta da cisim max. yüksekliği eriştiğinde v_y hızı sıfır olacaktır. Bu bilgi cismin çıkabileceği max. yüksekliği (y_{max}), max. yüksekliğe çıkış süresini (t_{ymax}), havada kalma süresini ($t_{uçuş}$) ve cismin yatay doğrultuda gidebileceği max. uzaklığı (x_{max}) bulmada kullanılır.

Buna göre eşitlik 3.33'de son hız yerine sıfır konursa max. yüksekliğe çıkış süresi (t_{ymax})

$$t_{ymax} = \frac{v_{y0}}{g} = \frac{v_0 \sin \emptyset}{g} \quad (3.36)$$

dir. Havada kalma süresi ise max. yüksekliğe çıkış süresinin iki katıdır.

$$t_{uçuş} = 2t_{ymax} = 2 \frac{v_{y0}}{g} = 2 \frac{v_0 \sin \emptyset}{g} \quad (3.37)$$

Cismin çıkacağı max. yükseklik ise zamansız hız formülünden kolayca bulunur. max. yükseklikte $v_y=0$ ise eşitlik 3.35'ten

$$y_{max} = \frac{v_{y0}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \phi}{2g} \quad (3.38)$$

olarak bulunur. Cismin havada kalma süresince yatay doğrultuda gidebileceği max. uzaklık ise

$$x_{max} = v_{x0} t_{uçuş} = 2 \frac{v_0^2 \cos \phi \sin \phi}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\phi}{g} \quad (3.39)$$

olarak bulunur.

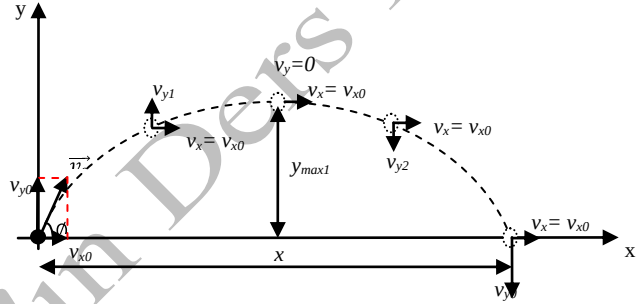
Örnek:

Bir taş yatayla 37° lik açı yapacak şekilde $\vec{v}_0=10$ m/s'lik ilk hızla fırlatılıyor. Buna göre;

- Taşın havada kalma süresini,
- Taşın çıkabileceği maksimum yüksekliği,
- Taşın menzilini bulunuz.

Hareket eğik atış hareketi olduğuna göre ilk olarak y eksenindeki ve x eksenindeki ilk hızları bulmalıyız.

$$\begin{aligned} v_{x0} &= v_0 \cos \phi \\ v_{x0} &= 10 \cos 37 = 10 \cdot 0,8 \\ v_{x0} &= 8 \text{ m/s} \\ v_{y0} &= v_0 \sin \phi \\ v_{y0} &= 10 \sin 37 = 10 \cdot 0,6 \\ v_{y0} &= 6 \text{ m/s} \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$



Taş max. yüksekliğe eriştiğinde v_y hızı sıfır olacaktır. Buna göre max. yüksekliğe çıkma süresi:

$$v_y = v_{y0} - gt \quad v_y=0 \text{ ise } t=t_{ymax} \text{ tır.}$$

$$0 = 6 - 10t_{ymax}$$

$t_{ymax} = \frac{6}{10} \text{ s}$ olarak bulunur. Havada kalma süresi ise max. yüksekliğe çıkma süresinin iki katıdır. O zaman

$$t_{uçuş} = 2t_{ymax} = 2 \frac{6}{10} = 1,2 \text{ s} \text{ olarak bulunur.}$$

Taşın çıkabileceği max. yükseklik ise en kolay zamansız hız formülünden bulunur.

$$v_y=0 \text{ ise } \Delta y=y_{max} \text{ tır.}$$

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g\Delta y$$

$$0^2 = 6^2 - 2 \cdot 10 \cdot y_{max}$$

$$y_{max} = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ m} \quad \text{olarak bulunur.}$$

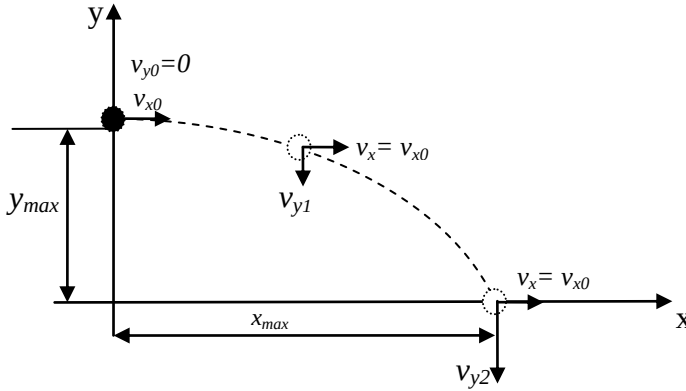
Taşın havada kalma süresince yatay doğrultuda gidebileceği max. uzaklık ise

$$x_{max} = v_{x0} t_{uçuş}$$

$$x_{max} = 8 \cdot 1,2 = 9,6 \text{ m} \quad \text{olarak bulunur.}$$

3.10. Yatay Atış Hareketi

Bir cismin şekil 3.14'teki gibi belli bir yükseklikten yatay doğrultuda sabit hızla fırlatıldığında yaptığı harekete *yatay atış hareketi* denir.



Şekil 3.14. Yatay atış hareketi yapan bir cismin hareketi

Eğik atışta olduğu gibi yatay atış hareketi de iki boyutludur. Hareket hem yatay ekseninde hem de düşey ekseninde incelenmelidir. Cismin düşey doğrultudaki ilk hızı sıfır iken yatay doğrultudaki hızı sabittir. Buna göre yatay eksenindeki hareket düzgün doğrusal hareketle açıklanırken, düşey doğrultudaki hareket serbest düşme ile açıklanır.

Cisim sabit hızla fırlatıldığından yatay doğrultuda cisme etkiyen herhangi bir ivme yoktur ve bu doğrultudaki hız sabittir.

$$v_{x0} = v_x \quad (3.40)$$

Yatay doğrultuda (x ekseninde) t süresinde alınan yol ise

$$x = v_{x0}t \quad (3.41)$$

olarak verilir.

Düşey doğrultudaki ilk hız sıfır ve bu doğrultuda yerçekimi ivmesi etkili olduğundan, cismin t zaman sonraki hızı

$$v_y = gt \quad (3.42)$$

t zamanda düştüğü mesafe

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.43)$$

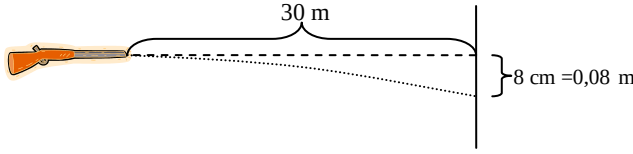
ve zamansız hız yükseklik ilişkisi

$$v_y^2 = 2g\Delta y \quad (3.44)$$

eşitlikleri ile verilir.

Örnek:

Bir tüfekle yatay olarak 30 m uzaklıktaki bir hedefe nişan alınıyor. Mermi hedeften 8 cm aşağı saplandığına göre merminin namludan çıkış hızı nedir?



Hareket yatay atış hareketi olduğundan, hareketi hem y , hem de x ekseninde incelemek gerekir. Önce y eksenindeki hareketi inceleyelim. Mermi 8 cm lik düşüşü kaç saniyede almıştır?

$y = \frac{1}{2}gt^2$ formülünde değerler yerine konursa

$$0,08 = \frac{1}{2}10t^2$$

$$t^2 = \frac{0,16}{10} = 0,016$$

$t = \sqrt{0,016} = 0,13$ s olarak bulunur. Bu süre aynı zamanda merminin 30 m'lik mesafeyi alma süresidir. Buna göre hareket x eksenini için

$x = v_{x0}t$ formülü ile tarif edilir. Değerler burada yerine konursa

$$30 = v_{x0}0,13$$

$$v_{x0} = \frac{30}{0,13} = 231 \text{ m/s} \quad \text{olarak bulunur.}$$

3.11. Bağıl Hareket

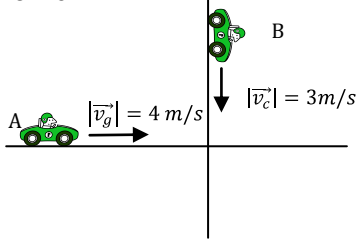
Şimdiye kadar bir cismin hareketini sabit bir referans sistemine göre tarif ettik. Peki, referans sistemi hareketli olursa ne olur? Örneğin aynı doğrultuda ama farklı hızlarda giden iki araba içinde oturan gözlemciler dışarıda koşan bir adamın hareketini tarif ederken, yavaş giden araç içindeki gözlemci adamın hareketini v hızı ile hesaplarken, hızlı giden araç içindeki gözlemci adamın hızını v 'den daha küçük olarak hesaplayacaktır. Eğer arabaların yönü de ayrı ise o zaman sadece hızları değil adamın koştuğu yönü de farklı tarif edeceklerdir.

İşte bir cismin hareketli bir referans sistemindeki bir gözlemciye göre hareketine **bağıl hareket** denir. Cismin hızı $\vec{v}_c$, gözlemcinin hızı $\vec{v}_g$, ise bağıl hız

$$\vec{v}_b = \vec{v}_c - \vec{v}_g \quad (3.45)$$

olarak bulunur. Buradaki çıkarma işleminin vektörel olduğunu bir kere daha hatırlatmakta yarar vardır.

Örnek:



İki araç şekildeki gibi hareket etmektedir. Buna göre A aracındaki kişi B aracını nasıl görür?

Şekilde de görüldüğü gibi A aracı gözlemcidir. Buna göre araçların hızları

$$\vec{v}_c = -3\hat{j}$$

$$\vec{v}_g = 4\hat{i} \text{ dir.}$$

Bağıl hız

$\vec{v}_b = \vec{v}_c - \vec{v}_g$ olduğuna göre değerleri yerine koyar vektörel işlemi yaparsak

$\vec{v}_b = -3\hat{j} - 4\hat{i}$ olarak bulunur, düzenlenirse $\vec{v}_b = -4\hat{i} - 3\hat{j}$ olur.

Bu vektörün büyüklüğü

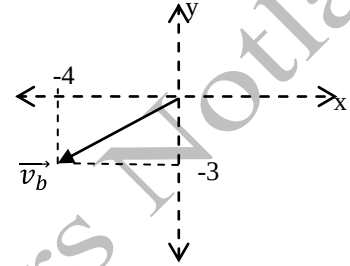
$$|\vec{v}_b| = \sqrt{4^2 + 3^2}$$

$$|\vec{v}_b| = 5 \text{ m/s olur.}$$

Yönü ise

$$\tan \phi = \frac{-3}{-4}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{3}{4} = 37^\circ$$

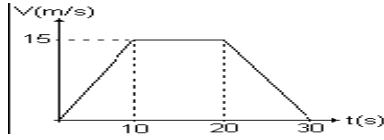


Buna göre A aracı B aracını 5 m/s hızla güney batıya doğru 37° lik açı ile gittiğini görür.

SORULAR

- 1) Saatte 60 km lik sabit bir süratle hareket eden bir tren, önce doğuya doğru 40 dakika, sonra kuzeye doğru 30 dakika gidiyor. Trenin ortalama hızı nedir?

2)



Hız-zaman grafiği verilen hareketlinin 0-30 saniye aralığındaki ortalama hızı kaç m/s'dir?

- 3) Bir otomobil 20 m/s'lik hızla giderken düzgün yavaşlayarak 20 saniyede duruyor. Durma uzaklığı metre olarak nedir?
- 4) Bir yarış otomobili 3 s içerisinde sıfırdan 100 km/saat lik bir hıza erişebiliyor. Otomobilin ivmesi nedir? İvmenin sabit olduğu varsayılarak bu süre zarfında otomobil ne kadar yol alır.
- 5) Bir taş 15 m yükseklikten serbest olarak düşüp yere çarptığında 0,2 s içinde duruyor. Taşın yerle temas ettiği bu süre zarfında ortalama ivmesi nedir?
- 6) Bir taş 50 m/s hızla düşey konumda yukarı yönlü fırlatılıyor.
a) Taşın çıkabileceği maksimum yükseklik nedir?
b) Taşın havada kalma süresi nedir?
c) Taş atıldıktan 2 s sonra hızı ve yüksekliği nedir?
- 7) 5000 m yükseklikteki bir uçaktan yere dikey olarak 1200 m/s sabit hızla fırlatılan bir roket kaç saniye sonra yere düşer, yere çarptığı andaki hızı nedir?
- 8) 45° lik bir açı ile yerden fırlatılan bir topun 360 m uzaklıkta yere düştüğü gözlenmiştir.
a) Topun ilk hızını bulunuz.
b) Top ne kadar havada kalmıştır?
c) Topun çıktığı maksimum yüksekliği bulunuz.
- 9) Namludan çıkış hızı 450 m/s olan bir mermi sabit hızla ilerlerken yatay doğrultuda ve 100 m ilerideki bir hedefi vurabilmesi için namlu ile yatay konum arasındaki açı ne olmalıdır?
- 10) 50 m yükseklikteki bir uçurumun kenarından yatay olarak fırlatılan bir topun 200 m uzaklıkta yere düştüğü gözlenmiştir.
a) Top ne kadar havada kalmıştır?
b) Topun ilk hızını bulunuz.
- 11) 1000 m yükseklikteki bir uçaktan yatay olarak 1200 m/s sabit hızla fırlatılan bir roket kaç saniye sonra yere düşer, bu süre içinde yatay konumda ne kadar yol almıştır, yere çarptığı andaki hızı nedir?
- 12) Akıntı hızı 4 m/s olan bir ırmakta, bir kayık akıntıya dik doğrultuda ve 6 m/s'lik hızla hareket ediyor. Irmağın genişliği 72 m olduğuna göre, kayık kaç saniye sonra kıyıya varır?

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

BÖLÜM 4

HAREKETİN DİNAMİK ve STATİK İNCELENMESİ

4.1. Giriş

Fiziğin bir diğer dalı olan dinamik ve statik, öğrencilerimizi zorlayan bir konu olsa da aslında günlük hayatta fark etmeden kullandığımız kavramları içerir. Bu konuları bilmek günlük hayatta yaptığımız birçok işi daha kolay yapabilmemizi ve enerjiden tasarruf etmemizi sağlar.

Dinamik ve statik Newton'un hareket kanunları ile açıklanır. En basit şekilde söylemek gerekirse bir cisme etki eden kuvvetlerin vektörel toplamı; cisim hareketli ise cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına, cisim dengede ise sıfıra eşittir.

İşte bu bölümde yapacağımız, cisme etki eden kuvvetlerin neler olduğunu belirleyip bunların vektörel toplamalarını hareketin şekline göre sıfıra ya da kütle ivme çarpımına eşitlemekten ibarettir.

4.2. Dinamik ve Statiğin Temel Kavramları

Dinamik ve statik en temel kavramı kuvvettir. **Kuvvet**, bir cisme ister temas etsin, isterse temas etmesin, cismin hareket durumunu değiştiren ya da şeklini değiştirmeye zorlayan fiziksel bir büyüklüktür. Kuvvet, vektörel bir büyüklük olup $\vec{F}$ ile gösterilir ve SI birim sisteminde birimi “newton” ve sembolü (N)'dir.

Birçok farklı kuvvetten bahsedebiliriz; temas kuvveti, elektrik alan kuvveti, manyetik alan kuvveti, sürtünme kuvveti, normal kuvveti, yerçekimi kuvveti, geri çağırıcı kuvvet, kütle çekim kuvveti, nükleer kuvvet gibi. Bunlardan çekim ve alan kuvvetleri cisimlerin teması olmadan oluşan kuvvetlerdir. Diğerleri ise cisimlerin bir yüzeye ya da birbirlerine teması sonucu oluşur.

Dinamikte ve statikte diğer önemli iki kavram ise kütle ve ağırlıktır. Bu iki kavram günlük hayatımızda çok kullandığımız kavramlar olup ne yazık ki yanlış kullanılmaktadır.

Kütle, bir cisimde bulunan madde miktarının (yoğunluğunun) ölçüsüdür.

$$d = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

burada d , yoğunluk V , hacim ve m kütledir. Bir cisim ne kadar yoğun ise kütlesi de o kadar büyüktür. Kütle skaler bir büyüklük olup SI birim sisteminde birimi kilogramdır (kg) ve evrenin her yerinde büyüklüğü aynıdır.

Ağırlık ise cisme etkiyen yerçekimi kuvvetidir. Ağırlık, vektörel bir büyüklük olup genelde $\vec{G}$ sembolü ile gösterilir; yönü ise her zaman yere doğrudur. Ağırlığın SI birim sistemindeki birimi “newton” ve sembolü (N)'dir. Yerçekimi kuvveti evrende farklı bölgelerde değiştiği için ağırlık da değişir. Örneğin Dünya'da ağırlığınız 800 N iken Ay'da ağırlığınız daha az olacaktır. Hatta uzayda ağırlığınız sıfırdır.

Bizim en çok yaptığımız hata ise ağırlık olarak tarif ettiğimiz büyüklüklerin birimini yazarken kg kullanmamızdır. Örneğin bir manavdan 1 kg elma aldığımızda aldığımız elmanın ağırlığını değil kütlesini söylemeliyiz. Oysaki biz ağırlığı 1 kg olan elma aldık, diyoruz. Bu, fizikte bir hatadır.

İşte klasik mekaniğin bir dalı olan dinamik, cisimlerin üzerine etki eden kuvvetler bilindiğinde hareketin nasıl olacağını inceler. Bunun için de Newton'un hareket yasalarından faydalanılır.

4.3. Newton'un 1. Yasası (Eylemsizlik İlkesi)

Bir cisme etki eden kuvvetlerin vektörel toplamı sıfır ise cisim ya duruyordur ya da sabit hızla bir doğru boyunca hareketine devam ediyordur.

$\sum \vec{F} = 0$ ise $\vec{v}$ =sabit ya da sıfırdır.

4.4. Newton'un 2. Yasası (Dinamiğin Temel İlkesi)

Newton'un 2. yasasına göre üzerine toplam $\vec{F}$ kuvveti etki eden bir cisim kuvvetin büyüklüğü ile doğru orantılı ve kütlesiyle ters orantılı olacak şekilde ivme kazanır. Bu ifade 1687 yılında Newton tarafından

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (4.2)$$

ifadesi ile tarif edilmiştir. Yani bir cismin üzerine sabit bir kuvvet uygulanırsa cisim ivmeli hareket yapar.

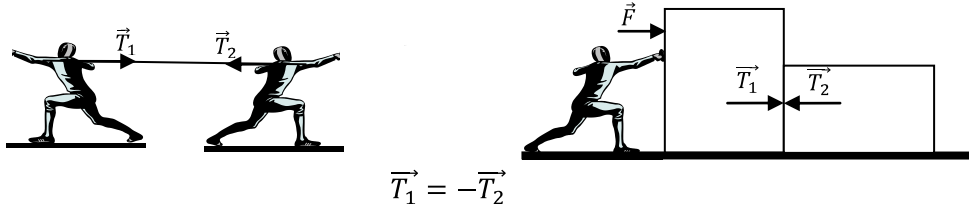
Aslında cisimlerin ağırlığı da bu yasaya göre tanımlanmıştır. Havada asılı bir cisim serbest bırakıldığında yerçekimi ivmesi ile yere doğru hızlanır, bu durumda üzerine etki eden kuvvete **ağırlık** denir ve

$$\vec{G} = m\vec{g} \quad (4.3)$$

ile verilir. Burada m , kütle; $\vec{g}$, yerçekimi ivmesidir.

4.5. Newton'un 3. Yasası (Etki Tepki İlkesi)

A cismi B cisminin bir kuvvet uyguladığında B cismi de A cisminin aynı doğrultu ve büyüklükte ama zıt yönde bir kuvvet uygular. Bu kuvvete **etki tepki kuvveti** denir. İpteki gerilme kuvvetini ya da bir cismin yere konduğunda yere batmamasını etki tepki ilkesi ile açıklarız. Örneğin bir ipin iki kişi tarafından çekildiğini ya da bir kişinin birbirine temas eden iki bloğu ittiğini düşünelim (şekil 4.1).

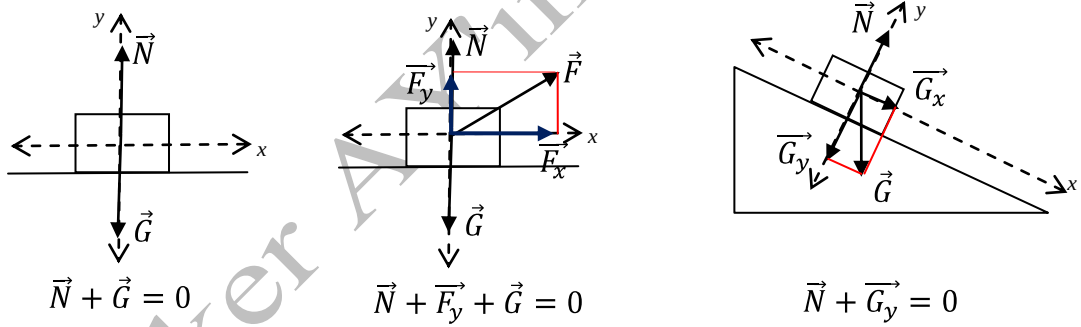


Şekil 4.1. Etki tepki prensibinin gösterimi

İpteki gerilme kuvveti ve bloklar arasındaki kuvvet aktarımları birbirine eşit ve zıt yönde olmalıdır ($\vec{T}_1 = -\vec{T}_2$). Aksi takdirde cismin hareketini etkiler. Bir duvara yumruk attığımızı düşünelim; elimiz neden acır? Çünkü duvar da size, uyguladığınız kuvvete eşit ve zıt yönlü bir kuvvet uygular. Yumuşak bir zemine vurduğunuzda eliniz daha az acır. Bunun nedeni de uyguladığınız kuvvetin bir kısmının yumuşak yüzey tarafından soğrulmasıdır. Yumuşak yüzey soğurabildiği kadar kuvveti soğurur kalanını da tepki olarak geri verir. Soğrulan kuvvet ise enerji olarak açığa çıkacaktır.

4.6. Normal Kuvveti

Bir cisim yüzeyle temas halinde iken, Newton'un 3. yasasına göre cismin yüzey içine batmasını engellemek için yüzey, cisim üzerine kendisine dik ve yukarı yönlü bir kuvvet uygular, bu kuvvete **normal kuvveti** denir. Normal kuvvetinin büyüklüğü her zaman cismin yüzeye dik doğrultudaki kuvvetlerin vektörel toplamı kadardır (şekil 4.2).



Şekil 4.2. Normal kuvvet vektörlerinin üç farklı durum için hesaplanması

Bu durumda cisim ne yukarı ne de aşağı doğru hareket edecektir. Cismin hareket yönü her zaman için yüzeye paraleldir.

Yüzeye temas etmeyen bir cisimde normal kuvvetinden bahsedilemez.

4.7. Sürtünme Kuvveti

İki tür sürtünme vardır. Bunlar; iç sürtünme ve dış sürtünmedir.

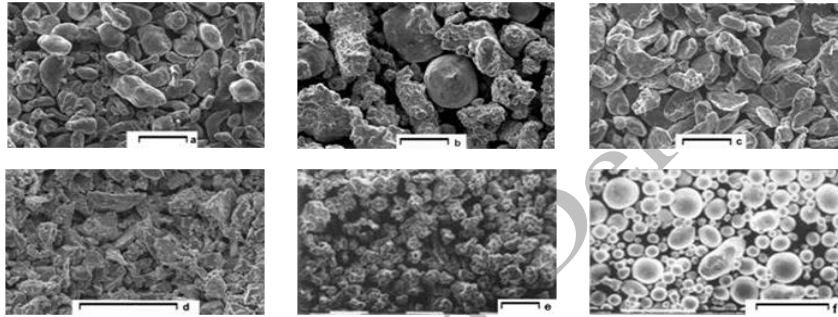
İç sürtünme cismin iç yapısını oluşturan taneciklerin veya moleküllerin birbiri üzerinden kayarak hareket etmesiyle oluşur. İç sürtünmeyi anlamak için içi yarıya kadar ve tamamen kumla doldurulmuş iki silindiri eğik bir düzlemde serbest bırakalım. İçi yarıya kadar kumla dolu silindirin daha yavaş yuvarlandığını görürsünüz, işte bu, iç sürtünmenin etkisidir.

Dış sürtünme ise iki yüzeyin birbiri ile temasından kaynaklanan sürtünmedir. Cisimlerin yüzeyleri ne kadar pürüzsüz olsa da mikroskopla bakıldığında pürüzlü olduğu görülür. Kimi cisimler daha az pürüzlü iken kimileri daha çok pürüzlüdür (şekil 4.3).

İşte iki cismi üst üste koyduğumuzda bu girintiler birbirine geçer ve cismin hareketini durdurur ya da yavaşlatır. İşte cismin hareketine zıt yönde oluşan ve hareketi yavaşlatan ya da durduran bu kuvvete **sürtünme kuvveti** denir. Sürtünme kuvvetin büyüklüğü cisme yüzey tarafından uygulanan normal kuvveti ile doğru orantılıdır ve

$$|\vec{F}_{\text{sür}}| = \mu \cdot |\vec{N}| \quad (4.4)$$

ile verilir. Yönü ise her zaman için hareketin tersi yönündedir. Burada μ , sürtünme katsayısıdır ve her yüzey için farklıdır. Sürtünme katsayısı her yüzey için farklı olsa da, aynı yüzey için üç farklı sürtünme katsayısı vardır. Bunlar statik sürtünme katsayısı, kinetik sürtünme katsayısı ve yuvarlanma sürtünme katsayısıdır.



Şekil 4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiş değişik dozlarda yüzey genel görüntüleri. a) alüminyum, b) bakır (sıvı atomizasyonu), c) magnezyum, d) titanyum, e) demir, f) bakır (gaz atomizasyonu). Ölçü çizgileri 100 µm'u göstermektedir

Statik sürtünme katsayısı cisim durgunken kullanılır. Bu durumda cisimler üzerindeki girintiler birbiri içine girmiştir ve cismi harekete geçirmek için uygulanması gereken min. kuvvet statik sürtünme (μ_s) kuvvetine eşit olmalıdır.

Cisim harekete başladığı anda artık girintilerin birçoğu birbiri içine girmekten kurtulmuştur. Cisim bu durumda çukurlardan zıplaya zıplaya hareketine devam eder. Bu aynı, kuma batmış bir arabanın battığı yerden kurtularak kum üzerinde hareket etmesine benzer. Araba durmadığı sürece tekrar kuma batmayacaktır. İşte hareket eden bir cisme etki eden sürtünme kuvveti de kinetik sürtünme kuvvetidir (μ_k) ve aynı yüzey için statik sürtünme kuvvetinden daha küçüktür ($\mu_s > \mu_k$).

En küçük sürtünme kuvveti ise yuvarlanma sürtünme kuvvetidir (μ_y). Her zaman için bir cismi sürüklemektense yuvarlamak için gerekli kuvvetin daha az olduğu bilinir. Örneğin bir eğik düzlemin tepesinden aynı kütleli bir blok ile bir silindir aynı anda bırakıldıklarında silindir daha çabuk aşağıya varacaktır. Bu da yuvarlanma sürtünmesinin kinetik sürtünmeden daha küçük olduğunu gösterir. Kısaca sürtünme katsayıları arasındaki ilişki

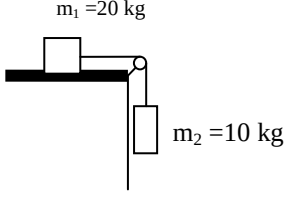
$$\mu_s > \mu_k > \mu_y \quad (4.5)$$

dir.

Örnek:

Şekildeki sistemin bir yüzü sürtünmeli ve sürtünme katsayısı $\mu_k=0,2$ dir. Buna göre sistemin,

- İvmesini,
- İpteki gerilme kuvvetini bulunuz.

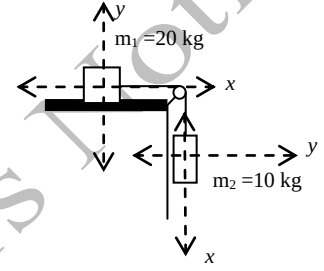


Bu tür soruları çözmek için

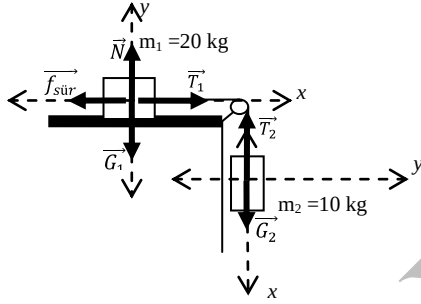
- Koordinat eksenleri çizilmeli
- Cisimlere etki eden kuvvetler koordinat ekseninde gösterilmeli
- Gerekirse kuvvetler bileşenlerine ayrılmalı
- Her kütle için ayrı ayrı aynı eksen üzerindeki kuvvetler vektörel olarak toplanmalı ve $m \cdot a$ ya eşitlenmelidir.
- Elde edilen denklemler çözülerek sonuca ulaşılır.

Koordinat eksenini çizerken; her zaman için x ekseninin hareket yönüne paralel olmasına dikkat etmeliyiz.

Yandaki şekilde m_1 ve m_2 kütleleri için çizilen x eksenlerinin yönleri farklı gibi görünsün de ipi düzelttiğiniz anda x eksenlerinin aynı doğrultuda olduğunu görürsünüz.



İkinci olarak etki eden kuvvetleri çizelim.



Buradaki kuvvetler eksenler üzerinde olduğundan bileşenlerine ayırmaya gerek yoktur. Şimdi yapacağımız, vektörlerin büyüklüklerini bulmaktır.

$$\begin{aligned} |\vec{G}_1| &= m_1 |\vec{g}| \\ |\vec{G}_1| &= 20 \cdot 10 = 200 \text{ N ise } \vec{G}_1 = -200\hat{j} \text{ N} \\ |\vec{G}_2| &= m_2 |\vec{g}| \\ |\vec{G}_2| &= 10 \cdot 10 = 100 \text{ N ise } \vec{G}_2 = 100\hat{i} \text{ N olur.} \end{aligned}$$

$|\vec{f}_{sür}| = \mu_k \cdot |\vec{N}|$ olduğuna göre $\vec{N}$ vektörünün büyüklüğünü bulmalıyız. m_1 kütlesi için y yönünde hareket olmadığından

$\vec{N} + \vec{G}_1 = 0$ dır. Değerler yerine yazılırsa

$$\vec{N} - 200\hat{j} = 0$$

$\vec{N} = 200\hat{j}$ N olur. Buna göre

$$|\vec{f}_{sür}| = \mu_k \cdot |\vec{N}|$$

$$|\vec{f}_{sür}| = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ N dur. ve}$$

$$\vec{f}_{sür} = -40\hat{i} \text{ dir.}$$

Etki tepki prensibinden

$\vec{T}_1 = -\vec{T}_2$ olduğunu biliyoruz. Buna göre

$$\vec{T}_1 = T\hat{i} \text{ ve}$$

$$\vec{T}_2 = -T\hat{i} \text{ dir.}$$

Şimdi hareket sadece x ekseninde olduğu için her kütle için ayrı ayrı $\sum \vec{F}_x = m\vec{a}$ eşitliklerini yazalım.

m_1 kütlesi için

$$\vec{T}_1 + \vec{f}_{sür} = m_1 \vec{a}$$

$$\vec{T}_1 + \vec{f}_{sür} = m_1 \vec{a}$$

$$T\hat{i} - 40\hat{i} = 20\vec{a}$$

olarak bulunur ve

m_2 kütlesi için

$$\vec{G}_2 + \vec{T}_2 = m_2 \vec{a}$$

$$100\hat{i} - T\hat{i} = 10\vec{a} \text{ dır.}$$

Bu iki denklemi alt alta koyup çözersek

$$T\hat{i} - 40\hat{i} = 20\vec{a}$$

$$100\hat{i} - T\hat{i} = 10\vec{a} \text{ toplarsak}$$

$$100\hat{i} - 40\hat{i} = (20 + 10)\vec{a}$$

$$60\hat{i} = 30\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{60\hat{i}}{30} = 2\hat{i} \text{ m/s}^2 \text{ olarak bulunur. Bu değeri yukarıdaki}$$

her hangi bir denklemde yerine koyarsak

$$T\hat{i} - 40\hat{i} = 20\vec{a}$$

$$T\hat{i} - 40\hat{i} = 20 \cdot 2\hat{i}$$

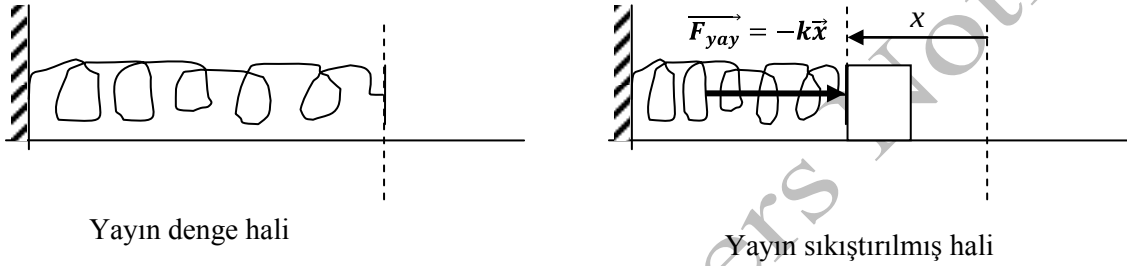
$$T = 80 \text{ N olarak bulunur.}$$

4.8. Geri Çağırıcı Kuvvet

Bir yayı sıkıştırdığınızda ya da çektiğinizde yay yaptığınız harekete ters yönde bir kuvvet uygulayacaktır (şekil 4.4). Yayın uyguladığı bu kuvvete **geri çağırıcı kuvvet** denir. Geri çağırıcı kuvvet yayın uzama ya da sıkışma miktarıyla doğru orantılıdır ve

$$\vec{F}_{yay} = -k\vec{x} \quad (4.6)$$

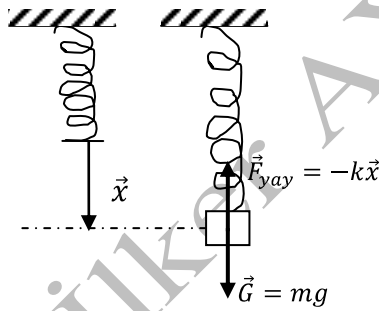
ifadesi ile verilir ve **Hooke yasası** olarak bilinir. Burada k yay sabiti olup SI birim sisteminde birimi (N/m) dir. Yay sabiti yayın yapıldığı malzemeye ve sarmallara bağlı olarak değişir. Eşitlik 4.6'daki eksiğin anlamı ise geri çağırıcı kuvvetin yayın hareketinin tersi yönünde olduğunu vurgular.



Şekil 4.4. Geri çağırıcı kuvvet

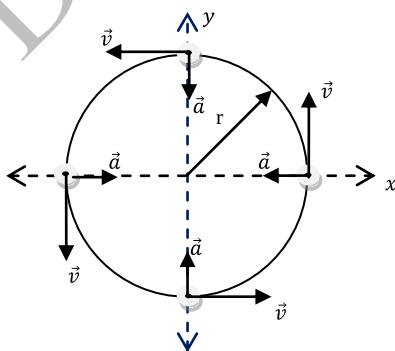
Örnek:

Yay sabiti 400 N/m olan bir yaya şekildeki gibi bir cisim asıldığında yay 0,5 m uzuyorsa cismin kütlesi nedir?



$$\begin{aligned} |\vec{F}_{yay}| &= |\vec{G}| \\ kx &= mg \\ m &= \frac{kx}{g} = \frac{400 \cdot 0,5}{10} \\ m &= 20 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.9. Düzgün Dairesel Hareketin Dinamiği



Şekil 4.5. Düzgün dairesel hareket yapan bir cisim

Bir cismin dairesel bir yörüngede sabit çizgisel hızla yaptığı harekete **düzgün dairesel hareket** denir. İlk bakışta çizgisel hız sabit olduğu için Newton'un yasalarına göre hareketin ivmesi sıfır olacaktır. Ancak düzgün dairesel harekette çizgisel hızın büyüklüğü sabit kalsa da yönü zaman içinde sürekli değişmektedir (şekil 4.5).

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi çizgisel hız vektörü zaman içinde değişecektir. Çizgisel hız vektöründeki bu değişim cisimden merkeze doğru yönelmiş $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$ büyüklüğünde bir ivme oluşturur. Bu ivmeye **merkezcil ivme** denir ve r yarıçapında dairesel yörünge üzerinde $|\vec{v}|$ çizgisel hızı ile hareket eden bir cismin merkezcil ivmesi

$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{v}|^2}{r} \quad (4.7)$$

olarak verilir. Burada r , dairesel hareketin yarıçapıdır. Newton'un 2. yasasına göre ivmeli bir hareket yapan cisme $\vec{F} = m\vec{a}$ büyüklüğünde bir kuvvet etki eder. Bu kuvvete de **merkezcil kuvvet** denir ve büyüklüğü,

$$|\vec{F}| = \frac{m|\vec{v}|^2}{r} \quad (4.8)$$

olarak verilir. Düzgün dairesel hareket yapan bir cismin, bir tam dönüşü için geçen süreye **periyot** denir. Periyot'un SI birim sisteminde sembolü T ve birimi saniyedir. Bu süre içinde cisim, dairenin çevresi kadar yol aldığına göre çizgisel hızın büyüklüğü,

$$|\vec{v}| = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f \quad (4.9)$$

olarak verilir. Burada r , yarıçap; T , periyot; f , frekans'tır. **Frekans**, birim saniyedeki devir sayısıdır ve SI birim sisteminde birimi hertz (Hz) olarak verilir (Hz=1/s).

Örnek:

Uzunluğu 2 m olan bir ipin ucuna bağlı olan 3 kg kütleli bir cisim yatay düzlem üzerinde dairesel bir hareket yapmaktadır. Cismin bir tam dönüşü 0,25 saniyede yaptığı gözlenmiştir. Buna göre;

- Cismin çizgisel hızını,
- Cisme etki eden merkezcil kuvvetin büyüklüğünü bulunuz.

Önce verileri yazalım:

$$r=2 \text{ m}$$

$$m=3 \text{ kg}$$

$$T=0,25 \text{ s}$$

$$|\vec{v}| = ?$$

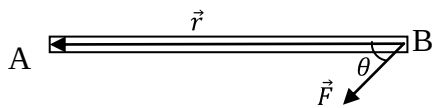
$$|\vec{F}| = ?$$

$$|\vec{v}| = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{0,25} = 48 \text{ m/s}$$

$$|\vec{F}| = \frac{m|\vec{v}|^2}{r} = \frac{3 \cdot 48^2}{2} = 3456 \text{ N olarak bulunur.}$$

4.10. Kuvvetin Döndürme Etkisi (Moment)

Kuvvetin döndürme etkisine **moment** denir. Bir kapıyı açmak ya da bir vidayı sıkmak, gevşetmek için uygulanan kuvvetin yaptığı iştir. Moment, vektörel bir büyüklük olup SI birim sisteminde birimi Nm olarak verilir.



Şekil 4.6. Bir çubuğa etki eden kuvvetler

Şekil 4.6'daki gibi bir ucu sabit bir çubuğa kuvvet uygulandığında çubuğa etki eden moment

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{r} \quad (4.10)$$

olarak verilir. Momentin büyüklüğü ise

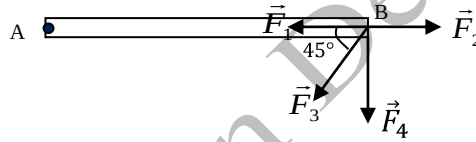
$$|\vec{M}| = |\vec{F}| |\vec{r}| \sin \theta \quad (4.11)$$

dır. Burada $\vec{F}$; kuvvet, $\vec{r}$; uygulanan kuvvet ile dönme noktası arasındaki uzaklık ve θ , kuvvet ile kuvvet kolu arasındaki açıdır. Vektörel işlem yapıldığında kuvvet kolunun yönü her zaman uygulanan kuvvetten dönme eksenine doğru alınır. Moment, her zaman uygulanan kuvvete ve kuvvet koluna dik yöndedir.

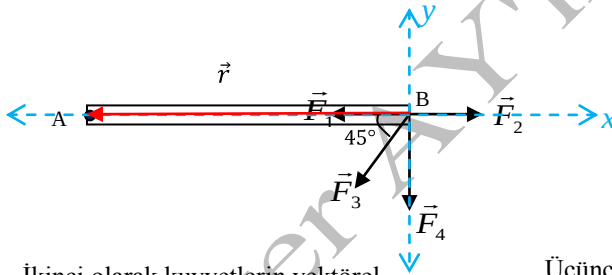
Çubuğa birden fazla kuvvet etki ederse toplam moment, her bir kuvvetin oluşturduğu momentin vektörel toplamıdır.

Örnek:

2 m uzunluğunda ağırlıksız bir AB çubuğunun B ucuna şekildeki gibi dört kuvvet etki ediyor. Kuvvetler eşit şiddette olduğuna göre ($F=10$ N), A noktasına göre toplam moment nedir? ($\cos 45^\circ = 0,71$, $\sin 45^\circ = 0,71$)



İlk olarak koordinat eksenlerini çizelim



İkinci olarak kuvvetlerin vektörel ifadelerini yazalım

$$\vec{F}_1 = -10\hat{i} \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = 10\hat{i} \text{ N}$$

$$\vec{F}_4 = -10\hat{j} \text{ N}$$

$\vec{F}_3$ vektörü ne x ne de y ekseninde olmadığından bileşenlerine ayırmalıyız.

Buna göre

$$|\vec{F}_{3x}| = |\vec{F}_3| \cos 45^\circ \text{ ve } |\vec{F}_{3y}| = |\vec{F}_3| \sin 45^\circ$$

$$|\vec{F}_{3x}| = 10 \cdot 0,7 \text{ ve } |\vec{F}_{3y}| = 10 \cdot 0,7$$

$$|\vec{F}_{3x}| = 7 \text{ N} \quad \text{ve} \quad |\vec{F}_{3y}| = 7 \text{ N} \text{ olarak bulunur.}$$

$$\vec{F}_3 = -7\hat{i} - 7\hat{j} \text{ N olarak bulunur.}$$

Üçüncü olarak $\vec{r}$ vektörlerini yazalım. $\vec{r}$, uygulanan kuvvet ile dönme noktası arasındaki uzaklık olduğuna göre, şekle göre dört kuvvet vektörü için aynıdır.

$$\vec{r} = -2\hat{i} \text{ m dir.}$$

Son olarak toplam momenti yazarsak

$$\sum \vec{M} = \vec{F}_1 \times \vec{r} + \vec{F}_2 \times \vec{r} + \vec{F}_3 \times \vec{r} + \vec{F}_4 \times \vec{r}$$

$$\sum \vec{M} = -10\hat{i} \times (-2\hat{i}) + 10\hat{i} \times (-2\hat{i}) + (-7\hat{i} - 7\hat{j}) \times (-2\hat{i}) - 10\hat{j} \times (-2\hat{i})$$

$$\sum \vec{M} = 20(\hat{i} \times \hat{i}) - 20(\hat{i} \times \hat{i}) + 14(\hat{i} \times \hat{i}) + 14(\hat{j} \times \hat{i}) + 20(\hat{j} \times \hat{i})$$

Olarak bulunur. Vektörel çarpım özellikleri göz önüne alındığında

$$\sum \vec{M} = 0 - 0 + 0 - 14\hat{k} - 20\hat{k}$$

$$\sum \vec{M} = -34\hat{k} \text{ Nm olarak bulunur.}$$

4.11. Katı Cisimlerin Statik (Durgun Durum) Dengesi

Üç çeşit dengeden bahsedebiliriz. Bunlar; bozulmaz denge, kararlı denge ve kararsız dengedir.



Şekil 4.7. Bozulmaz kararlı ve kararsız denge

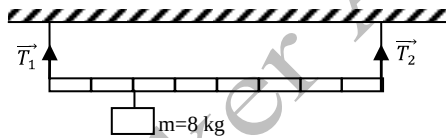
Üzerine kuvvet etki etmeyen ve sabit hızla giden cisimler için de **dengededir** denir. Ancak bu cisim hareketlidir. Bizim burada inceleyeceğimiz ise **statik** yani **durgun durum dengesi**dir. Eğer katı bir cisme etki eden kuvvetlerin toplamı ve cisim üzerindeki toplam moment sıfır ise cisim tamamen duruyor denir ve bu durumda

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= 0 \\ \sum \vec{M} &= 0\end{aligned}\tag{4.12}$$

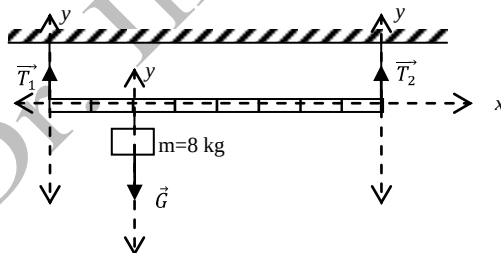
olur ve cisim **statik dengededir** denir. Sadece cisme etki eden kuvvetlerin toplamının sıfır olması cismin dengede olduğunu göstermez. Örneğin tavana asılı bir pervaneyi düşünün; pervane hareket etmese de kendi eksenini etrafında dönmektedir. Bu da cismin statik dengede olmadığını gösterir.

Örnek:

8 m uzunluğunda ağırlıksız homojen bir çubuk şeklindeki gibi asılmıştır. Sistem statik dengede ise $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetleri kaç N'dur?



İlk olarak koordinat eksenini ve çizilmemiş vektörleri çizelim



İkinci olarak vektörleri tanımlayalım

$$\vec{T}_2 = T_2 \hat{j}$$

$$\vec{T}_1 = T_1 \hat{j}$$

$$|\vec{G}| = mg = 8 \cdot 10 = 80 \text{ N}$$

$$\vec{G} = -80 \hat{j} \text{ olur.}$$

Sistem statik dengede olduğuna göre

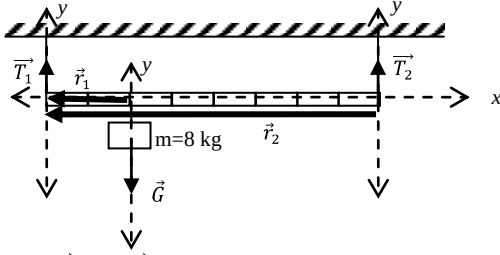
$$\sum \vec{F} = 0 \text{ dır.}$$

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{G} = 0$$

$$T_1 \hat{j} + T_2 \hat{j} - 80 \hat{j} = 0$$

$$T_1 + T_2 = 80 \text{ olarak bulunur.}$$

Aynı zamanda sistem statik dengede olduğuna göre $\sum \vec{M} = 0$ dır. $\vec{T}_1$ vektörünün bulunduğu noktaya göre momenti yazalım. Bunun için de ilk olarak uygulanan kuvvetler ile dönme noktası arasındaki uzaklıkları belirten vektörleri bulmalıyız.



Vektörlerin yönü her zaman için uygulanan kuvvetten dönme eksenine doğrudur. Buna göre $\vec{r}_1 = -2\hat{i}$ ve $\vec{r}_2 = -8\hat{i}$ olarak bulunur.

$$\sum \vec{M} = \sum \vec{r} \times \vec{F} = 0 \quad \text{olduğuna göre}$$

$$\sum \vec{M} = 0 = \vec{r}_2 \times \vec{T}_2 + \vec{G} \times \vec{r}_1 \quad \text{dır. Değerleri yerine yazarsak,}$$

$$0 = T_2 \hat{j} \times (-8\hat{i}) + (-80\hat{j}) \times (-2\hat{i})$$

$$0 = -8T_2(\hat{j} \times \hat{i}) + 160(\hat{j} \times \hat{i})$$

olarak bulunur. Vektörel çarpım özellikleri göz önüne alındığında

$$0 = 8T_2\hat{k} - 160\hat{k}$$

$$8T_2\hat{k} = 160\hat{k}$$

$$T_2 = \frac{160}{8} = 20 \text{ N olarak bulunur.}$$

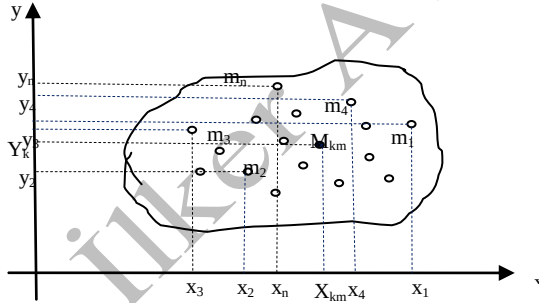
$$T_1 + T_2 = 80 \quad \text{olarak bulmuştuk}$$

$$T_2 \text{ yi yerine yazarsak. } T_1 + 20 = 80$$

$$T_1 = 60 \text{ N olarak bulunur.}$$

4.12. Ağırlık Merkezi

Bir cisim birçok parçacığın bir araya gelmesinden oluşur. Cismin ağırlık merkezinin bilinmesi cismin hareketini incelerken büyük kolaylık sağlar. Bir cisme bir kuvvet uygulandığında kuvvet, cismin ağırlık merkezine etki eder ve cismin tüm kütlesi bu noktadaymış gibi hareket eder. Böylece cismi oluşturan parçacıkların hareketiyle değil sadece kütle merkezinin hareketiyle ilgileniriz. Diğer parçacıklar da kütle merkezinin hareketine paralel olarak hareket edecektir.



Şekil 4.8. Kütle merkezinin bulunması

Şekil 4.8'deki gibi her birinin kütlesi $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ olan n tane parçacığın oluşturduğu bir cismin ağırlık merkezinin x eksenindeki iz düşümü

$$X_{km} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n} \quad (4.13)$$

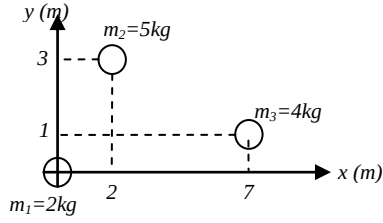
ve y eksenindeki iz düşümü

$$Y_{km} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3 + m_4y_4 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n} \quad (4.14)$$

dır.

Örnek:

Ağırlıksız bir yüzey üzerinde şekildeki gibi duran kütlelerin oluşturduğu sistemin kütle merkezini eksenlerin başlangıç noktasına göre bulunuz



Kütle merkezinin x eksenindeki konumu

$$X_{km} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$X_{km} = \frac{2 \cdot 0 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 7}{2 + 5 + 4} = \frac{38}{11}$$

$$X_{km} = 3,45 \text{ m}$$

Ve y eksenindeki konumu

$$Y_{km} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$Y_{km} = \frac{2 \cdot 0 + 5 \cdot 3 + 4 \cdot 1}{2 + 5 + 4} = \frac{19}{11}$$

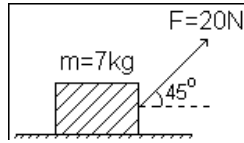
$$Y_{km} = 1,73 \text{ m}$$

olarak bulunur.

SORULAR

- 1) Demirin özkütlesi $7,8 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Kütlesi 780 gram olan bir demir parçasının hacmi kaç dm^3 olur?
- 2) Kenarları 10 cm, 5 cm ve 1 m olan demirden yapılmış, prizma şeklindeki çubuğun kütlesi kaç kg 'dır?(demirin özkütlesi $7,8 \text{ g/cm}^3$ 'tür)
- 3) Sabit bir kuvvet m_1 kütlesine 20 m/s^2 'lik, m_2 kütlesine 5 m/s^2 'lik ivme kazandırıyor. Aynı kuvvet $(m_1 + m_2)$ kütlesine uygulanırsa, kütlenin $(m_1 + m_2)$ ivmesi kaç m/s^2 olur?

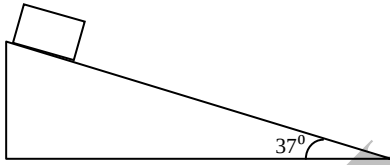
4)



Şekildeki gibi sürtünmesiz bir düzlemde hareket eden cismin ivmesi kaç m/s^2 'dir? ($\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0,7$)

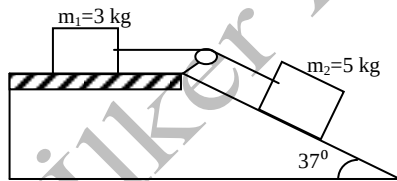
- 5) Sürtünmesiz yatay bir düzlemde duran 10 kg kütleli cisme yatay bir kuvvet etki ederek 2 saniyede 6 m yol aldırıyor. Kuvvet kaç N'dur?
- 6) Statik ve kinetik sürtünme katsayılarının ikisi de 0,30 ise, 100 N'luk bir ağırlığı 37° lik bir eğik düzlemde, yüzey boyunca aşağı doğru kaymaktan kurtarmak için gereken yüzeye paralel en küçük kuvvet ne kadardır? ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)

7)



Kütlesi 12 kg olan bir kutu, yatayla 37° lik açı yapan bir eğik düzlemin tepesinden bırakılıyor. Kutuya 60 N'luk bir sürtünme kuvveti etki ettiğine göre ivmesi kaç m/s^2 olur? Kinetik sürtünme katsayısı nedir? ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $g = 10 \text{ m/s}^2$)

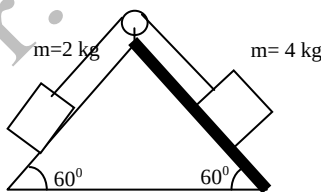
8)



Şekildeki sistemde m_1 kütlesi kinetik sürtünme katsayısı $\mu_k=0,2$ olan sürtünmeli bir yüzeyde, m_2 kütlesi de sürtünmesiz bir eğik düzlemde beraber hareket ettiklerine göre sistemin:

- a) İvmesini,
- b) İpteki gerilme kuvvetini bulunuz. (makara sürtünmesizdir)

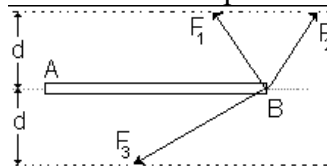
9)



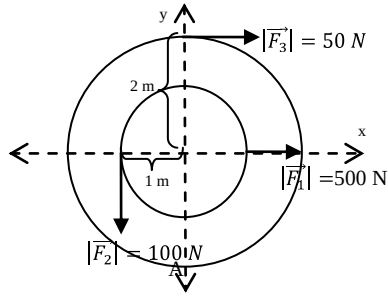
Şekildeki sistemin bir yüzü sürtünmeli ve sürtünme katsayısı $\mu_k=0,2$ dir. Buna göre sistemin,

- a) ivmesini,
- b) ipteki gerilimi bulunuz.

- 10) AB çubuğunun B ucuna, şekil düzleminde F_1 , F_2 ve F_3 kuvvetleri etki ediyor. A noktasına göre, F_3 'ün momenti 12 birim ise toplam moment kaç birim olur?

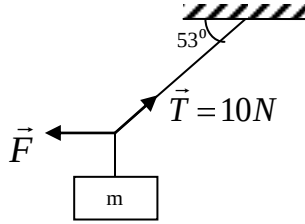


11)



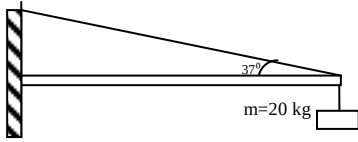
Şekildeki gibi iç içe girmiş iki silindire üç farklı kuvvet etki etmektedir. Orijine ve A noktasına göre toplam moment nedir?

12)



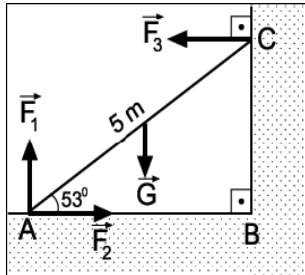
Şekildeki sistem dengede ise $\vec{F}$ kuvveti ve cismin ağırlığı kaç N' dur? ($\cos 53^\circ=0,6$, $\sin 53^\circ=0,8$)

13)



5 m uzunluğundaki ve 10 kg ağırlığındaki kalas, duvara bir ip ile şekildeki gibi asılmıştır. Sistem dengede ise ipteki gerilme nedir?

14)



5m uzunlukta ve 100 N ağırlığındaki bir merdiven, sürtünmesiz bir duvara dayalıdır. Merdivenin alt ucu duvardan 3 m uzakta olduğuna göre, F_3 kuvveti kaç N' dur? ($\cos 53^\circ=0,6$; $\sin 53^\circ=0,8$)

15) Bir tahterevallinin bir ucunda 45 kg 'lık bir çocuk, diğer ucunda ise 15 kg'lık başka bir çocuk oturmaktadır. Aralarındaki uzaklık 4 m olduğuna göre, kütle merkezi 15 kg'lık çocuktan ne kadar uzaktır?

16) Ağırlığı 50 N olan bir köpek kıyıdan 6 m uzaklıkta bulunan ve ağırlığı 100 N olan bir salın ucunda duruyor. Salın uzunluğu 3 m ise köpek salın diğer ucuna yürüdüğünde salın kıyıdan uzaklığı ne olur?

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

BÖLÜM 5

İŞ, GÜÇ ve ENERJİ

5.1. Giriş

İş, güç ve enerji terimleri günlük hayatta çok sık kullandığımız terimlerdir. Ancak fizikte bu üç terim günlük hayatta kullandığımız anlamlarından biraz farklıdır. Bu farklılıklar aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır. Diğer bölümlerde olduğu gibi bu bölümde de öğrencilerimize, anlamlara ve birim sistemine dikkat etmelerini tavsiye ederim.

5.2. İş

Fizikteki iş kavramı günlük hayatta kullandığımız iş kavramından biraz farklıdır. Örneğin büyükçe bir kayayı yerinden oynatabilmek için sabahtan akşama kadar uğraşırsınız ve bu çalışmanın sonucunda kan ter içinde kayayı yerinden kıvıldatmadan geceyi edersiniz. Gece size ne yaptığınız sorulduğunda iş yaptım diyebilir misiniz? Günlük hayatta söylersiniz ama fiziksel olarak hiçbir iş yapmış sayılmazsınız.

Fizikte bir cisme kuvvet uygulandığında cisim hareket ediyorsa cismin hareketi kadar *iş* yapılmış sayılır. İş skaler bir büyüklük olup W sembolü ile gösterilir, SI birim sisteminde birimi Nm ya da joule (J) olarak verilir.

5.3. Doğrusal Hareketinin Yaptığı İş

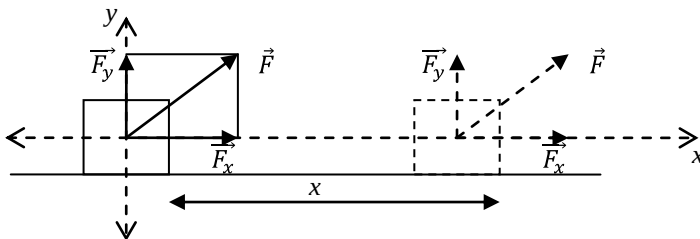
Bir doğru boyunca hareket eden bir cisim üzerinde yapılan işin büyüklüğü, uygulanan kuvvet vektörü ile yer değiştirme vektörünün skaler çarpımına eşittir.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (5.1)$$

Çarpımın sonucundan da anlaşıldığı gibi iş, skaler bir büyüklüktür. Bu skaler çarpımının büyüklüğü de

$$W = |\vec{F}| |\vec{d}| \cos \theta \quad (5.2)$$

olarak verilir. Burada θ uygulanan kuvvet ile hareket doğrultusu arasındaki açıdır. Eşitlik 5.2'den de görüldüğü gibi iş yapan kuvvet hareket doğrultusuna paralel olan kuvvettir. Şekil 5.1'de $\vec{F}$ kuvveti ile pozitif x eksenini boyunca $\vec{x}$ kadar yol alan bir cisim üzerinde $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş bulunmuştur.



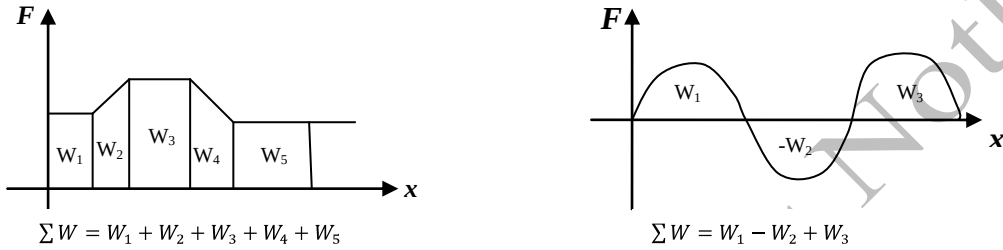
Şekil 5.1. $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş

$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{x} \\ W &= |\vec{F}| |\vec{x}| \cos \theta \text{ olur ve} \\ |\vec{F}_x| &= |\vec{F}| \cos \theta \text{ yerine konursa} \\ W &= |\vec{F}_x| |\vec{x}| \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi $\vec{F}$ kuvvetinin $\vec{F}_x$ bileşeni iş yaparken $\vec{F}_y$ bileşeni iş yapmamaktadır. Çünkü y yönünde bir hareket yoktur.

Bir cisme birden fazla kuvvet etki ederse yapılan toplam iş, her bir kuvvetin yaptığı işin skaler toplamıdır. Eğer uygulanan kuvvet hareket yönünün tersinde ise $\theta > 90^\circ$ olacaktır ve bu durumda $\cos\theta$ negatif olacağından yapılan iş negatiftir. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş buna en iyi örnektir.

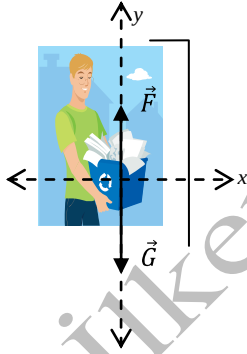
Kuvvet – yer değiştirme grafiklerinde, eğri altında kalan alan, her zaman için **toplam iş**i verir. Kuvvetin uygulandığı yöne bağlı olarak alan pozitif ya da negatif değer alacaktır. (Şekil5.2)



Şekil 5.2. Kuvvet – yer değiştirme grafiklerinden toplam işin bulunması

Örnek:

Bir manav 2 kg kütleli bir yerde duran bir torbayı, düşey doğrultuda ivmesiz olarak kaldırarak 2 m yüksekliğindeki rafa koyuyorsa torba üzerine etki eden kuvvetlerin her birinin yaptığı iş nedir? Toplam iş nedir?



Manav torbayı ivmesiz olarak kaldırdığına göre ivme sıfırdır.

Buna göre verileri yazarsak

$$\vec{a}=0$$

$$m=2 \text{ kg}$$

$$y=2 \text{ m}$$

Torba sadece y yönünde hareket ettiğine göre torba üzerine etki eden kuvvetler şekildeki gibidir. İvme sıfır olduğuna göre

$$\vec{F} + \vec{G} = m\vec{a} = 0 \text{ olacaktır.}$$

$$|\vec{G}| = mg$$

$$|\vec{G}| = 2 \cdot 10 = 20 \text{ N}$$

olarak bulunur. Buna göre

$$\vec{G} = -20\hat{j} \text{ N olacaktır.}$$

Bunu yerine yazarsak

$$\vec{F} + \vec{G} = 0$$

$$\vec{F} - 20\hat{j} = 0$$

$$\vec{F} = 20\hat{j} \text{ N olarak buluruz.}$$

Torba y yönünde yukarı doğru 2 m hareket ettiğine

$$\text{göre } \vec{d} = 2\hat{j} \text{ m olacaktır.}$$

Kuvvetleri ve hareket doğrultusunu bulduğumuza göre her bir kuvvetin yaptığı iş'i bulabiliriz.

Yerçekimi kuvvetinin yaptığı iş

$$W_G = \vec{G} \cdot \vec{d} = -20\hat{j} \cdot 2\hat{j}$$

$$W_G = -40 \text{ Nm olarak bulunur.}$$

$\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{d} = 20\hat{j} \cdot 2\hat{j}$$

$$W_F = 40 \text{ Nm olarak bulunur.}$$

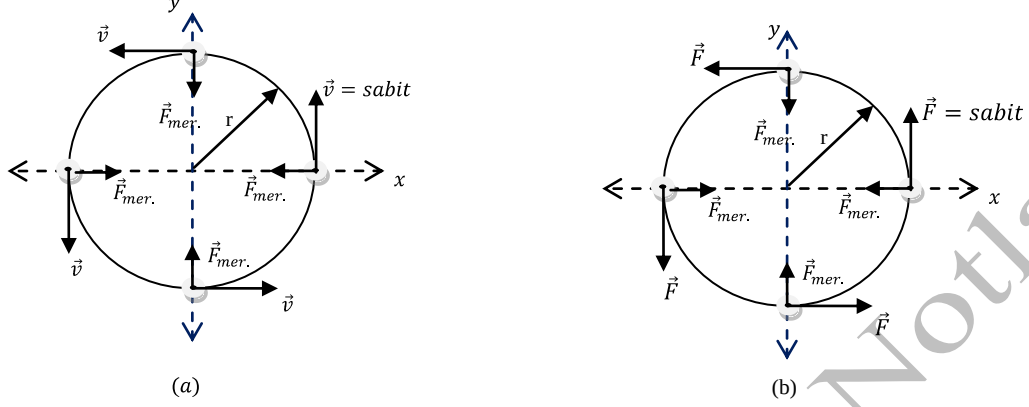
Torba üzerinde yapılan toplam iş ise

$$\Sigma W = W_F + W_G = 40 - 40 = 0$$

olacaktır.

5.4. Dönme Hareketinin Yaptığı İş

Düzgün dairesel hareket yapan bir cisim üzerine etkiyen merkezci kuvvet hareket doğrultusuna her noktada dik olduğundan cisim üzerinde iş yapmaz (şekil 5.3 (a)). Düzgün dairesel hareket yapan bir cisim üzerinde başka bir kuvvet olmadığından dolayı da bu tür hareket yapan cisimler üzerinde iş yapılamaz.



Şekil 5.3. (a) düzgün dairesel hareket, (b) sabit bir kuvvet altında dairesel hareket

Ancak dairesel hareket yapan bir cisme etki eden moment, sıfırdan farklı ise cisim üzerinde iş yapılır. Şekil 5.3 (b)'deki gibi cisim sabit bir $\vec{F}$ kuvveti altında dairesel hareket yapıyorsa, moment

$$|\vec{M}| = |\vec{F}| |\vec{r}| \sin 90 \quad (5.3)$$

olacaktır. Çember üzerindeki cisim $\vec{F}$ kuvveti etkisi ile θ kadar döndürüldüğünde çember üzerinde alınan yol

$$|\vec{x}| = |\vec{r}| \theta \quad (5.4)$$

olur. θ , radyan'dır. Cisim üzerine etki eden kuvvet her zaman için x ile paralel olduğuna göre cisim üzerinde yapılan iş $W = |\vec{F}| |\vec{x}| \cos 0'$ dir. Eşitlik 5.3 ve 5.4'ten $|\vec{F}|$ ve $|\vec{x}|$ yerine yazılırsa $\vec{F}$ kuvveti etkisiyle dönen bir cisim üzerinde yapılan iş,

$$W = |\vec{M}| \theta \quad (5.5)$$

olarak bulunur.

Örnek:

Bir tekerlek sabit bir kuvvetle, bir ip tarafından durgun halden başlayarak sabit bir eksen etrafında döndürülmektedir. Eksene göre net moment 2 N.m'dir. Açısal yer değiştirme $\pi/2$ radyan olduğu zamana kadar yapılan iş ne kadardır?

Veriler:

$$|\vec{M}| = 2 \text{ Nm}$$

$$\theta = \pi/2 \text{ radyan} \quad \text{ise}$$

$$W = |\vec{M}| \theta = 2 \cdot \pi/2 = 2 \text{ J olarak bulunur.}$$

5.5. Güç

Güç, iş yapabilme hızıdır. Aynı işi yapan iki kişi arasında kim daha güçlüdür, diye sorulduğunda, verilen işi kim daha çabuk bitirmişse o kişi daha güçlüdür, denir. Örneğin A kişisi 1 ton kumu 3 saate B kişisi de aynı kumu 4 saate binanın çatısına taşıyorsa A kişisi daha güçlüdür, denir. Demek ki **güç**, birim zamanda yapılan iş miktarıdır.

$$P = \frac{W}{t} \quad (5.6)$$

olarak verilir. Güç skaler bir büyüklük olup SI birim sisteminde birimi Nm/s =J/s=watt (W) olarak verilir. Günlük hayatta güç, bilhassa arabalardan bahsedilirken beygir gücü olarak verilir.

$$1 \text{ bg} = 746 \text{ W}$$

tır.

5.6. Doğrusal Hareket Boyunca Harcanan Güç

$\vec{F}$ kuvveti altında doğrusal hareket yapan bir cisim üzerinde yapılan iş $W = |\vec{F}||\vec{x}| \cos \phi$ ise bu cisim üzerinde birim zamanda harcanan güç

$$P = \frac{W}{t} = \frac{|\vec{F}||\vec{x}| \cos \phi}{t} = |\vec{F}||\vec{v}| \cos \phi \quad (5.7)$$

ifadesi ile verilir. Burada ϕ hız ile kuvvet arasındaki açıdır.

Örnek:

Bir traktör 2 m/s hızla giderken, 20 kN'luk sabit bir kuvvetle çekme kapasitesi vardır. Traktörün kilowatt olarak gücü ne kadardır?

Veriler:

$$|\vec{v}| = 2 \text{ m/s}$$

$$|\vec{F}| = 20 \text{ kN} = 20000 \text{ N} \quad \text{ise}$$

$$P = |\vec{F}||\vec{v}| \cos \phi = 20000 \cdot 2 \cdot \cos 0$$
$$P = 40000 \text{ W} = 40 \text{ kW}$$

5.7. Dönme Hareketinde Aktarılan Güç

$\vec{F}$ kuvveti altında dairesel hareket yapan bir cisim üzerinde yapılan iş $W = M \theta$ idi. Dolayısıyla dönen bir cismin aktardığı güç

$$P = \frac{W}{t} = \frac{|\vec{M}|\theta}{t} = |\vec{M}|\omega \quad (5.8)$$

dır. ω , açısal hızdır ve

$$\omega = 2\pi f \quad (5.9)$$

olarak verilir. f , birim saniyedeki devir sayısı yani frekans'tır.

Örnek:

Gücü 30000 W olan bir motor, dakikada 6000 devir yapıyorsa döndürme momenti ne olur?

Veriler:

$$P=30000 \text{ W}$$

$$f = 6000 \text{ devir/dakika}$$

Frekans devir /dak. olarak verildiğinden ilk olarak bunu SI birim sistemine (devir/saniye) çevirmeliyiz.

$$f = 6000 \frac{\text{devir}}{\text{dakika}} = 6000 \frac{\text{devir}}{60 \text{ s}} = 100 \text{ devir/saniye}$$

$$P = |\vec{M}| \omega \text{ ve } \omega = 2\pi f \text{ yerine konursa}$$

$$P = |\vec{M}| 2\pi f$$

$$|\vec{M}| = \frac{P}{2\pi f} = \frac{30000}{2 \cdot 3.14 \cdot 100} = 50 \text{ Nm} \text{ olarak bulunur.}$$

5.8. Enerji

İş yapabilme yeteneğine **enerji** denir. Bu nedenle enerji ve iş birimleri aynıdır. SI birim sistemine göre enerji ve iş birimi joule dur. Skaler bir büyüklük olan enerji, bir cismin hareketini sağlar. Enerjisi olmayan bir cisim hareket edemez.

İki çeşit enerji vardır. Bunlar; kinetik enerji ve potansiyel enerjidir.

Cismin hareketinden dolayı kazandığı enerjiye **kinetik enerji** denir. Hareket eden bir cisme etkiyen kuvvet

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (5.10)$$

dır. Bu kuvvet altında cisim x kadar yer değiştiriyorsa yapılan iş

$$W = \vec{F} \cdot \vec{x} = m\vec{a} \cdot \vec{x} = m \cdot a \cdot x \cdot \cos 0 = m \cdot a \cdot x \quad (5.11)$$

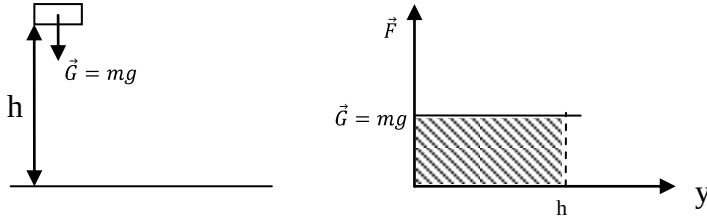
tir. Hız, ivme ve yer değiştirme arasında $v^2 = v_0^2 + 2ax$ bağıntısı olduğuna göre ivmeyi buradan çekip eşitlik 5.11'de yerine koyarsak, cismin hareketinden dolayı kazandığı kinetik enerji

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (5.12)$$

olarak bulunur. Burada v son hız ve v_0 ilk hız'dır.

Potansiyel enerji ise cismin her an iş yapabilmeye hazır olduğunu gösteren enerjidir. Örneğin bir yaya sıkıştırılmış cisim ya da yerden h kadar yüksekte tutulan bir cisim gibi. Her iki örnekte de cisimler serbest bırakıldıklarında sahip oldukları potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşerek hareket edeceklerdir. İki türlü potansiyel enerjiden bahsedilir.

Birincisi, yerçekimi kuvvetinin yaptığı gibi çekim kuvvetlerinin yaptığı iş'tir ve **potansiyel enerji** olarak tanımlanır. Elektrik alan, manyetik alan gibi birçok çekim kuvveti vardır. Biz bunlardan sadece yerçekimi kuvvetinin sağladığı enerjiyi inceleyeceğiz. Diğer alanların olmadığı varsayılmıştır. Yerden h kadar yüksekten serbest bırakılan bir cisme etkiyen kuvvet $\vec{G} = m\vec{g}$ dir. Bu kuvvet ile yüksekliğin ilişkisini gösteren grafik, şekil 5.4'deki gibidir.



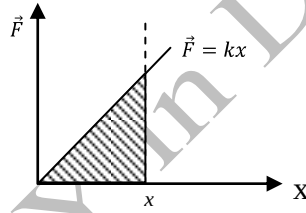
Şekil 5.4. Yerçekimi kuvvetinin yükseklikle değişimi

Buna göre şekil 5.4'teki taralı alan bize işi verecektir, bu iş'te h yüksekliğindeki cismin sahip olduğu potansiyel enerjidir ve

$$E_p = mgh \quad (5.13)$$

olarak verilir.

İkincisi ise esnek cisimlerin gergin ya da sıkışık iken cismi eski konumuna getirecek kuvvetlerin (geri çağırıcı kuvvetler) cisim üzerinde yaptıkları iştir. Cismin kazandığı enerjiye ise **esneklik potansiyel enerjisi** denir. Şekil 5.5'deki gibi x kadar sıkıştırılmış bir yay üzerindeki cisme etkiyen geri çağırıcı kuvvet $\vec{F} = -k\vec{x}$ tir. Bu geri çağırıcı kuvvet ile sıkıştırma miktarı arasındaki ilişkisini gösteren grafik şekil 5.5'teki gibidir.



Şekil 5.5. Geri çağırıcı kuvvetin sıkıştırma miktarı ile değişimi

Buna göre şekil 5.5'teki taralı alan bize işi verecektir, bu iş'te x kadar sıkıştırılmış ya da gerilmiş bir yayın sahip olduğu esneklik potansiyel enerjidir ve

$$E_{yay} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (5.14)$$

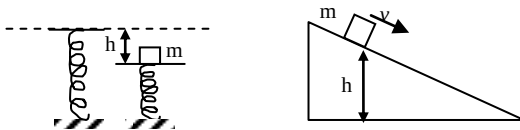
olarak verilir.

İşte bir cismin sahip olduğu toplam enerji ise bu üç enerjinin toplamıdır.

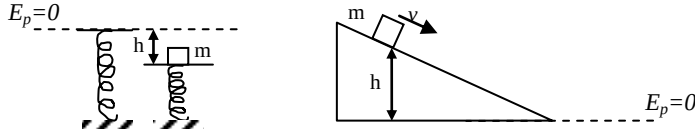
$$\Sigma E = E_k + E_p + E_{yay} \quad (5.15)$$

Örnek:

Aşağıdaki sistemlerin enerjilerini yazınız.



İlk olarak yükseklik potansiyel enerjisinin sıfır olduğu yeri her iki sistem için belirlemeliyiz.



Yaylı sistemdeki kütlenin toplam enerji:

$$\sum E = \frac{1}{2}kh^2 - mgh$$

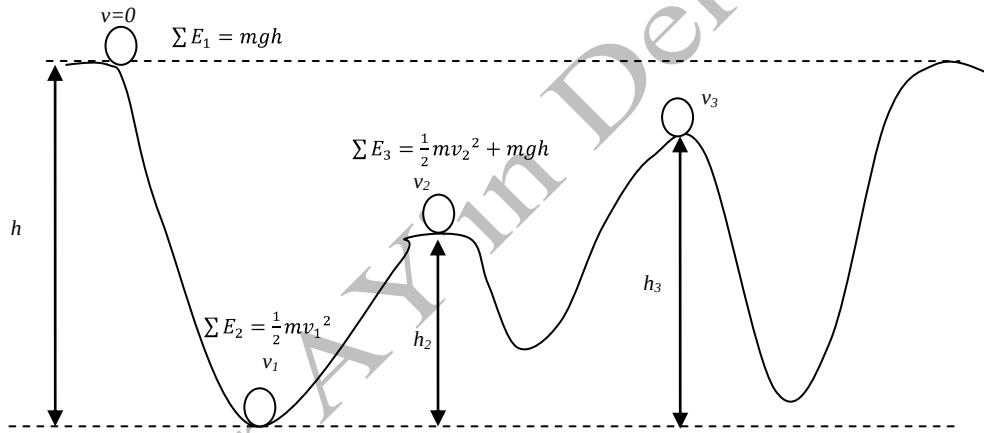
Eğik sistemdeki kütlenin toplam enerjisi ise:

$$\sum E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

Olacaktır.

5.9. Enerjinin Korunumu

Bir cisim üzerine sürtünme kuvveti gibi yitirici bir kuvvet etki etmiyorsa cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamı her durum için aynıdır.



Şekil 5.6. Engelibeli bir düzlemde topun hareketi ve sahip olduğu enerji

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi herhangi iki konumdaki toplam enerjiler aynıdır. Birinci konumda tüm enerji potansiyel enerji iken ikinci konumda tamamen kinetik enerjiye dönüşmüştür. Üçüncü konumda ise ilk baştaki enerjinin bir kısmı potansiyel enerjiye, bir kısmı ise kinetik enerjiye dönüşmüştür.

Bu üç durum incelendiğinde üçünün de ortak özelliği toplam enerjilerinin eşit olmasıdır.

$$E_1 = E_2 = E_3 = \text{sabit} \quad (5.16)$$

Dolayısıyla sürtünmenin ve diğer bir yitirici kuvvetin olmadığı bir sistemde cismin sahip olduğu iki konum arasındaki enerji farkı sıfırdır.

$$E_1 - E_2 = E_1 - E_3 = E_2 - E_3 = 0 \quad (5.17)$$

Sistemde yitirici kuvvet olsaydı ne olurdu?

Sürtünmeli bir yüzey üzerinde A noktasından B noktasına giden bir cismin A noktasındaki enerjisi (E_1) ile B noktasındaki enerjisi (E_2) birbirine eşit olmayacaktır. Bu durumda her zaman için $E_1 > E_2$ dir ve iki enerji arasındaki fark sürtünme kuvvetinin yaptığı iş'e eşittir.

$$E_1 - E_2 = -W_{f_{sür}} = -(W_{f_{sür}} + W_{F_1} + W_{F_2}) \quad (5.18)$$

dir. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş ise bilindiği gibi ısı olarak açığa çıkacaktır. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş ne kadar küçükse sistemin verimi o kadar iyidir. **Verim** bir sisteme verilen gücün ya da enerjinin ne kadarını kullanabildiğinin bir ölçütüdür.

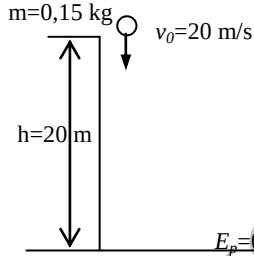
$$\eta = \frac{P_{alınan}}{P_{verilen}} = \frac{E_2}{E_1} \quad (5.19)$$

ifadesi ile verilir. Bu, bir motorun ısınması ile açıklanabilir. Motor, verilen enerji ile çalışır ve bunu kullanacağımız başka bir enerjiye döndürür. Ancak motor bu dönüşümü yaparken verilen enerjinin bir miktarı motor içindeki sürtünme kuvvetini yenmek için kullanır ve sürtünme kuvvetine karşı bir iş yapar. Yapılan bu iş, ısı olarak açığa çıkar. Açığa çıkan ısı ne kadar çok ise ilk enerjiden kalan enerjide o kadar azdır ve verim küçüktür.

Örnek:

Bir çocuk 0,15 kg'lık bir taşı 20 m'lik bir uçurumun tepesinden 20 m/s hızla aşağıya atıyor. Taşın yere düştüğü andaki hızı nedir? ($g=10 \text{ m/s}^2$)

Enerji ile ilgili sorularda şekil verilmemişse ilk olarak şekil çizilmeli ve yükseklik potansiyel enerjisinin sıfır olduğu konum belirlenmelidir.



Daha sonra yapılacak işlemler:

- 1) $E_p=0$ konumunu belirle
- 2) İlk durumun toplam enerjisini yaz (E_1)
- 3) Son durumun toplam enerjisini yaz (E_2)
- 4) Sürtünme ve yitirici bir kuvvet yoksa
 $E_1 - E_2 = 0$ olacaktır.
- 5) Sürtünme ve yitirici bir kuvvet varsa
 $E_1 - E_2 = W_{F_{sür}}$ olacaktır.

İlk durum enerjisi (taş atıldığı andaki enerjisi)

$$E_1 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$$

Son durum enerjisi (taşın yere düştüğü andaki enerjisi)

$$E_2 = \frac{1}{2}mv^2$$

Sürtünme olmadığına göre

$$E_1 - E_2 = 0 \text{ yerlerine yazarsak}$$

$$mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 0$$

$$mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

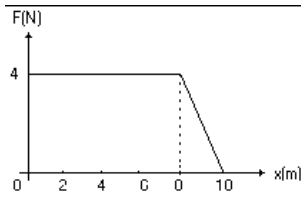
$$v^2 = 2\left(gh + \frac{1}{2}v_0^2\right) = 2(10 \cdot 20 + \frac{1}{2}20^2)$$

$$v = \sqrt{800}$$

$$v = 28,3 \text{ m/s olacaktır.}$$

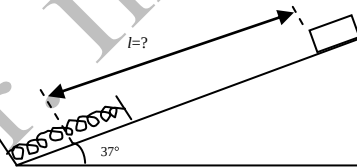
SORULAR

- 1) Şekildeki kuvvet- yer değiştirme grafiğinde 10 m 'de yapılan iř kaç J dur?



- 2) Gücü 80 W olan bir makine dakikada kaç J 'luk iř yapar?
- 3) Dakikada 120 J iř yapan bir cismin gücü kaç W'tır?
- 4) 100 N'luk bir sandık sürtünmeli bir yüzeyde 150 N'luk bir kuvvetle yüzeye 37° lik bir açıyla 10 m çekiliyor. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iř nedir? Sandığa uygulanan kuvvetin yaptığı iř nedir? Sandık üzerinde yapılan toplam iř nedir? ($\mu_k=0,5$)
- 5) Hızının yarısını yitiren bir cisim kinetik enerjisinin yüzde kaçını yitirir?
- 6) 25 N'luk bir cisim, yatay ile 37° lik açı yapan bir eğik düzlem üzerinde, düzleme paralel 32,5 N'luk bir F kuvveti ile yukarı doğru 100 m çekiliyor. Cisimle düzlem arasındaki kinetik sürtünme katsayısı 0,25 ise
- F kuvvetinin yaptığı iř nedir?
 - Cismin kinetik enerji artışını hesap ediniz.
 - Potansiyel enerji artışını hesap ediniz.
 - Sürtünmeye karşı yapılan iř nedir? Bu iř ne olur?
- 7) Düşey konumda bulunan bir yay, üzerine konulan 2g kütleli bir madeni para ile 1cm kadar sıkıştırılıyor. Yay sabiti 400 N/m olduğuna göre, yay serbest bırakıldığında madeni para bulunduğu konumdan ne kadar yükseğe çıkar?
- 8) 2 kg kütleli bir cismin yere çarpmadan hemen öncesinde 800 J'luk kinetik enerjisi vardır. Sürtünmenin olmadığını düşünerek cismin hangi yükseklikten düştüğünü bulunuz. ($g=10 \text{ m/s}^2$)

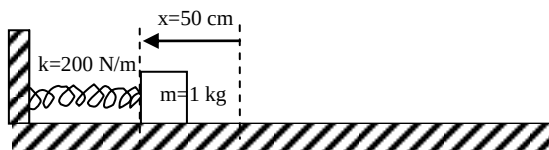
9)



Bir yay 100 N'luk bir kuvvetle 1 m sıkışabilmektedir. 10 kg lık bir cisim sürtünmesiz eğik düzlemin üst köşesinden bırakıldığında yayı 2 m sıkıştırdıktan sonra duruyorsa, cisim durana değin ne kadar yol almıştır? Cisim yaya dokunduğu andaki hızı nedir?

- 10) 20 N ağırlığındaki bir taş, 16 m yükseklikten düşüyor ve zemine 0,6 m gömölüyor. Taş gömölürken taşla zemin arasındaki ortalama kuvveti bulunuz

11)



Kinetik sürtünme katsayısı 0,1 olan bir yüzey üzerindeki blok şekildeki gibi yay ile 50 cm sıkıştırılıyor. Yay serbest bırakıldığında blok ne kadar yol alır?

Dr. İlker AY'ın Ders Notları

BÖLÜM 6

MADDE ve MALZEME ÖZELLİKLERİ

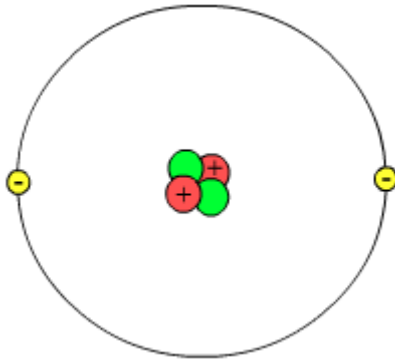
6.1. GİRİŞ

Teknolojide kullanılan madde ve malzemelerin, kullanıldığı yere göre belli özellikler taşıması istenir. Malzeme ya da madde, kullanılacağı yere göre yalıtkan ya da iletken olarak seçileceği gibi, dayanımının ve esnekliğinin de uygun özelliklerde olması istenir. Bu yüzden günümüzde madde ve malzemeleri teknik özelliklerine göre sınıflayan ve isteğe göre yeni malzemeler geliştiren bilim dalları ortaya çıkmıştır (Metalurji ve Malzeme Müh.).

İşte bu bölümde maddenin ve malzemelerin yapısını, elektriksel, kimyasal ve manyetik özelliklerinin yanı sıra, dayanım ve esneklik özelliklerini de inceleyeceğiz.

6.2. Madde, Malzeme, Atom ve Molekül

Uzayda belli bir hacim kaplayan ve kütlesi olan her şey **madde**'dir. Maddeler aynı cins atomların bir araya gelmesiyle oluşurlar. **Atom**, bir çekirdek ve çekirdek etrafında farklı yörüngelerde dönen elektronlardan oluşur (şekil 6.1). Bir atomun yarıçapı yaklaşık 10^{-10} m civarındadır. Çekirdek ise; içinde çok küçük bir hacme sığdırılmış proton ve nötronlardan oluşur ve yarıçapı yaklaşık 10^{-14} m dir. Tabii ki bu parçacıkları da oluşturan daha küçük parçacıklar vardır. Kuad, pozitron, nötrino gibi... Bunlar şu anda bilim dünyasının üzerinde çalıştığı heyecan verici parçacıklardır. Bunların özelliklerini, yapılarını anlamak için Cern de çok büyük yatırımlarla araştırmalar yapılmaktadır.



Şekil 6.1. He atomunun sembolik gösterimi.

Protonlar pozitif yüklü iken elektronlar negatif yüklüdür, nötronlar ise yüksüzdür (nötr). Nötr bir atom içindeki elektron ve proton sayıları eşittir. Maddenin temel taşı olan atomlar her madde için farklı sayıda elektron, proton ve nötron içerir. Böylece maddeler birbirinden ayrılır.

Örneğin altının 79 elektron ve protonu varken bakırın 29 elektron ve protonu vardır. Fiziksel ya da kimyasal yollarla atom içine fazladan bir elektron verilirse bu atoma **negatif iyon atomu**, atomdan bir elektron sökülürse **pozitif iyon atomu** denir.

Atomlar periyodik cetvelde atom sayılarına göre sıralanırlar. **Atom sayısı**, çekirdeğin içindeki proton sayısını verir. Aynı zamanda, nötr bir atom için bu sayı atomdaki elektron sayısına da

eşittir. Atomun belirleyici özelliğinden bir diğeri de bağıl atom kütesidir. **Bağıl atom kütlesi** ise çekirdek içindeki proton ve nötron sayılarının toplamını verir. Buna göre nötr bir atom sembolü ve sembolünün sol üst ve at köşelerindeki atom sayısı ve bağıl atom kütesini gösterir sayılarla verilir.

$\frac{\text{Bağıl atom kütlesi}}{\text{Atom sayısı}} = \text{Sembol}$

(6.1)

Örnek:

$^{64}_{29}\text{Cu}$ bakır atomunun proton, elektron ve nötron sayıları nedir?

Bakır atomunun atom sayısı ve bağıl atom kütlesi eşitlik 6.1 den;

Atom sayısı=29

Bağıl atom kütlesi=64

Olarak bulunur.

Elektron ve proton sayısı=atom sayısı = 29 dur.

Bağıl atom kütlesi= proton sayısı+nötron sayısı olduğuna göre

$64=29+\text{nötron sayısı}$

Nötron sayısı= $64-29=35$ olarak bulunur.

Birden fazla aynı ya da farklı atomların bir birleriyle bağ yaparak bir araya geldiklerinde oluşturdukları yapıya **molekül** denir. Örneğin su molekülü (H_2O) iki adet hidrojen ve bir adet oksijen atomunun bir araya gelmesiyle oluşan bir moleküldür. Bir bardak içindeki su ise işte bu su molekülün milyonlarcasının bir arada bulunmasıyla oluşur.

Malzeme ise, birden fazla maddenin doğal ya da yapay olarak bir araya getirilmesiyle oluşan maddelere verilen isimdir.

Günümüzde birçok malzeme çeşidi vardır. Bunlar kullanılmak istenen bölgelere göre, elektriksel, kimyasal, manyetik ya da elastik özellik taşırlar. Bazı malzemeler birden fazla özelliği aynı anda içlerinde barındırabilirler. Örneğin demir ve karbonun bir araya getirilmesiyle oluşturulan çelik, elektriksel özelliğe sahip olup iletken bir malzemedir. Aynı zamanda paslanma gibi kimyasal reaksiyonlara da karşı koyabilecek güçtedir. Buna rağmen manyetik özelliği yoktur ve elastik değildir.

İşte maddeyi ya da malzemeyi oluşturan atomların dizilişi ve bunların birbiriyle yaptıkları bağlar, madde ya da malzemenin özelliklerini belirler.

6.3. Maddenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Maddeler doğada katı, sıvı, gaz ve plazma halinde bulunabilirler. Maddelerin bir halden diğer hale geçmeleri, elektriksel ve manyetik özellikleri, yoğunluğu, kırılma sayısı, rengi, şekli ve esnekliği gibi özellikleri **fiziksel özelliklerdir**.

Fiziksel Değişme ise: Maddenin dış yapısında meydana gelen değişimlerdir. Fiziksel değişimlerde maddenin kimyasal özellikleri, molekül formülü, toplam kütle değişmez. Değişen maddelerin sadece fiziksel özellikleridir.

Örneğin buzun havanın sıcaklığı ile erimesi ve sıvı hale geçmesi veya suyun ısıtılarak su buharı haline geçmesi fiziksel bir değişimdir (hal değişimi). Şekerin veya tuzun suda çözünmesi, çamın kırılması ya da iletken bir metalin parçalara ayrılması gibi olaylar da maddelerin fiziksel değişimleridir. Tüm bu durumlarda maddenin iç özellikleri (kimyasal özellikleri, molekül formülü, toplam kütle) değişmemiştir. Su hal değişimine uğrarken, şeker ve tuz su içinde erimiş, çam ve metal ise şekil değiştirmiştir. Bu durumda maddenin yoğunluğu, tadı, elektriksel direnci gibi fiziksel özellikleri değişmiştir.

Kimyasal özellik ise; maddenin atomik ve moleküler yapısı ile ilgili olan özelliklerdir. Yanıcı olup olmaması, asidik ya da bazik özellik göstermesi... gibi.

Kimyasal değişim (reaksiyon / tepkime) ise; birden fazla maddenin bir araya gelerek bir katalizör (ısı, akım, basınç gibi) yardımıyla ya da kendiliğinden atomik dizilişlerini ve bağlanma yapılarını değiştirip yeni özelliklerde bir malzeme oluşturabilmesidir. Kimyasal değişimler sonucunda maddelerin hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri değişir. Odunun yanması, metallerin paslanması, asit'in baz'la nötrleşmesi, suyun elektrolizi, yaprakların sararması, domatesin çürümesi, peynirin küflenmesi... gibi olaylarda madde kimyasal değişime uğrar. Bu durumda kimyasal özellikler ile birlikte fiziksel özellikler de değişir.

Örneğin suya bir elektrik akımı verdiğinizde su kendini oluşturan hidrojen ve oksijen gazlarına ayrışır.



Bu durumda artık sudan bahsedemeyiz. Aynı şekilde Karbonik asit ısıtılınca karbondioksit ve suya dönüşür,



Ya da bir çinko üzerine hidroklorik asit dökerseniz



Hidrojen gazı çıktığını ve yeni bir malzeme olan çinkoklorür oluştuğunu görürüz.

Güncel hayatta en çok karşılaştığımız kimyasal reaksiyonlar oksit ve onun bir türü olan pas tır.

6.3.1. Maddenin Elektriksel Özellikleri

Günümüzde maddeyi elektriksel özelliklerine göre dörtte ayırabiliriz. Bunlar: iletken, yalıtkan, yarıiletken ve süperiletkendir.

Maddeyi oluşturan atomların en dış yörüngesindeki elektronlar kolaylıkla serbest kalabiliyorsa, bu tür maddelere **iletken** denir. Bakır, altın, demir, gümüş gibi metaller iletkenlere en iyi örnektir.

Aynı şekilde maddeyi oluşturan atomların en dış yörüngesindeki elektronlar ancak çok zor şartlarda serbest kalabiliyorsa, bu tür maddelere **yalıtkan** denir. Çam, plastik gibi ametaller yalıtkanlara örnektir.

Bazı maddeleri oluşturan atomların en dış yörüngesindeki elektronlar ise normal şartlarda koparılamazken dışarıdan ısı veya ışık yolu ile alacakları küçük enerjilerle serbest hale geçecektir. Bu tür maddelere ise **yarıiletken** denir. Bunlara en iyi örnek ise silikon, germanyum gibi yarıiletken teknolojisinde kullanılan maddelerdir.

İster iletken isterse yarıiletken olsun serbest kalan elektronlar bulundukları bölgede (valans bandı) serbestçe dolaşamazlar. Mutlaka küçük veya büyük bir dirençle karşılaşır. Bu direnç maddenin iç direnci denir. Ancak bazı özel malzemeler vardır ki, belli şartlar sağlandığında iç direnci sıfıra düşer ve elektronlar tamamen serbest kalırlar. Bu tür malzemelere de **süperiletken** denir. Örneğin cıva 4 K de süperiletken haline gelmektedir. Bu tür malzemeler genellikle alçak sıcaklıklarda oluşmaktadır. Oda sıcaklığında bu tür bir malzemenin elde edilmesi enerji konusundaki tüm sorunlarımızı çözecektir.

6.3.2. Maddenin Manyetik Özelliği

Demir, nikel, kobalt gibi metalleri çekme özelliği gösteren maddelere **mıknatıs** denir. Mıknatıslar doğada, doğal olarak bulunabildiği (Fe_3O_4) gibi yapay olarak da üretilebilir. Elektromıknatıs yapay olarak üretilen bir manyetik alan oluşturur. Bunun için de elektrik akımından faydalanılır.

Bir başka yöntem ise; maddelerin sahip olduğu manyetik geçirgenlik katsayısından (μ) faydalanılarak doğal ya da yapay mıknatıslar yardımıyla maddelere mıknatıs özelliği kazandırmaktır.

İşte maddeler sahip oldukları manyetik geçirgenlik katsayısına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar; **paramanyetik**, **ferromanyetik** ve **diamanyetik** tir. Maddelerin manyetik geçirgenlik katsayısı, boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı (μ_0) ile karşılaştırılarak maddelerin ne tür bir manyetik özellik taşıdıkları belirlenir.

Buna göre $\mu = \mu_0$ ise madde manyetik özellik taşımaz.

$\mu > \mu_0$ ise madde **paramanyetik** özellik gösterir. Bu tür madde ve malzemeler uygulanan manyetik alana doğru çok zayıf bir kuvvetle çekilirler ve manyetik alan kalktığında manyetik özelliklerini koruyamazlar. Alüminyum, Magnezyum, Bakır, Çelik gibi madde ve malzemeler paramanyetik özellik taşırlar.

$\mu \gg \mu_0$ ise madde **ferromanyetik** özellik gösterir. Bu tür madde ve malzemeler uygulanan manyetik alana doğru kuvvetlice çekilirler ve manyetik alan kalktığında manyetik özelliklerini korurlar. Demir, Nikel, Kobalt gibi madde ve malzemeler ferromanyetik özellik taşırlar ve bunlar kalıcı mıknatıs yapımında kullanılırlar. Malzemelerin mıknatıslık özelliğini yok etmek için ise her malzeme uygun bir sıcaklığa kadar ısıtır. Uygun sıcaklığa ulaşıldığında malzemenin ferromanyetik özelliği yok olur ve paramanyetik özellik gösterir. Bu sıcaklığa **Curie** sıcaklığı denir. Kobalt için Curie sıcaklığı 1394 K, Demir için 1043 K ve Nikel için 631 K dir.

$\mu < \mu_0$ ise madde **diamanyetik** özellik gösterir. Bu tür madde ve malzemeler uygulanan manyetik alana ters yönde zayıf bir manyetik alan üretirler. Dolayısıyla manyetik alan tarafından hafifçe itilirler ve manyetik alan kalktığında manyetik özelliklerini koruyamazlar. Süperiletkenler mükemmel diamanyetik malzemelerdir. Bu malzemeler bir mıknatısa

yaklaştırıldığında itici bir kuvvet oluşur. Günümüzde süperiletken teknolojisinin gelişmesiyle havada giden trenler yapılmaya çalışılmaktadır.

6.3.3. Maddenin Esneklik Özelliği

Cisimler, esnekliklerine göre üç sınıfa ayrılırlar; tam esnek, yarı esnek ve kırılğan (esnek olmayan). Buna göre cisme bir kuvvet uygulanıp bırakıldığında cisim tamamen eski haline dönüyorsa **tam esnek**, kısmen eski haline dönüyorsa **yarı esnek** ve hiç dönmeyenlerde **kırılğan** olarak sınıflandırılırlar.

Her cismin sahip olduğu bir “k” esneklik katsayısı vardır. Cisimler, üzerlerine uygulanan kuvvete sahip olduğu esneklik sınırına kadar dayanabilir. Eğer bu esneklik sınırı aşılsa cisim eski haline dönemez, esneklik sınırının çok çok aşılmasıyla da cisim kırılır. Esneklik katsayısı ile uygulanan kuvvet arasında

$$\vec{F} = k\Delta\vec{l} \quad (6.5)$$

eşitliği vardır. Burada Δl uzama ya da sıkışma miktarıdır. Bu aynı zamanda cisimlerde ve yaylardaki geri çağırıcı kuvveti oluşturan kuvvettir.

..... devam edecek